

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

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

**Удосконалення технологічного процесу приготування кормів для
свиноферми з удосконаленням молоткової дробарки**

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу, групи АІ-2-22
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Жижкін Максим Сергійович

Керівник: _____ Білоус Ілля Михайлович

Рецензент: _____

Дніпро – 2026

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Освітній ступінь: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«05» травня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ**

Жижкіну Максиму Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Удосконалення технологічного процесу приготування кормів для свиноферми з удосконаленням молоткової дробарки

керівник проєкту Білоус Ілля Михайлович, д-р філософії

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«05» травня 2026 року № 912

2. Строк подання студентом проєкту 05.06.2026 р.

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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Характеристика підприємства. 2. Технологічний процес приготування кормів на свинофермі. 3. Проєктування удосконаленої молоткової дробарки. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Економічна ефективність розробки. Загальні висновки. Бібліографічний список

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Генеральний план свиноферми (1 аркуш, А1). 2. Технологічна схема приготування комбікорму (А1). 3. Молоткова дробарка (А1). 4. Вентилятор (А4). 5. Решето (А4) 6. Ротор (А4). 7. Молоток (А4). 8. Палець (А4). 9. Кришка корпусу (А4). 10. Вивідний патрубок (А4). 11. Дека (А4). 12. Економічні показники (А1).

6. Консультанти розділів проєкту

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

7. Дата видачі завдання: 05.05.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

	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 22.05.2026 р.	
6	Демонстраційна частина	до 05.06.2026 р.	

Студент

(підпис)

Жижекін М.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту

(підпис)

Білоус І.М.

(прізвище та ініціали)

[illegible]

АНОТАЦІЯ

Жижкін М.С. Удосконалення технологічного процесу приготування кормів для свиноферми з удосконаленням молоткової дробарки / Дипломний проєкт представлений на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр» спеціальності 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026., п'ять аркушів графічної частини формату А1.

В проєкті наведено вступ, наведено характеристику підприємства та його планування, обґрунтовано необхідність удосконалення молоткової дробарки. На основі огляду зоотехнічних вимог та існуючих рішень проведено розрахунок параметрів молоткової дробарки. Розроблено конструкцію удосконаленої молоткової дробарки. Запропоновано вимоги з охорони праці для процесу подрібнення кормів. Проведено техніко-економічну оцінку удосконаленої молоткової дробарки. Зроблені висновки та складено список використаної літератури. Оформлено додатки.

Ключові слова: свиноферма, приготування кормів, подрібнення, молоткова дробарка, експлуатаційні витрати, економічний ефект.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА	10
1.1 Загальні відомості про підприємство	10
1.2 Аналіз галузі тваринництва	11
1.3 Перспективний план розвитку тваринництва на підприємстві.....	13
1.4 Вибір та обґрунтування теми дипломного проєкту	14
1.5 Висновок	15
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ПРИГОТУВАННЯ КОРМІВ НА СВИНОФЕРМІ	16
2.1 Структура та склад технологічних ліній кормоцеху	16
2.2 Зоотехнічні вимоги до подрібнення зернових кормів для свиней	17
2.3. Технологічний процес приготування комбікорму	18
2.4. Розрахунок основних параметрів технологічної лінії концентрованих кормів.....	21
2.4.1 Визначення добової потреби в подрібненому зерні	21
2.4.2. Розрахунок режиму роботи кормоцеху	23
2.5 Висновки	25
3 ПРОЕКТУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ МОЛОТКОВОЇ ДРОБАРКИ	26
3.1 Обґрунтування важливості питання	26
3.2 Вимоги до процесу подрібнення.....	27
3.3 Принцип роботи, переваги та недоліки молоткових дробарок	28
3.4 Патентний аналіз молоткових дробарок.....	30
3.5 Аналіз базової конструкції молоткової дробарки та обґрунтування напрямків її удосконалення	32

3.6 Розрахунок удосконаленого молотка	34
3.7 Розрахунок напямної деки.....	40
3.8 Розрахунок системи частотного регулювання приводу молоткової дробарки.....	45
3.9 Перевірочний розрахунок на міцність вала ротора	47
3.10 Висновки	49
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	51
4.1 Загальні правила безпеки при приготуванні кормів	51
4.2 Вимоги охорони праці при подрібненні зерна молотковим подрібнювачем	52
4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях	53
4.4 Висновки	54
5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗРОБКИ.....	55
5.1 Вихідні дані.....	55
5.2 Розрахунок показників економічної ефективності	56
5.3 Висновки	57
ВИСНОВКИ	58
БІБЛІОГРАФІЯ	60
ДОДАТКИ.....	62

ВСТУП

Однією з найважливіших умов ефективного ведення сучасного свинарства є забезпечення тварин повноцінними та збалансованими кормами. Значна частина поживних речовин засвоюється організмом тварин лише за умови належної підготовки кормів, важливим етапом якої є подрібнення зернових компонентів. Від якості подрібнення залежить ступінь засвоєння поживних речовин, продуктивність тварин, витрати кормів та економічна ефективність виробництва продукції тваринництва.

У технологічних лініях приготування комбікормів найбільшого поширення набули молоткові дробарки, які відзначаються простотою конструкції, універсальністю та високою продуктивністю. Разом з тим існуючі конструкції мають ряд недоліків, серед яких значні витрати енергії на процес подрібнення, нерівномірність гранулометричного складу готового продукту, інтенсивне зношування робочих органів та обмежені можливості регулювання технологічного процесу.

Підвищення ефективності роботи молоткових дробарок є актуальним завданням аграрного виробництва, оскільки дозволяє зменшити енерговитрати, покращити якість подрібнення кормів та збільшити ресурс роботи обладнання. Одним із перспективних напрямів удосконалення є модернізація робочих органів дробарки та вдосконалення конструкції камери подрібнення з метою підвищення інтенсивності руйнування зерна та зменшення непродуктивних втрат енергії.

Тема дипломного проєкту присвячена удосконаленню технологічного процесу приготування кормів для свиноферми шляхом модернізації молоткової дробарки. У проєкті виконано аналіз існуючих технологій і технічних засобів подрібнення зерна, обґрунтовано конструктивні рішення щодо удосконалення дробарки, проведено необхідні інженерні розрахунки, розроблено комплект конструкторської документації, а також виконано економічне обґрунтування запропонованих рішень.

Метою дипломного проєкту є підвищення ефективності процесу приготування кормів для свиноферми шляхом удосконалення конструкції молоткової дробарки та покращення її техніко-економічних показників.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз технологічного процесу приготування кормів на свинофермі;
- дослідити існуючі конструкції молоткових дробарок та визначити напрями їх удосконалення;
- розробити модернізовану конструкцію молоткової дробарки;
- виконати конструктивні, технологічні та енергетичні розрахунки;
- оцінити економічну ефективність запропонованого технічного рішення;
- розробити заходи з охорони праці та безпеки виробництва.

Практичне значення дипломного проєкту полягає у можливості впровадження удосконаленої молоткової дробарки в технологічний процес приготування кормів на свинофермах для підвищення продуктивності обладнання, покращення якості подрібнення кормів та зниження експлуатаційних витрат.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА

1.1 Загальні відомості про підприємство

Одним із господарств, що займається свинарством у Дніпропетровській області, є приватне підприємство «СІГМА», яке розташоване у селі Степове Дніпровського району. Підприємство спеціалізується на вирощуванні свиней та веденні сільськогосподарської діяльності. За даними відкритих реєстрів, господарство утримує значне поголів'я свиней, що свідчить про його виробничу спрямованість у галузі промислового свинарства.

Село Степове знаходиться у центральній частині Дніпропетровської області, в зоні степового Придніпров'я. Територія характеризується рівнинним рельєфом, значними площами орних земель та сприятливими умовами для вирощування зернових культур, які є основною кормовою базою для свинарства. Географічне розташування поблизу міста Дніпро та транспортних магістралей створює зручні умови для постачання кормів, реалізації продукції та забезпечення господарства матеріально-технічними ресурсами.

Клімат регіону помірно континентальний, із жарким та посушливим літом і відносно м'якою зимою. Середня температура влітку становить близько +22...+24 °С, а взимку – близько –4 °С. Річна кількість опадів є порівняно невеликою, що характерно для степової зони України. Такі кліматичні умови позитивно впливають на вирощування зернових та кормових культур, зокрема кукурудзи, ячменю та пшениці, які широко використовуються у виробництві комбікормів для свиней. Водночас високі літні температури можуть створювати стресові умови для тварин, тому на сучасних свинофермах важливе значення мають системи вентиляції, мікроклімату та безперебійного забезпечення водою.

Основною діяльністю господарства є вирощування свиней на м'ясо, а також забезпечення тварин кормами власного або місцевого виробництва. Для таких підприємств характерне використання механізованих технологічних ліній приготування та роздавання кормів, систем подрібнення зерна, транспортування

кормових сумішей і видалення гною. Важливу роль у роботі свиноферми відіграє процес підготовки концентрованих кормів, оскільки якість подрібнення зерна безпосередньо впливає на засвоюваність корму, прирости живої маси та економічну ефективність виробництва.

Свинарство у Дніпропетровській області має переважно індустріальний характер і є однією з важливих галузей агропромислового комплексу регіону. Розвиток великих та середніх свиногосподарств зумовлений наявністю потужної кормової бази, вигідним географічним положенням та розвинутою аграрною інфраструктурою.

1.2 Аналіз галузі тваринництва

Господарство функціонує в умовах розвинутого агропромислового регіону з потужною кормовою базою та сприятливими умовами для ведення промислового свинарства. Основним напрямом діяльності ферми є виробництво свинини шляхом вирощування та відгодівлі свиней із використанням концентрованих кормів, що виготовляються на основі зернових культур місцевого виробництва. Така спеціалізація є характерною для степових регіонів України, де наявність великих площ орних земель дозволяє забезпечувати тваринництво власними кормовими ресурсами та знижувати собівартість продукції.

Тваринництво базується на принципах інтенсивного виробництва, де головне значення мають продуктивність тварин, швидкість набору живої маси, ефективність використання кормів та мінімізація виробничих витрат. У структурі виробництва свинини значну частку витрат становлять саме корми, які можуть складати до 60–70 % собівартості продукції [1, 2]. Тому ефективність кормоприготування є одним із ключових факторів економічної результативності роботи ферми. Особливе значення має якість подрібнення зерна, адже ступінь помелу безпосередньо впливає на перетравність корму, коефіцієнт його засвоєння та прирости живої маси свиней.

Для забезпечення потреб свиноферми використовуються зернові культури, характерні для Дніпропетровської області, зокрема пшениця, ячмінь, кукурудза та інші концентровані корми. Регіон має добре розвинене рослинництво, що дозволяє господарству отримувати відносно дешеву сировину для виробництва комбікормів. Це є важливою перевагою, оскільки транспортування готових кормів на великі відстані значно збільшує витрати. Саме тому на більшості сучасних свиноферм застосовуються власні кормоцехи, у яких здійснюється очищення, подрібнення, змішування та підготовка кормових сумішей.

Кліматичні умови Дніпропетровської області також мають суттєвий вплив на функціонування тваринницької галузі. Регіон знаходиться у степовій зоні України, для якої характерні жарке літо, недостатня кількість опадів та значні коливання температур протягом року. У літній період температура повітря може перевищувати $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$, що створює ризик теплового стресу у свиней. Внаслідок цього знижується апетит тварин, погіршується приріст живої маси та підвищуються витрати кормів. Тому для свиноферм велике значення мають системи вентиляції, охолодження та підтримання оптимального мікроклімату в приміщеннях. Взимку ж необхідно забезпечувати стабільний температурний режим, особливо у приміщеннях для молодняка та поросних свиноматок.

Одним із напрямів розвитку тваринництва на свинофермі є автоматизація виробничих процесів. На підприємстві застосовуються механізовані системи транспортування кормів, автоматичні лінії годування, системи напування та видалення гною. Це дозволяє зменшити затрати ручної праці, підвищити продуктивність та покращити санітарно-гігієнічні умови утримання тварин. Крім того, автоматизація сприяє точнішому дозуванню кормів і дотриманню раціонів, що позитивно впливає на конверсію корму та економічні показники господарства.

