

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерних технологій та професійної освіти
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
« » 2026 р.
Зав. кафедри д.т.н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)
 Володимир ДІДУР
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)
перший (бакалаврський)
(назва освітнього рівня)

тема проекту: «Удосконалення технологічного процесу приготування кормів на свинофермі з удосконаленням молоткової дробарки зерна»

Виконав: студент 4 курсу, групи 42-ім
освітньої програми бакалавр
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Швець Станіслав Ігорович
(прізвище та ініціали)
Керівник к.т.н, доцент Шевчук В.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА АНАЛІЗУ СТАНУ ТВАРИННИЦТВА ТА ТЕХНОЛОГІЙ ПРИГОТУВАННЯ КОРМІВ.....	7
1.1. Оцінка рослинницького напрямку діяльності.....	7
1.2. Аналіз стану тваринництва та технологій приготування кормів.....	12
1.4. Висновки за розділом.....	18
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОЇ МЕХАНІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КОРМОПРИГОТУВАННЯ.....	20
2.1. Аналіз наявних конструкцій дробарок	20
2.2. Норми якості помелу та параметри раціону.....	24
2.3. Фізико-механічні властивості сировини та виробнича потужність	26
2.4. Проектування структурної технологічної схеми кормоцеху	27
2.5. Висновки за розділом	29
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКА РОЗРОБКА МОЛОТКОВОЇ ДРОБАРКИ ЗЕРНОВОЇ СИРОВИНИ	31
3.1. Обґрунтування доцільності розробки	31
3.2. Визначення розрахункових параметрів завантаження дробарки.....	32
3.3. Визначення енергетичних характеристик приводної системи.....	33
3.4. Кінематичний розрахунок робочих органів установки.....	35
3.5. Висновки за розділом.....	37
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	38
4.1. Законодавчо-нормативна основа	38
4.2. Система пожежної безпеки виробничої ділянки	39
4.3. Управління безпекою в екстремальних ситуаціях.....	41
4.4. Висновки за розділом.....	43
РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗРОБКИ.....	44
ВИСНОВКИ	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	47

ВСТУП

Сучасний стан розвитку свинарства в Україні вимагає впровадження інтенсивних технологій, де центральне місце посідає організація раціональної годівлі. Оскільки витрати на кормові ресурси становлять левову частку в структурі собівартості м'ясної продукції, мінімізація втрат при їх підготовці є першочерговим економічним завданням. Ефективність використання зернових компонентів раціону безпосередньо залежить від якості їхньої попередньої деструкції, що зумовлює підвищений інтерес до вдосконалення подрібнювального обладнання. Процес механічного руйнування зернівки дозволяє збільшити площу контакту корму з ферментами травної системи тварин, що суттєво покращує засвоюваність поживних речовин. Основним робочим інструментом у цьому процесі традиційно залишаються подрібнювачі молоткового типу, які поєднують у собі конструктивну надійність та технологічну гнучкість.

Незважаючи на широку номенклатуру серійних машин, експлуатація наявних парків молоткових дробарок виявляє низку технічних недосконалостей. До них належать висока питома енергоємність розмелу, схильність до переподрібнення матеріалу з утворенням надмірної кількості пилоподібної фракції, а також обмежений ресурс робочих органів. Ці чинники не лише підвищують собівартість експлуатації кормоприготувальних цехів, а й негативно позначаються на фізіологічних показниках поголів'я через невідповідність фракційного складу дерті зоотехнічним нормам.

Метою роботи є підвищення техніко-економічної ефективності ліній приготування кормів свиноферми за рахунок модернізації конструкції молоткової дробарки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

1. проаналізувати наявні технологічні схеми кормоприготування та виявити резерви підвищення їхньої продуктивності;
2. обґрунтувати конструктивні зміни в зоні подрібнення, спрямовані на

зниження енергодеструкції зерна;

3. провести інженерний розрахунок основних вузлів та механізмів оновленого агрегату;

4. оцінити потенційні економічні переваги від впровадження вдосконаленої дробарки в умовах діючого господарства.

Об'єкт розробки — технологічний процес подрібнення сировини в лініях приготування повнораціонних комбікормів свиногомплексу.

Предмет розробки — технічні характеристики та робочі параметри модернізованої молоткової дробарки.

Науково-практичне значення. Запропоноване технічне рішення дозволяє стабілізувати якість готового продукту, зменшити питомі витрати електроенергії та подовжити міжремонтний період роботи обладнання. Це створює умови для підвищення загальної рентабельності виробництва свинини та зміцнення позицій господарства на аграрному ринку.

.

РОЗДІЛ 1

ОЦІНКА АНАЛІЗУ СТАНУ ТВАРИННИЦТВА ТА ТЕХНОЛОГІЙ ПРИГОТУВАННЯ КОРМІВ

1.1. Оцінка рослинницького напрямку діяльності

Функціонування фермерського рослинництва перебуває у тісному технологічному та економічному взаємозв'язку з тваринницькою галуззю, оскільки значна частина вирощеної продукції використовується як основа кормової бази. Така інтеграція формує стійку взаємозалежність між обома секторами аграрного виробництва, створюючи умови для їхньої гармонійної взаємодії та збалансованого розвитку. Поєднання цих напрямків у межах одного господарства дозволяє аграріям оптимізувати використання наявних ресурсів, суттєво знижуючи загальні операційні витрати та одночасно підвищуючи економічну ефективність виробничих процесів. Завдяки замиканню внутрішніх циклів обміну ресурсами підприємство досягає вищих показників продуктивності та стає більш стійким до зовнішніх ринкових коливань.

У структурі аграрного сектору рослинництво відіграє базову роль та має вирішальне значення для забезпечення продовольчої безпеки. Ця галузь охоплює широкий спектр процесів, пов'язаних із культивуванням зернових, технічних, овочевих та кормових культур. Ефективна організація сучасного рослинницького виробництва потребує не лише глибоких знань біологічних особливостей рослин, а й високого рівня технічного оснащення, що дозволяє здійснювати безперервний моніторинг кожного етапу вегетації. Пріоритетною метою галузі є стабільне отримання високоякісної продукції у обсягах, достатніх для задоволення потреб переробної промисловості та забезпечення кормової бази тваринництва. Досягнення цих показників базується на покращенні методів обробітку ґрунту, використанні селекційного насіння та впровадженні науково обґрунтованих систем удобрення і захисту посівів.

Водночас важливе місце посідає розвиток виробничої інфраструктури, зокрема систем зрошення, механізованих засобів збирання врожаю та обладнання для його первинної доробки. Розвиток інноваційних технологій суттєво змінює підходи до ведення рослинництва. На зміну традиційним методам приходять концепції точного землеробства, біотехнологічні рішення та принципи органічного виробництва. Використання геоінформаційних систем, супутникових даних та безпілотних літальних апаратів дозволяє фермерам здійснювати диференційоване внесення ресурсів, оптимізувати витрати води та хімічних засобів захисту. Такий підхід не лише підвищує економічну ефективність господарювання, а й сприяє значному зниженню техногенного навантаження на довкілля, забезпечуючи сталий розвиток сільськогосподарських територій.

Для рослинницького напрямку є стратегічно важливою складовою діяльності, оскільки забезпечує підприємство власною сировиною для виробництва комбікормів. Господарство розпоряджається земельним фондом у 4000 гектарів, де реалізується сучасна модель інтенсивного землеробства. Основна увага приділяється вирощуванню культур, які складають енергетичну та білкову основу раціонів у свинарстві, зокрема пшениці, кукурудзі, ячменю та сої. Такий підхід дозволяє замкнути виробничий цикл і мінімізувати залежність від кон'юнктури ринку зерна, що суттєво підвищує загальну фінансову стійкість бізнесу.

Визначальним компонентом операційної діяльності є виготовлення збалансованих комбінованих кормів. Наявність власного комбікормового комплексу забезпечує повний контроль якості раціонів, призначених для годівлі поголів'я свиней. Даний комплекс укомплектований передовим технологічним устаткуванням, що гарантує високий ступінь автоматизації виробничих процесів. Добовий обсяг виробництва сягає від 4,5 до 5 тонн комбікорму, що забезпечує повне задоволення потреб тваринницького підрозділу підприємства.

Технологічна стратегія підприємства базується на використанні передових методів обробітку ґрунту та застосуванні високопродуктивного

технічного парку. Для стабілізації врожайності в умовах кліматичних змін господарство впроваджує інноваційні системи зрошення та дотримується науково обґрунтованих сівозмін. Для досягнення оптимальної врожайності в агропідприємстві впроваджено інтегровану стратегію живлення рослин. Ця система передбачає застосування як органічних, так і мінеральних добрив, що забезпечує агрокультури всім спектром живлення. Ключовим аспектом є точне балансування поживних речовин згідно з індивідуальними потребами кожної культури, що реалізується через систематичний ґрунтовий аналіз та вегетаційний моніторинг. Захист рослин від патогенів, шкідливих організмів та бур'янової рослинності реалізується шляхом застосування інтегрованої системи захисту, яка охоплює як хімічні, так і біологічні підходи. Застосування сучасних методів фітосанітарного контролю сприяє мінімізації екологічного навантаження та гарантує безпеку сільськогосподарської продукції.

Особливого значення набуває впровадження біотехнологій, оскільки вони відкривають нові можливості для адаптації культур до змінних умов довкілля. Застосування генетичних методів дозволяє отримувати рослини з підвищеною стійкістю до патогенів, шкідників та екстремальних погодних факторів, таких як посуха чи заморозки. Крім того, інженерні рішення у сфері біотехнологій спрямовані на покращення біохімічного складу врожаю та підвищення його поживної цінності, що є стратегічно важливим для забезпечення глобальної продовольчої безпеки. Паралельно з високотехнологічними методами стрімкого розвитку набуває органічне виробництво, яке базується на відмові від синтетичних добрив, пестицидів та штучних стимуляторів росту. В основі органічного рослинництва лежать принципи сталого землекористування, збереження природного біорізноманіття та підтримання біологічної активності ґрунтів. Продукція, отримана таким шляхом, відповідає найвищим стандартам екологічної безпеки, що зумовлює її високу ринкову затребуваність та сприяє формуванню доданої вартості у фермерських господарствах. Такий підхід гарантує не лише якість харчових продуктів, а й довгострокове збереження природних ресурсів для майбутніх

покоління.

