

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

Допущено до захисту

“__” _____ 2026р.

Зав. кафедри д.т.н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)

В.В. Дідур
(підпис) (ініціали, прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (дипломний проект)
перший (бакалаврський)
(назва освітнього ступеня)

тема проекту: «Удосконалення технологічного процесу приготування кормів на скотарській фермі з розробкою подрібнювача сіна»

Виконав: студент 3 курсу, групи 33-к-ім
освітньої програми бакалавр
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Бугеря Іван Олександрович
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н, доцент Шевчук В.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2026 рік

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ПРОЄКТУВАННЯ МОДЕРНІЗОВАНОЇ ЛІНІЇ КОРМОПРИГОТУВАННЯ.....	8
1.1. Формування технологічної концепції кормоприготування.....	8
1.2. Систематизація вихідних даних і зоотехнічних вимог	10
1.3. Технологічний розрахунок продуктивності лінії	12
1.4. Комплектація машинно-технологічної лінії.....	14
1.5. Висновки за розділом	19
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТИВНА РОЗРОБКА АГРЕГАТУ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ СІНА.....	21
2.1. Аналіз сучасного стану механізації процесу.....	21
2.2. Вимоги до якості подрібнення грубих кормів	22
2.3. Дослідження конструктивних рішень подрібнювальних машин.....	23
2.4. Конструктивна розробка агрегату для подрібнення сіна.....	27
2.5. Технічний розрахунок робочих характеристик агрегату	31
2.5.1. Обґрунтування потужності електродвигуна	31
2.5.2. Розрахунок параметрів ріжучого механізму	32
2.5.3. Оцінка надійності конструктивних елементів	33
2.6. Висновки за розділом	39
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	40
3.1. Аналіз нормативно-правової бази	40
3.2. Розробка інструкції з охорони праці для оператора подрібнювального агрегату.....	41
3.3. Висновки за розділом	43

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ	
ПОДРІБНЮВАЧА ГРУБИХ КОРМІВ	44
4.1. Формування вихідних даних для економічного аналізу	46
4.2. Оцінка економічної доцільності модернізованого обладнання	47
4.3. Висновки за розділом	49
ВИСНОВКИ	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	52

ВСТУП

Агропромисловий комплекс України перебуває в процесі динамічної трансформації, де першочерговим завданням постає оптимізація продуктивності виробничої діяльності. У контексті посилення конкурентного тиску та підвищення стандартів якості продукції тваринництва, оптимізація технологій приготування кормових раціонів набуває пріоритетного значення. Для сектору тваринництва великої рогатої худоби якісні характеристики кормової бази безпосередньо впливають на фізіологічний стан стада, його продуктивні показники та загальну економічну ефективність господарства.

Грубі корми, зокрема сіно, солома та сенаж, є невід'ємним елементом раціону великої рогатої худоби. Вони постачають тваринам необхідну клітковину та живильні речовини. Проте, етап їхньої первинної обробки характеризується значною трудомісткістю та високими енергетичними витратами. Удосконалення технології подрібнення цих кормів сприяє не лише підвищенню їх поїдання тваринами, а й забезпечує суттєве скорочення енергоємності виробничих процесів господарства.

Метою даного дослідження є оптимізація технологічного циклу приготування кормових ресурсів у тваринницьких комплексах, що передбачається реалізувати шляхом розробки та обґрунтування конструктивних параметрів подрібнювача сіна з покращеними показниками енергоефективності.

Для досягнення поставленої мети визначено такі **завдання**:

1. обґрунтувати необхідність впровадження механізованої технологічної лінії кормоприготування;
2. розробити конструкцію подрібнювача сіна, що відповідає вимогам продуктивності та надійності;
3. розробити заходи з охорони праці та техніки безпеки при експлуатації проектного обладнання;
4. провести техніко-економічну оцінку запропонованих рішень.

Об’єкт дослідження — технологічний процес приготування грубих кормів на скотарській фермі.

Предмет дослідження — параметри та робочі органи подрібнювача сіна.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці енергоефективного подрібнювача, впровадження якого дозволить знизити собівартість кормових одиниць, підвищити якість змішування раціону та покращити загальні економічні показники функціонування ферми.

Даний дипломний проєкт спрямований на вирішення актуальних задач агроінженерії, забезпечуючи підвищення конкурентоспроможності вітчизняного скотарства через впровадження засобів механізації нового покоління.

РОЗДІЛ 1

ПРОЄКТУВАННЯ МОДЕРНІЗОВАНОЇ ЛІНІЇ

КОРМОПРИГОТУВАННЯ

1.1. Формування технологічної концепції кормоприготування

Сучасний підхід до організації відгодівлі тварин базується на глибокій фізико-механічній обробці сировини, що дозволяє кардинально змінити її базові властивості. Процес підготовки інгредієнтів для раціону є багаторівневою системою, яка охоплює подрібнення, ретельне змішування, а за потреби — термічну чи біологічну обробку та збагачення мікроелементами. Завдяки такому комплексному впливу корми стають значно придатнішими для споживання, що безпосередньо відбивається на покращенні їх засвоюваності та загальному зростанні продуктивності поголів'я при одночасному зниженні питомих витрат на одиницю продукції.

Основним фактором, який визначає загальну продуктивність та ефективність всієї технологічної лінії, є процес змішування складових. Його практична реалізація можлива у кілька способів: із залученням стаціонарного обладнання, куди надходить заздалегідь підготовлена сировина, або за допомогою пересувних змішувально-роздавальних пристроїв, котрі готують суміш безпосередньо під час переміщення до місця подачі. Також існують варіанти використання комбінованих агрегатів типу ІСК, які поєднують у собі функції подрібнення та гомогенізації. Останні два методи набули в Україні найбільшого поширення, оскільки дозволяють оптимізувати логістику та знизити кількість перевантажувальних операцій.

Традиційні стаціонарні комплекси, яскравим представником яких є широко відома серія КОРК-15, забезпечують повний цикл підготовки сировини та високу якість фінального продукту завдяки наявності спеціалізованих ліній прийому та обробки. Використання таких цехів гарантує відмінну однорідність суміші, проте це супроводжується значними капітальними вкладеннями та

складністю енергоємних підготовчих етапів. На даний момент повноцінна підготовка багатокомпонентних сумішей не здійснюється, а годівля базується на роздаванні окремих видів кормів, таких як силос чи сіно, за допомогою агрегатів КТУ-10А та КУТ-3Б для концентратів.

Враховуючи наявність у господарстві елементів інфраструктури колишнього кормоцеху, найбільш перспективною виглядає концепція модернізації, яка б поєднала існуючі потужності з новими технічними рішеннями. Це дозволяє сформувати гнучку операційну схему, де первинна обробка та подрібнення відбуваються на стаціонарних ділянках, а фінальне формування раціону здійснюється мобільною технікою. Логічна послідовність та взаємозв'язок усіх етапів перетворення вихідної сировини на готову кормосуміш детально відображені на представленій графічній моделі процесу. Повна послідовність та взаємозв'язок усіх етапів перетворення вихідної сировини на готову кормосуміш відображені на операційній схемі технологічного процесу (рис. 1.1).

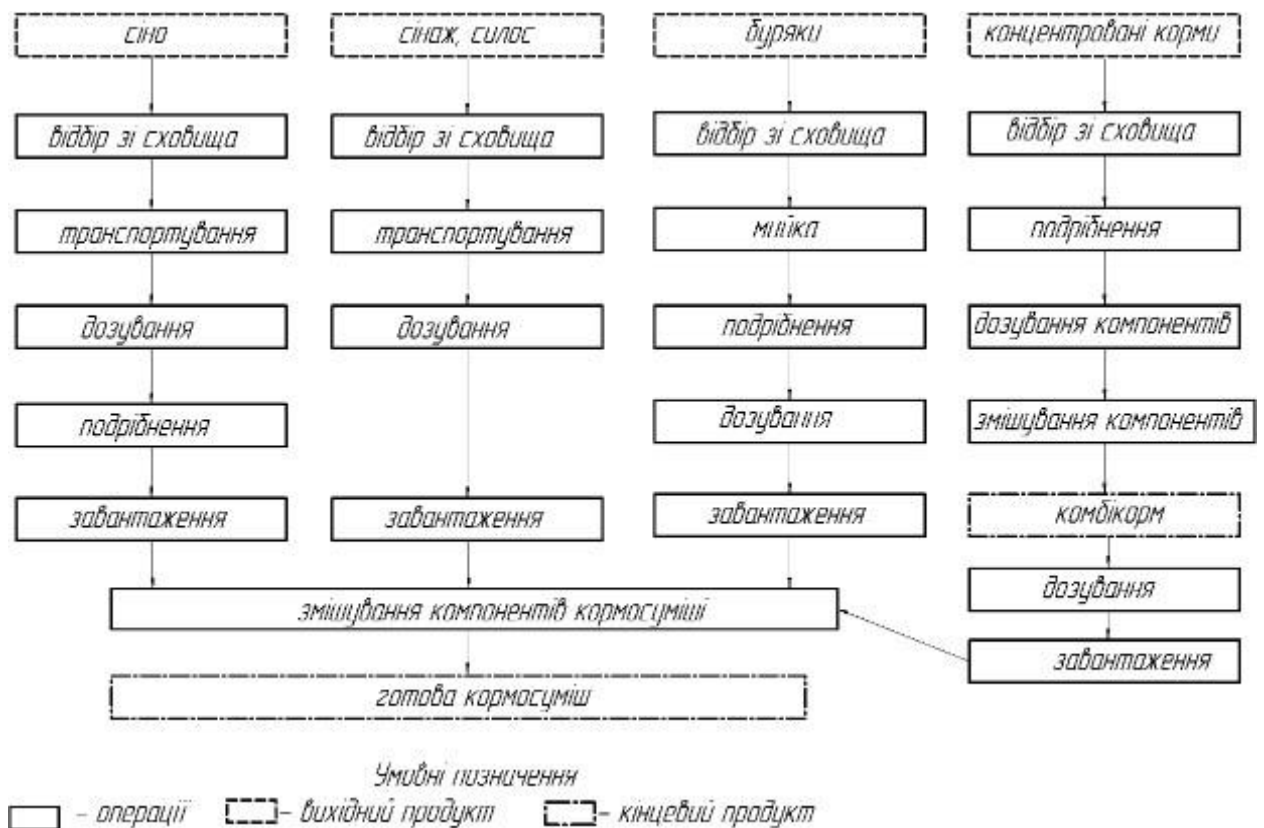


Рис. 1.1. Блок-схема послідовності етапів формування раціонів

Перехід до практичного впровадження окресленої концепції вимагає

чіткого визначення кількісних та якісних параметрів проектування. Це передбачає детальний аналіз структури поголів'я та обґрунтування нормативних вимог до якості обробки кожного компонента, що є необхідною умовою для подальшого розрахунку потужності обладнання та вибору оптимальних засобів механізації.

1.2. Систематизація вихідних даних і зоотехнічних вимог

Аналіз існуючих технологічних рішень для приготування повнораціонних сумішей дозволив обрати найбільш перспективну схему, що базується на поєднанні стаціонарної підготовки сировини та мобільного змішування. В основу пропонованого проекту покладено принцип попередньої обробки компонентів у спеціалізованому цеху з їх подальшим завантаженням в бункер роздавача-змішувача РСП-10А. Такий підхід дає змогу максимально ефективно використовувати частково збережене обладнання господарства, одночасно впроваджуючи сучасні методи гомогенізації корму безпосередньо перед роздаванням. Сформована на основі цих принципів послідовність операцій (рис. 1.1) виступає фундаментом для подальшого інженерного проектування.

Ключовим фактором, що визначає параметри проекрованої лінії, є чисельність поголів'я молочно-товарної ферми та планові показники продуктивності. Для розрахунків прийнято річний надій на рівні 5600 кг молока від однієї фуражної корови, що вимагає відповідної енергетичної цінності раціону. Структура добового споживання кормів у зимовий та літній періоди, обрана згідно з нормативними вимогами для зазначеної продуктивності, представлена у таблиці 1.1.

Дані показники дозволяють встановити загальний обсяг переробки сировини та визначити необхідну пропускну здатність кожної окремої ділянки лінії.

Оптимізація щоденного раціону великої рогатої худоби

Категорія кормових компонентів	Літній період	Зимовий період
Комбікорм	2,8	3,3
Свіжа зелена маса	59,5	-
Сінаж	-	8,7
Кукурудзяний силос	-	28
Сушені трав'яні корми (сіно)	-	6,5
Коренеплоди	-	7,9
Сумарний обсяг	62,3	54,4

Окрім кількісних параметрів, критичне значення мають зоотехнічні регламенти, що висуваються до якості готового продукту. Технологічна лінія повинна забезпечувати вологість суміші на рівні до 75% та суворо дотримуватися точності дозування. Допустимі відхилення за масою для грубих та соковитих кормів не мають перевищувати $\pm 10\%$, тоді як для концентратів, мінеральних добавок та поживних розчинів цей показник обмежений межею $\pm 5\%$. Особлива увага приділяється ступеню подрібнення, який для концентрованих кормів становить 1,0–1,8 мм, а для грубих кормів та коренеплодів — в межах 10–15 мм. Також жорстко контролюється чистота компонентів, де вміст сторонніх домішок землі, піску чи насіння небажаних трав має залишатися в межах мінімальних нормативів.