Суттєвою проблемою є висока енергоємність виробництва. Значні витрати електроенергії припадають на процеси подрібнення зерна, транспортування кормів, вентиляції приміщень та підтримання мікроклімату. У зв'язку з цим особливо актуальним є впровадження енергоощадного обладнання та

вдосконалення конструкцій машин для кормоприготування. Саме тому дослідження процесів подрібнення концентрованих кормів та розробка ефективних конструкцій дробарок мають важливе практичне значення для підвищення ефективності роботи свиноферм.

У цілому галузь тваринництва на свинофермі ПП «СІГМА» характеризується інтенсивним типом виробництва, високим рівнем залежності від якості кормів та ефективності технологічних процесів. Основними напрямками підвищення ефективності роботи господарства є вдосконалення систем кормоприготування, зниження енерговитрат, автоматизація виробничих процесів та забезпечення оптимальних умов утримання тварин. Саме тому модернізація обладнання для подрібнення концентрованих кормів є важливим для підвищення продуктивності та економічної ефективності свиноферми.

1.3 Перспективний план розвитку тваринництва на підприємстві

З огляду на зростання споживчого попиту на свинину та стабільно високий рівень закупівельних цін на живу вагу свиней, перспективний план розвитку тваринництва на підприємстві ПП «СІГМА» передбачає збільшення обсягів виробництва продукції свинарства шляхом удосконалення технології утримання та годівлі тварин. Одним із головних напрямів розвитку є модернізація кормоцеху та впровадження більш енергоефективного обладнання для подрібнення і приготування концентрованих кормів, що дозволить підвищити якість кормових сумішей та зменшити виробничі витрати.

Також перспективним є підвищення рівня механізації та автоматизації виробничих процесів, зокрема систем годування, вентиляції та підтримання мікроклімату в тваринницьких приміщеннях. Це сприятиме покращенню умов утримання свиней, збільшенню приростів живої маси та зниженню витрат праці.

Подальший розвиток підприємства може бути пов'язаний із розширенням поголів'я свиней, удосконаленням племінної роботи та впровадженням сучасних технологій відгодівлі. Важливим напрямом також залишається підвищення

енергоефективності виробництва та зниження собівартості продукції, що забезпечить конкурентоспроможність господарства на ринку продукції тваринництва.

1.4 Вибір та обґрунтування теми дипломного проєкту

Вибір теми дипломного проєкту «Удосконалення технологічного процесу приготування кормів для свиноферми з удосконаленням молоткової дробарки» обумовлений актуальністю підвищення ефективності виробництва продукції свинарства в сучасних умовах розвитку агропромислового комплексу України. Свинарство є однією з провідних галузей тваринництва, яка забезпечує населення важливими продуктами харчування, а переробну промисловість – сировиною. У зв'язку зі зростанням попиту на свинину та необхідністю зниження собівартості продукції особливого значення набуває вдосконалення технологічних процесів приготування кормів, оскільки витрати на корми становлять основну частину витрат у структурі виробництва свинини.

Ефективність годівлі свиней значною мірою залежить від якості підготовки концентрованих кормів, зокрема від ступеня подрібнення зернової сировини. Недостатньо якісний помел призводить до погіршення засвоюваності кормів, перевитрати енергетичних ресурсів та зниження приростів живої маси тварин. Тому одним із найважливіших елементів технологічної лінії кормоприготування є подрібнювач зерна, від конструктивних та технологічних параметрів якого залежать продуктивність, енергоємність процесу та якість готового продукту.

На свинофермах широко застосовуються молоткові дробарки, які характеризуються простотою конструкції, універсальністю та високою продуктивністю. Разом з тим існуючі конструкції часто мають ряд недоліків, серед яких значні витрати електроенергії, нерівномірність фракційного складу подрібненого матеріалу, підвищений знос робочих органів та недостатня ефективність процесу подрібнення. Це зумовлює необхідність удосконалення конструкції молоткових дробарок з метою підвищення ефективності їх роботи та

покращення техніко-економічних показників технологічного процесу приготування кормів [2].

Удосконалення технологічного процесу приготування кормів шляхом модернізації молоткової дробарки дозволить підвищити якість подрібнення зернових компонентів, забезпечити більш рівномірний гранулометричний склад корму, зменшити енерговитрати та підвищити продуктивність технологічної лінії. Це сприятиме покращенню засвоюваності кормів тваринами, збільшенню приростів живої маси свиней та підвищенню економічної ефективності роботи свиноферми в цілому.

Таким чином, тема дипломного проєкту є актуальною як з наукової, так і з практичної точки зору, оскільки спрямована на вирішення важливого завдання підвищення ефективності технологічних процесів у галузі свинарства шляхом удосконалення обладнання для приготування концентрованих кормів.

1.5 Висновок

Проведений аналіз діяльності свиноферми та особливостей технологічного процесу приготування кормів показав, що ефективність виробництва продукції свинарства значною мірою залежить від якості підготовки концентрованих кормів і технічного рівня обладнання кормоцеху. Встановлено, що процес подрібнення зерна є одним із найбільш енергоємних етапів кормоприготування, а використання існуючих молоткових дробарок часто супроводжується значними витратами електроенергії та недостатньою рівномірністю помелу.

У зв'язку з цим удосконалення технологічного процесу приготування кормів шляхом модернізації молоткової дробарки є актуальним і перспективним напрямом підвищення ефективності роботи свиноферми. Реалізація запропонованих заходів дозволить покращити якість подрібнення кормів, знизити енерговитрати, підвищити продуктивність технологічної лінії та забезпечити зменшення собівартості продукції свинарства.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ПРИГОТУВАННЯ КОРМІВ НА СВИНОФЕРМІ

2.1 Структура та склад технологічних ліній кормоцеху

Організація виробничого процесу приготування кормів на свинофермі визначається насамперед структурою кормового раціону і способом утримання тварин. Для господарств, де утримання свиней ведеться за цеховою системою – з розподілом поголів'я на підсисних свиноматок, поросят на дорощуванні та відгодівельне поголів'я – кормоцех повинен забезпечити різні рецептури для кожної виробничої групи. Це означає, що технологічна схема не може бути однолінійною: вона включає кілька паралельних потоків обробки сировини, що сходяться у вузлі змішування [3].

У типовому кормоцеху для свиноферми виділяють такі основні технологічні лінії:

- лінія концентрованих кормів (зернові, комбікорми, шроти) – включає прийом, зберігання у бункерах, очищення від металодомішок і механічних забруднень, подрібнення та дозування;
- лінія коренебульбоплодів – миття, подрібнення та транспортування до змішувача;
- лінія грубих кормів (сіно, солома, трав'яне борошно) – подрібнення до розміру частинок 1–2 мм;
- лінія рідких компонентів і поживних розчинів – підготовка мінеральних і вітамінних добавок, сироватки, відвару картоплі;
- вузол дозування і змішування – об'єднує всі компоненти у готову кормову суміш із рівномірністю змішування не менше 90% за масою кожного компонента.

Базовою технологічною операцією, яка визначає продуктивність усього кормоцеху, є змішування. Воно може здійснюватися за порційним або потоковим принципом. Порційний спосіб передбачає накопичення всіх компонентів у замірній ємності з наступним одночасним введенням до змішувача. Цей варіант забезпечує кращу рівномірність суміші, але вимагає більших за обсягом ємностей і більш складного обладнання для дозування. Поточний спосіб характеризується безперервним надходженням компонентів до змішувача, що спрощує обладнання, однак складніше підтримувати стабільне співвідношення компонентів у часі [4].

2.2 Зоотехнічні вимоги до подрібнення зернових кормів для свиней

Якість подрібнення зернових кормів є одним з визначальних чинників ефективності годівлі свиней. Ступінь подрібнення впливає не лише на перетравність корму, але й на рівень пилоутворення, умови транспортування та споживання енергії дробарками. Науково обґрунтовані зоотехнічні рекомендації, закладені в галузеві нормативи, встановлюють три ступені помелу зернових: дрібний (середній розмір часток 0,2–1,0 мм), середній (1,0–1,8 мм) та крупний (1,8–2,6 мм). Для свиней усіх вікових груп рекомендований дрібний помел, тоді як для великої рогатої худоби застосовують середній та крупний [4].

Разом з тим дослідження показують, що надмірне подрібнення справляє негативний вплив: збільшується вихід пилоподібної фракції, яка погано змочується слиною та утворює грудки в шлунку, що знижує засвоєння поживних речовин. Пиловидні частки шкідливі для дихальних шляхів обслуговуючого персоналу та самих тварин, крім того пришвидшують знос решіт і молотків дробарки. Тому оптимальний розмір часток для свиней відгодівельних груп – від 0,5 до 1,0 мм, для поросят на дорощуванні – до 0,5 мм [4].

Таблиця 2.1 – Зоотехнічні вимоги до кормових сумішей для свиней

Показник	Норма для свиней
Вологість готової суміші, %	60–80
Рівномірність змішування, %	не менше 90
Допустиме відхилення концентратів за масою, %	± 5
Допустиме відхилення мінеральних добавок, %	± 5
Допустиме відхилення харчових відходів, %	± 5
Розмір часток зернових (дрібний помел), мм	0,2–1,0
Розмір часток коренеплодів для свиней, мм	5–10
Металеві домішки (до 2 мм, незагострені), мг/кг	не більше 30
Домішки землі, %	не більше 1–2

Таким чином, вибір типу і параметрів дробарки для зернових кормів на свинофермі обов'язково повинен враховувати необхідність одержання фракції переважно в діапазоні 0,5–1,0 мм при мінімальному виході пилу (частки менше 0,1 мм). Молоткові дробарки, на відміну від вальцових, дозволяють досягати таких розмірів часток завдяки гнучкому регулюванню – зміною розміру отворів у решеті.

2.3. Технологічний процес приготування комбікорму

Технологічний процес приготування комбікорму (рис 1.2) являє собою сукупність послідовних операцій, спрямованих на підготовку, обробку та змішування кормових компонентів для отримання готового продукту із заданими поживними властивостями. Якість виконання кожного етапу безпосередньо впливає на поживну цінність корму, продуктивність тварин та економічну ефективність виробництва [5,6].

Першим етапом є приймання та зберігання сировини. До складу комбікорму можуть входити зернові культури, білкові компоненти, мінеральні та вітамінні добавки. Під час приймання здійснюється контроль якості сировини, визначаються її вологість, засміченість та відповідність встановленим вимогам. Після цього компоненти розміщуються у складах або бункерах, де забезпечуються належні умови зберігання для запобігання псуванню та втраті поживних властивостей [5,6].

Наступним етапом є подрібнення сировини. Для цього використовують молоткову дробарку, в якій зерно руйнується ударами молотків, що обертаються з великою швидкістю. Подрібнення забезпечує отримання частинок необхідного розміру, що сприяє кращому засвоєнню корму тваринами та підвищує рівномірність розподілу компонентів під час змішування. Ступінь подрібнення залежить від виду тварин і вимог до готового комбікорму [5,6].

Після подрібнення проводиться дозування компонентів. Кожен інгредієнт подається у змішувач у кількості, передбаченій рецептурою. Точність дозування має важливе значення, оскільки від неї залежить збалансованість комбікорму за поживними речовинами, мінералами та вітамінами [5,6].

Далі здійснюється змішування компонентів. У змішувачі всі складові комбікорму ретельно перемішуються до отримання однорідної суміші. Метою цього процесу є рівномірний розподіл усіх інгредієнтів у загальній масі корму, що забезпечує однакову поживну цінність кожної його порції [5,6].

За необхідності кормова суміш надходить на гранулювання. Під час цього процесу суміш під дією тиску продавлюється через отвори матриці гранулятора, утворюючи гранули заданого діаметра. Гранулювання покращує фізичні властивості комбікорму, зменшує його розшарування під час транспортування та зберігання, підвищує поїдання корму тваринами та сприяє зниженню втрат [5-7].