Рослинництво на фермі є економічно вигідним напрямом діяльності. Власне виробництво зернових та олійних культур значно знижує витрати на закупівлю кормів та підвищує незалежність від ринкових коливань цін на зерно. Крім того, реалізація надлишкової продукції на ринку приносить додатковий прибуток. Використання сучасних агротехнологій та систем захисту рослин сприяє збереженню родючості ґрунтів та зниженню негативного впливу на довкілля. Ферма дотримується принципів сталого землеробства, що включає чергування культур, мінімізацію обробітку ґрунту та використання біологічних методів боротьби зі шкідниками. Такий підхід забезпечує довгострокову стійкість виробництва та збереження екологічної рівноваги. Постійно працює над вдосконаленням своїх агротехнологій та розширенням виробничих потужностей. У планах підприємства – збільшення площ під зерновими культурами, впровадження нових сортів рослин з підвищеною стійкістю до хвороб та несприятливих погодних умов, а також розширення потужностей комбікормового заводу. Важливим напрямом розвитку є також підвищення енергоефективності виробничих процесів. Ферма планує впроваджувати нові енергоефективні технології, що дозволить знизити витрати на енергію та підвищити екологічність виробництва.

Поза суто економічними показниками, діяльність у сфері рослинництва має визначальний вплив на екологічний стан довкілля та соціальні стандарти життєдіяльності в сільських регіонах. Раціональне використання природного капіталу, передусім водних ресурсів та родючого шару ґрунту, становить фундамент для збереження цілісності екосистем та реалізації стратегії сталого розвитку. Культивування рослин відіграє важливу роль у регулюванні газового складу атмосфери через асиміляцію вуглекислого газу, що сприяє пом'якшенню кліматичних змін. Разом з тим, надмірна інтенсифікація агровиробництва несе ризики деградації земель, ерозії ґрунтів та забруднення гідросфери залишками агрохімікатів, що вимагає від аграріїв переходу до більш зважених методів господарювання. Впровадження таких інженерних та

агротехнічних рішень, як крапельне зрошення, системи мінімального обробітку ґрунту (No-till, Strip-till), а також заходи з озеленення та створення лісосмуг, дозволяє значно знизити негативний вплив людської діяльності на довкілля. Важливими інструментами відновлення ґрунтової родючості та покращення структури ріллі залишаються науково обґрунтовані сівозміни та використання сидератів. Окрім екологічної місії, рослинництво виконує критичну соціальну функцію, виступаючи головним джерелом робочих місць та стабільного доходу для сільського населення. Воно формує сировинну базу для широкого спектра галузей — від харчової промисловості до кормовиробництва. За таких умов державне стимулювання інноваційного розвитку та розбудова інфраструктури стають ключовими чинниками підвищення конкурентоспроможності та економічної стійкості всього аграрного сектору.

Не менш важливим фактором ефективності є правильне планування структури посівних площ з урахуванням кліматичних умов, типів ґрунтів та ринкової кон'юнктури. Вибір культур залежить від регіональної специфіки: якщо для південних областей характерне домінування соняшнику, кукурудзи та пшениці через вищий рівень сонячної радіації, то північні зони спеціалізуються на вирощуванні вівса, ячменю та картоплі. Кожен вид агрокультур потребує специфічних технологічних регламентів, дотримання яких є критичною умовою отримання високих показників врожайності та відповідної якості зернової сировини. В умовах зростаючого дефіциту вологи особливого значення набуває інженерне забезпечення процесів зрошення, яке стає гарантом стабільності виробництва в посушливих регіонах. Впровадження ефективних меліоративних систем дозволяє підтримувати гідрологічний режим ґрунту на оптимальному рівні, забезпечуючи рослини необхідною вологою в критичні фази вегетації. Найбільш перспективними з погляду ресурсозбереження є технології крапельного поливу та системи низьконапірного зрошення. Такі рішення дозволяють не лише суттєво скоротити питомі витрати водних ресурсів, а й гарантують рівномірне вологозабезпечення кожної рослини, що безпосередньо взаємопов'язане з економічною ефективністю всього господарства.

Значною складовою сільськогосподарського вирощування культур є боротьба зі шкідниками та захворюваннями рослин. Застосування хімічних засобів захисту, таких як пестициди та фунгіциди, сприяє збереженню врожаю, проте вимагає суворого дотримання норм безпеки та використання в оптимальних, обґрунтованих дозах. Екологічно прийнятнішими варіантами є біологічний контроль, зокрема застосування природних ворогів шкідників та вирощування адаптованих, стійких до хвороб сортів рослин. Ключовим елементом ефективного сільського господарства також є маркетинг та реалізація товарів. Аграрії мають володіти інформацією про ринкові потреби та напрямки, щоб здійснювати планування вирощування тих культур, що користуватимуться високим попитом. Співпраця між фермерами, формування спілок та аграрних господарств сприяє зміцненню конкурентних позицій та оптимізації умов реалізації продукції.

Загалом, фермерське рослинництво виступає базисом аграрного сектору, гарантуючи продовольчу незалежність та соціально-економічну стабільність сільських територій. Новітні методики, нововведення та доступ до інформації дають змогу аграріям збільшувати врожайність, мінімізувати шкідливий вплив на довкілля та забезпечувати екологічно збалансований розвиток. Подальший розвиток галузі безпосередньо залежить від системної державної підтримки, полегшення доступу до кредитних ресурсів та розширення експортних можливостей, що в сукупності забезпечить сталий розвиток і модернізацію аграрного виробництва в майбутньому.

1.2. Аналіз стану тваринництва та технологій приготування кормів

На сьогодні виступає як один із найбільш потужних та інноваційно орієнтованих свинокомплексів України. На промисловому розведенні та вирощуванні свиней з високим генетичним потенціалом, зокрема таких елітних порід, як Велика Біла та Ландрас, що характеризуються інтенсивною енергією росту та високим виходом м'язової тканини. Тваринництво є базовим вектором

діяльності господарства, де системно впроваджуються сучасні механізовані технології та результати наукових досліджень у галузі зоотехнії. Це дозволяє забезпечувати не тільки максимальну продуктивність поголів'я, але й відповідність м'ясної продукції міжнародним стандартам якості. Виробничі потужності підприємства розосереджені на значній території площею 4000 гектарів, що створює необхідний просторовий розрив для дотримання норм біобезпеки. За принципом інтегрованого вертикально-замкнутого циклу. Дана стратегічна модель об'єднує в єдиний технологічний ланцюг усі виробничі ланки: від утримання маточного поголів'я і відтворення стада до дбайливого вирощування поросят-сисунів, дорощування молодняка та інтенсивної фінішної відгодівлі перед реалізацією на забій. Впровадження такої цілісної моделі дозволяє фахівцям здійснювати наскрізний моніторинг кожного етапу виробництва, оперативно раціоналізувати витрати ресурсів та гарантувати стабільність економічних показників навіть за умов коливання ринкової кон'юнктури.

Сучасна галузь промислового свинарства посідає стратегічне місце в структурі аграрного сектору економіки, оскільки саме вона забезпечує основні обсяги постачання високоякісного м'яса, шпику та технічної сировини для переробної промисловості. Даний напрям діяльності в умовах спеціалізованого підприємства охоплює повний технологічний цикл роботи з поголів'ям, що включає селекційно-генетичну роботу, відтворення, вирощування та фінішну інтенсивну відгодівлю тварин. Свинарство відіграє критичну роль у зміцненні продовольчої безпеки держави, стимулюванні експортного потенціалу агропромислового комплексу та підтримці сталого соціально-економічного розвитку сільських територій. Пріоритетним завданням цього сектору є стабільне отримання високоякісної продукції тваринництва в обсягах, що здатні повністю задовольнити зростаючі запити внутрішнього та зовнішнього ринків споживання. Для реалізації цієї стратегічної мети впроваджуються інноваційні інженерно-технологічні підходи до розведення, догляду та, що є найбільш вагомим у контексті даного проєкту, науково обґрунтованої годівлі поголів'я.

Особлива увага приділяється інтеграції автоматизованих систем життєзабезпечення, використанню новітніх ветеринарних засобів профілактики та створенню оптимального мікроклімату, що максимально відповідає фізіологічним потребам організму свиней на кожному етапі онтогенезу. Вагоме значення для підвищення рентабельності виробництва мають сучасні дослідження в галузі генетики та нутриціології, які дозволяють суттєво підвищити конверсію корму, продуктивність стада та його резистентність до захворювань.

Одним із пріоритетних та стратегічно важливих напрямів діяльності є поглиблена племінна та селекційно-генетична робота. Завдяки офіційно підтвердженому статусу племінного заводу, господарство не лише автономно забезпечує власні потреби у якісному відновленні та ремонті основного стада, а й успішно функціонує як суб'єкт реалізації високоцінних племінних кнурів і свиноматок іншим аграрним підприємствам України. Для безперервного покращення генетичного потенціалу фахівці зоотехнічної служби застосовують сучасні методики селекційного відбору, орієнтуючись на комплексні показники продуктивності, багатоплідності та високої спадковості ознак. Генетичний фундамент поголів'я формують свині порід Ландрас та Велика Біла, які світове свинарство цінує за виняткову плодючість, високу швидкість росту та здатність до інтенсивного набору м'язової маси при оптимальних витратах енергії. Такі біологічні характеристики тварин дозволяють господарству стабільно постачати на ринок свинину преміальної якості та підтримувати високий рівень загальної рентабельності виробничої діяльності. Сучасна технологічна база свиногомплексу спроектована та побудована на принципах комплексної автоматизації та механізації всіх основних виробничих процесів. Впровадження інноваційних автоматичних ліній для точного дозування та роздачі комбі кормів, інтелектуальних систем клімат-контролю для управління мікрокліматом, а також систем цифрового моніторингу та ідентифікації тварин дає змогу суттєво мінімізувати питомі витрати на утримання однієї голови. Завдяки глибокій автоматизації технологічних операцій досягається суттєве

зростання продуктивності праці персоналу та практично повністю нівелюється ймовірність виникнення помилок, зумовлених людським фактором.