Базуючись на представленому масиві вхідних даних та дотримуючись встановлених зоотехнічних критеріїв, основним завданням є розробка проєкту модернізації, який забезпечить стабільне функціонування лінії приготування кормів. Такий системний підхід дозволяє перейти від теоретичного обґрунтування концепції до безпосередніх розрахунків продуктивності обладнання, що є необхідною умовою для створення ефективного технічного комплексу на фермі.

1.3. Технологічний розрахунок продуктивності лінії

Визначення потужності проекрованої лінії базується на необхідності забезпечення всього поголів'я кормами у чітко встановлені часові інтервали. Загальний показник продуктивності процесу приготування та роздавання сумішей розраховується як відношення сумарної добової потреби ферми до часу роботи обладнання з урахуванням кратності годівлі.

Згідно з прийнятою методикою, загальна продуктивність технологічного циклу обчислюється за формулою:

$$П_{mn} = \frac{g_{доб} \cdot n_k}{t \cdot k}, \quad (1.1)$$

Де t - відображає загальну тривалість технологічного процесу, пов'язаного з підготовкою певного виду кормового інгредієнту або формуванням комплексної кормової суміші, і вимірюється в годинах. На підставі фахових рекомендацій, викладених у літературному джерелі [4], для сумішей, до складу яких входять подрібнені коренеплоди та силосні корми, рекомендований часовий проміжок для цієї операції коливається від 1,5 до 2,0 годин. З огляду на це, для наших розрахунків приймається значення $T = 2$ години;

$g_{доб}$ - визначає добову норму споживання корму, необхідну на одну голову великої рогатої худоби, виміряну в кілограмах. Згідно з даними, представленими у таблиці 1.1, встановлено, що $g_{доб} = 54,4$ кг. Крім того, $пк$ символізує загальне поголів'я корів, що утримуються на даній фермі, і вимірюється в одиницях (головах). Відповідно до інформації з таблиці 1.1, чисельність становить $пк = 395$ голів;

k - позначає кратність подачі кормів. Відповідно до рекомендацій [5], встановлюється дворазовий режим годівлі, значення приймається рівним 2.

$$П_{mn} = \frac{54,4 \cdot 395}{2 \cdot 2} = 5372 \text{ кг/год.}$$

Подальший розрахунок передбачає визначення продуктивності окремих операцій з доставки, первинної підготовки та завантаження кожного інгредієнта до змішувача. Це необхідно для правильної синхронізації роботи обладнання та недопущення простоїв:

$$P_i = \frac{g_i \cdot n}{t \cdot k}, \quad (1.2)$$

Де $g_{\text{доб}}^i$ – визначає добову потребу в i -тому компоненті кормового раціону на одну особину, що вимірюється в кілограмах (табл. 1.1).

n_k - є показником загальної чисельності поголів'я корів у господарстві, вираженої в особинах. Відповідно до таблиці 1.1, зазначена кількість становить 395 голів.

Зокрема, для найбільш масового компонента, кукурудзяного силосу, розрахункова потужність ділянки завантаження та подачі складає:

$$P_{\text{силосу}} = \frac{28 \cdot 998}{2 \cdot 2} = 2765 \text{ кг/год.};$$

для грубих кормів, що вимагають попереднього подрібнення, продуктивність лінії становить:

$$P_{\text{сіна}} = \frac{6,5 \cdot 395}{2 \cdot 2} = 642 \text{ кг/год.};$$

робота з соковитими кормами та концентратами характеризується наступними показниками: для сінажу розрахункове значення дорівнює:

$$P_{\text{сінаж}} = \frac{8,7 \cdot 395}{2 \cdot 2} = 859,1 \text{ кг/год.};$$

для буряків:

$$P_{\text{буряки}} = \frac{7,9 \cdot 395}{2 \cdot 2} = 780,1 \text{ кг/год.};$$

розрахункова потужність ділянки завантаження та подачі для комбікорму:

$$P_{\text{комбікорм}} = \frac{3,3 \cdot 395}{2 \cdot 2} = 325,8 \text{ кг/год.};$$

Отримані результати кількісного аналізу є визначальними для наступного етапу проєктування. Вони дозволяють об'єктивно оцінити можливості наявного обладнання та обґрунтувати вибір нових технічних засобів, здатних забезпечити виконання розрахованих обсягів робіт у межах технологічного графіку ферми. Такий підхід гарантує узгодженість усіх ланок машинно-технологічної лінії та стабільність процесу кормоприготування в цілому.

1.4. Комплектація машинно-технологічної лінії

Формування оптимальної структури парку машин для модернізованої лінії кормоприготування базується на комплексному системному підході, де кожна одиниця обладнання розглядається як невід'ємний елемент єдиного технологічного ланцюга. Вибір конкретних технічних засобів диктується не лише їхніми паспортними характеристиками, а й глибокою відповідністю зоотехнічним вимогам щодо збереження поживної цінності інгредієнтів та забезпечення їхньої фізико-механічної цілісності. Ключовими орієнтирами при підборі виступають висока якість фінальної обробки сировини, адаптивність машин до систем автоматизованого керування, а також максимальна синхронізація всіх ланок лінії за їхньою пропускною здатністю. Вагома увага приділяється економічним критеріям, зокрема зниженню питомих енергетичних та експлуатаційних витрат на кожну технологічну операцію, що в поєднанні з надійністю та довговічністю конструкцій забезпечує стабільну рентабельність виробництва.

Необхідна кількісна потреба в засобах механізації за формулою:

$$n_m = \frac{P_i}{P_m}, \quad (1.3)$$

Де P_m – позначає операційну продуктивність розглядуваного обладнання, що виражається у кілограмах на годину.

Технологічний цикл починається з підготовки стеблових кормів, де для завантаження компонентів у тракторний причіп 2ПТС-4М застосовується універсальний навантажувач Merlo P 34.7. Силос та сінаж, які вже мають кондиційну структуру, подаються живильниками ЛПС-3,0 на похилий транспортер ТЛ-65. Водночас сіно проходить етап попереднього подрібнення для отримання необхідної фракції 10–15 мм. Робота з соковитими кормами зосереджена у спеціальному відділенні, де задіяні завантажувач ТК-10Б та мийка-коренерізка ІКМ-Ф-5, а точне порційне введення інгредієнтів забезпечується дозатором ДС-15. Виготовлення концентрованої частини раціону реалізується на базі установки МКУ-0,5, оснащеної відповідними дозуючими механізмами ДК-10.3

Завершальна та найбільш відповідальна стадія гомогенізація та роздавання суміші, виконується мобільним агрегатом ЗРК-10 (модифікація РСП-10), загальний вигляд якого представлено на рисунку 1.2.

На відміну від стаціонарних засобів, ефективність мобільного змішувача суттєво залежить від транспортної логістики ферми, тому його реальна продуктивність розраховується через об'єм бункера та повний час циклу.

$$Q_{ЗРК} = \frac{V \cdot \rho}{t_{\text{ц}}} \text{ т/год.}, \quad (1.4)$$

$$t_{\text{ц}} = 1,1 \cdot (t_x + t_z + t_v + t_p + t_z) = 1,1 \cdot (l_z/v_z + V \cdot \rho/Q_z + l_z/v_z + V \cdot \rho/Q_p + t_z), \text{ год.}, \quad (1.5)$$

$$l_z = (\sum l_i \cdot G_{ki}) / (\sum G_{ki}), \text{ км} \quad (1.6)$$

$$G_{ki} = 10^{-3} q_{ki} m_{ki}, \text{ т}, \quad (1.7)$$

Враховуючи середньозважену відстань до тваринницьких приміщень на рівні:

$$l_z = \frac{0,22 \cdot 200 \cdot 54,4 + 0,18 \cdot 195 \cdot 54,4}{21488} = 0,201 \text{ м.}$$

Тривалість операції завантаження кормової суміші відповідно:

$$t_z = t_z^{\text{силосу}} + t_z^{\text{сіна}} + t_z^{\text{сінажу}} + t_z^{\text{буряків}} + t_z^{\text{кк}}, \quad (1.8)$$



Рис. 1.2. Основні аспекти зовнішнього вигляду та компонування ЗРК-10

Час завантаження окремого компоненту визначається як відношення його маси до продуктивності завантажувального обладнання

$$t = G_{\text{кк}} / Q_z, \text{ год} \quad (1.9)$$

Де $G_{\text{кк}}$ – вагова частка кожного компоненту, що подається до бункера, розрахована на підставі одноразової потреби в ньому (див. табл. 1.1), у тоннах;

Q_z – показник продуктивності завантажувального обладнання або пристрою, виражений у тоннах за годину.

Відповідно до технологічного регламенту, для транспортування силосу, сіна та сінажу передбачається застосування транспортера моделі ТЛ-65. Для буряків буде використовуватися завантажувач типу ТК-10 Б. Концентровані корми переміщуватимуться за допомогою шнекового навантажувача, що інтегрований у комплект МКУ-0,5.

Початкові дані для розрахунку, а також отримані результати, представлені у таблиці 1.4.

Підставивши отримані значення у формулу (1.5), визначаємо тривалість одного робочого циклу кормороздавача

$$t_{\text{ц}} = 1,1 \cdot (0,201/7,2 + 0,19 + 0,201/7,2 + 10 \cdot 0,4/25 + 0,33) = 0,74 \text{ год}$$

Проведені обчислення демонструють, що завершений операційний цикл,

який охоплює переміщення матеріалів, їх навантаження, безпосереднє розподілення, а також усі необхідні підготовчі та супутні заходи, сягає загальної тривалості 0,74 години.

Таблиця 1.4

Масова частка складових кормової суміші на одне завантаження

Категорія кормового компонента	Пропорційна частка або відсотковий вміст у кінцевій суміші, %	Показник швидкості подачі сировини, т/год.	Загальна маса компонента, що фактично знаходиться у накопичувальному резервуарі, т	Розрахункова щоденна потреба, т	Тривалість процесу завантаження, год.
Силос	51,5	30	2,06	28	0,07
Комбікорм	6,1	10	0,24	3,3	0,02
Коренеплоди	14,5	10	0,58	7,9	0,06
Сіно	11,9	30	0,48	6,5	0,02
Сінаж	16,0	30	0,64	8,7	0,02
У підсумку	100	-	4,00	54,4	0,19

На основі ретельного аналізу та обчислень, що стосуються виробничої потужності спеціалізованого агрегату для роздачі кормів ЗРК-10, і базуючись на методології, представлений у формулі (1.4), було визначено наступний ключовий показник:

$$Q_{ЗРК} = 10 \cdot 0,4 / 0,74 = 5,4 \text{ т/год.}$$

З метою визначення оптимальної та достатньої кількості одиниць кормороздавальної техніки для забезпечення ефективного функціонування процесу, був здійснений додатковий розрахунок:

$$n_{ЗРК} = 5,34 / 5,4 = 0,98.$$

Беручи до уваги, що отримане розрахункове значення не є цілим числом, і, відповідно до практичних вимог, неможливо використовувати частку машини, було прийнято обґрунтоване рішення про залучення до роботи однієї повноцінної одиниці кормороздавального агрегату моделі ЗРК-10. Узагальнені відомості стосовно потреби в інших технічних засобах та супутньому обладнанні, що є невід'ємною частиною технологічного процесу, детально представлені у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5

Визначення оптимальної потреби у машинно-технічних ресурсах

Етапи технологічного процесу формування кормової суміші	Продуктивність технологічного етапу, кг/год.	Чисельність задіяних одиниць обладнання	Тип/модель технічного засобу	Індивідуальна продуктивність одиниці обладнання, кг/год.
Первинна обробка та введення: коренебульбоплодів	780	1	ІКМ-Ф-5	10000
		2	ТК-10Б	10000
		1	ДС-15	15000
концентрованих кормів	325,8	1	ДК-10	10000
		1	МКУ-0,5	500
		1	ПК-6	10000
Переміщення волокнистих компонентів до ділянки попередньої обробки	4266	1	2ПТС-4М	-
Підготовка та дозування об'ємних кормів: силосованої маси	2765	1	ЛІС-3,0	3000
висушеної трав'яної маси (сіно)	642	1	ЛІС-3,0	3000
		1	подрібнювач*	3000
підв'яленої трав'яної маси	859	1	ЛІС-3,0	3000
Гомогенізація (змішування) складових	5340	1	ЗРК-10	5400
Подача волокнистих компонентів до змішувального агрегату	4266	1	MERLO P 34.7	-
Завантаження стеблових компонентів суміші до змішувача	4266	1	ТЛ-65	15000

* потребує формування

Принцип дії та послідовність операцій, що здійснюються в рамках системи приготування кормів, висвітлюються за допомогою деталізованої технологічної схеми, яка візуально представлена на рисунку 1.3 та додатково уточнена на аркуші 1 відповідної графічної документації.