Після гранулювання гарячі гранули надходять на охолодження. У процесі охолодження знижується температура та частково видаляється надлишкова волога, що підвищує міцність гранул і забезпечує їх тривале зберігання без втрати якості [5,6].

Завершальним етапом технологічного процесу є фасування та зберігання готового комбікорму. Готовий продукт фасується в мішки або подається до накопичувальних бункерів для зберігання насипом. Під час зберігання необхідно підтримувати оптимальні умови вологості та температури, що дозволяє зберегти якість комбікорму до моменту його використання або реалізації споживачам [5,6].

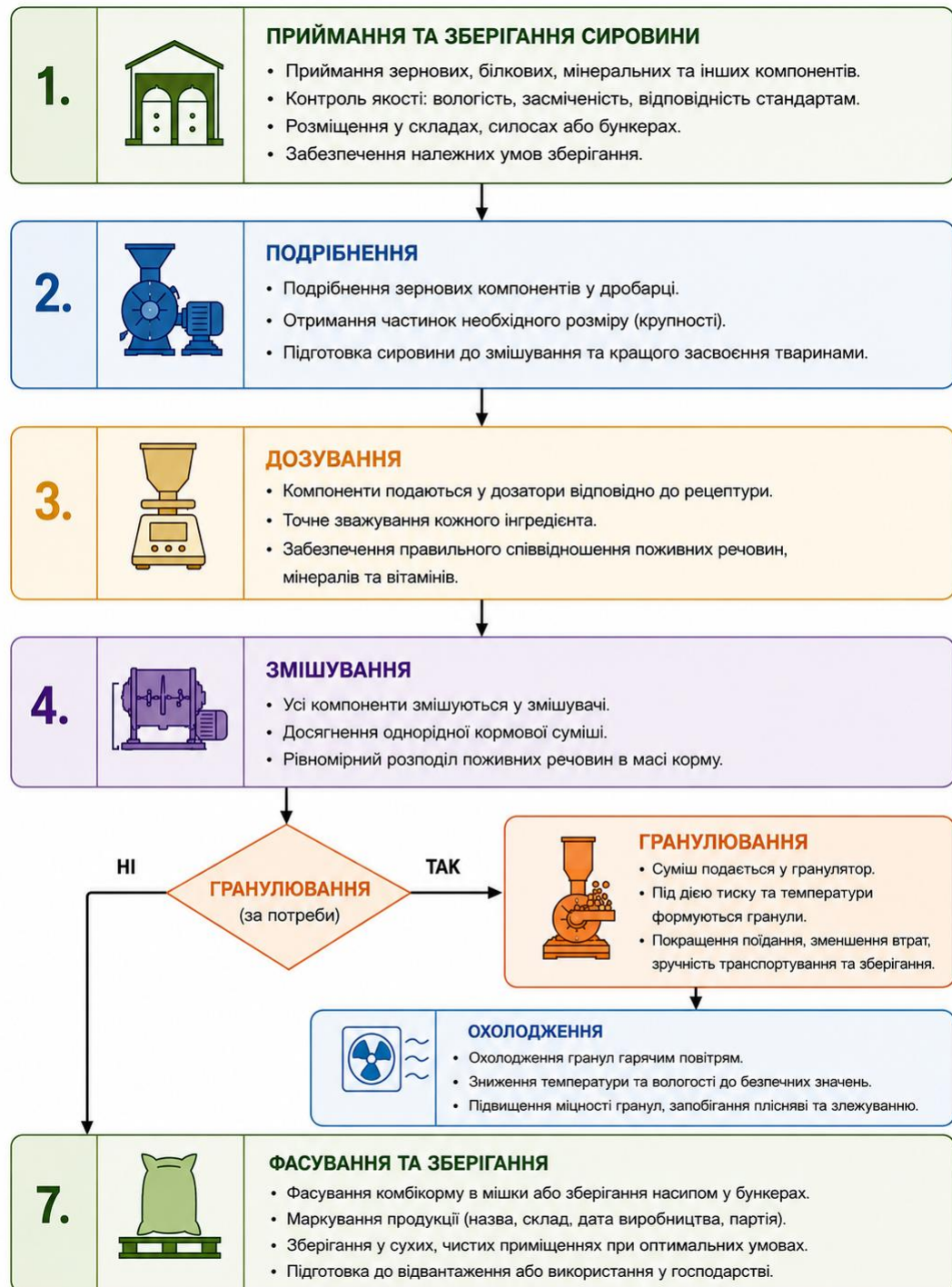


Рисунок 2.1 – Технологічний процес приготування комбікорму

2.4. Розрахунок основних параметрів технологічної лінії концентрованих кормів

2.4.1 Визначення добової потреби в подрібненому зерні

Розрахунок ведеться виходячи з поголів'я ферми та норм годівлі для кожної виробничої групи. Приймаємо такі вихідні дані для ферми з товарним свинарством:

Таблиця 2.2 – Поголів'я та норми годівлі концентратами

Група тварин	Кількість голів	Норма концентратів, кг/гол/добу	Добова потреба, кг/добу
Кнури-плідники	5	3,0	15,0
Свиноматки підсосні	50	5,5	275,0
Свиноматки холості та поросні	80	2,8	224,0
Поросята-відлучнята (до 4 міс.)	200	1,0	200,0
Молодняк на дорощуванні	300	1,8	540,0
Відгодівельне поголів'я	600	2,5	1500,0
РАЗОМ	1235	—	2754,0

Добова потреба в подрібнених концентрованих кормах $Q_{\text{доб}} = 2754$ кг/добу.

Враховуючи, що не все зерно надходить у дробарку (частина кормів може бути у вигляді готового комбікорму, макухи тощо), коефіцієнт завантаження дробарки зерновими культурами приймаємо $\eta = 0,75$. Тоді добова кількість зерна, що підлягає подрібненню:

$$Q_{\text{зерн}} = Q_{\text{доб}} \cdot \eta, \text{ кг/добу}, \quad (2.1)$$

де $Q_{\text{доб}}$ – добова потреба у концентрованих кормах, кг/добу;

η – коефіцієнт завантаження дробарки зерновими культурами.

$$Q_{\text{зерн}} = 2754 \cdot 0,75 = 2065 \text{ кг/добу}$$

Кормоцех працює 1 зміну по 8 годин, з урахуванням коефіцієнта використання часу $\varphi = 0,8$ (підготовча-заключна операції, технічне обслуговування). Ефективний час роботи кормоцеху:

$$T_{\text{роб}} = T_{\text{зм}} \cdot \varphi, \text{ год} \quad (2.2)$$

$T_{\text{зм}}$ – тривалість зміни, год;

φ – коефіцієнт використання робочого часу.

$$T_{\text{роб}} = 8 \cdot 0,8 = 6,4 \text{ год}$$

Необхідна технологічна продуктивність дробарки:

$$Q_{\text{дроб}} = \frac{Q_{\text{зерн}}}{T_{\text{роб}}}, \text{ кг/год}, \quad (2.3)$$

$$Q_{\text{дроб}} = \frac{2065}{6,4} = 322,7 \text{ кг/год}$$

З урахуванням нерівномірності завантаження та пікових навантажень під час двох основних годівель (ранкова та вечірня) вводимо коефіцієнт нерівномірності $k = 1,3$.

Розрахункова продуктивність дробарки становитиме:

$$Q_{\text{розр}} = Q_{\text{дроб}} \cdot k, \text{ кг/год}, \quad (2.4)$$

де k – коефіцієнт нерівномірності завантаження.

$$Q_{\text{розр}} = 323 \cdot 1,3 = 419,9 \text{ кг/год}$$

Таким чином, для забезпечення безперебійної роботи кормоцеху необхідна дробарка з продуктивністю не менше 420 кг/год при розмірі отворів решета 2,0 мм (дрібний помел для свиней).

2.4.2. Розрахунок режиму роботи кормоцеху

Режим роботи кормоцеху визначається розпорядком дня ферми: годівля проводиться двічі на добу – вранці (7:00–8:30) та ввечері (16:00–17:30). Тобто за 3 години обслуговування ферми необхідно приготувати денну норму раціону. З урахуванням цього кормоцех повинен мати резервну буферну ємність – бункер готової кормової суміші місткістю не менше 50% добової потреби.

Добова потреба в готовій кормосуміші (концентрати + соковиті + рідкі компоненти):

$$Q_{\text{суміш}} = Q_{\text{конц}} + Q_{\text{сок}} + Q_{\text{рід}}, \text{ кг/добу}, \quad (2.5)$$

де $Q_{\text{конц}}$ – концентровані корми, кг/добу;

$Q_{\text{сок}}$ – соковиті корми, кг/добу;

$Q_{\text{рід}}$ – рідкі компоненти, кг/добу.

$$Q_{\text{суміш}} = 2754 + 800 + 350 = 3904 \text{ кг/добу}$$

Продуктивність змішувача повинна забезпечити приготування 3,9 т суміші за ефективний робочий час (6,4 год).

Розраховуємо продуктивність змішувача:

$$Q_{\text{зміш}} = \frac{Q_{\text{суміш}}}{T_{\text{роб}}}, \text{ кг/год}, \quad (2.6)$$

$$Q_{\text{зміш}} = \frac{3904}{6,4} = 610 \text{ кг/год}$$

Обирається запарник-змішувач типу С-12А з номінальним об'ємом 1 м³ та продуктивністю 700–900 кг/год при тривалості одного циклу 40–50 хв. За добу проводиться 8–12 циклів змішування, що відповідає розрахунковим потребам ферми.

Таблиця 2.3 – Розрахунковий годинний баланс роботи технологічних ліній

Технологічна лінія	Розрахункова потужність	Тривалість роботи на добу, год	Встановлена потужність, кВт
Лінія концентрованих кормів	420 кг/год	4,9	7,5
Лінія коренебульбоплодів	200 кг/год	4,0	10,5
Вузол дозування та змішування	700 кг/год	5,6	15,0
Транспортна система	—	6,4	5,5
Всього	—	—	38,5

2.5 Висновки

На підставі виконаного аналізу технологічного процесу приготування кормів та розрахунків параметрів основного обладнання встановлено таке.

1. Технологічна схема кормоцеху для свиноферми з поголів'ям 1235 голів включає чотири основні лінії: лінію концентрованих кормів, лінію коренебульбоплодів, лінію грубих кормів та вузол рідких компонентів. Базовою операцією є змішування, що здійснюється порційним методом з використанням запарника-змішувача С-12А.

2. Зоотехнічні вимоги для свиней передбачають дрібний помел (0,2–1,0 мм) з рівномірністю змішування не менше 90%. Ці норми обумовлюють вибір молоткового дробарки з решетом 2 мм як основного агрегату лінії концентрованих кормів.

3. Розрахункова добова потреба в подрібненому зерні становить 2065 кг, що при роботі кормоцеху в одну зміну (8 год) з урахуванням коефіцієнтів нерівномірності та використання часу визначає необхідну продуктивність дробарки – 420 кг/год.

3 ПРОЕКТУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ МОЛОТКОВОЇ ДРОБАРКИ

3.1 Обґрунтування важливості питання

Однією з найважливіших операцій у технологічному процесі приготування кормів для свиней є подрібнення зернової сировини. Від якості виконання цього процесу значною мірою залежить засвоюваність поживних речовин, ефективність використання кормів та продуктивність тварин. Для подрібнення зерна на більшості тваринницьких підприємств широко застосовуються молоткові дробарки, які відзначаються простотою конструкції, надійністю та універсальністю.

Разом із тим існуючі конструкції молоткових дробарок мають низку недоліків. До основних з них належать значні витрати електроенергії, нерівномірність гранулометричного складу подрібненого матеріалу, інтенсивне зношування робочих органів та недостатня продуктивність при переробці різних видів зернових культур. У сучасних умовах зростання вартості енергоресурсів та необхідності підвищення економічної ефективності виробництва питання удосконалення конструкції дробарок набуває особливої актуальності [1,2].