Окрему увагу в структурі виробничої діяльності приділяють питанням екологічної безпеки та впровадженню принципів раціонального, безвідходного використання наявних ресурсів. На свинокомплексі інтегровані передові світові технології збору, механізованого видалення, тривалого зберігання та багатоетапної переробки органічних відходів тваринництва. Це дає змогу не лише нівелювати антропогенний і токсикологічний вплив на навколишнє природне середовище, а й перетворювати побічні продукти виробництва на цінний ресурс. Ключовою технологічною інновацією господарства є експлуатація біогазової установки, де продукти життєдіяльності тварин піддаються анаеробному зброджуванню для отримання біогазу. Таке рішення комплексно вирішує проблему безпечної утилізації великих обсягів гною, одночасно забезпечуючи підприємство власним відновлюваним джерелом енергії. Застосування замкнутого енергетичного циклу суттєво підвищує загальну енергоефективність свинокомплексу, знижує частку енерговитрат у собівартості продукції та робить бізнес-модель екологічно відповідальною. Для кожної специфічної категорії свиней розроблено диференційовані умови утримання. Свиноматки утримуються в залах, обладнаних автоматизованими системами клімат-контролю, які в режимі реального часу моніторять температурні показники, рівень загазованості та вологість. У приміщеннях для відлучених поросят підтримується стабільний температурний градієнт на рівні 22–25 °С, тоді як для дорослих особин на стадії фінішної відгодівлі нормою є 18–22 °С, що є оптимальним для ефективної конверсії корму в м'язову тканину.

Тваринницька галузь у структурі демонструє стабільно високі показники рентабельності, що свідчить про глибоку фінансову стійкість моделі управління. Досягнення результатів стало можливим завдяки реалізації системного підходу, який поєднує наявність власної кормової бази, повну автоматизацію виробничих циклів та жорсткий ветеринарно-санітарний нагляд. Ключовим джерелом доходу виступає реалізація товарних свиней у живій масі

та високоприбутковий продаж племінного молодняка. Акумуляовані прибутки компанія стратегічно спрямовує на реінвестування у модернізацію потужностей, реконструкцію приміщень та впровадження наукоємних інженерних рішень. Досвід роботи підприємства слугує прикладом успішної інтеграції класичних зоотехнічних методів із досягненнями у сфері цифрових технологій та автоматизованого обладнання. Синергія сучасних технологічних ліній та грамотного операційного менеджменту створює надійний базис для підвищення продуктивності праці, зниження частки ручної роботи та суттєвого зміцнення ринкової конкурентоспроможності підприємства. Загальна ефективність функціонування свиного комплексу напряму залежить від науково обґрунтованої та технологічно вивіреної стратегії годівлі. Сучасний раціон свиней розробляється як чітко збалансована система за вмістом сирого протеїну, амінокислот, вітамінних комплексів та мінералів. Якісна та фізіологічно повноцінна годівля виступає головним фундаментом економічного успіху.

Вироблення кормів самостійно на базі автоматизованого комбікормового заводу потужністю 4,5–5 тонн готової продукції за годину. Наявність власних потужностей дозволяє щоденно забезпечувати стадо свіжовиготовленим раціоном, у якому збережені всі лабільні поживні компоненти. Сировинна база (пшениця, ячмінь, кукурудза) вирощується компанією самостійно, що мінімізує логістичні витрати та гарантує повну відсутність токсичних домішок. Усі статеві-вікові групи тварин проходять регулярний медичний контроль, що нівелює ризики виникнення епізоотій. Використання ветеринарами сучасного обладнання допомагає підтримувати високий імунний статус усього багатотисячного поголів'я. У загальній структурі аграрного виробництва скотарство традиційно займає вагомий частку, диференціюючись на молочний та м'ясний сектори. Проте, на відміну від скотарства чи вівчарства, галузь свинарства характеризується значно вищою інтенсивністю виробничих процесів, що висуває жорсткіші вимоги до механізації приготування кормів. Технологічний успіх у цьому секторі на 70-

80% залежить від точності нутриціологічної розробки раціонів. Сучасні свинокомплекси промислового типу відрізняються безпрецедентним рівнем автоматизації: від систем адресного напування до прецизійного управління параметрами вентиляції. Саме свинарство потребує найбільш складних інженерних рішень у питаннях підготовки зернових компонентів корму, оскільки фізіологічна будова шлунково-кишкового тракту свиней вимагає суворо визначеної фракції подрібнення зерна. Це підкреслює актуальність вдосконалення дробарок зерна, які мають забезпечувати стабільний гранулометричний склад комбікорму, що є недосяжним при застосуванні універсального обладнання.

Розвиток промислового свинарства відіграє фундаментальну роль у зміцненні економіки та забезпеченні стабільної зайнятості в сільській місцевості. Окрім насичення внутрішнього ринку, продукція тваринництва має значний експортний потенціал. Тварини мають бути забезпечені оптимальною корисною площею, примусовою циркуляцією свіжого повітря та безперервним доступом до біологічно цінних кормів. Систематичне впровадження жорстких санітарно-гігієнічних регламентів, включаючи дезінфекцію виробничих зон, виступає надійним бар'єром для поширення інфекцій. Застосування автоматизованих комплексів для порційної роздачі комбікормів та інтелектуальних систем вентиляції з рекуперацією тепла дозволяє мінімізувати виробничі витрати. Стратегічним вектором галузі є перехід до моделі екологічно збалансованого розвитку та органічного свинарства. Відмова від синтетичних стимуляторів росту дозволяє створювати продукт із високою доданою вартістю.

Для забезпечення прогресивного розвитку галузі вирішальними факторами залишаються державне стимулювання, стабільне інвестиційне фінансування та впровадження наукоємних інженерних рішень. Критично важливо зберігати баланс між традиційними методами господарювання та сучасним інженерним підходом, що дозволяє успішно долати виклики, які постають перед аграрним сектором України.

1.3. Висновки за розділом

Встановлено, що високотехнологічним свинокомплексом із вертикально-інтегрованим замкнутим циклом виробництва, де ефективно поєднано галузі рослинництва та тваринництва. Офіційний статус племінного заводу та робота з елітними генотипами свиней порід Ландрас і Велика Біла забезпечують високий генетичний потенціал стада, що в свою чергу висуває підвищені вимоги до якості технічного сервісу та біологічної цінності кормової бази.

Дослідження рівня механізації та автоматизації виробничих процесів показало, що підприємство досягло значного рівня технологічної автономності. Це забезпечується функціонуванням власного сучасного комбікормового заводу потужністю до п'яти тонн готової продукції за годину. Така інженерна база дозволяє оперативно формувати раціони відповідно до фізіологічних потреб різних статевих-вікових груп тварин, мінімізуючи логістичні витрати та зовнішні ризики, пов'язані з якістю сировини. Проте, незважаючи на загальну ефективність, детальний аналіз енергетичних витрат та експлуатаційних характеристик існуючих технологічних ліній виявив критичну необхідність модернізації процесів подрібнення зернових компонентів.

Удосконалення обладнання для підготовки комбікормів є стратегічно важливим кроком, що обґрунтовується кількома ключовими факторами. По-перше, впровадження новітніх конструкцій подрібнювачів дозволяє досягти оптимального гранулометричного складу та високої однорідності сумішей. Це є фундаментальною умовою для підтримки здоров'я шлунково-кишкового тракту свиней, покращення конверсії корму та максимізації середньодобових приростів маси. По-друге, модернізація дробарок сприяє суттєвому підвищенню енергоефективності виробництва. Використання сучасних робочих органів та систем автоматизації дозволяє знизити питомі витрати електроенергії на кожну тону переробленої сировини, що безпосередньо впливає на зниження собівартості кінцевої м'ясної продукції.

Економічна доцільність вдосконалення технічного парку кормоцеху також полягає у зниженні експлуатаційних витрат на сервісне обслуговування та поточні ремонти. Мінімізація впливу людського фактора через автоматизацію процесів дозування та подрібнення гарантує стабільно високу якість комбікормів та відповідність діючим галузевим стандартам. Таким чином, результати проведеного аналізу повністю підтверджують актуальність та науково-технічну необхідність розробки вдосконаленої конструкції дробарки зерна. Це рішення стане запорукою подальшого сталого розвитку, зміцнення його конкурентоспроможності та переходу на новий рівень інженерно-технологічної ефективності в умовах сучасного аграрного ринку.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОЇ МЕХАНІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КОРМОПРИГОТУВАННЯ

2.1. Аналіз наявних конструкцій дробарок

Аналіз сучасного стану технічного забезпечення агропромислового комплексу свідчить про широке розмаїття конструктивних рішень у сфері подрібнення зернової сировини. Серед світових лідерів галузі особливої уваги заслуговує молотковий млин Liberator III Hammer Mill від компанії Sudenga Industries (рис. 2.1.), який зарекомендував себе як надійне рішення для промислового виробництва кормів завдяки високій експлуатаційній ефективності та низьким питомим витратам на технічне обслуговування.



Рис. 2.1. Молотковий млин Liberator III Hammer Mill від компанії Sudenga Industries

Технічні характеристики даної установки включають робочу камеру з геометричними параметрами 15,2 x 45,7 см та систему прямого приводу ротора, на якому шарнірно закріплено 15 молотків. Гнучкість експлуатації забезпечується широким діапазоном потужності приводних електродвигунів від 7,5 до 30 кінських сил, а також наявністю варіативних систем завантаження

сировини та вивантаження готової дерті. Даний тип обладнання гарантує отримання стабільного та рівномірного гранулометричного складу часток при переробці різних видів зернових культур.