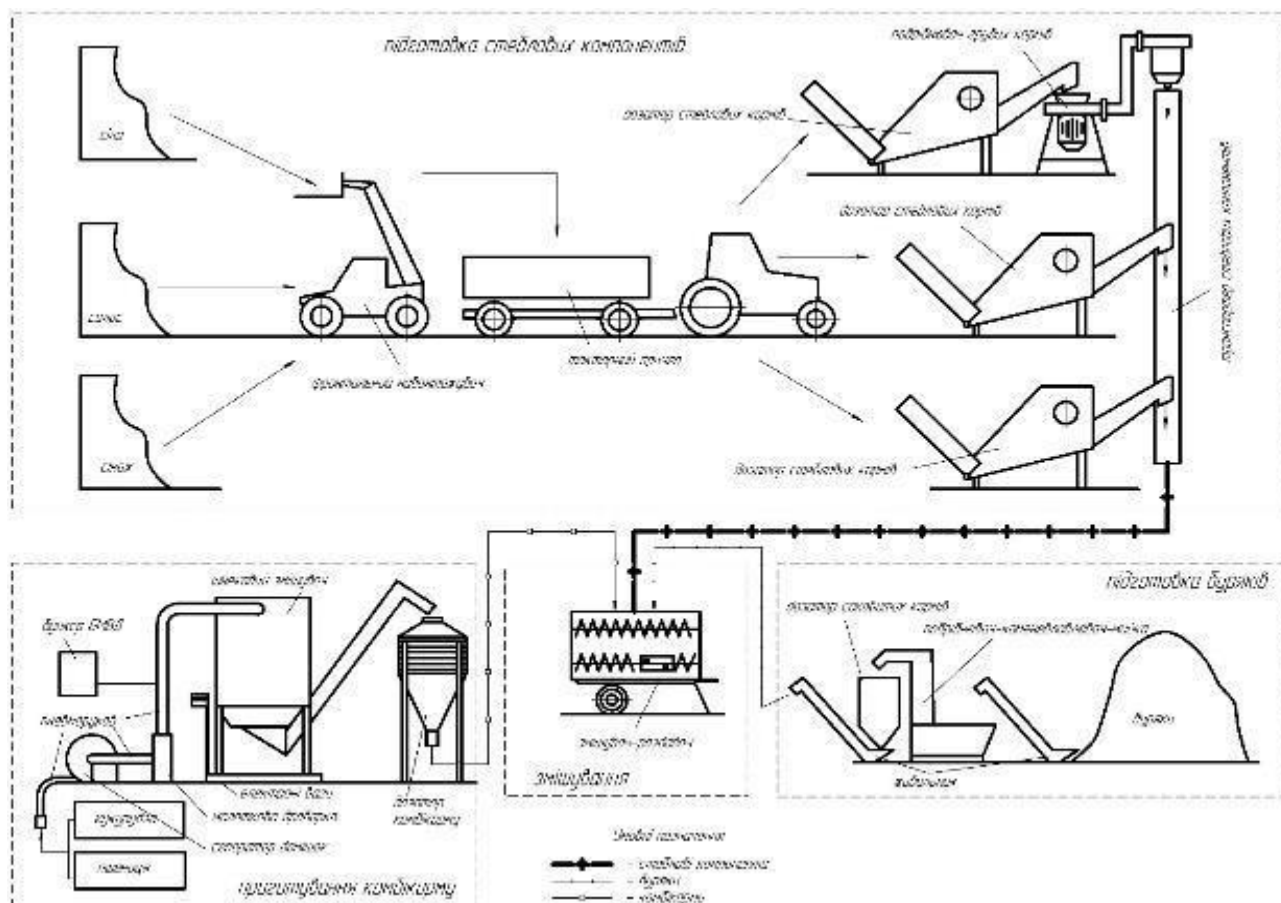


Рис. 1.3. Принципова блок-схема технологічного циклу отримання кормової суміші

1.5. Висновки за розділом

За результатами проведених досліджень та розрахунків у даному розділі було обґрунтовано та розроблено проект модернізації технологічної лінії приготування кормів для умов молочно-товарної ферми. На основі аналізу існуючого технічного парку господарства та врахування сучасних світових тенденцій у галузі кормовиробництва, було запропоновано раціональну комбіновану технологію. Вона базується на поєднанні стаціонарної підготовки сировини з використанням наявної інфраструктури та фінальної гомогенізації раціону за допомогою мобільних технічних засобів, що дозволяє суттєво підвищити якість годівлі при оптимізації капітальних витрат.

Запропонована комплектація лінії передбачає чітку послідовність

операцій для кожної групи кормів. Зокрема, для стеблових компонентів реалізовано схему завантаження фронтальним навантажувачем у причіп 2ПТС-4М з подальшою подачею силосу та сінажу через живильники ЛПС-3,0 на транспортер ТЛ-65. Окрему увагу приділено лінії коренеплодів, де передбачено використання завантажувача ТК-10Б, мийки-коренерізки ІКМ-Ф-5 та дозувального пристрою ДС-15 безпосередньо біля місця зберігання. Виготовлення концентрованої частини раціону покладено на малогабаритну установку МКУ-0,5 із впровадженням точного дозування агрегатом ДК-10, а фінальне змішування та роздача здійснюється мобільним змішувачем ЗРК-10.

Математичне обґрунтування параметрів лінії підтвердило, що запропонований комплекс машин повністю задовольняє потреби поголів'я в межах встановленого технологічного регламенту. Водночас виявлено необхідність вдосконалення ділянки підготовки грубих кормів, оскільки стандартні рішення потребують адаптації до специфічних умов господарства. Це визначає вектор подальших досліджень, які будуть висвітлені у наступному розділі та присвячені інженерній розробці конструкції подрібнювача сіна, інтегрованого в структуру даної машинно-технологічної лінії.

РОЗДІЛ 2

КОНСТРУКТИВНА РОЗРОБКА АГРЕГАТУ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ СІНА

2.1. Аналіз сучасного стану механізації процесу

Ефективність функціонування молочно-товарних ферм безпосередньо залежить від ступеня механізації підготовчих операцій, серед яких найбільш енергоємною є стадія подрібнення грубих кормів. На сучасному етапі розвитку агропромислового комплексу для реалізації цієї технологічної операції застосовується ряд серійних машин, зокрема агрегати марок РСС-6Б, ІГК-30Б, ІСК-3А, ІРТ-165, КДУ-2 та «Волгарь-5». Проте системний аналіз їхньої експлуатації в умовах реального виробництва виявив низку суттєвих недоліків: значна встановлена потужність електроприводів, висока питома металоємність конструкцій та недостатня експлуатаційна надійність робочих органів.

З точки зору зооінженерних нормативів, критично важливим є не просто механічне розчленування стебел, а якісна структурна підготовка корму. Найбільш раціональним у цьому аспекті є подрібнювач штифтового типу ІГК-30Б. Його функціональною особливістю є використання системи рухомих та нерухомих штифтів, що забезпечують складну деформацію сінної маси: розривання, переминання та поздовжнє розщеплення волокнистої структури. Такий механічний вплив сприяє руйнуванню лігніно-целюлозних оболонок, що істотно інтенсифікує процеси травлення у жуйних тварин та підвищує конверсію корму.

Незважаючи на високу якість фінального продукту, широке впровадження базової моделі ІГК-30Б у сучасні кормоприготувальні лінії стримується її низькою енергоефективністю (встановлена потужність 30 кВт) та складністю кінематичної схеми. В умовах дефіциту енергоресурсів та переходу господарств на локальні системи приготування кормів, актуальним стає завдання розробки спеціалізованого агрегату для подрібнення сіна.

Проектована конструкція повинна забезпечити поєднання переваг штифтового подрібнення з оптимізацією енергетичних параметрів. Метою даної розробки є створення компактного, надійного та менш енергоємного агрегату, який за техніко-економічними показниками перевершуватиме існуючі прототипи, забезпечуючи при цьому високу якість сінної різки для потреб тваринництва.

2.2. Вимоги до якості подрібнення грубих кормів

З урахуванням проведеного аналізу недоліків існуючих технічних засобів, проектування нового агрегату потребує суворого дотримання нормативних вимог до підготовки кормів. Процес подрібнення сіна в розробленій конструкції має бути підпорядкований зоотехнічним стандартам, оскільки від фізичних параметрів отриманої продукції безпосередньо залежить ефективність її засвоєння тваринами.

До основних критеріїв якості та техніко-експлуатаційних показників розроблюваного агрегату висуваються наступні вимоги. По-перше, подрібнена маса повинна мати однорідний фракційний склад із довжиною часток у межах від 4 до 10 міліметрів. При цьому стебла мають бути не лише розрізані, а й максимально розщеплені вздовж волокон, що забезпечує руйнування зовнішніх оболонок рослини та прискорює ферментацію корму.

По-друге, агрегат повинен підтримувати стабільну продуктивність на рівні не нижче 3 тонн за годину з можливістю регулювання інтенсивності подачі сировини. По-третє, пріоритетним завданням є зниження встановленої потужності приводу в порівнянні з існуючими аналогами та забезпечення сумісності габаритів машини з планувальними рішеннями типових кормоцехів.

Крім того, робочі органи мають характеризуватися високою стійкістю до абразивного зношування та хімічного впливу рослинного середовища. Конструкція агрегату також повинна гарантувати мінімальний рівень

запиленості робочої зони та виключати термічне пошкодження сухої маси внаслідок тертя в робочій камері. Побудований таким чином технологічний процес дозволить отримати високоякісний корм при суттєвому зниженні енергетичних витрат на його виробництво.

2.3. Дослідження конструктивних рішень подрібнювальних машин

Для обґрунтування вибору найбільш раціональної схеми проєктованого агрегату необхідно провести критичний аналіз існуючих технічних рішень, що застосовуються в серійних машинах для обробки стеблової маси. Одним із базових зразків штифтових машин є подрібнювач «ІГК-30Б» (рис. 2.1).

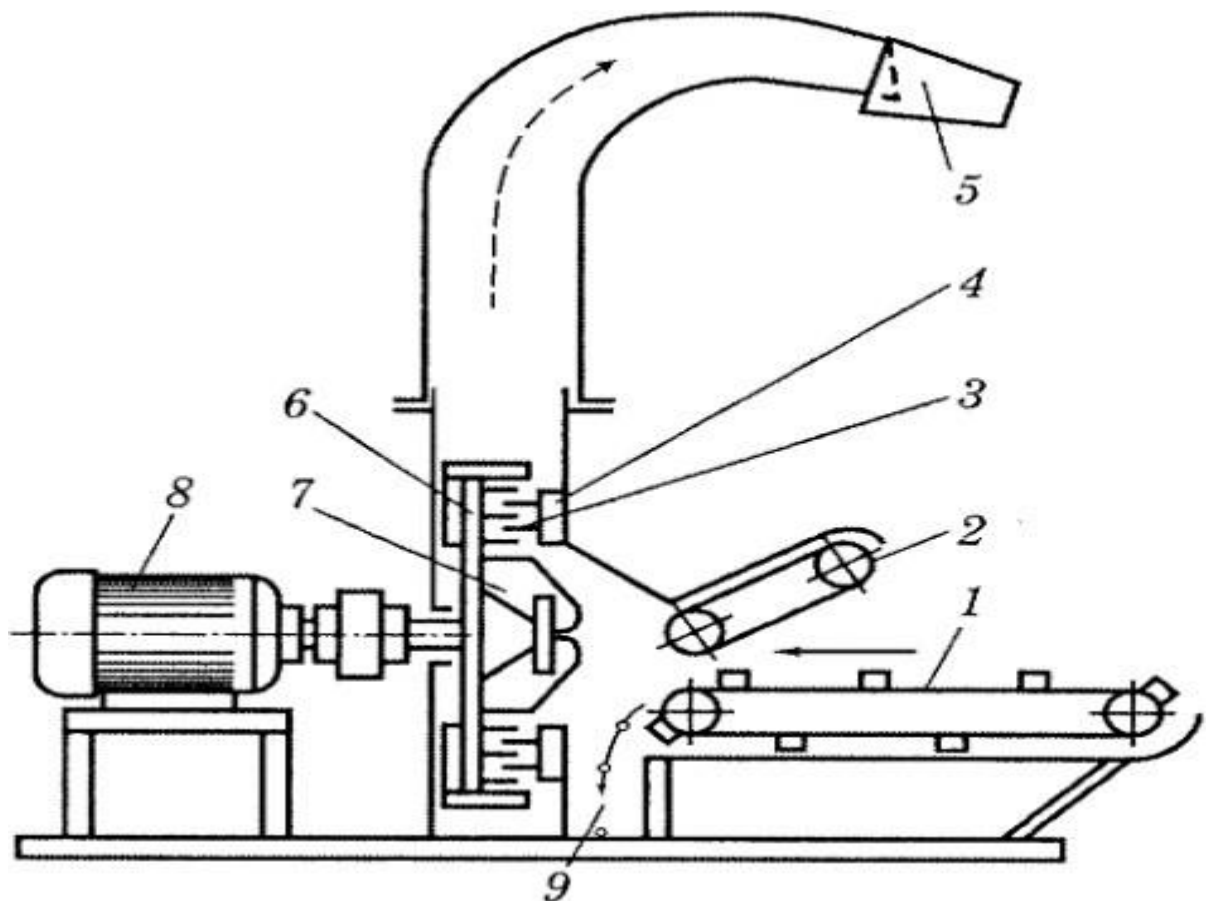


Рис. 2.1. Принципова технологічна схема функціонування розмелювального агрегату типу «ІГК-30Б»