Підвищення ефективності роботи молоткової дробарки дозволяє забезпечити зменшення питомих енерговитрат на процес подрібнення, покращення якості готового продукту, збільшення продуктивності обладнання та зниження експлуатаційних витрат. Особливе значення має вдосконалення конструкції ротора, молотків, деки та системи сепарації подрібненого матеріалу, що сприяє більш раціональному використанню енергії удару та підвищенню інтенсивності руйнування зерна [1,2].

Для свиноферм удосконалення молоткових дробарок є важливим резервом підвищення ефективності кормовиробництва, оскільки витрати на приготування кормів становлять значну частку собівартості продукції свинарства. Використання більш досконалого подрібнювального обладнання дозволяє

покращити технологічний процес приготування комбікормів, підвищити їх якість та забезпечити економію матеріальних і енергетичних ресурсів.

Таким чином, удосконалення молоткової дробарки є актуальним технічним завданням, спрямованим на підвищення ефективності процесу подрібнення зерна, зменшення енерговитрат і покращення техніко-економічних показників роботи кормоприготувальних ліній свиноферм.

3.2 Вимоги до процесу подрібнення

Основною вимогою до процесу подрібнення є забезпечення необхідного гранулометричного складу готового продукту. Розмір частинок повинен відповідати зоотехнічним вимогам до кормів для певного виду та вікової групи тварин. Надмірно великі частинки погіршують перетравність корму, а надто дрібні можуть спричиняти втрати поживних речовин, запиленість та негативно впливати на стан здоров'я тварин.

Важливою вимогою є однорідність подрібненого матеріалу. Наявність значної кількості як дуже великих, так і надмірно дрібних частинок свідчить про низьку якість процесу подрібнення та ускладнює подальше змішування компонентів комбікорму. Тому дробарка повинна забезпечувати отримання продукту з мінімальним відхиленням розмірів частинок від заданого значення.

Процес подрібнення має характеризуватися мінімальними питомими витратами енергії. Зменшення енергоємності досягається за рахунок раціонального вибору конструкції робочих органів, режимів роботи обладнання та оптимізації параметрів подрібнення. Зниження енергоспоживання без погіршення якості продукту є одним із головних напрямів удосконалення дробильного обладнання [8].

Необхідною вимогою є висока продуктивність подрібнювальної машини, яка повинна забезпечувати переробку необхідної кількості сировини за визначений проміжок часу. При цьому підвищення продуктивності не повинно призводити до погіршення якості подрібнення або збільшення енерговитрат.

Важливе значення має збереження поживної цінності кормів під час подрібнення. У процесі роботи необхідно уникати надмірного нагрівання матеріалу, оскільки підвищення температури може призводити до руйнування окремих біологічно активних речовин і погіршення якості корму.

Процес подрібнення повинен забезпечувати безпечні умови праці, мінімальний рівень шуму та запиленості виробничого приміщення. Конструкція дробарки має відповідати вимогам охорони праці та екологічної безпеки.

Отже, сучасний процес подрібнення повинен забезпечувати отримання продукту необхідної крупності та однорідності при мінімальних витратах енергії, високій продуктивності, збереженні поживних властивостей корму та дотриманні вимог безпеки експлуатації обладнання.

3.3 Принцип роботи, переваги та недоліки молоткових дробарок

Молоткові дробарки належать до найбільш поширених машин для подрібнення зернових матеріалів у сільському господарстві. Вони застосовуються у кормоприготувальних цехах, комбикормових заводах, фермерських господарствах та інших підприємствах агропромислового комплексу. Їх широке використання пояснюється простотою конструкції, надійністю в роботі та здатністю переробляти різні види зернової сировини.

Основними елементами молоткової дробарки є корпус, завантажувальний бункер, ротор із шарнірно підвішеними або жорстко закріпленими молотками, решето (сито), дека, приводний механізм та вивантажувальний пристрій. Робочим органом дробарки є ротор з молотками, який обертається з високою кутовою швидкістю.

Принцип роботи молоткової дробарки полягає в руйнуванні частинок матеріалу під дією ударних навантажень. Зерно через завантажувальний пристрій надходить до робочої камери, де захоплюється потоком повітря та молотками ротора. У результаті багаторазових ударів молотків по зерну, а також ударів частинок об деку, внутрішні поверхні корпусу та між собою відбувається

їх руйнування. Подрібнений матеріал утримується в робочій камері до тих пір, поки його розміри не стануть меншими за отвори решета. Після цього готовий продукт проходить крізь отвори решета та вивантажується з дробарки.

Ефективність роботи молоткової дробарки визначається конструкцією робочих органів, частотою обертання ротора, кількістю та формою молотків, параметрами решета, величиною зазору між молотками і декою, а також фізико-механічними властивостями матеріалу, що подрібнюється.

До основних переваг молоткових дробарок належать простота конструкції та обслуговування, універсальність використання для різних видів сировини, висока продуктивність, можливість отримання різного ступеня подрібнення шляхом заміни решіт та зміни режимів роботи. Важливою перевагою є також відносно невисока вартість виготовлення та ремонту обладнання.

Разом з тим молоткові дробарки мають ряд недоліків. Одним із головних є значна енергоємність процесу подрібнення, оскільки руйнування матеріалу відбувається переважно ударним способом. Суттєвим недоліком є також нерівномірність гранулометричного складу готового продукту, що проявляється у наявності як надто дрібних, так і відносно великих частинок. Під час роботи спостерігається інтенсивне зношування молотків, решіт та інших елементів робочої камери, що призводить до збільшення витрат на технічне обслуговування.

До недоліків також належать підвищений рівень шуму та запиленості, значні динамічні навантаження на конструкцію, а також можливе нагрівання продукту при тривалому перебуванні в робочій камері. Це може негативно впливати на якість кормів та сприяти додатковим втратам енергії.

Сучасні напрями удосконалення молоткових дробарок спрямовані на зниження питомих енерговитрат, підвищення рівномірності подрібнення, збільшення довговічності робочих органів та покращення аеродинамічних умов у робочій камері. Для цього застосовують багатогранні молотки зі збільшеним ресурсом роботи, удосконалені деки, оптимізовані конструкції решіт,

регулювання зазорів між робочими органами та використання сучасних матеріалів для виготовлення деталей, що зношуються.

Таким чином, молоткові дробарки залишаються одним із найефективніших засобів подрібнення зернових матеріалів, однак потребують подальшого вдосконалення з метою підвищення якості подрібнення та зниження енергетичних витрат процесу.

3.4 Патентний аналіз молоткових дробарок

Патентний аналіз показує, що одним із основних напрямів удосконалення молоткових дробарок є підвищення ефективності процесу подрібнення, зниження енергоємності та покращення гранулометричного складу готового продукту. Значна кількість сучасних винаходів спрямована на вдосконалення конструкції ротора, молотків, решіт, деки та систем класифікації подрібненого матеріалу.

Одним із перспективних напрямів є використання вібраційних решіт. У патенті US6330982B1 «Hammer mill» запропоновано конструкцію молоткової дробарки з активною вібраційною системою решета [9]. Така конструкція дозволяє підвищити інтенсивність проходження подрібненого матеріалу через отвори сита, зменшити його забивання та забезпечити більш рівномірний гранулометричний склад продукту. Автори відзначають також зниження енерговитрат і можливість отримання більш дрібного помелу порівняно з традиційними конструкціями.

Іншим важливим напрямом є вдосконалення конструкції молотків та способів їх кріплення. У патенті EP0337137A2 «A hammer mill for crushing ore and the like materials» запропоновано спеціальне клиноподібне кріплення молотків до ротора за принципом «ластівчиного хвоста». Така система забезпечує надійне утримання робочих органів під дією відцентрових сил, зменшує ризик їх зміщення та підвищує довговічність конструкції.

У патенті US4315605 «Hammer mill rotor» розглядається використання гнучких ударних елементів замість традиційних металевих молотків [10].

Запропонована конструкція дозволяє зменшити ударні навантаження на ротор, знизити рівень вібрацій та спростити адаптацію дробарки до різних видів матеріалів.

Суттєва увага в сучасних патентах приділяється підвищенню ресурсу роботи молотків. У патенті US10486160 «Method of replacing hammers and spacers» описано конструкцію швидкозмінних молотків із підвищеною твердістю робочих крайок [11]. Таке рішення сприяє збільшенню строку служби робочих органів та скороченню часу технічного обслуговування дробарки.

Окремий напрям удосконалення пов'язаний із забезпеченням більш тонкого подрібнення зерна. У патенті EP0641601A2 «Agricultural hammermill and method of fine grinding grain» запропоновано конструктивні рішення для отримання дрібнодисперсного продукту при збереженні високої продуктивності обладнання [12]. Особлива увага приділяється оптимізації швидкості ротора та конфігурації робочих органів.

Перспективним напрямом також є створення безрешітних молоткових дробарок. У таких конструкціях розділення частинок відбувається за рахунок аеродинамічної класифікації, а не через сито. Це дозволяє зменшити втрати енергії, усунути проблему забивання решіт та підвищити надійність роботи обладнання. За даними розробників, подібні системи можуть бути енергоефективнішими порівняно з традиційними дробарками.

Аналіз патентних джерел свідчить, що основними напрямками розвитку молоткових дробарок є підвищення якості подрібнення, зниження питомих енерговитрат, удосконалення конструкції молотків і ротора, збільшення довговічності робочих органів та покращення умов проходження матеріалу через робочу камеру. Більшість сучасних технічних рішень спрямовані на усунення основних недоліків традиційних молоткових дробарок, зокрема нерівномірності помелу, високої енергоємності та інтенсивного зношування деталей.

Таким чином, результати патентного аналізу підтверджують актуальність удосконалення молоткових дробарок та свідчать про доцільність пошуку нових конструктивних рішень, спрямованих на підвищення ефективності процесу

подрібнення зерна та покращення техніко-економічних показників роботи обладнання.

3.5 Аналіз базової конструкції молоткової дробарки та обґрунтування напрямків її удосконалення

Як базову конструкцію для модернізації обрано молоткову дробарку KRAFT-4 виробництва ТОВ «ТехноМашСтрой» (рис. 3.1). Дана машина призначена для подрібнення зернових культур при виробництві комбікормів у фермерських та особистих господарствах. Дробарка характеризується простою конструкцією, компактними габаритними розмірами та порівняно невеликим енергоспоживанням.



Рисунок 3.1 – Молоткова дробарка KRAFT-4

Основними технічними характеристиками дробарки KRAFT-4 є потужність електродвигуна 4 кВт, частота обертання ротора 3000 об/хв та продуктивність до 400 кг/год. Подрібнення зерна здійснюється за рахунок

багаторазової ударної дії молотків, закріплених на роторі, з подальшим проходженням частинок через отвори змінного сита.

До переваг базової конструкції належать простота виготовлення та обслуговування, висока надійність, можливість використання сит з різним діаметром отворів, а також відносно низька вартість обладнання. Крім того, дробарка забезпечує достатню продуктивність для невеликих свиноферм та інших тваринницьких господарств.

Разом з тим аналіз конструкції та умов експлуатації показав наявність ряду недоліків. Одним із головних недоліків є обмежений ресурс молотків, оскільки в базовій конструкції використовуються прямокутні молотки з двома робочими крайками. Після зношування обох крайок молоток підлягає заміні, що призводить до збільшення витрат на технічне обслуговування та простоїв обладнання.

Іншим недоліком є недостатня ефективність використання внутрішнього об'єму робочої камери. Значна частина зернового матеріалу після першого удару молотка переміщується вздовж корпусу без достатньої кількості повторних контактів з робочими органами. Це знижує інтенсивність процесу подрібнення та негативно впливає на рівномірність гранулометричного складу готового продукту.

Крім того, конструкція дробарки не дозволяє змінювати режим роботи залежно від виду сировини та необхідного ступеня подрібнення. Робота ротора відбувається лише при номінальній частоті обертання електродвигуна, що не завжди забезпечує найбільш раціональне використання енергії.