У контексті мінімізації експлуатаційних витрат варто виділити модель EZ Grind Grain Hammer Mill від Easy Automation Inc. Головною особливістю цієї дробарки є патентована внутрішня архітектура робочої камери, яка забезпечує максимально рівномірний розподіл повітряно-продуктового потоку. Таке рішення дозволяє суттєво зменшити інтенсивність абразивного зносу молотків та просівальних сит, що в кінцевому результаті знижує кількість вимушених простоїв на ремонт. Висока стабільність роботи під навантаженням робить даний млин оптимальним вибором для великих фермерських господарств, де пріоритетом є безперебійність технологічного процесу.



Рис. 2.2. Молотковий млин EZ Grind з патентованою системою розподілу сировини

Преміальний сегмент промислового обладнання представлений горизонтальною молотковою дробаркою Horizontal Hammer Mill від Bühler Group. Ця установка втілює в собі сучасні досягнення інженерної думки, пропонуючи виняткову універсальність при подрібненні не лише традиційних зернових культур, а й складних сільськогосподарських субстратів. Оптимізована система активного охолодження запобігає перегріву підшипникових вузлів та самого продукту, що критично важливо для збереження поживних властивостей вітамінних комплексів у складі комбікорму. Дане обладнання орієнтоване на великі комерційні підприємства, які потребують максимальної гнучкості та продуктивності в умовах цілодобового циклу роботи.

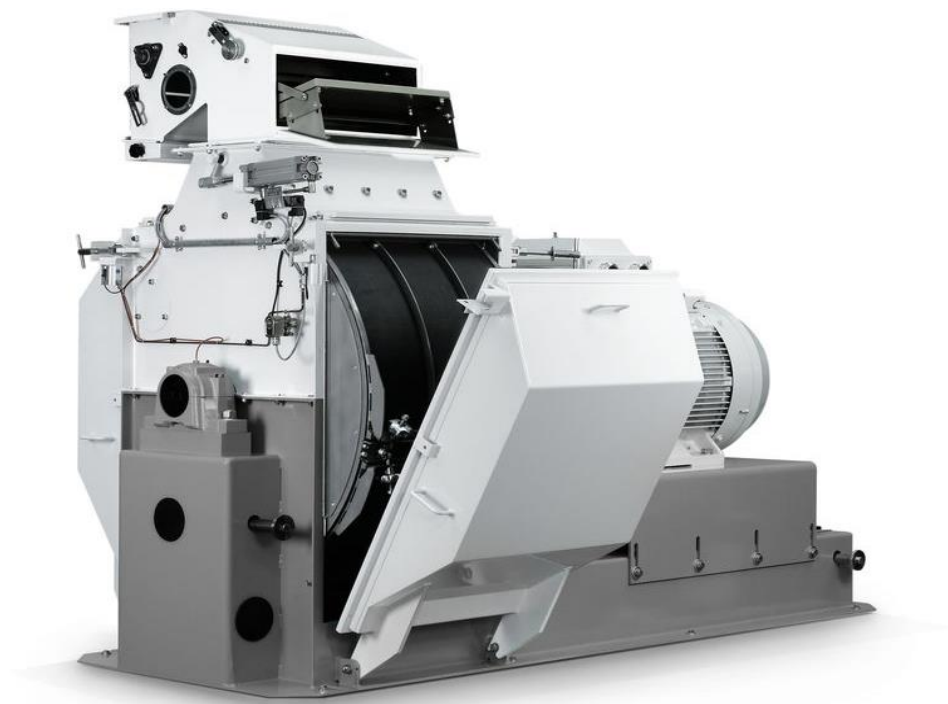


Рис. 2.3. Промислова горизонтальна дробарка Bühler Group серії Horizontal

Іншим прогресивним представником сегменту мобільного обладнання є серія Grain Mills від виробника APM Manufacturing. Дана портативна електрична молоткова дробарка вирізняється впровадженням інтелектуальної системи автоматичного контролю подачі зернової маси, що дозволяє підтримувати еталонну стабільність розміру часток незалежно від коливань вологості сировини. Конструкція передбачає наявність первинного захисного

екрана, який ефективно запобігає потраплянню випадкових сторонніх предметів та великих уламків у робочу зону. Завдяки використанню потужних силових агрегатів на 30 кінських сил, установка здатна демонструвати вражаючу продуктивність на рівні до 10,5 тонн зерна на годину, забезпечуючи при цьому тривалий ресурс експлуатації всіх робочих органів.



Рис. 2.4. Портативна електрична дробарка Grain Mill від APM Manufacturing

Замикає огляд інновацій лінійка Hammer Mill від компанії AGI, яка пропонує не просто окремі одиниці обладнання, а інтегровані системи, що є частиною комплексних ліній зберігання та моніторингу зерна. Надійна



Рис. 2.5. Технологічний модуль подрібнення зерна від компанії AGI

конструкція забезпечує довговічність в умовах агресивного експлуатаційного середовища, а можливість глибокої інтеграції з автоматизованими системами управління дозволяє здійснювати прецизійний контроль за всіма параметрами помелу. Висока технологічність та надійність роблять рішення від AGI стандартом для сучасних підприємств, що прагнуть досягти найвищої якості підготовки кормової бази.

2.2. Норми якості помелу та параметри раціону

Дотримання зоотехнічних вимог до процесу подрібнення зернової сировини та подальшого приготування комбікормів є визначальним чинником забезпечення високої якості годівлі, що безпосередньо корелює зі станом здоров'я, інтенсивністю росту та загальною продуктивністю поголів'я. Ці вимоги охоплюють як параметри функціонування технологічних ліній, так і фізико-хімічні властивості кінцевого продукту, призначеного для різних статевих-вікових груп свиней.

Ключовою умовою ефективного подрібнення є забезпечення стабільного та однорідного розміру часток. Використання сучасних молоткових дробарок дозволяє прецизійно контролювати ступінь подрібнення, що є критичним для повноцінного засвоєння поживних речовин організмом тварини. Наявність надмірно великих часток у кормі призводить до зниження його поживної цінності через неповне перетравлення, тоді як переподрібнення сировини в стан пилу провокує виникнення респіраторних захворювань та виразкових процесів у шлунково-кишковому тракті свиней. Оптимальним для більшості груп тварин вважається середній помел із модулем часток в межах 2,0–3,0 мм.

Наступним важливим етапом є інтеграція подрібненого зерна з іншими компонентами раціону, зокрема білково-мінерально-вітамінними добавками (БМВД) та олійними культурами. Технологічна схема повинна гарантувати максимальну однорідність змішування, що досягається застосуванням

змішувачів лопатевого або шнекового типу. Рівномірний розподіл мікроінгредієнтів у загальному об'ємі корму дозволяє кожній особині отримувати збалансовану дозу амінокислот, вітамінів та мінералів згідно з встановленими рецептурами.

Зоотехнічні стандарти передбачають обов'язковий і системний контроль якості на всіх етапах виробничого циклу. Це включає постійний моніторинг кормової сировини щодо наявності мікотоксинів, залишків пестицидів та важких металів, які можуть негативно впливати на здоров'я тварин і знижувати збереженість поголів'я. Застосування сучасних експрес-методів лабораторного аналізу дає можливість оперативно виявляти потенційно небезпечні домішки ще до моменту надходження зерна в технологічні бункери дробарного обладнання.

Для різних вікових груп свиней рецептура комбікорму коригується за вмістом сирого протеїну, обмінної енергії, клітковини, кальцію, фосфору, лізину та метіоніну. Для поросят рівень протеїну має бути вищим, тоді як для відгодівельного поголів'я збільшується енергетична цінність корму.

Важливим аспектом є також дотримання належних умов зберігання готових кормових сумішей. Через те, що подрібнене зерно має більшу площу контакту з повітрям, воно є більш вразливим до процесів окиснення, зволоження та мікробіологічного псування. Саме тому складські приміщення кормоцеху повинні забезпечувати стабільний температурно-вологісний режим, який запобігає розвитку патогенної мікрофлори, плісняви та шкідників.

Дотримання зазначених вимог у комплексі забезпечує не лише стабільний стан здоров'я тварин, а й формує основу для підвищення економічної ефективності виробництва. Це досягається за рахунок кращої конверсії корму, зменшення втрат та покращення якісних показників кінцевої тваринницької продукції.

2.3. Фізико-механічні властивості сировини та виробнича потужність

Для забезпечення високої ефективності та надійності молоткової дробарки, необхідно здійснити комплексний аналіз вихідних параметрів та фізико-механічних властивостей сировини. Підприємство функціонує як велике свиногосподарство, що спеціалізується на вирощуванні порід Велика Біла та Ландрас, що зумовлює потребу у значних обсягах високоякісних комбікормів. Власна сировинна база господарства включає пшеницю, кукурудзу та ячмінь, які мають відмінні характеристики твердості та насипної щільності, що безпосередньо впливає на процес енерговитрат при подрібненні.

Пшениця характеризується середньою твердістю зерна та насипною щільністю в межах 0,68–0,78 т/м³. Кукурудза має підвищену твердість і щільність 0,72–0,75 т/м³, що потребує більших енерговитрат під час дроблення. Ячмінь відзначається меншою щільністю — 0,64–0,68 т/м³ та підвищеним вмістом оболонки, що впливає на структуру помелу. Оптимальна вологість зерна для подрібнення повинна становити 12–14 %. При перевищенні цього показника знижується ефективність руйнування зерна, збільшується навантаження на двигун та погіршується сипкість матеріалу. Кут природного укусу зернової маси коливається в межах 30–38°, що враховується при конструюванні бункерів та систем подачі.