Конструкція даного агрегату включає кілька ключових елементів. Механізм подачі спрямовує оброблюваний матеріал до робочої камери, де

розташований обертовий елемент, оснащений ріжучими лезами. Ці ріжучі елементи фіксуються на дисковій основі ротора шляхом використання штифтів та призматичних прокладок, що забезпечує їх стабільне положення та запобігає несанкціонованому повертання. Ротор монтується в єдиній опорній конструкції та орієнтований вертикально всередині циліндричного корпусу. У верхній секції камери встановлено статичний диск з контр-різальними штифтами, тоді як до обертового диска приєднано направляючий конічний елемент та лопатеві пристрої. Принцип функціонування даного подрібнювача полягає в наступному: оброблюваний матеріал (наприклад, солома) завантажується до приймального бункера і, під впливом гравітації, надходить на направляючий конус. Лопатеві елементи конуса спрямовують субстрат у зону інтенсивної взаємодії між ріжучими лезами та контр-штифтами, де відбувається його розминання, розрізання, розщеплення. Після подрібнення матеріал, за допомогою аеродинамічного потоку, що генерується лопатями обертового диска, виводиться у вихідний канал. Привід ротора здійснюється від електричного двигуна через спеціалізовану з'єднувальну муфту, що забезпечує передачу крутного моменту.

Агрегат для подрібнення грубих кормів моделі «ІРТ-165» (рисунок 2.2) розроблений для комутації сіна, соломи та аналогічних волокнистих кормових матеріалів. Ключовими структурними елементами даного апарату є: приймальний бункер, робоча камера, що оснащена роторним механізмом, різальні елементи, система силового приводу, а також вивантажувальний дефлектор, призначений для евакуації переробленого матеріалу. Приймальний бункер функціонує як засіб для подачі вихідної сировини до робочої камери. Його конструктивне рішення забезпечує рівномірну та контрольовану подачу кормового матеріалу до роторного пристрою. Введений матеріал поступово спрямовується на конічний розподільник, що сприяє його однорідному розподілу по всьому внутрішньому простору робочої камери.

Обертовий елемент подрібнювача (рис. 2.3) є центральним функціональним вузлом і розміщується в горизонтальній площині всередині

робочої камери. Він складається з дископодібної металевої основи, на якій інтегровані ріжучі елементи. Монтаж ріжучих елементів до дископодібної основи реалізується за допомогою болтового кріплення; вони характеризуються різноманітністю геометричних форм та позиціонування, що сприяє ефективній фрагментації різноманітних видів кормової сировини. Даний роторний механізм жорстко зафіксований на приводному валу, обертання якого забезпечується електродвигуном через систему пасових передач або механічну муфту.

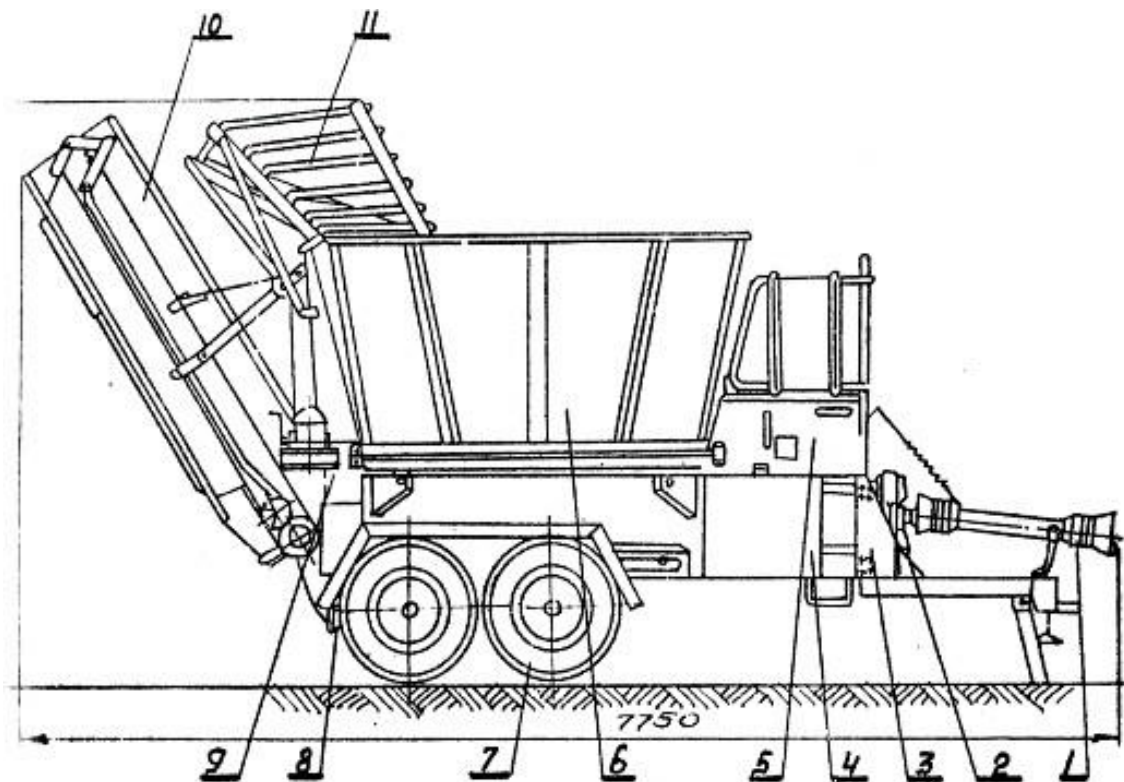


Рис. 2.2. Установка для подрібнення грубоволокнистої кормової сировини, модифікація «ІРТ-165»

Силовий агрегат машини представлений електродвигуном, параметри якого розраховані відповідно до проектної продуктивності та фізико-механічних властивостей оброблюваної сировини. Приводна система забезпечує передачу крутного моменту на вал ротора, підтримуючи необхідну кутову швидкість для ефективного протікання процесу. Технологічний процес подрібнювача «ІРТ-165» реалізується наступним чином: вихідна маса подається у завантажувальний бункер і під дією власної ваги надходить на напрямний конус. Розподільчі лопаті спрямовують потік корму безпосередньо у робочу

зону ротора. Внаслідок високої швидкості обертання ножової системи відбувається інтенсивне подрібнення матеріалу шляхом поєднання механічного різання та ударного дроблення. Евакуація готової фракції з робочої камери здійснюється пневматичним способом — подрібнені частки захоплюються повітряним потоком, що генерується ротором, і видаляються через вихідний дефлектор. Застосування даної схеми дозволяє отримати корм з високими показниками засвоюваності та оптимальною насипною щільністю для подальшої логістики.

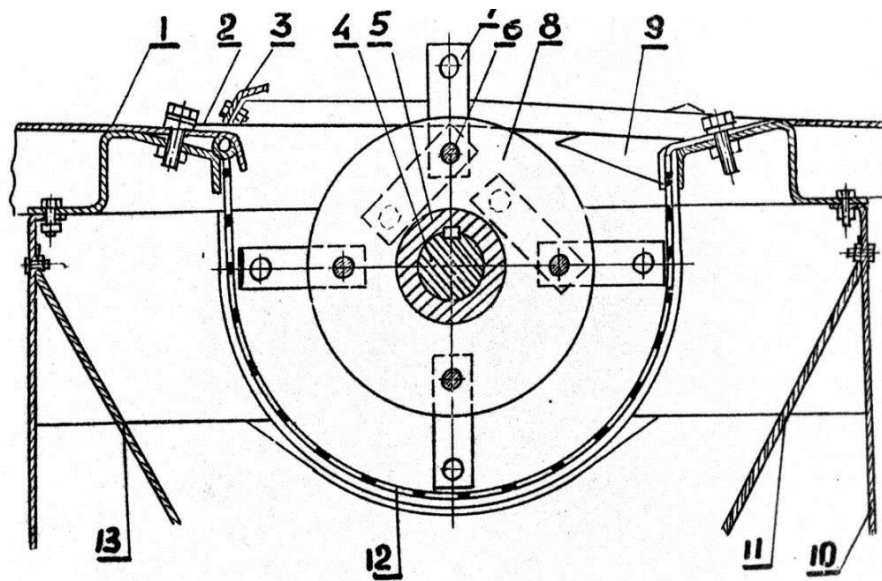


Рис. 2.3. Схематичний переріз робочого органу для подрібнення установки «ІРТ-165»

На рисунку 2.4, зображено соломорізку моделі «РСС-6Б», що призначена для ефективного подрібнення сіна, соломи та інших видів грубих стеблових кормів. Її конструкція включає приймальний бункер, механізм примусової подачі матеріалу, роторний ріжучий апарат, приводну систему та вузол вивантаження у вигляді дефлектора. Технологічний процес функціонування машини розпочинається з надходження вихідної сировини у завантажувальний бункер, конструктивні особливості якого забезпечують безперервність подачі матеріалу до живильного пристрою. Далі кормова маса захоплюється подавальними вальцями, які забезпечують її рівномірне та стабільне переміщення у напрямку ріжучого апарата. Застосування такого механізму сприяє вирівнюванню навантаження на робочі органи та

підвищенню однорідності отриманої подрібненої маси. Ріжучий вузол, що є ключовим елементом конструкції, виконаний у вигляді ротора з жорстко закріпленими ножами, які пройшли балансування для зменшення вібрацій під час роботи. Розташування та форма ножів оптимізовані для забезпечення високої якості різання за мінімальних витрат енергії. Обертання ротора здійснюється від електродвигуна через пасову передачу або муфтове з'єднання. Потужність приводу визначається відповідно до продуктивності агрегату та фізико-механічних властивостей кормової сировини. Така система забезпечує підтримання стабільної частоти обертання ротора, що є необхідною умовою для отримання якісного зрізу та формування однорідної структури подрібненого матеріалу.