Для усунення зазначених недоліків пропонується виконати комплексне удосконалення конструкції дробарки.

Першим напрямком модернізації є застосування молотків удосконаленої конструкції. На відміну від базових молотків, які мають один отвір для підвішування та фактично використовують дві робочі крайки, запропонований молоток має прямокутну форму, два отвори для кріплення та чотири робочі крайки. Після зношування однієї крайки молоток може бути повернутий або

переставлений на другий отвір, що забезпечує послідовне використання всіх чотирьох робочих поверхонь. Таке конструктивне рішення дозволяє більш повно використовувати матеріал молотка, зменшує витрати на запасні частини та збільшує ресурс комплекту молотків без зміни кінематичної схеми дробарки.

Другим напрямком модернізації є встановлення всередині робочої камери напрямної деки. Дека розташовується у нижній частині корпусу між ротором і ситом та виконує функцію спрямування потоку частинок у зону повторного ударного впливу молотків. Внаслідок цього збільшується активна зона подрібнення, покращується використання внутрішнього об'єму робочої камери та підвищується інтенсивність процесу руйнування зерна.

Третім напрямком модернізації є впровадження частотного регулювання приводу ротора шляхом встановлення частотного перетворювача. Це дозволить змінювати частоту обертання ротора залежно від фізико-механічних властивостей зерна та необхідної крупності готового продукту. Використання частотного регулювання сприятиме зниженню питомих витрат електроенергії та забезпечить більш гнучке налаштування технологічного процесу.

Таким чином, запропоновані конструктивні удосконалення спрямовані на підвищення довговічності робочих органів, покращення умов взаємодії частинок зерна з молотками та підвищення ефективності використання енергії, що позитивно вплине на техніко-економічні показники молоткової дробарки та якість подрібнення зерна.

3.6 Розрахунок удосконаленого молотка

Одним із напрямків модернізації молоткової дробарки KRAFT-4 є заміна стандартних молотків на молотки удосконаленої конструкції. Запропонований молоток має прямокутну форму, два отвори для кріплення та чотири робочі крайки, що дозволяє збільшити ресурс роботи без зміни конструкції ротора.

Для розрахунку приймаємо:

- довжина молотка $l = 120\text{мм}$;

- ширина молотка $b = 50\text{мм}$;
- товщина молотка $h = 5\text{мм}$;
- діаметр отворів $d = 12\text{мм}$;
- густина сталі 65Г $\rho = 7850\text{кг/м}^3$.

Площа прямокутної заготовки:

$$A_1 = l \cdot b, \text{мм}^2, \quad (3.1)$$

де l – довжина молотка, мм;

b – ширина молотка, мм.

$$A_1 = 120 \cdot 50 = 6000 \text{ мм}^2$$

Площа двох отворів:

$$A_2 = 2 \cdot \frac{\pi d^2}{4}, \text{мм}^2, \quad (3.2)$$

d – діаметр отвору, мм.

$$A_2 = 2 \cdot \frac{3,14 \cdot 12^2}{4} = 226,1 \text{ мм}^2$$

Фактична площа молотка:

$$A = A_1 - A_2, \text{мм}^2, \quad (3.3)$$

$$A = 6000 - 226,1 = 5773,9 \text{ мм}^2$$

Визначення об'єму молотка:

$$V = A \cdot h, \text{ мм}^3, \quad (3.4)$$

де h – товщина молотка, мм.

$$V = 5773,9 \cdot 5 = 28869,5 \text{ мм}^3$$

Переводимо у кубічні метри:

$$V = 2,887 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

Визначення маси молотка:

$$m = \rho V, \text{ кг}, \quad (3.5)$$

де ρ – густина матеріалу, кг/м^3 (для сталі 65Г $\rho=7850 \text{ кг/м}^3$);

V – об'єм молотка, м^3 .

$$m = 7850 \cdot 2,887 \cdot 10^{-5} = 0,227 \text{ кг}$$

Отже, маса одного молотка становить 0,227 кг.

Далі розрахуємо окружну швидкість молотків.

Приймаємо:

- діаметр ротора по кінцях молотків $D = 250 \text{ мм}$;
- частота обертання ротора $n = 3000 \text{ об/хв}$.

Окружна швидкість:

$$v = \frac{\pi D n}{60}, \text{ м/с}, \quad (3.6)$$

де D – діаметр ротора по кінцях молотків, м;

n – частота обертання ротора, об/хв.

$$v = \frac{3,14 \cdot 0,25 \cdot 3000}{60} = 39,27 \text{ м/с}$$

Розрахунок кутової швидкості ротора:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}, \text{ рад/с}, \quad (3.7)$$

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

При радіусі підвісу молотка $R = 0,125$ м відцентрова сила становить:

$$F = mR\omega^2, \text{ Н}, \quad (3.8)$$

де m – маса молотка, кг;

R – радіус підвісу молотка, м;

$$F = 0,227 \cdot 0,125 \cdot 314^2 = 2798 \text{ Н}$$

Отже, на кожен молоток діє відцентрова сила близько 2,8 кН.

Перевірка міцності молотка.

Найнебезпечнішим місцем є переріз біля отвору.

Ширина ослабленого перерізу:

$$b_1 = b - d, \text{ мм}, \quad (3.9)$$

$$b_1 = 50 - 12 = 38 \text{ мм}$$

Площа небезпечного перерізу:

$$A_n = b_1 \cdot h, \text{мм}^2, \quad (3.10)$$

$$A_n = 38 \cdot 5 = 190 \text{ мм}^2$$

Напруження розтягу:

$$\sigma = \frac{F}{A_n}, \text{МПа}, \quad (3.11)$$

F – відцентрова сила, Н;

A_n – площа небезпечного перерізу, мм^2 .

$$\sigma = \frac{2800}{190} = 14,7 \text{ МПа}$$

Для сталі 65Г допустиме напруження становить 250 МПа.

Коефіцієнт запасу міцності:

$$n = \frac{[\sigma]}{\sigma}, \quad (3.12)$$

$[\sigma]$ – допустиме напруження для сталі 65Г;

σ – фактичне напруження.

$$n = \frac{250}{14,7} = 17$$

Отже, міцність молотка забезпечується з великим запасом.

Розрахуємо ресурс молотка.

У стандартній конструкції використовується молоток з двома робочими крайками.

Кількість робочих поверхонь у базового:

$$z_1 = 2$$

У модернізованій конструкції:

$$z_2 = 4$$

Коефіцієнт збільшення ресурсу:

$$K_r = \frac{z_2}{z_1}, \quad (3.13)$$

де z_1 – кількість робочих поверхонь у базового молотка;

z_2 – кількість робочих поверхонь у удосконаленого молотка.

$$K_r = \frac{4}{2} = 2$$

Якщо ресурс стандартного комплекту молотків становить:

$$T_1 = 500 \text{ год}$$

то ресурс модернізованого комплекту:

$$T_2 = K_r \cdot T_1, \text{ год}, \quad (3.14)$$

де T_1 – ресурс базового комплекту молотків, год.

$$T_2 = 2 \cdot 500 = 1000 \text{ год}$$

Таким чином, застосування молотків з двома отворами та чотирма робочими поверхнями забезпечує двократне збільшення ресурсу робочих органів дробарки.

3.7 Розрахунок напрямної деки

Для підвищення ефективності процесу подрібнення в конструкцію дробарки пропонується встановити напрямну деку у нижній частині робочої камери між ротором та ситом.

Напрямна дека призначена для повернення частинок зерна у зону дії молотків, що збільшує тривалість перебування матеріалу в робочій камері та підвищує інтенсивність подрібнення.

Для розрахунку приймаємо:

- діаметр ротора по кінцях молотків $D = 250$ мм;
- радіус ротора $R = 125$ мм;
- довжина ротора $L = 180$ мм;
- кут охоплення деки $\alpha = 150^\circ$.

Довжина дуги деки визначається за формулою:

$$l_d = \frac{\pi D \alpha}{360}, \text{ мм}, \quad (3.15)$$

де D – діаметр ротора по кінцях молотків, мм;

α – кут охоплення ротора декою, град.

$$l_d = \frac{3,14 \cdot 250 \cdot 150}{360} = 327 \text{ мм.}$$

Отже, довжина напрямної деки становить 327 мм.

Визначення активної зони подрібнення базової конструкції.

У базовій конструкції активна зона займає приблизно сектор 90° .

Тоді

$$l_1 = \pi \cdot D \cdot \alpha_1 / 360, \text{ мм}, \quad (3.16)$$

де: $\alpha_1 = 90^\circ$.

$$l_1 = (3,14 \cdot 250 \cdot 90) / 360 = 196 \text{ мм}.$$

Коефіцієнт збільшення активної зони:

$$k = l_d / l_1, \quad (3.17)$$

$$k = 327 / 196 = 1,67.$$

Отже, встановлення деки збільшує активну зону подрібнення у 1,67 рази.

Площа робочої поверхні:

$$S = l_d \cdot L, \text{ м}^2, \quad (3.18)$$

де: l_d – довжина деки, м;

L – довжина ротора, м.

$$S = 327 \cdot 180 = 58860 \text{ мм}^2 = 0,0589 \text{ м}^2.$$

Оскільки на деці виконано три рифлення висотою 5 мм, площа контакту збільшується.

Додаткова площа одного рифлення:

$$S_p = 2 \cdot h_p \cdot l_d, \text{ м}^2 \quad (3.19)$$

де h_p – висота рифлення, м;

l_d – довжина деки, м.

$$S_p = 2 \cdot 0,005 \cdot 0,327 = 0,00327 \text{ м}^2.$$

Для трьох рифлень:

$$S_{\text{дод}} = 3 \cdot S_p, \text{ м}^2. \quad (3.20)$$

$$S_{\text{дод}} = 3 \cdot 0,00327 = 0,00981 \text{ м}^2.$$

Загальна активна поверхня деки:

$$S_2 = S_1 + S_{\text{дод}}, \text{ м}^2 \quad (3.21)$$

$$S_2 = 0,0589 + 0,00981 = 0,0687 \text{ м}^2.$$

Коефіцієнт збільшення активної поверхні:

$$k_S = S_2 / S_1, \quad (3.22)$$

$$k_S = 0,0687 / 0,0589 = 1,17.$$

Розрахуємо масу деки.

Приймаємо:

- товщина деки $t = 3$ мм;
- матеріал – сталь Ст3;
- густина сталі $\rho = 7850$ кг/м³.

Об'єм деки:

$$V = S_2 \cdot t, \text{м}^3, \quad (3.23)$$

$$V = 0,0589 \cdot 0,003 = 1,767 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

Маса деки:

$$m = \rho \cdot V, \text{кг} \quad (3.24)$$

$$m = 7850 \cdot 1,767 \cdot 10^{-4} = 1,39 \text{ кг.}$$

Перевіримо деку на міцність.

Приймаємо деку як балку шириною 100 мм, закріплену по краях.

Для оцінки міцності деки приймаємо рівномірно розподілене навантаження від потоку зернового матеріалу. Згідно з рекомендаціями для листових елементів сільськогосподарських машин приймаємо $q = 800 \text{ Н/м}$.

Максимальний згинальний момент:

$$M = q \cdot L / 8, \text{Н} \cdot \text{м} \quad (3.25)$$

Підставляємо:

$$M = 800 \cdot 0,1 / 8 = 10 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Для деки товщиною 3 мм та шириною 100 мм момент опору перерізу становить

$$W = b_d \cdot t^2 / 6, \text{мм}^3 \quad (3.26)$$

Підставляємо:

$$W = 100 \cdot 3^2 / 6 = 150 \text{ мм}^3.$$

Напруження згину:

$$\sigma = M / W. \quad (3.27)$$

$$\sigma = 10 / 1,5 \cdot 10^{-7} = 66,67 \text{ МПа}$$

Після переведення одиниць отримуємо напруження значно менше допустимого для сталі Ст3 (160 МПа), тому міцність деки забезпечується.

Оцінемо вплив деки на питому енергоемність.