З урахуванням потреб комбікормового цеху підприємства необхідна продуктивність дробарки становить 8–10 т/год, що забезпечує безперервну роботу виробничої лінії. Для досягнення таких показників доцільно застосувати електродвигун потужністю 37–55 кВт із запасом крутного моменту для роботи під навантаженням. Подрібнений продукт повинен мати середній розмір частинок 2–3 мм та однорідну структуру, що забезпечує якісне змішування з іншими компонентами комбікорму й високу засвоюваність поживних речовин тваринами.

Комплексні показники фізико-механічних властивостей зернових культур, що лягли в основу розрахунків параметрів дробарки, наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Комплекс вихідної інформації для розробки дробарки

Величина	Характеристика
Пшениця, ячмінь, кукурудза	Основні типи зернової сировини
0,72–0,75 кг/м ³	Насипна щільність кукурудзи
0,42 / 0,44 / 0,40	Коефіцієнт тертя (пшениця / кукурудза / ячмінь)
2-3мм	Необхідний розмір часток (модуль помелу)
12-14%	Вихідна вологість зерна
10-15кВт	Встановлена потужність електродвигуна
34° / 32° / 36°	Кут природного схилу (пшениця / ячмінь / кукурудза)
0,68-0,78 кг/м ³	Насипна щільність пшениці
0,64–0,68 кг/м ³	Насипна щільність ячменю
8-10т/год	Розрахункова продуктивність установки

Врахування наведених фізико-механічних характеристик, таких як кут природного схилу та коефіцієнт тертя, є критично важливим для коректного розрахунку геометрії завантажувального бункера та кута нахилу робочих поверхонь. Це забезпечує безперебійний гравітаційний потік сировини та виключає утворення застійних зон у робочій камері. Таким чином, сформовані вихідні дані є обґрунтованою базою для подальшої розробки конструкторських рішень, спрямованих на підвищення загальної економічної ефективності кормовиробництва.

2.4. Проектування структурної технологічної схеми кормоцеху

Ефективність функціонування молоткової дробарки безпосередньо залежить від її інтеграції в загальну технологічну лінію приготування комбікормів. Проектована схема кормоцеху базується на принципі потоковості та автоматизації основних операцій, що мінімізує вплив людського фактора на якість кінцевої продукції. Весь технологічний цикл розділено на шість послідовних етапів (рис.2.6).

Приймання та первинне зберігання сировини. Зернові компоненти, що надходять на підприємство, проходять обов'язковий ваговий контроль та лабораторний аналіз на відповідність стандартам вологості (12–14%). Після цього сировина за допомогою норій та конвеєрів розподіляється по оперативних силосах або бункерах, де створюються оптимальні умови для запобігання псуванню зерна.

Очищення від домішок. Перед потраплянням у зону подрібнення зерно проходить двоступеневу систему очищення. На першому етапі видаляються грубі домішки (каміння, солома, пил), на другому — за допомогою магнітних сепараторів та аспіраційних установок видаляються металомагнітні включення та легкі органічні частки. Це критично важливо для захисту молотків дробарки від передчасного зносу та пошкоджень.

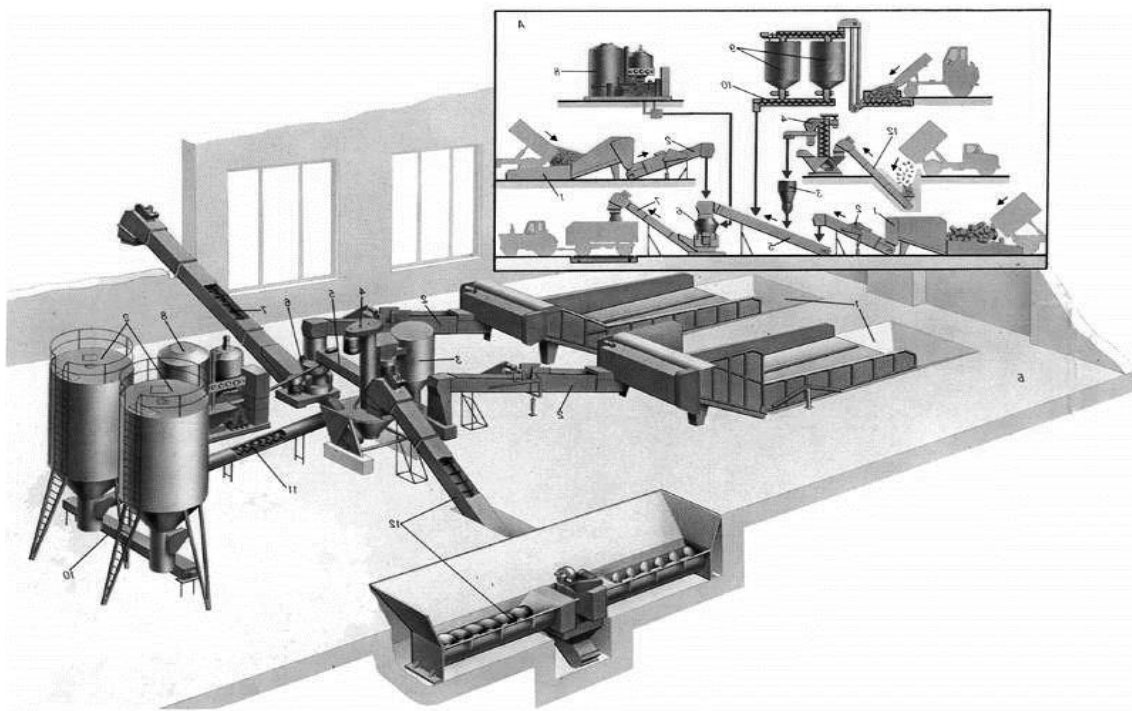


Рис.2.6. Організаційна модель послідовності приготування збалансованих раціонів

Процес подрібнення. Підготовлена сировина шнековими транспортерами подається до робочої камери молоткової дробарки. Процес руйнування зерна відбувається під дією ударних навантажень молотків, що обертаються з високою кутовою швидкістю. Розмір часток регулюється змінними ситами: лише ті частки, що досягли фракції 2–3 мм, проходять крізь

отвори, тоді як більші повертаються в зону удару для до подрібнення.

Змішування та введення компонентів. Отримана дерть транспортується до бункера-змішувача. На цьому етапі відбувається прецизійне додавання білково-мінерально-вітамінних добавок (БМВД) та олійних культур згідно з заданою рецептурою. Використання сучасних змішувачів забезпечує однорідність маси на рівні не менше 95%.

Фінішна обробка та стабілізація. Отримана суміш подається на вузол гранулювання, де під впливом тиску та температури формуються гранули заданого діаметра. Після грануляції продукт проходить через охолоджувач, що забезпечує необхідну міцність гранул та видаляє зайву вологу, запобігаючи процесам пліснявіння при зберіганні.

Експедиція готової продукції. Готовий комбікорм накопичується в бункерах чистого продукту. Залежно від потреб господарства, корм відвантажується насипом у кормороздавачі або пакується в мішки для тривалого зберігання. Оптимальний режим температури та вологості на складі готової продукції гарантує збереження всіх поживних властивостей протягом усього терміну реалізації.

2.5. Висновки за розділом

У результаті проведеного технологічного проєктування та аналізу умов приготування комбікормів можна зробити наступні висновки. По-перше, встановлено, що дотримання зоотехнічних норм подрібнення зерна є критичним фактором для здоров'я поголів'я. Ключовою вимогою є забезпечення однорідності помелу з модулем часток в межах двох-трьох міліметрів, що дозволяє досягти максимальної конверсії корму та уникнути захворювань травної системи тварин.

По-друге, аналіз сучасних технічних рішень на прикладі провідних світових брендів підтвердив доцільність використання дробарок із прямопривідними роторами та системами автоматичного контролю подачі

сировини. Це дозволяє підвищити зносостійкість робочих органів та забезпечити стабільність процесу подрібнення зернових культур різної щільності.

По-третє, на основі фізико-механічних властивостей пшениці, кукурудзи та ячменю було обґрунтовано вихідні параметри проектування. Розрахункова продуктивність установки на рівні восьми-десяти тонн на годину вимагає встановлення електродвигуна потужністю від тридцяти до п'ятдесяти кіловат для забезпечення надійної роботи обладнання за максимальних навантажень.

Нарешті, розроблена структурна схема кормоцеху демонструє повний цикл виробництва, що охоплює етапи від багатоступеневого очищення та магнітної сепарації до гранулювання і стабілізації готового продукту. Така послідовність операцій забезпечує високу поживну цінність комбікормів та санітарну безпеку. Отримані результати аналізу та обґрунтовані параметри стають фундаментальною базою переходу до наступного етапу — детального конструкторського розрахунку основних вузлів молоткової дробарки.

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКТОРСЬКА РОЗРОБКА МОЛОТКОВОЇ ДРОБАРКИ ЗЕРНОВОЇ СИРОВИНИ

3.1. Обґрунтування доцільності розробки

В умовах інтенсифікації сучасного сільського господарства, зокрема в галузі тваринництва, ефективна організація виробництва комбікормів виступає одним із визначальних факторів рентабельності підприємства. Розробка та модернізація молоткових дробарок зерна на сьогодні є вкрай актуальним завданням, оскільки технічний стан і конструктивні параметри цього обладнання безпосередньо впливають на продуктивність праці, економічні показники та екологічну безпеку фермерських господарств.

Першочерговим чинником доцільності вдосконалення дробарок є необхідність нарощування обсягів виробництва власних кормів. Сучасні свинокомплекси, до яких належить і потребують стабільно великої кількості повнораціонних сумішей для забезпечення високих середньодобових приростів тварин. Застосування молоткових дробарок із високою пропускною здатністю гарантує безперебійне постачання свіжоприготовлених кормів, що є критично важливим для підтримання заданого ритму виробництва.

Якість подрібнення сировини також відіграє вагому роль у фізіології годівлі. Досягнення високого рівня однорідності часток сприяє кращому засвоєнню поживних речовин організмом тварини, що позитивно позначається на динаміці росту та загальному стані здоров'я поголів'я. Впровадження інноваційних конструкторських рішень дозволяє забезпечити прецизійну точність помелу відповідно до встановлених зоотехнічних стандартів.