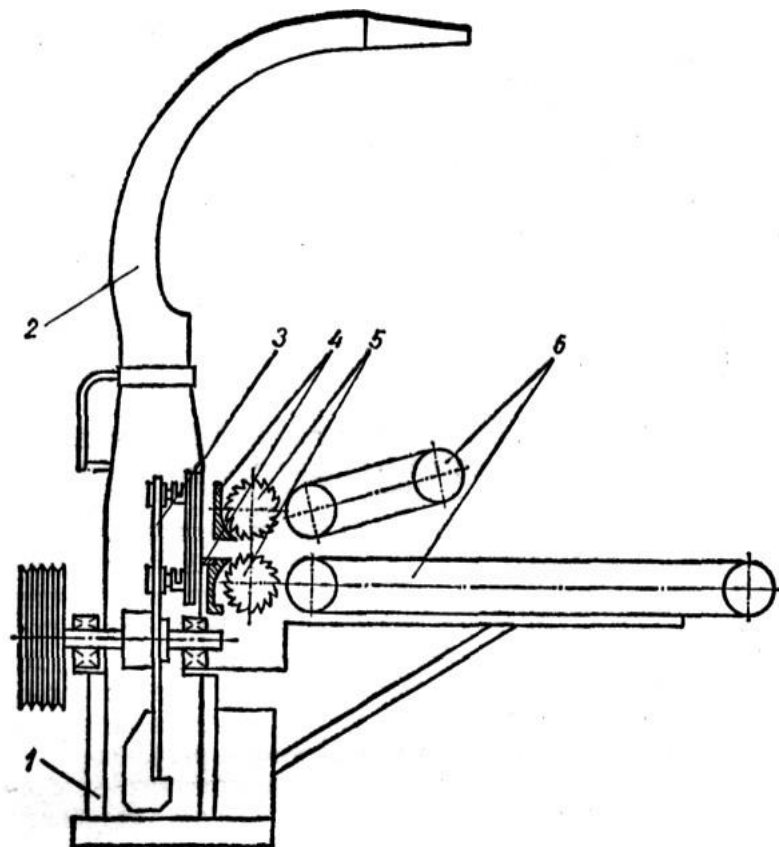
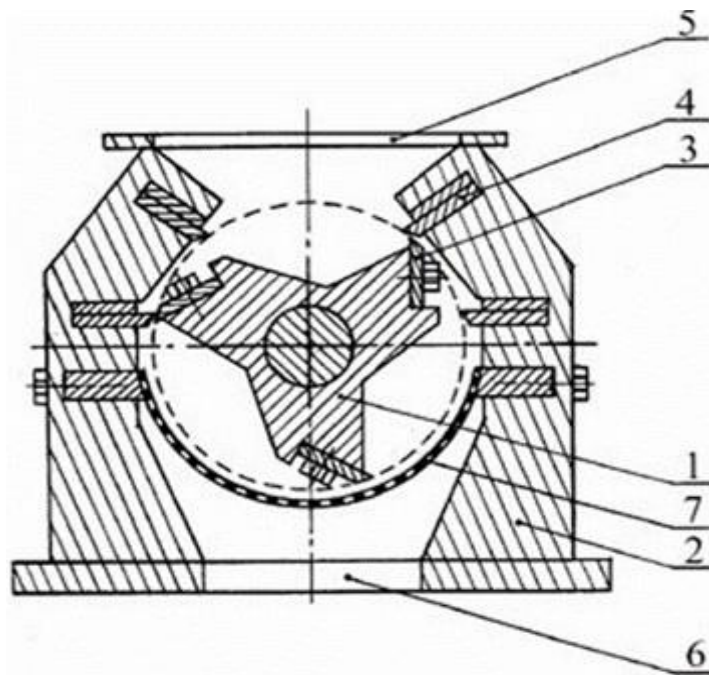


Рис. 2.4. Принципова схема соломоподрібнювача моделі «РСС-6Б»

Принцип роботи соломорізки моделі «РСС-6Б» полягає у поетапній механічній обробці сировини. Вихідний матеріал надходить у приймальний бункер, після чого спрямовується до механізму подачі. За допомогою подавальних вальців забезпечується безперервне транспортування кормової

маси до ріжучого апарата, де вона потрапляє в зону дії робочих органів. Ротор, оснащений ножами, що обертаються з високою частотою, здійснює інтенсивне подрібнення матеріалу до заданого розміру частинок. Отримана подрібнена маса виводиться з робочої камери за рахунок повітряного потоку, сформованого обертанням ротора, через вивантажувальний патрубок. Використання даного агрегату забезпечує формування однорідної кормової маси, що підвищує рівень її засвоюваності та спрощує процеси подальшого транспортування і зберігання.

Модель «Корсар Р-190» є багатофункціональним пристроєм для ефективної переробки різних матеріалів. Як ілюструє рисунок 2.5, даний агрегат спроектований спеціально для подрібнення рослинних залишків, органічних відходів та широкого спектра іншої сировини. Його ключовою особливістю є інтегрований горизонтальний роторно-ножовий механізм, який забезпечує високоякісне роздрібнення.



**Рис. 2.5 Конструктивна схема роторно-лезового апарата типу
«Корсар Р-190»:**

*1 – роторний блок; 2 – корпусна частина; 3 – рухомі ріжучі елементи; 4 –
нерухомі ножі; 5 – вхідний патрубок; 6 – вивантажувальний отвір; 7 –
просіювальна решітка*

Ключовим конструктивним елементом подрібнювального апарату є зіркоподібний ротор, який горизонтально розміщений та здатен до обертання в межах його корпусу. На цьому роторі закріплені плоскі мобільні ножі, які фіксовані вздовж утворюваних вершин зіркової конфігурації. Внутрішня поверхня корпусу оснащена нерухомими ножами. У верхній та нижній секціях корпусу передбачені апертури для подачі вихідної сировини та вивантаження подрібнених фракцій відповідно. Регулювання необхідної фракції продукту досягається за допомогою змінної перфорованої сітки. Принцип функціонування даного пристрою полягає в наступному. Вихідний матеріал з завантажувального бункера через вхідний отвір надходить до робочої камери, де в процесі обертання ротора здійснюється дезінтеграція матеріалу між мобільними та стаціонарними ножами. Зазор між цими елементами може регулюватися шляхом переміщення нерухомих ножів, інтегрованих у корпус. Подрібнені частки проходять крізь перфорації сітки, розташованої в базальній частині корпусу, і виводяться з апарату через вивантажувальний порт. Інтеграція маховика сприяє зниженню механічного навантаження на приводний двигун.

Проведений аналіз показує, що для досягнення високої якості розщеплення волокон сіна при одночасному зниженні енергоємності, найбільш перспективним є поєднання штифтового принципу подрібнення, як в «ІГК-30Б» з компактністю та інерційними рішеннями сучасних роторних машин.

2.4. Конструктивна розробка агрегату для подрібнення сіна

Основою запропонованої конструкції є циліндрична робоча камера, всередині якої змонтовано вертикальний роторний вузол. Головним функціональним елементом є диск із системою ріжучих ножів. Для забезпечення високої експлуатаційної надійності та запобігання передчасному виходу з ладу, ножі зафіксовані на дисковій поверхні за допомогою спеціальних

шипів та призматичних шайб. Таке кріплення, підсилене наявністю технологічних лисок на хвостовиках ножів, гарантує жорстку фіксацію та унеможливорює їх самовільне провертання під час пікових динамічних навантажень.

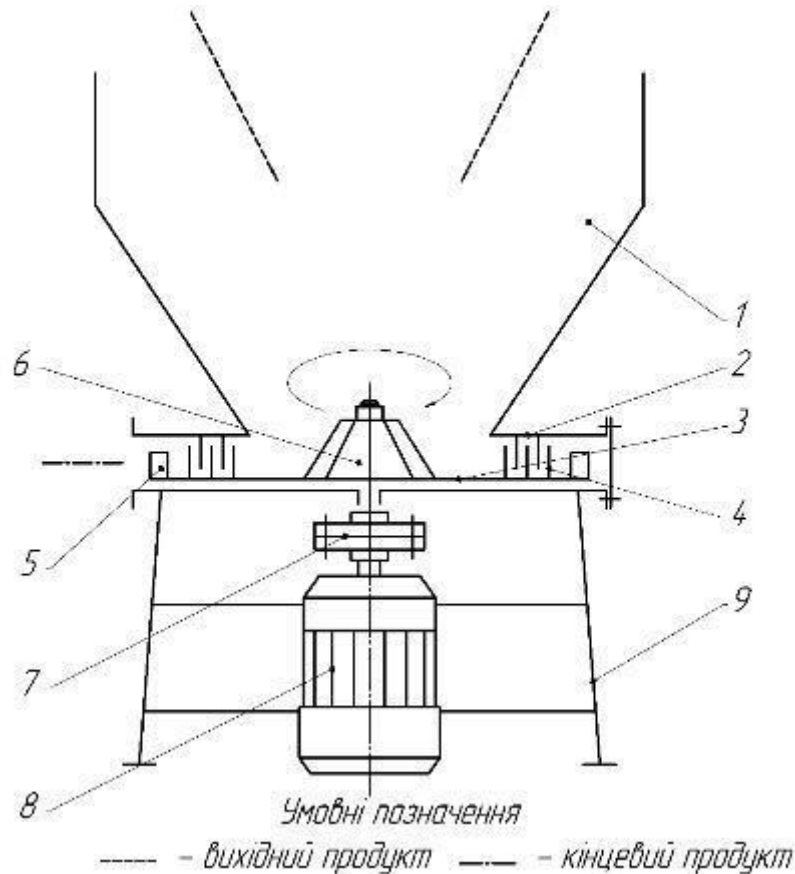


Рис.2.6. Принципова схема удосконаленої конструкції подрібнювального пристрою грубих кормів:

1 – приймальний бункер; 2 – робочий диск з штифтовими елементами; 3 – обертовий елемент; 4 – ріжучі елементи; 5 – лопать; 6 – робоче колесо; 7 – пружна сполучна муфта; 8 – електричний привод; 9 – рама.

Роторний вал встановлений у вертикальному положенні на одноопорній підшипниковій базі. У верхній зоні робочого простору нерухомо закріплений диск із системою штифтів-протиризів, які утворюють з робочими ножами деструктивну пару. На рухомому диску додатково встановлено напрямний конус та систему лопатей. Останні виконують роль відцентрового крилача, що генерує повітряний потік, необхідний для пневматичного транспортування подрібненої сінної різки до вивантажувального дефлектора. Силова передача

від приводного електродвигуна до вала ротора реалізується через пружну втулково-пальцеву муфту, що дозволяє демпфувати пускові моменти.

Технологічний процес розробленого агрегату протікає за наступною схемою. Вихідна сінна маса подається у завантажувальну воронку і під дією власної ваги потрапляє на поверхню напрямного конуса. Завдяки інерційним силам та впливу розподільчих лопатей, матеріал спрямовується безпосередньо в зону інтенсивної взаємодії ножів та стаціонарних штифтів. У цій зоні стебла зазнають комплексного механічного впливу: переминання, поперечного перерізання та поздовжнього розщеплення волокон. Після досягнення необхідної кондиції, подрібнені частки підхоплюються повітряним потоком і евакуюються з робочої камери через вихідний патрубок.

Ключовою конструктивною відмінністю розробленого агрегату від серійного прототипу ІГК-30Б є відмова від енергоємного завантажувального транспортера та окремого механізму його приводу. Впровадження вертикальної компоновки ротора та прямої подачі через воронку дозволило суттєво спростити кінематичну схему, знизити металоємність виробу та забезпечити стабільну роботу при подрібненні сіна з підвищеним рівнем вологості.

2.5. Технічний розрахунок робочих характеристик агрегату

2.5.1. Обґрунтування потужності електродвигуна

Визначення необхідної потужності привода базується на розрахунку силових факторів, що виникають під час механічної взаємодії ножа з шаром рослинної сировини. Зусилля різання, яке припадає на один ніж, розраховується за залежністю:

$$P_{різ} = \delta \cdot \delta_p \cdot \Delta S \quad (2.1)$$

Де δ_p – контактна напруга, необхідна для структурного руйнування сінної маси при різанні ($\delta_p=11 \cdot 10^6 \text{Па}$);

δ – показник гостроти ріжучої кромки леза ($\delta = 20$ мкм);

ΔS – лінійний розмір активної ділянки леза ($\Delta S = 0,1$ м).

Провівши обчислення, отримуємо значення зусилля різання:

$$P_{різ} = 2 \cdot 10^5 \cdot 11 \cdot 10^6 \cdot 0,1 = 22 \text{ Н}.$$

Критичне зусилля, яке забезпечує процес подрібнення, визначається з урахуванням емпіричної залежності: Величина критичної сили, яка викликає процес подрібнення з зусиллям $P_{різ} = 0,8 \cdot P_{кр}$;

$$P_{кр} = \frac{P_{різ}}{0,8} = \frac{22}{0,8} = 27,5 \text{ Н}.$$

Обсяг енергії, що споживається безпосередньо під час виконання технологічної операції з подрібнення сировини, може бути оцінений відповідно:

$$N_n = K \cdot P_{кр} \cdot v_p \cdot \psi \quad (2.2)$$

Лінійна швидкість різання залежить від кінематичних параметрів ротора:

$$v_p = \pi \cdot n \cdot r_{сер} / 30 \quad (2.3)$$

Де n – розрахункова частота обертання вала ротора ($n = 1450 \text{ хв}^{-1}$);

$r_{сер}$ – усереднений радіус розташування ріжучих елементів становить 0,5 метра.

Обчислюємо швидкість:

$$v_p = \frac{3,14 \cdot 1450}{30} \cdot 0,5 = 79,9 \text{ м/с}.$$

Таким чином, визначена потужність, необхідна для здійснення конкретного технологічного процесу, досягає наступного значення:

$$N_n = 30 \cdot 27,5 \cdot 79,9 \cdot 0,2 = 12523,5 \text{ Вт} \approx 12,5 \text{ кВт}.$$

З урахуванням коефіцієнта запасу на можливі динамічні перевантаження $K' = 1,24$, визначаємо необхідну потужність на валу:

$$N_{ел} = N_n^1 \cdot K' \quad (2.4)$$

$$N_{el}^1 = 12,5 \cdot 12,5 = 15,6 \text{ кВт.}$$

Додатково враховуємо витрати енергії на функціонування пневмотранспортної системи агрегату. Витрата повітряного потоку розраховується як:

$$V = \frac{G_n}{\gamma_n} \quad (2.5)$$

Де γ_n – позначає густину повітря, її типові значення становить 1,24 кг/м³.