Питома енергоемність процесу подрібнення визначається за формулою

$$e = N / Q, \text{кВт} \cdot \text{год/т} \quad (3.28)$$

де N – споживана потужність, кВт;

Q – продуктивність дробарки, т/год.

Для базової конструкції:

$$e_1 = 4 / 0,4 = 10 \text{ кВт} \cdot \text{год/т}.$$

Після модернізації за рахунок встановлення рифленої деки продуктивність дробарки збільшується до 0,446 т/год.

Тоді:

$$e_2 = 4 / 0,446 = 8,97 \text{ кВт} \cdot \text{год/т.}$$

Зниження питомої енергоємності становить

$$\Delta e = ((10 - 8,97) / 10) \cdot 100 = 10,3 \, \%.$$

У результаті розрахунку встановлено, що застосування прямої деки довжиною 327 мм та кутом охоплення 150° збільшує активну зону подрібнення у 1,67 рази порівняно з базовою конструкцією дробарки. Маса деки становить 1,39 кг, а її міцність забезпечується з достатнім запасом. Встановлення деки дозволяє більш ефективно використовувати внутрішній об'єм робочої камери, підвищити інтенсивність процесу подрібнення зерна, що збільшує продуктивність до 0,446 т/год.

3.8 Розрахунок системи частотного регулювання приводу молоткової дробарки

Одним із напрямків модернізації молоткової дробарки KRAFT-4 є впровадження системи частотного регулювання приводу ротора. У базовій конструкції електродвигун працює при постійній частоті обертання 3000 об/хв, що не дозволяє адаптувати режим подрібнення до фізико-механічних властивостей різних видів зерна.

Встановлення частотного перетворювача забезпечує можливість плавної зміни частоти обертання ротора, що дозволяє регулювати інтенсивність ударного впливу молотків на зерновий матеріал та зменшувати витрати електроенергії при роботі з легкоподрібнюваними культурами.

Для розрахунку приймаємо:

- потужність електродвигуна ($N = 4$) кВт;
- номінальна частота обертання двигуна ($n_{\text{ном}} = 3000$) об/хв;
- діаметр ротора по вершинах молотків ($D = 250$) мм;

- діапазон регулювання частоти обертання ротора від 2000 до 3000 об/хв.

Окружна швидкість молотків визначається за формулою

$$v = (\pi \cdot D \cdot n) / 60, \text{ м/с} \quad (3.29)$$

де D – діаметр ротора по вершинах молотків, м;

n – частота обертання ротора, об/хв.

Для частоти обертання 2000 об/хв:

$$v_1 = (3,14 \cdot 0,25 \cdot 2000) / 60 = 26,17 \text{ м/с.}$$

Для частоти обертання 2500 об/хв:

$$v_2 = (3,14 \cdot 0,25 \cdot 2500) / 60 = 32,71 \text{ м/с.}$$

Для частоти обертання 3000 об/хв:

$$v_3 = (3,14 \cdot 0,25 \cdot 3000) / 60 = 39,27 \text{ м/с.}$$

Отже, використання частотного регулювання дозволяє змінювати окружну швидкість молотків у межах від 26,17 до 39,27 м/с.

Кінетична енергія удару визначається за формулою [15]:

$$E = m \cdot v^2 / 2, \text{ Дж}, \quad (3.30)$$

де m – маса молотка, кг;

v – окружна швидкість молотка, м/с.

$$E_1 = 0,227 \cdot 26,17^2 / 2 = 77,8 \text{ Дж.}$$

$$E_2 = 0,227 \cdot 32,71^2 / 2 = 121,5 \text{ Дж.}$$

$$E_3 = 0,227 \cdot 39,27^2 / 2 = 175,0 \text{ Дж.}$$

Отже, зміна частоти обертання ротора від 2000 до 3000 об/хв забезпечує збільшення енергії удару в:

$$k_e = E_3 / E_1, \quad (3.31)$$

$$k_e = 175,0 / 77,8 = 2,25.$$

У результаті встановлення частотного перетворювача забезпечується плавне регулювання частоти обертання ротора в межах від 2000 до 3000 об/хв. При цьому окружна швидкість молотків змінюється від 26,17 до 39,27 м/с, а енергія удару – від 77,8 до 175 Дж. Використання частотного регулювання дозволяє адаптувати режим роботи дробарки до різних видів зернової сировини та підвищити енергоефективність процесу подрібнення.

3.9 Перевірочний розрахунок на міцність вала ротора

Вал ротора працює в умовах одночасної дії крутного моменту та згинального навантаження від маси ротора і молотків. Тому необхідно перевірити його міцність.

Крутний момент на валу визначається за формулою

$$M_k = (9550 \cdot N) / n, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (3.32)$$

де N – потужність двигуна, кВт;

n – частота обертання ротора, об/хв.

$$M_k = (9550 \cdot 4) / 3000 = 12,73 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Визначення згинального навантаження:

$$G = m \cdot g, \text{ Н}, \quad (3.33)$$

де m – маса ротора, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

$$G = 8 \cdot 9,81 = 78,48 \text{ Н}.$$

Максимальний згинальний момент:

$$M_z = G \cdot l / 4, \quad (3.34)$$

де M_z – згинальний момент, $\text{Н} \cdot \text{м}$;

l – відстань від підшипника, м.

$$M_z = 78,48 \cdot 0,18 / 4 = 3,53 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Еквівалентний момент з урахуванням одночасної дії згину та кручення:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{M_z^2 + M_k^2}, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (3.35)$$

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{3,53^2 + 12,73^2} = 13,21 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Перевірка міцності вала.

Еквівалентне напруження визначається за формулою

$$\sigma = (32 \cdot M_{\text{екв}}) / (\pi \cdot d^3), \text{ МПа}, \quad (3.36)$$

де d – діаметр вала, мм.

$$\sigma = (32 \cdot 13210) / (3,14 \cdot 30^3) = 4,99 \text{ МПа}$$

Для сталі 45 допустиме напруження 60 МПа:

Коефіцієнт запасу міцності:

$$n = [\sigma] / \sigma, \quad (3.37)$$

$$n = 60 / 4,99 = 12,02.$$

Отже, міцність вала забезпечується з достатнім запасом.

3.10 Висновки

У даному розділі виконано аналіз базової конструкції молоткової дробарки KRAFT-4 та обґрунтовано напрями її удосконалення з метою підвищення ефективності процесу подрібнення зерна при виробництві комбікормів.

На основі проведеного аналізу встановлено, що основними недоліками базової конструкції є обмежений ресурс молотків, недостатньо ефективне використання внутрішнього об'єму робочої камери та відсутність можливості регулювання режимів роботи залежно від властивостей подрібнюваного матеріалу. Для усунення виявлених недоліків запропоновано комплекс конструктивних удосконалень, що включає застосування молотків із двома отворами та чотирма робочими крайками, встановлення рифленої прямої деки в робочій камері та впровадження системи частотного регулювання приводу ротора.

У результаті виконаних розрахунків встановлено, що використання модернізованих молотків забезпечує збільшення ресурсу комплекту робочих органів у два рази – з 500 до 1000 годин роботи. Перевірочний розрахунок показав, що напруження в небезпечному перерізі молотка не перевищують

допустимих значень, а коефіцієнт запасу міцності становить 16,96, що свідчить про надійність запропонованої конструкції.

Розрахунок рифленої напрямної деки показав, що її встановлення збільшує довжину активної зони подрібнення з 196 до 327 мм, тобто у 1,67 раз. Виконання на робочій поверхні деки трьох поздовжніх рифлів висотою 5 мм забезпечує збільшення площі контакту із зерновим матеріалом на 17 %, що сприяє інтенсифікації процесу ударно-стираючого подрібнення та більш повному використанню внутрішнього об'єму робочої камери.

Встановлено, що застосування частотного перетворювача дозволяє змінювати частоту обертання ротора в межах від 2000 до 3000 об/хв. При цьому окружна швидкість молотків змінюється від 26,17 до 39,27 м/с, а енергія удару – від 77,8 до 175 Дж. Це забезпечує можливість адаптації технологічного процесу до різних видів зернової сировини та необхідного ступеня подрібнення.

Порівняння показників базової та модернізованої конструкцій показало, що продуктивність дробарки зростає з 400 до 446 кг/год, тобто на 11,5 %, а питома енергоємність процесу подрібнення знижується з 10 до 8,97 кВт·год/т, що відповідає зменшенню на 10,3 %.

Виконані перевіірочні розрахунки вала ротора та підтвердили працездатність базової конструкції після впровадження запропонованих удосконалень. Розрахункові напруження у валу не перевищують допустимих значень.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Загальні правила безпеки при приготуванні кормів

Приготування кормів на тваринницьких фермах належить до виробничих процесів із підвищеним рівнем небезпеки, оскільки пов'язане з використанням машин та механізмів, електрообладнання, рухомих робочих органів, а також утворенням пилу та шуму. Безпечне виконання робіт забезпечується дотриманням вимог нормативно-правових актів з охорони праці, виробничої санітарії та пожежної безпеки.

До виконання робіт з приготування кормів допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, вступний та первинний інструктаж з охорони праці, а також ознайомлені з правилами експлуатації обладнання. Працівники повинні використовувати справний спецодяг, захисне взуття та засоби індивідуального захисту відповідно до характеру виконуваних робіт.

Перед початком роботи необхідно перевірити справність обладнання, наявність захисних кожухів, огорожень рухомих частин машин, справність електропроводки та заземлення. Особлива увага повинна приділятися стану електродвигунів, пускових пристроїв та систем аварійної зупинки.

Під час роботи забороняється виконувати очищення, регулювання або ремонт машин при працюючих робочих органах. Усі роботи з технічного обслуговування повинні проводитися лише після повної зупинки обладнання та відключення його від електромережі.

У виробничих приміщеннях необхідно підтримувати належний санітарний стан, регулярно видаляти пил і залишки кормів, які можуть стати причиною виникнення пожежі або погіршення умов праці. Робочі місця повинні бути забезпечені достатнім освітленням і вентиляцією.

Особливу небезпеку при приготуванні кормів становить кормовий пил. Тривалий вплив пилу на органи дихання може призводити до професійних захворювань. Тому працівники повинні використовувати респіратори, а виробничі приміщення мають бути обладнані системами природної або примусової вентиляції.

4.2 Вимоги охорони праці при подрібненні зерна молотковим подрібнювачем

Подрібнення зерна молотковою дробаркою супроводжується дією небезпечних і шкідливих виробничих факторів, до яких належать рухомі частини машин, підвищений рівень шуму та вібрації, пиловиділення, а також можливість ураження електричним струмом.

Перед початком роботи оператор повинен перевірити справність дробарки, надійність кріплення всіх вузлів і деталей, відсутність сторонніх предметів у робочій камері, справність електрообладнання та захисного заземлення. Особливу увагу необхідно приділяти стану молотків, сит і прямої деки.

Пуск дробарки дозволяється виконувати лише після встановлення всіх захисних кожухів та огорожень. Забороняється запускати обладнання з відкритими люками або знятими захисними елементами.

Завантаження зерна необхідно здійснювати рівномірно, не допускаючи перевантаження дробарки. Потрапляння металевих предметів у робочу камеру може призвести до руйнування молотків, пошкодження ротора та виникнення аварійної ситуації. Для запобігання цьому необхідно встановлювати магнітні уловлювачі та решітки для очищення зерна.

Під час роботи забороняється відкривати кришки дробарки, виконувати очищення сита, перевіряти стан молотків або проводити будь-які ремонтні роботи. У разі виникнення стороннього шуму, вібрації або запаху перегрітої ізоляції необхідно негайно зупинити обладнання та встановити причину несправності.

Підвищений рівень шуму, який створюється молотковою дробаркою, може негативно впливати на працівників. Тому рекомендується використовувати протишумові навушники або вкладиші. Для захисту органів дихання від пилу необхідно застосовувати респіратори.

Після завершення роботи дробарку слід відключити від електромережі, очистити від залишків зерна та пилу, перевірити стан робочих органів і підготувати обладнання до подальшої експлуатації.