Крім очевидних технологічних переваг, комплексна модернізація виробничих потужностей має на меті кардинальне зменшення енергетичної інтенсивності всього виробничого циклу. Запровадження високопродуктивних, енергоощадних приводних систем та інтелектуальних комплексів

автоматизованої подачі сировини забезпечує не лише максимальну економію електроенергії, а й значну оптимізацію всіх операційних витрат. Цей стратегічний підхід безпосередньо впливає на зниження собівартості кінцевого продукту – готового комбікорму, що, у свою чергу, суттєво посилює конкурентоспроможність господарства на ринку та зміцнює його економічні позиції. Більш того, гарантована міцність та довговічність конструктивних елементів, досягнуті завдяки використанню інноваційних зносостійких матеріалів, дозволяють мінімізувати позапланові зупинки для проведення ремонту та сервісного обслуговування, забезпечуючи безперебійність виробничого процесу та підвищуючи загальну продуктивність.

Екологічний аспект та інтеграція сучасних систем управління також є невід’ємними частинами актуальності розробки. Новітні моделі дробарок оснащуються аспіраційними системами для зменшення запиленості робочих приміщень, а автоматизація моніторингу робочих процесів забезпечує повний контроль над якістю кінцевого продукту. Таким чином, комплексна робота над удосконаленням конструкції молоткового подрібнювача є стратегічно важливим кроком для ТОВ «Деміс Агро», що дозволяє поєднати високу виробничу потужність із економічною доцільністю та стабільністю технологічного процесу.

3.2. Визначення розрахункових параметрів завантаження дробарки

Основним критерієм для вибору конструктивних параметрів молоткового подрібнювача є обсяг виробничої програми кормоцеху, що визначається структурою поголів’я та добовими нормами годівлі тварин на фермі. Для точного розрахунку годинної продуктивності обладнання необхідно проаналізувати загальну потребу в кормах для різних статеві-вікових груп свиней.

Вихідні дані, що характеризують склад тваринницького комплексу та специфіку споживання кормів, систематизовано у таблиці 3.1.

Вихідні дані для розрахунку продуктивності лінії

Група тварин	Добова норма, кг/гол	К-сть, голів	Загальна потреба, кг/добу
Ремонтний молодняк	2,2	150	330
Холості та умовно-поросята свиноматки	2,7	150	405
Поросята-сисуні	0,4	250	100
Секція дорощування	1,4	600	840
Маточне відділення	5,0	250	1250
Свиноматки (різні групи)	5,0	250	1250
Поросята свиноматки	3,2	200	640
Секція відгодівлі	4,0	600	2400
Хряки-плідники	10,0	50	500
Усього по господарству	—	—	6465

На основі отриманих даних про загальну добову потребу в кормах, розраховуємо річну потребу підприємства в зерновій сировині за формулою:

$$G_{\text{рік}} = G_{\text{добу}} \cdot 365 = 6465 \cdot 365 = 2359725 \text{ кг/рік} \quad (3.1)$$

Для забезпечення стабільного функціонування кормоцеху та враховуючи восьмигодинний робочий день при одній зміні, необхідна годинна продуктивність дробарки визначається наступним чином:

$$Q = \frac{6465 \text{ кг}}{8 \text{ годин}} = 808,125 \text{ кг/год} \quad (3.2)$$

Таким чином, для повного задоволення потреб ТОВ «Деміс Агро» у кормах власного виробництва, молотковий подрібнювач повинен забезпечувати стабільну продуктивність не менше 808 кг/год. Враховуючи необхідність технологічного запасу на випадок розширення поголів'я або скорочення часу роботи змін, при подальшому проєктуванні вузлів та виборі потужності двигуна за основу буде прийнято показник продуктивності з коефіцієнтом резерву.

3.3. Визначення енергетичних характеристик приводної системи

Енергетичний розрахунок приводної системи є необхідним етапом

проектування, який дозволяє визначити економічну доцільність експлуатації обладнання та встановити рівень витрат на електроенергію. Для забезпечення стабільної роботи дробарки з розрахунковою продуктивністю 808 кг/год було обрано електродвигун із потужнісним діапазоном від 30 до 50 кВт. Такий вибір обумовлений необхідністю подолання значних моментів інерції ротора та забезпечення високої колової швидкості молотків при подрібненні твердих зернових культур, таких як кукурудза.

З метою проведення всебічного аналізу та точного обчислення обсягів енергетичного споживання, за фундаментальні вихідні дані приймаються усереднений показник номінальної електричної потужності даного агрегату, що становить $P = 40$ кіловат (кВт), а також ключовий параметр — коефіцієнт корисної дії (ККД) установки, який дорівнює $\eta = 0,85$. Слід зазначити, що ці величини повністю узгоджуються з актуальними міжнародними стандартами енергоефективності та передовими критеріями раціонального використання енергії, які застосовуються до сучасних моделей молоткових млинів. Таким чином, загальний обсяг енергетичних витрат, які понесе зазначене обладнання протягом однієї години безперервної експлуатації, може бути точно розрахований за допомогою нижченаведеної математичної формули:

$$E_{\text{год}} = P / \eta = 40 / 0,85 = 47,06 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (3.3)$$

Базуючись на отриманій величині годинного енергоспоживання, ми переходимо до обчислення сумарних енергетичних витрат, необхідних для забезпечення безперебійної роботи обладнання протягом однієї повноцінної робочої зміни, тривалість якої дорівнює $T = 8$ годин:

$$E_{\text{добу}} = E_{\text{год}} * T = 47,06 * 8 = 376,48 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (3.4)$$

Визначений показник добового споживання електричної енергії є фундаментальною основою для подальшого прогнозування та оцінки сукупних річних енергетичних витрат в масштабах всього кормоцеху. Це має першочергове значення для розробки адекватного фінансового планування, бюджетування та ефективного управління ресурсами господарства:

$$E_{\text{рік}} = E_{\text{добу}} * 365 = 376,48 * 365 = 137415,2 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (3.5)$$

Підсумовуючи, проведені енергетичні розрахунки та визначені параметри переконливо свідчать про те, що обрана потужність приводної системи є оптимальною. Вона повною мірою дозволяє підтримувати заданий, стабільний темп виробництва, одночасно забезпечуючи збереження низьких, економічно вигідних питомих витрат енергії на кожну одиницю виробленої готової продукції. Цей підхід гарантує не лише енергетичну стабільність та безперебійність всього технологічного процесу, але й створює сприятливі умови для максимально ефективної та довговічної експлуатації молоткового подрібнювача протягом всього його передбачуваного амортизаційного періоду, забезпечуючи його тривалу та продуктивну роботу.

3.4. Кінематичний розрахунок робочих органів установки

Кінематичні характеристики робочих органів безпосередньо визначають якість подрібнення зернової сировини та енергоємність процесу. Основним чинником руйнування зернівки в молоткових дробарках є динамічний удар, сила якого залежить від лінійної швидкості молотків та частоти їх взаємодії з продуктом. Для досягнення дрібнодисперсного помелу, що характеризується розміром частинок у діапазоні 2–3 мм, оптимальна периферійна швидкість рухомих частин має коливатися в межах 60–80 м/с.

Обчислення периферійної швидкості обертання ротора проводиться за такою розрахунковою формулою:

$$V = \pi D n = \pi \cdot 0,5 \cdot 1500 \div 60 = 39,27 \text{ м/с} \quad (3.6)$$

Де D — ефективний діаметр ротора, виміряний по крайніх точках молотків, м;

n — частота обертання привідного вала двигуна, об/хв.

Отримана розрахункова величина, яка становить 39,27 м/с, є прийнятною та відповідає оптимальним експлуатаційним режимам для ефективного диспергування сировини в даній конструкції.

Показник кутової швидкості обертання ротора, що безпосередньо

впливає на інтенсивність циркуляції повітряно-продуктового шару в робочому просторі камери, розраховується наступним чином::

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \cdot 1500}{60} = 157.08 \text{ рад/с} \quad (3.7)$$

Де n — частота обертання ротора, об/хв.

Миттєва лінійна швидкість молотка в момент зіткнення із зерновою частинкою має вирішальне значення для досягнення бажаної ефективності дезінтеграції. З огляду на конструктивні особливості підвісу молотків та їх радіальне розташування, ця швидкість практично ідентична периферійній швидкості:

$$V_m = \frac{\pi D n}{30} = \frac{\pi \cdot 0.5 \cdot 1500}{30} = 78.54 \text{ м/с} \quad (3.8)$$

Одним з ключових технологічних індикаторів виступає частота ударів молотків f , яка прямо пропорційна числу робочих елементів (молотків), встановлених на роторі. За умови використання шістнадцяти молотків ($z = 16$ одиниць), ми обчислюємо:

$$f = n z' = 1500 \cdot 16 = 24000 \text{ ударів/хв} \quad (3.9)$$

Базуючись на заданому значенні годинної продуктивності $Q = 808$ кг/год (що еквівалентно 0,224 кг/с), стає можливим розрахувати гіпотетичний об'єм зернової сировини, яка піддається впливу одного окремого удару молотка:

$$V_{\text{удар}} = \frac{Q}{f \phi} = \frac{1.08}{24000 \times 0.6} = 7.5 \times 10^{-5} \text{ м}^3/\text{удар} = 75 \text{ мм}^3/\text{удар} \quad (3.10)$$

Де f — частота ударів робочих елементів, удар/год;

Q — об'ємна продуктивність подрібнювального агрегату, м³/год;

ϕ — коефіцієнт заповнення внутрішнього об'єму робочої камери.

Такий показник навантаження на один робочий орган свідчить про високу якість майбутнього помелу та рівномірність розподілу енергії удару по всьому об'єму сировини. Це мінімізує утворення пилоподібної фракції та забезпечує стабільну роботу обладнання в умовах кормоцеху.