G_n – характеризує масову витрату повітря, що вимірюється в одиницях маси за одиницю часу.

$$G_n = \frac{Q_r}{3,6\mu} \quad (2.6)$$

Де Q_r – подрібнювального пристрою становить 3,0 м/с;

μ – параметр масової концентрації на рівні 0,84.

$$G_n = \frac{3,0}{3,6 \cdot 0,85} = 0,98 \text{ м/с}.$$

$$V = \frac{0,98}{1,24} = 0,79 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Енерговитрати на створення необхідного напору для транспортування різки визначаються за формулою:

$$N_{el}^{11} = (V \cdot h) / (\eta \cdot \eta_1 \cdot \eta_2) \quad (2.7)$$

Де η , η_1 , η_2 – є коефіцієнтами корисної дії (ККД) системи. Зокрема, η є загальним ККД системи, η_1 представляє ККД вентиляційного пристрою, а η_2 – ККД приводної передачі. Їхні числові значення становлять: $\eta = 0,55$, $\eta_1 = 0,96$ та $\eta_2 = 0,98$;

h – довжина траєкторії переміщення повітря, необхідну для його вертикального транспортування на задану висоту H , що дорівнює 1,5 м.

$$h = g \cdot \mu \cdot \gamma_n \cdot H. \quad (2.8)$$

$$h = 9,81 \cdot 0,85 \cdot 0,24 \cdot 0,5 = 15,5 \text{ Па}.$$

$$N_{el}^{11} = (0,79 \cdot 15,5) / (0,55 \cdot 0,96 \cdot 0,88) = 23,7 \text{ Вт.}$$

Сумарний показник енергоспоживання всього технічного комплексу дорівнює:

$$N = N_{el}^I + N_{el}^{11} = 15,6 + 0,0237 \approx 16 \text{ кВт.}$$

На основі отриманих результатів для реалізації техпроцесу обрано трифазний асинхронний електродвигун моделі АИРС100L4 (виробництва ПАТ «Електромотор», м. Полтава). Силова установка має номінальну потужність 16 кВт при частоті обертання 1450 об/хв. Дана модель забезпечує необхідний крутний момент для стабільної роботи подрібнювача в умовах нерівномірної подачі сировини та відповідає вимогам надійності для сільськогосподарського виробництва.

2.5.2. Розрахунок параметрів ріжучого механізму

Вихідним параметром для розрахунку геометрії робочих органів є задана технічна продуктивність агрегату $\Pi = 3000 \text{ кг/год.}$ Таке значення було обрано шляхом адаптації технічних характеристик від вже апробованого та успішно функціонуючого еталонного зразка, яким виступає базовий прототип ІГК-30Б.

Насамперед визначимо секундну витрату оброблюваної сировини:

$$\Pi_c = \Pi_n / 3600 = 3000 / 3600 = 0,83 \text{ кг/с.}$$

Для всебічного та ґрунтовного аналізу функціонування подрібнювального апарату є критично важливим встановити масу матеріалу, який піддається руйнуванню за один повний оберт ротора. Цей показник розраховується за такою залежністю:

$$G_{об} = \frac{\Pi_c \cdot 60}{n}, \quad (2.9)$$

Де n – позначає частоту обертання ротора, що становить 1450 обертів на хвилину (хв^{-1} .)

$$G_{об} = \frac{0,83 \cdot 60}{1450} = 0,044 \text{ кг}$$

Об'єм, який займає зазначена маса подрібненого сіна в робочій камері, визначається з урахуванням насипної щільності продукту:

$$V_c = G_{об} / \rho \quad (2.10)$$

Де ρ об'ємна маса розпушеної сінної різки, становить 70 кг/м³.

$$V_c = \frac{0,034}{70} = 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

$$V_k = h \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2)$$

$$V_k = 0,11 \cdot 3,14 \cdot (0,5^2 - 0,3^2) = 5,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3.$$

Важливим індикатором надійності техпроцесу є коефіцієнт запасу вільного об'єму, який показує ступінь заповнення камери:

$$K_3 = V_k / V_c = 5,5 \cdot 10^{-2} / 4,9 \cdot 10^{-4} = 112.$$

Отримане значення свідчить про значний експлуатаційний запас, що гарантує безперебійну роботу апарату навіть при короткочасних нерівномірних подачах маси.

На завершення проводимо верифікацію теоретичної продуктивності агрегату:

$$P_r = G_{об} \cdot n \cdot 60. \quad (2.11)$$

$$P_r = 0,034 \cdot 1450 \cdot 60 = 3000 \text{ кг/год.}$$

Результати розрахунку підтверджують відповідність запропонованих конструктивних параметрів ріжучого механізму заданим технічним вимогам проекту.

2.5.3. Оцінка надійності конструктивних елементів

Робочі органи (ножі) зафіксовані на дисковій поверхні нерухомо за допомогою нарізних з'єднань із застосуванням пружних шайб. У процесі

високошвидкісного обертання ніж піддається впливу згинального моменту, спричиненого опором матеріалу. Для розрахунку приймаємо екстремальне навантаження, що може виникнути під час експлуатації (рис. 2.7).

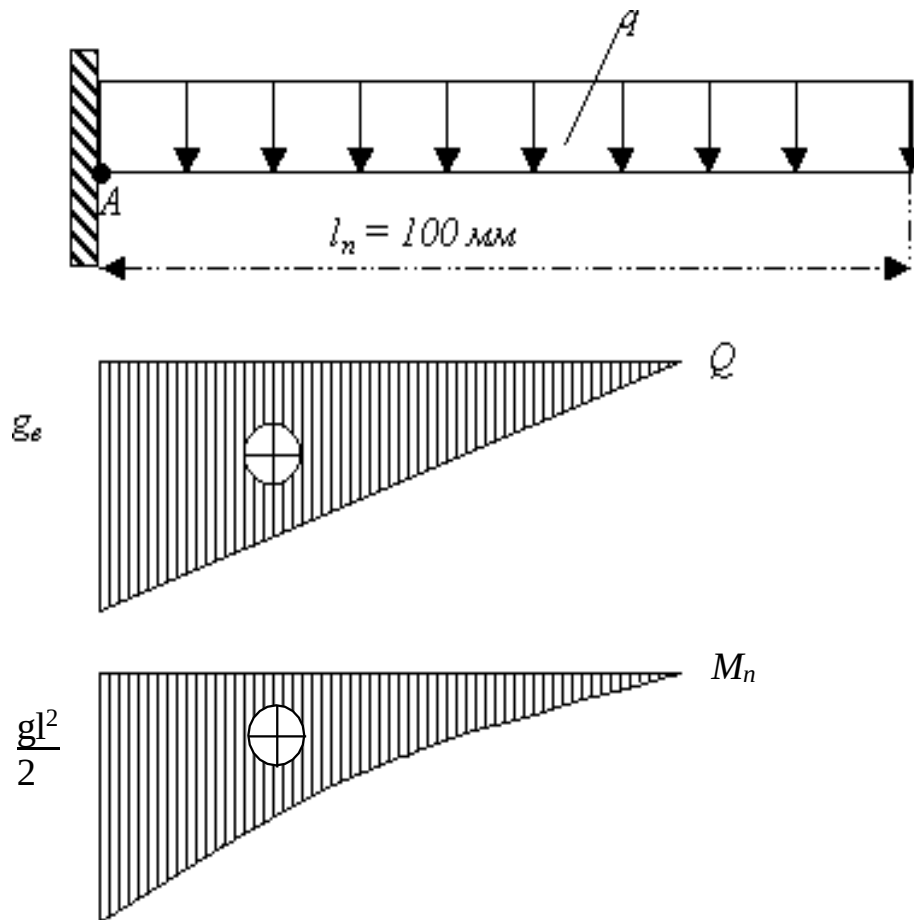


Рис. 2.7. Структурна схема для обчислення характеристик ріжучого інструмента

Розрахункове зусилля визначається через номінальний крутний момент:

$$Q = \frac{M_{np}}{r} = \frac{9550 \cdot N_{da}}{n \cdot r} . \quad (2.12)$$

$$Q = \frac{9550 \cdot 15}{1450 \cdot 0,5} = 1975 H .$$

Питоме навантаження на одиницю довжини леза становить:

$$q = \frac{Q}{l_n} = \frac{197,5}{100} = 1,975 \frac{H}{мм} \quad (2.13)$$

Максимальний згинальний момент у небезпечному перерізі (точка А):

$$M = q \cdot l^2 / 2 = 1,975 \cdot 100^2 / 2 = 985 H \cdot мм = 9,875 \cdot 10^3 H \cdot м . \quad (2.14)$$

Для перевірки міцності визначаємо необхідний момент опору та відповідний йому розрахунковий діаметр:

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{\omega}{0,7}}, \quad (2.15)$$

$$\omega = \frac{M}{[\sigma_{ng}]} \quad (2.16)$$

Де $[\sigma_{ng}]$ – допустима напруга при згині, величина якої, згідно з джерелом [13], становить 115 МПа.

Зокрема, при підстановці відповідних значень отримуємо:

$$\omega = \frac{9,875 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3}{115} = 8,586 \cdot 10^{-2} \text{ мм}^3$$

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{8,586 \cdot 10^{-2}}{0,7}} = 0,94 \text{ мм}$$

Враховуючи, що фактичний діаметр кріплення становить 10 мм, а розрахунковий діаметр значно менший, запас міцності ножів на згин є цілком достатнім.

Вал агрегату працює в умовах складного опору. Насамперед визначаємо крутний момент та орієнтовний діаметр вала за умовою міцності на скручування:

$$M_{np} = \frac{9550 N_{\partial\phi}}{n} \quad (2.17)$$

то,

$$M_{np} = \frac{9550 \cdot 15}{1450} = 98,8 \text{ Нм}.$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{np}}{0,2[\tau_{np}]}} \quad (2.18)$$

Де $[\tau_{np}]$ – граничне напруження кручення, властиве матеріалу вала, значення якого становить 40 МПа.

Отже,

$$d = \sqrt[3]{\frac{98,8 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 40}} = 24_{\text{мм}}.$$

Виходячи з визначеного діаметра вала, здійснюється ескізне проєктування. Схема прикладеного навантаження на вал представлена на рисунку 3.8. Наступним кроком є розрахунок опорних реакцій:

$$\sum M_a = 0 + R_b \cdot l_1 \cdot Q_1 \cdot (l_1 + l_1) - Q_2 \cdot (l_1 + l_2 + l_3) \quad (2.19)$$

$$\sum M_b = 0 R_a \cdot l_1 - Q_1 \cdot l_2 - Q_2 \cdot (l_2 + l_3). \quad (2.20)$$

$$R_b = (Q_1 \cdot l_2 + Q_2 \cdot (l_2 + l_3)) / l_1$$

$$R_b = [500 \cdot (0,05 + 0,06) + 250 \cdot (0,05 + 0,06 + 0,04)] / 0,05 = 1850 \text{ Н.}$$

$$R_a = [500 \cdot 0,06 + 250 \cdot (0,06 + 0,04)] / 0,05 = 1100 \text{ Н.}$$

Виконані обчислення свідчать, що максимальне значення згинаючого моменту локалізується в точці В. Відповідно, здійснюється кількісне визначення цієї величини.

$$M_n = R_b (l_2 + l_3).$$

$$M_n = 1850(0,06 + 0,04) = 185 \text{ Нм}.$$

Діючі напруження в критичному перерізі (точка В):

$$\sigma = M / (0,1 \cdot d^3) = (185 \cdot 10^3) / (0,1 \cdot 40^3) = 28,9 \text{ МПа} \quad (2.21)$$

Дотичне напруження:

$$\tau = M_{np} / (0,2 \cdot d^3) = (98,8 \cdot 10^3) / (0,2 \cdot 40^3) = 7,7 \text{ МПа} \quad (2.22)$$

Допустиме напруження:

$$[\sigma] = \sigma_T / n_T = 500 / 1,5 = 333 \text{ МПа.}$$

Представлено вихідні дані щодо механічних властивостей матеріалу та параметрів розрахунку. Зокрема, визначено такі характеристики:

- межа текучості при розтягу (σ_T) складає 500 МПа;
- твердість за Брінеллем (НВ) становить 200 одиниць;
- коефіцієнт чутливості матеріалу до асиметрії циклу навантаження для дотичних напружень (ψ_T) — 0,05;

- межа витривалості при симетричному циклі розтягу-стиску (σ_{-1}) становить 320 МПа;