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Під час експлуатації обладнання для приготування кормів можуть виникати надзвичайні ситуації техногенного характеру, пов'язані з аваріями електрообладнання, виникненням пожеж, вибухами пилоповітряних сумішей або руйнуванням елементів машин.

Однією з найбільш небезпечних ситуацій є загоряння кормового пилу або електропроводки. У разі виявлення ознак пожежі необхідно негайно зупинити обладнання, відключити його від електромережі та повідомити відповідальних осіб. Для ліквідації загоряння слід використовувати порошкові або вуглекислотні вогнегасники. Забороняється гасити електрообладнання під напругою водою.

У випадку аварійної зупинки дробарки через заклинювання робочих органів необхідно повністю відключити обладнання від електромережі та лише після цього усувати причину несправності. Виконання таких робіт при підключеному живленні категорично забороняється.

У разі ураження працівника електричним струмом необхідно негайно звільнити потерпілого від дії струму, дотримуючись власної безпеки, викликати медичну допомогу та надати першу домедичну допомогу.

Для запобігання виникненню надзвичайних ситуацій необхідно регулярно проводити технічне обслуговування обладнання, перевіряти стан електроізоляції, заземлення, захисних пристроїв та не допускати експлуатації несправних машин.

Виробничі приміщення повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння, евакуаційними виходами та схемами евакуації. Працівники повинні проходити інструктажі щодо дій у надзвичайних ситуаціях та вміти користуватися засобами пожежогасіння.

4.4 Висновки

У розділі розглянуто основні вимоги охорони праці під час приготування кормів та експлуатації молоткової дробарки для подрібнення зерна. Встановлено, що найбільш небезпечними виробничими факторами є рухомі частини машин, підвищений рівень шуму та вібрації, кормовий пил і електричний струм.

Для забезпечення безпечних умов праці необхідно дотримуватися правил експлуатації обладнання, використовувати справні захисні пристрої та засоби індивідуального захисту, своєчасно проводити технічне обслуговування машин і контролювати стан електрообладнання.

Розглянуті заходи щодо попередження аварійних ситуацій, пожеж та виробничого травматизму дозволяють забезпечити безпечну експлуатацію модернізованої молоткової дробарки та створити належні умови праці під час приготування кормів на свинофермі.

5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗРОБКИ

5.1 Вихідні дані

Метою даного розділу є визначення економічної доцільності модернізації молоткової дробарки KRAFT-4, яка використовується в технологічній лінії приготування комбікормів на свинофермі.

Як базовий варіант для порівняння прийнято серійну молоткову дробарку KRAFT-4 продуктивністю до 400 кг/год, обладнану стандартними молотками та нерегульованим приводом. У проєктному варіанті передбачається застосування молотків з двома отворами та чотирма робочими крайками, встановлення рифленої напрямної деки в робочій камері та використання частотного перетворювача для регулювання частоти обертання ротора.

Основна відмінність між базовим і проєктним варіантами полягає не в зміні загальної конструктивної схеми машини, а в удосконаленні її робочих органів та режимів роботи. Завдяки цьому досягається підвищення продуктивності, збільшення ресурсу молотків та зниження питомих витрат електроенергії на подрібнення зерна.

Оцінювання економічної ефективності модернізації виконується шляхом порівняння основних техніко-економічних показників базового та проєктного варіантів. До розрахунку приймаються показники продуктивності обладнання, витрати електроенергії, витрати на заміну робочих органів та величина додаткових капіталовкладень, необхідних для впровадження модернізації.

Для виконання розрахунків приймаються такі вихідні дані:

- продуктивність базової дробарки – 400 кг/год;
- продуктивність модернізованої дробарки – 446 кг/год;
- встановлена потужність електродвигуна – 4 кВт;
- річний фонд роботи обладнання – 3000 год;
- вартість комплекту молотків – 1200 грн;

- ресурс стандартного комплекту молотків – 500 год;
- ресурс модернізованого комплекту молотків – 1000 год;
- тариф на електроенергію – 10 грн/(кВт·год);
- вартість прямої деки – 1500 грн;
- вартість частотного перетворювача – 4000 грн;
- додаткові витрати на виготовлення модернізованих молотків – 1000 грн.

Загальна величина додаткових капіталовкладень становить 6500 грн.

5.2 Розрахунок показників економічної ефективності

Для оцінки ефективності впровадження модернізованої молоткової дробарки використовується метод порівняння експлуатаційних витрат базового та проектного варіантів. Такий підхід дозволяє об'єктивно оцінити економічний ефект від модернізації та визначити доцільність її впровадження у виробничих умовах.

До складу експлуатаційних витрат входять витрати на електроенергію, витрати на заміну зношених молотків, а також витрати, пов'язані з експлуатацією модернізованого обладнання.

У результаті проведених розрахунків встановлено, що продуктивність модернізованої дробарки збільшується з 400 до 446 кг/год, що забезпечує збільшення річного обсягу подрібненого зерна з 1200 до 1338 т. Таким чином, додатковий річний обсяг переробки становить 138 т зерна.

Важливим фактором економічної ефективності є збільшення ресурсу молотків. У базовому варіанті комплект молотків потребує заміни через кожні 500 год роботи, тоді як використання молотків із двома отворами та чотирма робочими крайками дозволяє збільшити ресурс до 1000 год. У результаті річні витрати на заміну молотків зменшуються з 7200 до 3600 грн, що забезпечує економію коштів у розмірі 3600 грн на рік.

Додатковий економічний ефект досягається завдяки зниженню питомої енергоємності процесу подрібнення. Для базового варіанта цей показник

становить 10 кВт·год/т, а для модернізованого – 8,97 кВт·год/т. За річного обсягу подрібнення 1338 т це забезпечує економію електроенергії в кількості 1378 кВт·год на рік, що у грошовому еквіваленті становить 13780 грн.

Таким чином, річна економія експлуатаційних витрат становить 32953,36 грн.

Незважаючи на необхідність додаткових капіталовкладень у розмірі 6500 грн, отримана річна економія забезпечує швидке повернення інвестицій.

Строк окупності додаткових капіталовкладень визначається як відношення величини інвестицій до річного економічного ефекту і становить:

$$T = 6500 / 32953,36 = 0,2 \text{ року.}$$

Отже, вкладені кошти повертаються менш ніж за три місяці експлуатації обладнання.

Порівняльний аналіз наведений в додатках.

5.3 Висновки

У розділі проведено оцінку економічної ефективності модернізації молоткової дробарки KRAFT-4 шляхом порівняння показників базового та проєктного варіантів.

У результаті впровадження молотків із двома отворами та чотирма робочими крайками, рифленої напрямної деки та частотного регулювання приводу продуктивність дробарки збільшується з 400 до 446 кг/год, а питома енергоємність процесу подрібнення знижується з 10 до 8,97 кВт·год/т. Крім того, ресурс комплекту молотків зростає у два рази.

Річний економічний ефект від модернізації становить 32953,36 грн при додаткових капіталовкладеннях 6500 грн. Строк окупності проєктних рішень становить 0,2 року, що підтверджує економічну доцільність впровадження запропонованої модернізації у виробництво.

ВИСНОВКИ

1. У результаті аналізу діяльності свиноферми встановлено, що ефективність виробництва свинини значною мірою залежить від рівня механізації процесів кормоприготування та якості підготовки концентрованих кормів. Визначено, що подрібнення зерна є одним із найбільш енергоємних етапів технологічного процесу, від якого залежить засвоюваність кормів і продуктивність тварин. Проведений аналіз сучасного стану господарства та перспектив його розвитку підтвердив доцільність удосконалення технологічного процесу приготування кормів шляхом модернізації молоткової дробарки, що дозволить знизити енерговитрати, покращити якість помелу та підвищити економічну ефективність роботи свиноферми.

2. Проведений аналіз технологічного процесу приготування комбікормів показав, що ключовою операцією кормоцеху є подрібнення зернових компонентів із забезпеченням необхідного гранулометричного складу корму. На підставі розрахунків встановлено добову потребу ферми в подрібненому зерні на рівні 2065 кг та визначено необхідну продуктивність дробарки не менше 420 кг/год. Обґрунтовано склад технологічних ліній кормоцеху, режим їх роботи та параметри основного обладнання, що забезпечують своєчасне приготування кормових сумішей відповідно до зоотехнічних вимог і потреб поголів'я свиней.

3. У результаті аналізу конструкції молоткової дробарки визначено основні недоліки базового зразка та запропоновано комплекс технічних рішень щодо їх усунення. Розроблено удосконалені молотки з чотирма робочими крайками, рифлену напрямну деку та систему частотного регулювання приводу ротора. Виконані розрахунки підтвердили працездатність і міцність модернізованих елементів конструкції. Встановлено, що запропоновані удосконалення забезпечують збільшення ресурсу молотків у два рази, підвищення продуктивності дробарки на 11,5 % та зниження питомої енергоємності процесу подрібнення на 10,3 %, що свідчить про ефективність запропонованої модернізації.

4. У розділі проаналізовано небезпечні та шкідливі виробничі фактори, характерні для процесу приготування кормів і роботи молоткової дробарки. Розроблено комплекс організаційних та технічних заходів, спрямованих на захист працівників від дії рухомих механізмів, шуму, вібрації, пилу та електричного струму. Також розглянуто порядок дій персоналу в аварійних і надзвичайних ситуаціях, зокрема при виникненні пожежі, відмові обладнання або ураженні електричним струмом. Запропоновані заходи забезпечують безпечну експлуатацію модернізованої дробарки та створення належних умов праці на свинофермі.

5. Проведена техніко-економічна оцінка підтвердила доцільність впровадження запропонованої модернізації молоткової дробарки. Завдяки збільшенню продуктивності обладнання, зниженню питомих витрат електроенергії та підвищенню ресурсу молотків досягнуто суттєвого скорочення експлуатаційних витрат. Розрахунки показали, що річний економічний ефект від впровадження удосконаленої конструкції становить 32953,36 грн, а строк окупності додаткових капіталовкладень складає лише 0,2 року. Отримані результати свідчать про високу економічну ефективність запропонованих конструктивних рішень та їх практичну цінність для використання на свинофермах.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Дудін, В. Ю., Білоус, І. М. (2023). Експериментальні дослідження дискового подрібнювача зерна. Техніка, енергетика, транспорт АПК, 4(123), 71–77. <http://dx.doi.org/10.37128/2520-6168-2023-4-8>.
2. Дудін, В. Ю., Білоус, І. М. (2025). Дослідження ефективності роботи дискового подрібнювача зерна. Вібрації в техніці та технологіях, 1(116), 56–63. DOI: 10.37128/2306-8744-2025-1-7.
3. Гайдукевич С.В., Семенова Н.П. Технічні рішення з удосконалення технології збалансованого кормоприготування для свиней. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2024. № 1(88). С. 20–26. DOI: 10.35546/kntu2078-4481.2024.1.2.
4. Проектування потокових технологічних ліній приготування кормів: лекційний матеріал. Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, кафедра технічного сервісу та систем в АПК. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/5-proektuvannja-potokovyh-tehnolohichnyh-linij-pryhotuvannja-kormiv.pdf>
5. Цапко В.Г. Машини та обладнання для тваринництва: електронний підручник. ТДАТУ. URL: https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/tsapk_2/
6. Горбенко О.А. та ін. Машини і обладнання та їх використання в тваринництві: методичні рекомендації. Миколаїв: МНАУ, 2016. 61 с.
7. Демчук О.В., Цігорлаш Д.В., Левченко М.В. Удосконалення технології виробництва кормів в експандованому вигляді та ефективність їх використання під час відгодівлі свиней. Таврійський науковий вісник. 2019. № 109. Ч. 2. С. 28–34.
8. Потапова С.Є., Дяченко Є.Г. До обґрунтування вибору конструкції зернодробарок. Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві: матеріали IX Міжнарод. наук.-техн. конф. Глеваха–Київ, 2020. С. 74–76.
9. Wang, S. (2001). *Hammer mill* (US6330982B1). United States Patent and Trademark Office. <https://patents.google.com/patent/US6330982B1/en>.