3.5. Висновки за розділом

На основі проведених конструкторських та технологічних розрахунків можна стверджувати, що розробка молоткової дробарки для умов досліджуваного свиногокомплексу є технічно обґрунтованою та економічно доцільною. Аналіз потреб дозволив встановити, що для повного забезпечення раціону свиней необхідно переробляти шість тисяч чотириста шістдесят п'ять кілограмів зернової сировини на добу. Це зумовило вибір мінімальної годинної продуктивності обладнання на рівні восьмисот восьми кілограмів за годину, що гарантує виконання денного плану за одну робочу зміну.

Енергетичні розрахунки підтвердили доцільність використання силової установки потужністю від тридцяти до п'ятдесяти кіловат. Такий вибір забезпечує необхідний запас потужності для подрібнення твердих культур та дозволяє підтримувати стабільну роботу за середніх енерговитрат від тридцяти п'яти до п'ятдесяти дев'яти кіловат-годин залежно від завантаження. Це створює умови для зниження собівартості комбікорму та підвищення загальної рентабельності виробництва. Результати кінематичного аналізу робочих органів установки вказують на високу ефективність обраної схеми подрібнення. Зокрема, досягнення лінійної швидкості молотків на рівні сімдесяти восьми метрів за секунду забезпечує надійне руйнування зернівок до фракції два-три міліметри. Висока частота ударів у поєднанні з мінімальним масовим навантаженням на один молоток гарантує стабільну якість помелу та рівномірність структури готового продукту.

Таким чином, запропоновані конструктивні та кінематичні параметри молоткового подрібнювача створюють надійну технічну базу для модернізації кормоцеху. Впровадження розробленого обладнання дозволить не лише оптимізувати витрати енергії та робочого часу, а й суттєво покращити якість годівлі тварин, що є запорукою підвищення продуктивності господарства та його стабільного розвитку.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Законодавчо-нормативна основа

Експлуатація молоткових дробарок на підприємствах агропромислового комплексу, регулюється розгалуженою системою законодавчих та нормативно-технічних актів України. Фундаментальним документом у цій сфері є Закон України Про охорону праці, який встановлює пріоритет життя і здоров'я працівників над результатами виробничої діяльності та визначає обов'язки роботодавця щодо створення безпечних умов на кожному робочому місці. Поряд із загальним законом, безпека технічних засобів регламентується ДСТУ EN ISO 12100, що встановлює методологію оцінки ризиків та загальні принципи безпеки конструкції машин, що було враховано при проектуванні робочих органів дробарки.

Електробезпека приводу та систем автоматизації відповідає вимогам ДСТУ EN 60204-1, який регламентує правила монтажу електрообладнання, захист від ураження струмом та надійність систем аварійного вимкнення. Оскільки робочий процес подрібнення пов'язаний із підвищеним рівнем шуму та вібрації, важливе значення мають державні санітарні норми, що обмежують тривалість впливу цих факторів на персонал. Гігієнічні вимоги до робочого середовища кормоцеху також базуються на стандартах ДБН В.2.5-28, які встановлюють нормативи штучного освітлення в зоні обслуговування механізмів для зниження зорового напруження та попередження помилок оператора.

Система управління безпекою праці організації формується на основі фундаментальних нормативних актів, зокрема Типового положення, що регламентує порядок проведення навчання та контролю знань персоналу з питань охорони праці. Відповідно до цих засад, кожен співробітник отримує дозвіл на виконання робіт із потенційно небезпечним устаткуванням, як-от

молоткова дробарка, виключно після засвоєння первинних інструктажів безпосередньо в умовах робочого місця та успішного проходження періоду стажування, що підтверджує його практичну компетентність. Невід'ємною запорукою ефективної безпеки є також наявність спеціалізованих інструкцій з охорони праці, розроблених з урахуванням специфіки діяльності та обладнання саме ТОВ «Деміс Агро». Ці інструкції мають містити вичерпний та чітко структурований алгоритм дій для безпечного пуску, поточної експлуатації та подальшого технічного обслуговування конкретного агрегату.

Завершальною ланкою системи безпеки є забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту згідно з галузевими нормами. Це включає використання спеціального одягу, взуття, захисних окулярів для захисту очей від часток зерна, а також протишумних навушників і респіраторів для захисту органів дихання від органічного пилу. Таким чином, лише системне дотримання всієї сукупності нормативно-правових актів дозволяє мінімізувати виробничі ризики та створити умови для продуктивної та безпечної праці в умовах сучасного свиногокомплексу.

4.2. Система пожежної безпеки виробничої ділянки

При експлуатації молоткових дробарок на об'єктах сільськогосподарського призначення дотримання встановлених норм пожежної безпеки є критично важливим чинником запобігання надзвичайним ситуаціям. Комплексний підхід до захисту виробничої ділянки базується на раціональному плануванні робочого простору, систематичному технічному сервісі обладнання та високому рівні підготовки персоналу. Основним ризиком у процесі подрібнення зерна є утворення органічного пилу, який за певних умов здатний до самозаймання або вибуху, що вимагає особливої уваги стану повітряного середовища в приміщенні кормоцеху.

Першочерговим заходом безпеки є належне облаштування місця встановлення дробарки згідно з чинними нормативними вимогами.

Приміщення повинно бути оснащене ефективною системою вентиляції або аспірації, що запобігає критичному накопиченню пилоподібних часток у повітрі. Крім того, конструктивне розміщення агрегату має забезпечувати вільний доступ до всіх його вузлів для проведення регулярного очищення від залишків сировини. Видалення пилу з поверхонь електродвигунів та внутрішніх камер подрібнювача дозволяє уникнути перегріву та виникнення осередків займання.

Технічне обслуговування приводної системи та електричної мережі є невід'ємною частиною протипожежної стратегії. Постійний контроль за цілісністю ізоляції, надійністю контактних з'єднань та станом підшипникових вузлів допомагає запобігти виникненню коротких замикань або критичного теплового виділення. Будь-які ремонтні чи регулювальні роботи повинні проводитися виключно при повному відключенні обладнання від електромережі та після повного охолодження робочих елементів, що виключає ризик спалаху мастильних матеріалів чи пилу.

Оперативне реагування на можливі інциденти забезпечується наявністю первинних засобів пожежогасіння безпосередньо в зоні роботи обладнання. Найбільш ефективними для умов кормоцеху є вуглекислотні або порошкові вогнегасники, придатні для ліквідації займання електроустановок під напругою та органічних сумішей. Весь обслуговуючий персонал повинен володіти практичними навичками використання цих засобів та чітко знати місця їхнього розташування згідно зі схемою протипожежного захисту підприємства.

Завершальним етапом забезпечення пожежної безпеки є організаційна робота з кадрами. Вона включає проведення планових інструктажів та відпрацювання алгоритмів дій у разі виявлення вогню або задимлення. План евакуації з приміщення має бути доступним для ознайомлення, а всі виходи — вільними від сторонніх предметів. Такий системний підхід дозволяє створити безпечне виробниче середовище, мінімізуючи ймовірність пожежі та забезпечуючи збереження матеріальних цінностей і життя працівників.

При виявленні ознак загоряння або безпосереднього спалаху пожежі,

першочерговим та найважливішим заходом є негайне припинення функціонування технологічного обладнання (дробарки) та його повне знеструмлення шляхом відключення від електричної мережі. В подальшому, використовуючи наявні первинні засоби пожежогасіння, слід негайно приступити до локалізації та, по можливості, повного придушення осередку займання.

У випадку, якщо пожежу не вдається локалізувати та ліквідувати силами персоналу, необхідно терміново повідомити пожежно-рятувальні підрозділи та організувати повну евакуацію всього персоналу із небезпечної зони/приміщення. Надзвичайно важливо забезпечити організовану та злагоджену евакуацію працівників, суворо дотримуючись затвердженого плану евакуації та встановлених маршрутів. При цьому категорично забороняється наражати своє життя на небезпеку, намагаючись врятувати матеріальні цінності, обладнання або документи. Безпека та життя персоналу є найвищим пріоритетом.

4.3. Управління безпекою в екстремальних ситуаціях

Забезпечення безпеки при експлуатації молоткових дробарок зерна набуває особливої значущості у разі виникнення надзвичайних ситуацій. Чітке дотримання протоколів реагування дозволяє суттєво мінімізувати ризики травмування персоналу, попередити масштабні пошкодження дороговартісного обладнання та уникнути тривалих простоїв у виробничому циклі. Алгоритм дій у разі виявлення технічних несправностей передбачає негайну зупинку агрегату за допомогою аварійної кнопки, повне відключення від джерела електроживлення та оперативне інформування керівництва і технічних служб про характер проблеми. При цьому персоналу суворо забороняється здійснювати самостійний ремонт без належної кваліфікації, оскільки першочерговим завданням є забезпечення безпечного доступу профільному технічному персоналу.

У разі виникнення пожежі на ділянці подрібнення порядок дій вимагає миттєвого припинення технологічного процесу та знеструмлення обладнання. Для локалізації осередку займання, спричиненого електричними несправностями або займанням органічного пилю, слід використовувати первинні засоби пожежогасіння, зокрема порошкові або вуглекислотні вогнегасники. Одночасно з гасінням необхідно забезпечити евакуацію працівників згідно з встановленим планом, викликати державну пожежну службу за номером 101 та оповістити адміністрацію підприємства про інцидент. Чіткість виконання цих операцій є запорукою успішної ліквідації загоряння на ранній стадії.

Особливої уваги потребують ситуації, пов'язані з ризиком ураження електричним струмом. При настанні такого випадку необхідно негайно знеструмити електромережу, уникаючи при цьому прямого контакту з потерпілим, якщо він все ще перебуває під впливом напруги. Наступними кроками є виклик швидкої медичної допомоги та надання першої домедичної допомоги постраждалому за умови наявності відповідних навичок у рятувальника. Після ліквідації безпосередньої загрози керівництво підприємства має забезпечити детальне розслідування причин події для недопущення повторних випадків.