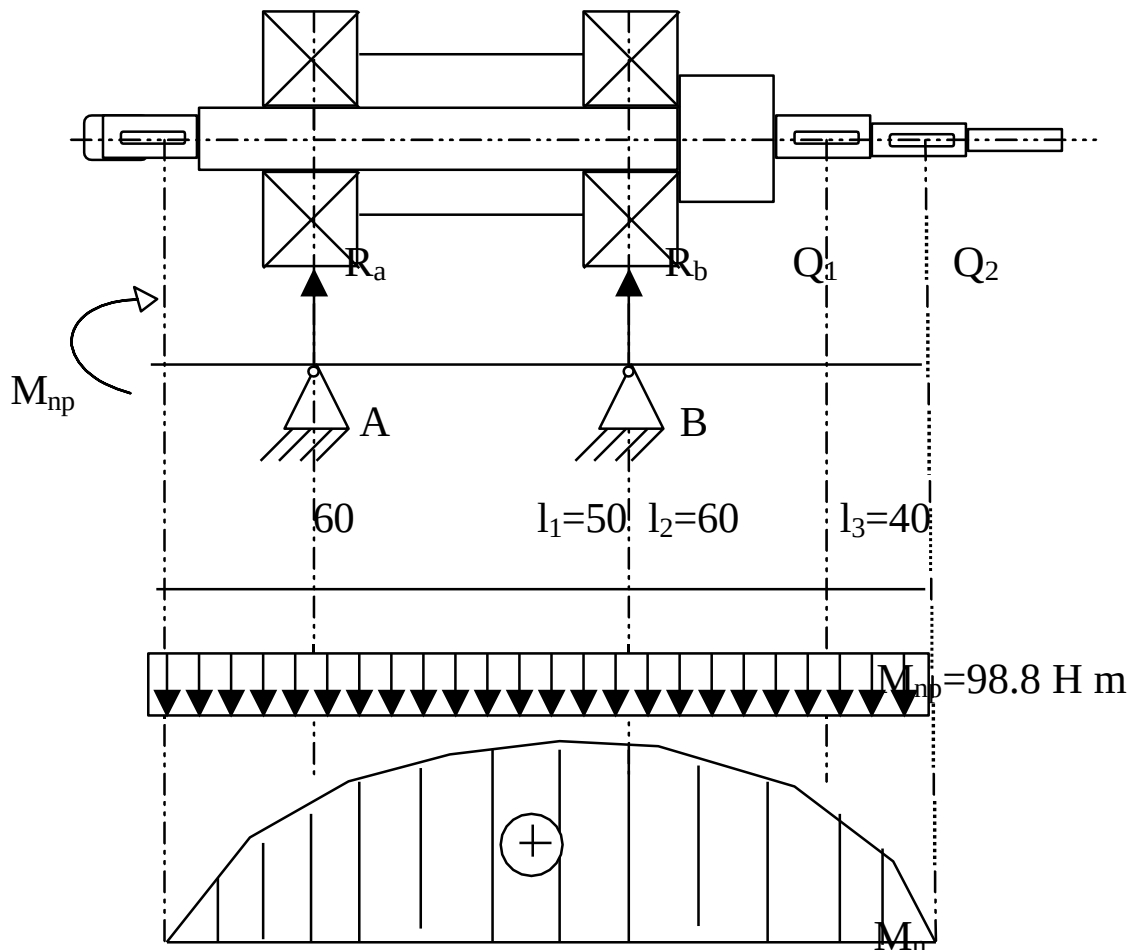


Рис. 2.8. Принципова схема, що слугує основою для інженерних розрахунків вала обладнання для подрібнення

- гранична міцність на розтяг (σ_b) дорівнює 730 МПа;
- межа витривалості при симетричному циклі зсуву (τ_{-1}) дорівнює 200 МПа;
- коефіцієнт чутливості матеріалу до асиметрії циклу навантаження для нормальних напружень (ψ_σ) — 0,1;
- межа пластичності при зсуві (τ_t) зафіксована на рівні 280 МПа.

Співвідношення межі текучості до граничної міцності на розтяг (σ_t/σ_b) обчислене як 0,6846. При цьому, рекомендований діапазон для допустимого коефіцієнта запасу міцності за текучістю ($[n_T]$) коливається в межах від 1,3 до 1,5.

Наступним етапом необхідно провести всебічний аналіз операційної ефективності та функціональної стійкості у критичному перерізі.

$$[\sigma_{CT}] = \frac{\sigma_T}{[n_T]} = \frac{500}{1,5} = 333 \text{ МПа}.$$

Найвище значення еквівалентного напруження:

$$\sigma_{екв, max} = K_n \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 2 \sqrt{28,9^2 + 3 \cdot 7,7 \cdot 2} = 31,8 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_{екв} < [\sigma_{CT}] = 333 \text{ МПа}.$$

Оскільки: $\sigma_{екв} < [\sigma]$ умова міцності виконується, тобто вал працює надійно. Здійснюється розрахунок коефіцієнта запасу міцності:

$$n\sigma = \sigma_{-1} / [K\sigma \cdot \sigma \cdot (K\sigma_k / K_d + K_F - 1)] \quad (2.23)$$

Коефіцієнт запасу за нормальними напруженнями:

$$n\sigma = (320) / [((1,7 / 0,79) + 1,1 - 1) \cdot 1 \cdot 28,9] = 4,9$$

Загальна формула для дотичних напружень:

$$n\tau = \tau_{-1} / [K\tau \cdot \tau \cdot ((K\tau_k / K_d) + K_F - 1)] \quad (2.24)$$

Підстановка значень:

$$n\tau = (220) / [((1,45 / 0,79) + 1,1 - 1) \cdot 1 \cdot 7,7] = 14,7$$

Оскільки розрахунковий коефіцієнт значно перевищує мінімально допустимий, умови втомної міцності вала подрібнювача виконані. Конструкція має достатній запас надійності для роботи в умовах нерівномірних навантажень та можливих короточасних перевантажень при завантаженні грубих кормів.

Це завершує перевірочний розрахунок вала, підтверджуючи правильність обраних геометричних параметрів та матеріалу (Сталь 45).

2.6. Висновки за розділом

Підсумовуючи результати проведених досліджень та конструкторських розрахунків в межах третього розділу, можна сформулювати наступні узагальнення:

По-перше, на основі детального аналізу існуючих технічних засобів, зокрема серійної моделі ІГК-30Б, було обґрунтовано доцільність модернізації

подрібнювального апарату. Запропоноване конструктивне рішення з вертикальною орієнтацією ротора та гравітаційним способом подачі сировини дозволило відмовитися від складних механізмів примусового живлення. Це не лише спростило загальну кінематику машини, а й підвищило її надійність за рахунок зменшення кількості рухомих елементів.

По-друге, розрахунковим шляхом встановлено, що оптимізація технологічного процесу забезпечує суттєве зниження енерговитрат. При збереженні нормативної продуктивності на рівні 3 тонн за годину, необхідна потужність силової установки була зменшена до 16 кВт. У порівнянні з базовим прототипом, енергоємність процесу скоротилася майже вдвічі, що підтверджує високу економічну ефективність розробленого агрегату.

По-третє, виконана оцінка напружено-деформованого стану найбільш навантажених вузлів. Аналіз втомної міцності вала та перевірка ріжучих органів на згин продемонстрували значні коефіцієнти запасу. Отримане значення результуючого коефіцієнта надійності на рівні 4,65 свідчить про високу зносостійкість конструкції та її здатність витримувати тривалі пікові навантаження під час деструкції грубих кормів.

Таким чином, розроблений агрегат відповідає сучасним вимогам агроінженерії та готовий до впровадження в склад технологічних ліній. У наступному розділі буде розглянуто комплекс організаційних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці під час експлуатації даного обладнання.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1. Аналіз нормативно-правової бази

Організація безпечного технологічного процесу приготування кормосумішей на фермах з розведення великої рогатої худоби (ВРХ) базується на комплексному дотриманні чинного законодавства України. Фундаментальним документом у цій сфері є Закон України «Про охорону праці» (№ 2694-XII). Згідно з його положеннями, роботодавець несе повну відповідальність за створення належних умов праці, мінімізацію виробничого травматизму та забезпечення здоров'я персоналу.

Зокрема, реалізація вимог безпеки на ділянці подрібнення грубих кормів передбачає наступні аспекти:

- кваліфікаційна підготовка: відповідно до статті 18 вищезгаданого Закону, персонал зобов'язаний проходити регулярні інструктажі, спеціальне навчання та періодичну перевірку знань щодо правил експлуатації обладнання та дій у надзвичайних ситуаціях;

- санітарно-гігієнічні умови: згідно з нормативами ДСН 3.3.5-099-2002, робочі місця операторів повинні відповідати встановленим вимогам щодо освітленості, ефективності припливно-витяжної вентиляції та температурного режиму. Це критично важливо для нейтралізації дрібнодисперсного рослинного пилу, що утворюється під час дезінтеграції сіна чи соломи;

- технічний стан агрегатів: вимоги НПАОП 0.00-1.59-87 регламентують, що всі механізми (включаючи вузли, що працюють під тиском або з високою кутовою швидкістю ротора) мають бути в технічно справному стані. Обов'язковим є проведення планово-запобіжних ремонтів та щозмінних оглядів;

- засоби індивідуального захисту (ЗІЗ): на основі НПАОП 01.0-1.02-00, який регулює охорону праці на фермах ВРХ, працівники мають бути

забезпечені спецодягом, окулярами та респіраторами. Це дозволяє попередити подразнення слизових оболонок та шкіри продуктами подрібнення;

- електробезпека: експлуатація привода подрібнювача повинна відповідати НПАОП 40.1-1.21-98. Це передбачає обов'язкове заземлення корпусу агрегату, наявність пристроїв захисного вимкнення та регулярний контроль ізоляції струмопровідних частин.

Таким чином, сформована нормативна база створює правове поле для безпечного функціонування кормоприготувальних ліній. Системний підхід до виконання цих правил дозволяє не лише запобігти нещасним випадкам, а й підвищити загальну культуру виробництва та ефективність експлуатації розробленого обладнання.

3.2. Розробка інструкції з охорони праці для оператора подрібнювального агрегату

Ефективна та безпечна експлуатація розробленого подрібнювача грубих кормів можлива лише за умови суворого дотримання персоналом встановленого регламенту. Ця інструкція є обов'язковим документом, що визначає алгоритм дій оператора на всіх етапах виробничого циклу — від підготовки обладнання до дій у критичних ситуаціях.

До роботи з агрегатом залучаються особи, які досягли повноліття та пройшли комплексний медичний огляд. Ключовою вимогою є успішне проходження спеціального навчання, а також вступного та первинного інструктажів на робочому місці. Кожен працівник має усвідомлювати свою відповідальність за дотримання норм пожежної безпеки, електробезпеки та вимог виробничої санітарії, що безпосередньо впливає на стабільність технологічного процесу.

Робоча зміна розпочинається з ретельного огляду робочої зони та перевірки технічного стану обладнання. Оператор зобов'язаний переконатися у

справності заземлювальних пристроїв, цілісності електричних кабелів та надійній фіксації ріжучих органів подрібнювача. Окрему увагу слід приділити засобам індивідуального захисту: наявність справного респіратора, захисних окулярів та спеціального одягу є критичною умовою, оскільки процес подрібнення супроводжується інтенсивним утворенням органічного пилу. Експлуатація техніки з будь-якими несправностями або без засобів захисту категорично забороняється.

У процесі подрібнення основне завдання оператора полягає у контролі рівномірності подачі сировини, що запобігає перевантаженню привода та заклинюванню робочих органів. Будь-які маніпуляції з налаштування чи очищення камери подрібнення дозволяється проводити виключно після повної зупинки агрегату та його фізичного від'єднання від електромережі. Важливо постійно стежити за наявністю захисних кожухів на рухомих вузлах та підтримувати чистоту на робочому місці, не допускаючи скупчення відходів, які можуть стати джерелом пожежної небезпеки.

По закінченню робіт обладнання має бути повністю знеструмлене. Оператор проводить очищення агрегату від залишків пилу та кормів, візуально оцінює знос робочих деталей і повідомляє керівництво про виявлені зауваження. У разі виникнення позаштатних ситуацій, таких як замикання, поява сторонніх шумів або травмування персоналу, робота негайно припиняється. Першочерговими діями є активація аварійної зупинки, евакуація людей із зони ризику та надання першої домедичної допомоги.

Завершуючи опис, варто зазначити, що кожен працівник несе персональну відповідальність за виконання цих норм. Свідоме дотримання інструкції є гарантією не лише збереження працездатності обладнання, а й забезпечення здоров'я та безпеки всього колективу ферми.