10. Koppers Company, Inc. (1982). *Hammer mill rotor* (US4315605A). United States Patent and Trademark Office.
<https://patents.google.com/patent/US4315605A/en>.
11. Anderson, B. (2019). *Method of replacing hammers and spacers in a hammer mill* (US10486160B2). United States Patent and Trademark Office.
<https://patents.google.com/patent/US10486160B2/en>
12. Martin, S. (1995). *Agricultural hammermill and method of fine grinding grain* (EP0641601A2). European Patent Office.
<https://patents.google.com/patent/EP0641601A2/en>.
13. Heiman, M. (2005). *Size reduction and grinding of feed materials*. Kansas State University.
14. McEllhiney, R. R. (1994). *Feed manufacturing technology IV*. American Feed Industry Association.
15. Castillo Alvarez, Y., et al. (2025). Mathematical model to improve energy efficiency in hammer mills. *Processes*, 13(5), 1523.
<https://doi.org/10.3390/pr13051523>

ДОДАТКИ

Удосконалення технологічного процесу

приготування кормів для свиноферми з

удосконаленням молоткової дробарки

демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Бакалавр»

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу, групи АІ-2-22
Жижкін Максим Сергійович

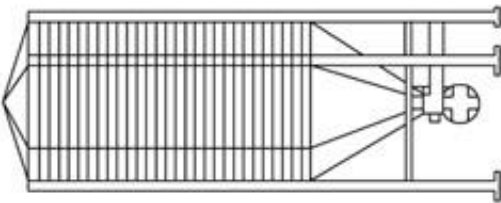
Керівник: доктор філософії
Білоус Ілля Михайлович

Дніпро-2026

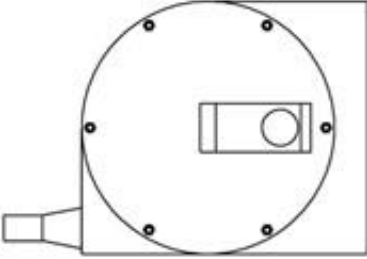
46.07172.000.000 ТП

Технологічна схема приготування комбікорму

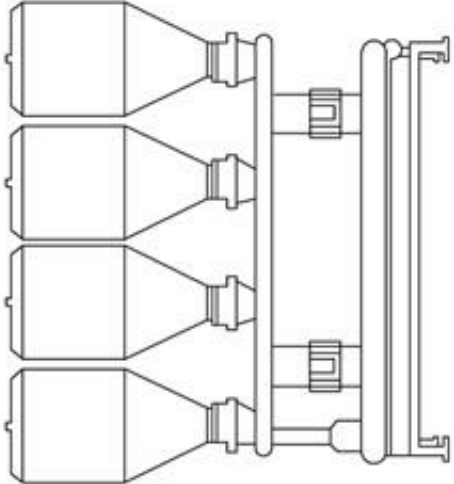
1. Приймання та зберігання сировини



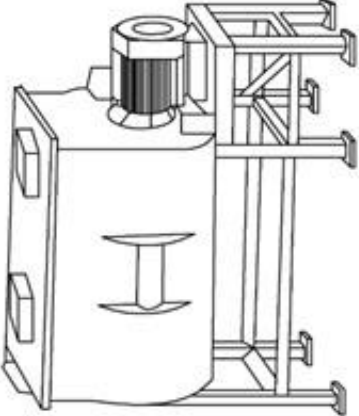
2. Підприємня



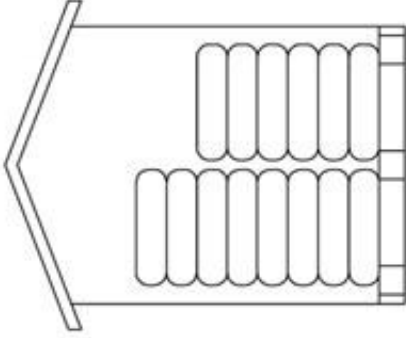
3. Дозування компонентів



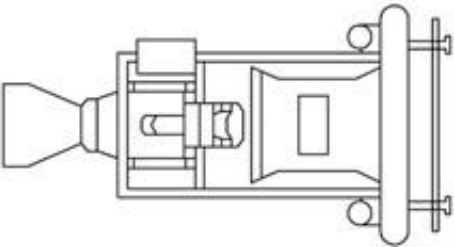
4. Змішування



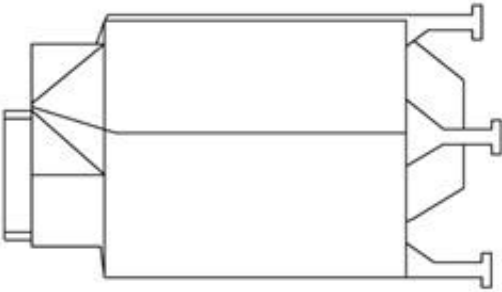
8. Зберігання готової продукції



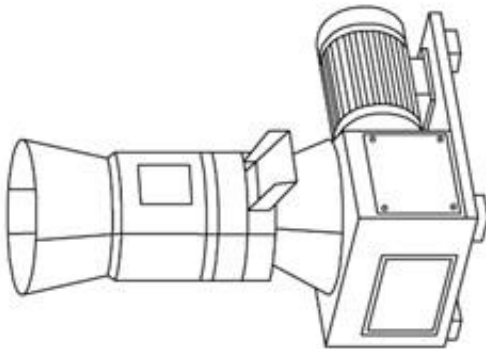
7. Фасування



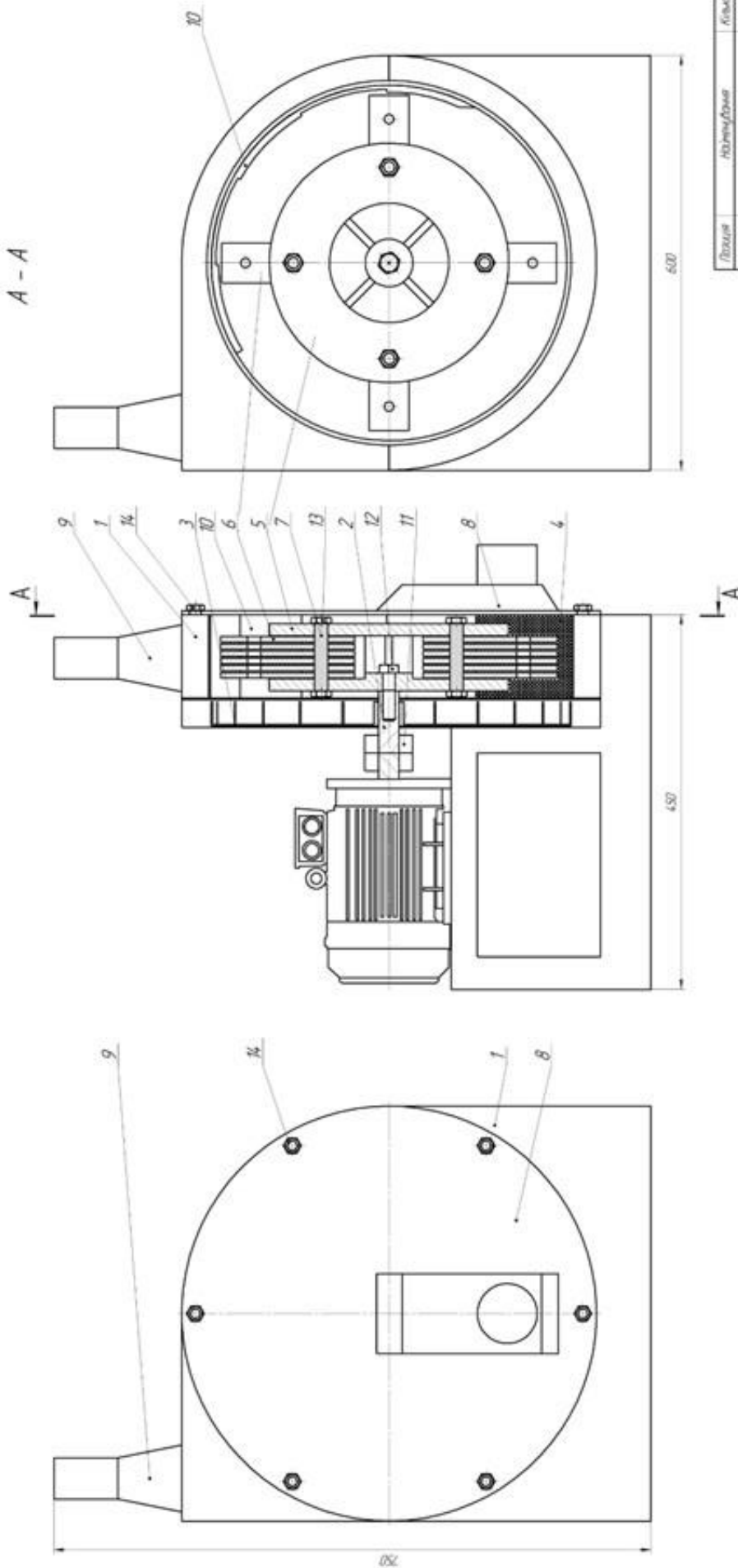
6. Охолодження



5. Гранулювання (за потреби)



46.07172.000.000 ТП		Відомості	Відомості	Відомості	Відомості
№	П.п.	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості
Технологічна схема приготування комбікорму		Відомості	Відомості	Відомості	Відомості
46.07172.000.000 ТП		Відомості	Відомості	Відомості	Відомості
46.07172.000.000 ТП		Відомості	Відомості	Відомості	Відомості



Технико-характеристика

- 1 Продуктивность - 446 кг/год.
- 2 Потребность дубина - 4 кВт.
- 3 Частота обертывания ротора - 3000 об/мин.
- 4 Диаметр ротора - 250 мм.
- 5 Количество молотков - 8 шт.
- 6 Диаметр отбора решета - 2 мм.

Технический рисунок

- 1 Складання виконати згідно зі складальним кресленням.
- 2 Ротор після складання відболванувати.
- 3 Обертання ротора повинно бути вільним без задинок.
- 4 Різьбоді з'єднання законтролювати.

Позиция	Наименование	Количество
1	Кирпич	1
2	Болт диаметр 10	1
3	Болт диаметр 10	1
4	Резиновое кольцо	1
5	Резиновое кольцо	1
6	Молоток	24
7	Пилочка	6
8	Крепеж кирпича	1
9	Водосток	1
10	Дюбель	1
11	Молоток	1
12	Болт М16х100	1
13	Гайка М16	8
14	Гайка М16	6
46.011712.000.000 СК		
Материалы для строительства		125
Складские расходы		125
Итого		250

№ зп	Показник	Прототип	Удосконалена додатка
1	Чисельність обслуговуючого персоналу люд	1	1
2	Годовна тарифна ставка грн/год	54,2	54,2
3	Кількість робочих днів на рік	365	365
4	Додаток потреба в кормі по фермі кг	2754	2754
5	Продуктивність подрібнення кг/год	400	446
6	Грибальність роботи машини на добу год	6,89	6,17
7	Балансова вартість машини грн	70000	76500
8	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію %	10	10
9	Коефіцієнт відрахувань на ремонт і ТQ %	8	8
10	Вартість електроенергії, грн/кВтЧгод	12,91	12,91
11	Потужність на прибуді, кВт	4	4
12	Витрати на зарплатню плату грн	166171,27	149032,52
13	Амортизаційні відрахування грн	7000,00	7650,00
14	Відрахування на ремонт і ТQ, грн	5600,00	6120,00
15	Витрати на електроенергію, грн	129772,61	116387,99
16	Витрати на заміну малюнків, грн	7200,00	3600,00
17	Експлуатаційні витрати, грн	315743,88	282790,52
18	Економія експлуатаційних витрат, грн	-	32953,36
19	Капіталообкладення на модернізацію, грн	-	6500,00
20	Термін окупності нового змішувача, років	-	0,20

[illegible]

[illegible]