Управління безпекою також охоплює випадки аварійних витоків технічних рідин або критичного запилення приміщення. У таких обставинах робота дробарки припиняється, а персонал використовує засоби індивідуального захисту, як-от респіратори та захисні окуляри, для ліквідації розливів із застосуванням відповідних абсорбентів. Обов'язковою умовою є ретельне провітрювання приміщення для зниження концентрації небезпечних речовин до безпечного рівня. Загальна превентивна стратегія базується на регулярних тренуваннях з евакуації, технічному моніторингу стану зношених частин агрегату та постійному контролю за використанням засобів індивідуального захисту, що в комплексі створює стійку систему промислової безпеки на фермі.

4.4. Висновки за розділом

Комплексний аналіз стану охорони праці та заходів безпеки на виробничій ділянці дозволяє зробити висновок, що ефективна експлуатація молоткового подрібнювача можлива лише за умови суворого дотримання нормативно-правової бази та впровадження системних організаційних рішень. Встановлено, що розроблене обладнання відповідає державним стандартам безпеки машин та вимогам електробезпеки, що створює необхідні передумови для мінімізації виробничого травматизму та професійних захворювань серед обслуговуючого персоналу.

Особлива увага, приділена системі пожежної безпеки, підкреслює специфіку роботи з зерновою сировиною, де ключовим ризиком є утворення вибухонебезпечного органічного пилу. Запропоновані заходи, що включають ефективну вентиляцію приміщення, регулярне очищення агрегатів та наявність справних первинних засобів пожежогасіння, формують надійний бар'єр для виникнення та розповсюдження вогню. Такий підхід забезпечує не лише безпеку працівників, а й стабільність матеріально-технічної бази господарства. Розроблені алгоритми управління безпекою в екстремальних ситуаціях є практичним інструментом для швидкого реагування на позаштатні події, від механічних поломок до аварій в електромережі. Чітка регламентація дій персоналу, використання засобів індивідуального захисту та постійний моніторинг технічного стану зношених частин дробарки дозволяють трансформувати теоретичні вимоги охорони праці у дієвий механізм захисту.

Таким чином, інтеграція технічних рішень із організаційною підготовкою кадрів забезпечує високий рівень культури безпеки та гарантує безперебійне функціонування кормоцеху в межах чинного законодавства України.

РОЗДІЛ 5

РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗРОБКИ

Економічна ефективність використання молоткового подрібнювача в умовах безпосередньо залежить від завантаженості обладнання протягом року та питомих витрат на енергоносії. Виходячи з раніше розрахованої річної потреби в кормах (2360 т/рік) та годинної продуктивності агрегату (808 кг/год), визначимо необхідний річний фонд робочого часу:

$$Q = 2360000 / 808 = 2920,8 \text{ год} \quad (5.1)$$

З урахуванням можливих технологічних простоїв, часу на технічне обслуговування та заміну робочих органів, приймаємо розрахунковий річний фонд робочого часу = 2920,8 годин.

Основним елементом експлуатаційних витрат є вартість електричної енергії. Для порівняльного аналізу розглянемо базовий варіант комплектації дробарки двигуном потужністю 30 кВт. Річне споживання енергії та її вартість розраховуються за формулами:

$$E_{\text{год}} = (P / \eta), \quad (5.2)$$

Де при коефіцієнті корисної дії 0,85 отримуємо значення

$$E_{\text{рік}} = (30 / 0,85) * 2934 = 103552,9 \text{ кВт}\cdot\text{год} \quad (5.3)$$

Приймаючи актуальну вартість електроенергії для промислових споживачів, загальні річні витрати на живлення приводу становитимуть:

$$C = E_{\text{рік}} * \text{Тариф} = 103552,9 \text{ кВт}\cdot\text{год} * 2 \text{ грн/кВт}\cdot\text{год} = 207106 \text{ грн.} \quad (5.4)$$

Для обслуговування дробарки в складі кормоцеху передбачено одну посадову одиницю оператора. Річна заробітна плата працівника визначається на основі середньомісячного окладу із урахуванням обов'язкових нарахувань на фонд оплати праці:

$$Z_{\text{рік}} = Z_{\text{міс}} * 12 = 15000 \text{ грн/м} * 12 = 180000 \text{ грн} \quad (5.5)$$

Сукупні річні експлуатаційні витрати включають витрати на енергоносії, оплату праці, амортизаційні відрахування та витрати на поточний ремонт. За

попередніми розрахунками, для варіанта з двигуном 30 кВт ці витрати становлять 180000 грн.

Ефективність інвестицій у нове обладнання визначається терміном окупності, який демонструє період, за який чистий прибуток від впровадження розробки покриє капітальні вкладення. Для обраної потужності 30 кВт розрахунковий термін становить:

$$T = \frac{\text{Капітальні витрати}}{C_{\text{загальні, 30 кВт}}} = \frac{500000 \text{ грн}}{387124.3 \text{ грн/рік}} = 1 \text{ рік } 4 \text{ місяці}$$

Це відповідає періоду в 1 рік та 4 місяці, що є високим показником для сільськогосподарського машинобудування. Порівняльний аналіз показав, що при збільшенні потужності до 50 кВт, попри зростання енерговитрат, термін окупності скорочується до 0,95 року завдяки значному зростанню продуктивності та зменшенню питомих трудовитрат.

Впровадження молоткового подрібнювача з продуктивністю 808 кг/год визнано економічно доцільним рішенням. Сукупні щорічні операційні видатки, пов'язані з експлуатацією даного обладнання, становлять 387124,3 грн прауючи з електродвигуном потужністю 30 кВт та 525505,4 грн – для двигуна потужністю 50 кВт. Період окупності інвестицій для варіанту з двигуном потужністю 30 кВт складає орієнтовно 1,29 років, тоді як для 50-кіловатного двигуна цей показник становить 0,95 років. Зазначені дані підкреслюють високий рівень економічної ефективності інтеграції такого технологічного рішення у діяльність підприємства.

ВИСНОВКИ

Впровадження новітніх технологій у процес приготування комбікормів дозволяє досягти високої однорідності сумішей та точності дозування компонентів. Це є ключовим фактором забезпечення збалансованого раціону свиней, що безпосередньо впливає на зміцнення імунітету тварин та інтенсивність їхнього росту. Удосконалення конструкції подрібнювального обладнання гарантує стабільно високу якість кінцевого продукту та його повну відповідність галузевим стандартам.

Комплексне врахування зоотехнічних вимог, точне визначення вихідних даних для проєктування та інтеграція сучасних конструктивних рішень у молоткові дробарки забезпечують високу ефективність виробничого циклу. Оптимізовані технологічні та кінематичні параметри розробленого агрегату гарантують стабільну та безперебійну роботу обладнання, що є критично важливим для досягнення цільових виробничих показників підприємства.

Економічний аналіз підтвердив, що використання молоткової дробарки з розрахунковою продуктивністю 808 кг/год є стратегічно правильним рішенням для ферми. При загальних річних експлуатаційних витратах у розмірі 387124,3 грн, для комплектації двигуном 30 кВт, та 525505,4 грн - для двигуна 50 кВт, проєкт демонструє вражаючі показники окупності. Термін повернення інвестицій, що становить 1,29 року для базової моделі та скорочується до 0,95 року для потужнішої модифікації, свідчить про високу інвестиційну привабливість розробки. Таким чином, створена молоткова дробарка є надійним інструментом для підвищення конкурентоспроможності, забезпечуючи зниження виробничих витрат та сталий розвиток господарства у довгостроковій перспективі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бондар, О.М. "Технологічні процеси і обладнання кормоцехів". Київ: Урожай, 2017.
2. Васильченко, І.М. "Машини для кормовиробництва". Київ: НТУ, 2018.
3. Герасименко, О.В. "Обладнання для переробки зерна". Харків: ХНТУСГ, 2019.
4. Іванов, В.В. "Основи проектування машин для подрібнення зерна". Львів: ЛП, 2019.
5. Коваль, І.І. "Довідник з сільськогосподарської техніки". Київ: Урожай, 2015.
6. Ковальов, О.І. "Сучасні машини для кормовиробництва". Київ: Аграрна освіта, 2017.
7. Криворучко, В.А. "Основи машинобудування для сільського господарства". Харків: ХНТУСГ, 2016.
8. Лозинський, В.О. "Проектування кормоцехів". Київ: НТУ, 2018.
9. Петров, М.П. "Енергозберігаючі технології в сільському господарстві". Київ: НТУ, 2019.
10. Петров, О.В. "Автоматизація та механізація сільськогосподарського виробництва". Харків: ХНТУСГ, 2019.
11. Пономаренко, О.Л. "Механізація та автоматизація сільськогосподарського виробництва". Харків: ХНТУСГ, 2016.
12. Сидоренко, В.О. "Проектування та експлуатація сільськогосподарських машин". Київ: Урожай, 2017.
13. Сидоренко, І.В. "Техніка для подрібнення і змішування кормів". Київ: Урожай, 2016.
14. Сидоров, О.М. "Технології виробництва комбікормів". Київ: Аграрна освіта, 2019.
15. "ДСТУ EN 60204-1:2015 Безпека машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги".
16. "ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие

требования безопасности".

17. "ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення".

18. "НПАОП 0.00-1.71-13 Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском".

19. "ДСТУ ISO 12100:2014 Безпечність машин. Загальні принципи проектування. Оцінка ризику та зменшення ризику".

20. "Основи проектування машин для подрібнення зерна", під ред. В.В. Іванова, Львів: ЛП, 2019.

21. "Технічний прогрес у сільському господарстві", під ред. М.П. Петрова, Харків: ХНТУСГ, 2018.

22. "Методи підвищення ефективності кормовиробництва", під ред. Ю.П. Зайцева, Київ: Аграрна освіта, 2018.

23. "Теорія і практика машинобудування", під ред. В.А. Криворучко, Харків: ХНТУСГ, 2017.