3.3. Висновки за розділом

Аналіз стану охорони праці та розробка заходів безпеки дозволяють стверджувати, що стабільне функціонування лінії приготування кормосумішей на фермах ВРХ можливе лише за умови системного підходу до захисту персоналу. Дотримання встановлених законодавством України норм є не просто формальною вимогою, а критичною необхідністю, що охоплює професійну підготовку кадрів, регулярний моніторинг технічного стану агрегатів та контроль за параметрами виробничого середовища, зокрема рівнями шуму, вібрації та запиленості.

Ключовим результатом розділу є розробка комплексної інструкції з охорони праці для оператора подрібнювача грубих кормів. Цей документ детально регламентує кожен етап взаємодії працівника з обладнанням: від передпускової перевірки систем до алгоритмів безпечного завершення зміни. Особливу увагу в інструкції приділено діям у позаштатних ситуаціях, що дозволяє максимально оперативно нейтралізувати потенційні загрози.

Таким чином, інтеграція запропонованих організаційних та технічних рішень створює надійний фундамент для безаварійної роботи кормоцеху. Практичне впровадження розроблених рекомендацій забезпечує високий рівень безпеки праці, мінімізує ризики виробничого травматизму та сприяє підвищенню загальної ефективності тваринницького підприємства.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ПОДРІБНЮВАЧА ГРУБИХ КОРМІВ

4.1. Формування вихідних даних для економічного аналізу

Економічна доцільність впровадження розробленого подрібнювача грубих кормів визначається шляхом порівняльного аналізу його техніко-економічних показників із характеристиками серійного аналога. У якості базового варіанта в даному дослідженні обрано подрібнювач ПК-30Б, який широко використовується у тваринницьких господарствах для подрібнення грубих кормів.

Водночас конструктивні особливості зазначених машин мають суттєві відмінності, що безпосередньо впливають на їх експлуатаційні та економічні показники. Зокрема, у подрібнювачі ПК-30Б застосовано механічний живильник, який забезпечує рівномірну подачу сировини в робочу зону. Проте використання такого вузла ускладнює конструкцію, підвищує матеріалоемність агрегату та зумовлює додаткові витрати енергії на його привід. На відміну від прототипу, проектний подрібнювач, розроблений у третьому розділі, орієнтований на підвищення ресурсоефективності та спрощення конструктивного виконання. Це досягається завдяки застосуванню гравітаційної подачі матеріалу, що дозволяє відмовитися від складного живильного механізму. У результаті зменшується металоємність машини, знижуються витрати на її виготовлення та технічне обслуговування. Крім того, оптимізація конструкції та параметрів робочого процесу дала змогу суттєво знизити енергоспоживання агрегату. Зокрема, встановлена потужність приводу зменшена з 30 кВт до 16 кВт, що забезпечує економію електроенергії при збереженні однакової продуктивності обох варіантів.

Таким чином, запропоноване технічне рішення має передумови для підвищення економічної ефективності експлуатації обладнання у порівнянні з

базовим зразком. Для кількісної оцінки цих переваг сформовано систему вихідних даних, яка враховує виробничі умови ферми та технічні параметри машин і використовується для подальших розрахунків (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Початкові дані для розрахунку економічних параметрів

Характеристика	Проектна модель подрібнювача	Модель ІГК-30Б
Чисельність обслуговуючого персоналу, осіб	1	1
Встановлена потужність приводу, кВт	16,0	30,0
Добова тривалість експлуатації, год.	0,856	0,856
Продуктивність обладнання, кг/год	3000	3000
Добовий обсяг оброблюваного матеріалу, кг	2567,5	2567,5
Облікова вартість, грн.	34590,00	52590,00

4.2. Оцінка економічної доцільності модернізованого обладнання

Методологічною основою для визначення доцільності впровадження проектного подрібнювача є порівняльний аналіз питомих експлуатаційних витрат базової та вдосконаленої технологій. Розрахунок економічних показників проведено відповідно до галузевих рекомендацій та методик оцінки ефективності нової техніки [3, 4], що дозволяє об'єктивно оцінити зниження собівартості процесу приготування кормів.

Ключовим критерієм ефективності проектного рішення є скорочення прямих витрат на експлуатацію. Завдяки спрощенню конструкції та оптимізації потужності приводу, вдалося досягти суттєвої економії за двома основними статтями: енергоспоживання та технічне обслуговування. Зокрема, зменшення енергоємності процесу майже вдвічі дозволило мінімізувати витрати на електроенергію, а зниження матеріалоємності агрегату призвело до пропорційного скорочення амортизаційних відрахувань та витрат на ремонт.

Результати розрахунків техніко-економічної ефективності, що

підтверджують переваги розробленого подрібнювача, зведено у таблицю 4.2. Ці дані також винесено на відповідний аркуш графічної частини проєкту.

Таблиця 4.2

Порівняльний аналіз ключових техніко-економічних показників для двох типів подрібнювальних установок: моделі ІГК-30Б та планованого агрегату

Модель ІГК-30Б	Параметри	Проектна модель агрегату
2567,5	Добовий обсяг перероблюваної сировини, кг	2567,5
3000	Погодинна продуктивність агрегату, кг/год	3000
5259,00	Амортизаційні відрахування за обладнання, грн.	3459,00
0,856	Середньодобова тривалість експлуатації, год	0,856
23206,49	Загальні експлуатаційні витрати, грн.	15434,85
-	Щорічна економія експлуатаційних витрат, грн.	7771,64
7888,5	Зокрема, витрати на технічне обслуговування та ремонт, грн.	5188,5
52590,00	Балансова (облікова) вартість, грн.	34590,00
7010,64	Витрати на спожиту електроенергію, грн.	3739,00
31094,99	Сукупні приведені витрати, грн.	20623,35
3048,35	Зокрема, витрати на оплату праці, грн.	3048,35
1	Чисельність обслуговуючого персоналу	1
30,0	Встановлена потужність привідного механізму, кВт	16,0
-	Період окупності додаткових капітальних інвестицій, роки	3,3
-	Щорічний економічний ефект, грн	10471,64

Аналіз отриманих даних свідчить про високу економічну привабливість модернізованого обладнання. Річний економічний ефект у розмірі 10471,64 грн та термін окупності, що становить 3,3 роки, підтверджують ефективність інженерних рішень, спрямованих на спрощення конструкції та зниження її енергоємності. Це робить проєктований подрібнювач конкурентоспроможним та рекомендованим до впровадження на скотарських фермах для оптимізації витрат на підготовку грубих кормів

4.3. Висновки за розділом

Проведений комплексний розрахунок техніко-економічних показників дозволяє об'єктивно оцінити доцільність впровадження розробленого подрібнювача у виробничий процес. Порівняльний аналіз із серійним прототипом ІГК-30Б підтвердив, що обраний шлях модернізації є економічно обґрунтованим і відповідає сучасним вимогам ресурсозбереження.

Завдяки спрощенню конструктивної схеми та відмові від енергоємних вузлів примусової подачі, було досягнуто суттєвого зниження собівартості технологічної операції. Основними чинниками, що забезпечили фінансову перевагу проекту, стали мінімізація витрат на електроенергію та зменшення амортизаційних відрахувань. Це дозволило отримати щорічний економічний ефект у розмірі 10471,64 грн.

Отримане значення терміну окупності капітальних інвестицій, яке становить 3,3 роки, свідчить про високу інвестиційну привабливість проекту та доцільність його впровадження на скотарських фермах. Таким чином, проєктований агрегат не лише виконує свої основні технологічні функції на рівні сучасних стандартів, а й сприяє підвищенню загальної рентабельності підприємства за рахунок зниження експлуатаційних витрат.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання дипломного проєкту було проведено комплексне дослідження технології приготування кормів на молочнотоварній фермі та розроблено технічні рішення, спрямовані на підвищення ефективності її функціонування.

На підставі результатів аналізу було запропоновано удосконалену технологічну схему приготування кормів, яка передбачає раціональне поєднання наявних технічних засобів із модернізованими вузлами. Запропонована схема забезпечує послідовне виконання всіх основних операцій — від підготовки стеблових кормів і коренеплодів до змішування компонентів у повнораціонну кормову суміш. Використання фронтального навантажувача, живильників ЛІС-3,0, транспортера ТЛ-65, обладнання для підготовки коренеплодів ТК-10Б та ІКМ-Ф-5, а також установки МКУ-0,5 для приготування комбікормів дозволяє підвищити організованість технологічного процесу. Завершальне змішування за допомогою змішувача-роздавача СРК-10 забезпечує високу однорідність готового корму. Особливу увагу в дипломному проєкті приділено конструкторській розробці подрібнювача грубих кормів. На основі аналізу конструкції подрібнювача ІГК-30Б було запропоновано нове технічне рішення, яке відрізняється спрощеною конструктивною схемою та більш раціональною організацією робочого процесу. Використання гравітаційної подачі сировини замість механічного живильника дозволило зменшити матеріалоємність машини та спростити її конструкцію. У результаті вдалося знизити потужність приводу з 30 кВт до 16 кВт при збереженні продуктивності на рівні 3 т/год. Проведені розрахунки основних параметрів і виконані робочі креслення підтвердили технічну працездатність і можливість практичного виготовлення розробленого подрібнювача.

У ході роботи також було розглянуто питання охорони праці та безпеки експлуатації обладнання. Аналіз умов праці на підприємстві показав, що впровадження нового подрібнювача потребує дотримання відповідних вимог

безпеки під час монтажу, налаштування та експлуатації. З цією метою були розроблені основні організаційно-технічні заходи, спрямовані на зниження ризику травматизму та забезпечення безпечної роботи обслуговуючого персоналу.

Проведена економічна оцінка підтвердила доцільність впровадження запропонованого технічного рішення. Завдяки зменшенню витрат на електроенергію, технічне обслуговування та амортизаційні відрахування проектний подрібнювач забезпечує зниження експлуатаційних витрат у порівнянні з базовим аналогом. Річний економічний ефект від його використання становить 10471,64 грн, а термін окупності капіталовкладень складає 3,3 роки, що свідчить про економічну ефективність розробки.

Таким чином, результати дипломного проекту підтверджують, що модернізація лінії приготування кормів і впровадження розробленого подрібнювача грубих кормів дозволяють підвищити техніко-економічні показники виробництва, знизити собівартість приготування кормів та покращити загальний рівень організації технологічного процесу. Запропоновані рішення можуть бути рекомендовані до практичного використання на молочнотоварних фермах аналогічного виробничого напрямку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ВНТП-АПК-01.05. Скотарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми)// Міністерство аграрної політики України (Мінагрополітики України) // Київ – 2005.
2. Машина для тваринництва та птахівництва // За редакцією В.І. Кравчука, Ю.Ф. Мельника, Дослідницьке, УкрНДІВПТ ім. Погорілого – 2009, -207 с.
3. Проектування механізованих технологічних процесів тваринницьких підприємств: Навч. посібник для студентів вищ. агр. закладів освіти 3 - 4 рівнів акредитації за спец. «Механізація сіл. госп – ва» (спеціалізація «Механізація тваринництва») /І.І. Ревенко, В.Д. Роговий, В.І. Кравчук та ін.; за ред. І.І. Ревенка. – К.: Урожай, 1999, - 199 с.
4. Практикум по машинах і обладнанню для тваринництва/ І.Г.Бойко, В.І. Гридасов, А.І.Дзюба та ін.; За ред. О.П. Скорика, О.І. Фісяченка. – Харків, 2004. – 272 с.
5. Нова сільськогосподарська техніка/ В.А.Ясенецький, В.С.Куліш, М.П. Мечта та ін.; За ред. В.А.Ясенецького. – К.: Урожай, 1991. – 320 с.
6. Машина для тваринництва та птахівництва // За редакцією В.І. Кравчука, Ю.Ф. Мельника, Дослідницьке, УкрНДІВПТ ім. Погорілого – 2009, -207 с.
7. Сайт фірми «GEA Farm Technologies» [Електронний ресурс]/ Каталог продукції Режим доступу: <http://www.gea-farmtechnologies.com/>, вільний. - Загл. з екрана. - Яз. укр., англ.
8. Сайт фірми DeLaval [Електронний ресурс]/ Каталог продукції Режим доступу: <http://www.delaval.ru/>, вільний. - Загл. з екрана. - Яз. рос.
9. Мазур Г.А. Підвищення родючості кислих ґрунтів. К.: Урожай, 1984. – 175 с
10. Погорілий Л.В., Єрмоленко В.О. Загальні концепції створення біоконверсного комплексу // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції „Випробування, прогнозування і адаптація до виробничих умов вітчизняної та зарубіжної техніки і технології для рослинництва та тваринництва». – До-

слідницьке: УкрНДІПВТ. – 1995 – С. 171

11. Гранично допустимі концентрації \ГДК\ та орієнтовні безпечні рівні діяння \ОБРД\ забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць/Міністерство екології та природних ресурсів України.

12. ДСТУ 4397: 2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 15 с.