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: «Розробка технологічного процесу роздавання кормів на молочній фермі з удосконаленням мобільного кормороздавача»

Виконав: студент _3 курсу, групи 31к-з-ім
освітньої програми___бакалавр_____
спеціальності _208 «Агроінженерія»_
__Ткачук Володимир Валерійович_____
(прізвище та ініціали)
Керівник к.т.н., доцент Шевчук В.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Умань – 2026

ЗМІСТ

ВСТУП.....5
РОЗДІЛ 1. ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ЛІНІЇ КОРМОРОЗДАЧІ.....6
1.1. Обґрунтування удосконалення мобільного кормороздавача.....7
1.2. Обґрунтування необхідності модернізації процесу годівлі.....8
1.3. Оцінка існуючої системи кормозабезпечення на фермі.....9
1.4. Формування удосконаленої технологічної схеми роздавання кормів.....10
1.5. Підбір технічних засобів проєкту.....12
1.6. Функціональна модель роботи системи кормозабезпечення.....14
1.7. Оцінка експлуатаційних характеристик.....15
1.8. Висновки за розділом.....16
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТИВНА ТРАНСФОРМАЦІЯ МОБІЛЬНОГО АГРЕГАТУ КОРМОРОЗДАЧІ.....18
2.1. Оцінка потреби в модернізації кормороздавача моделі КТУ-10А.....19
2.2. Дослідження існуючих технічних підходів.....19
2.2.1. Порівняльна характеристика кормороздавальних машин.....19
2.2.2. Формування вихідної бази для проєктування.....21
2.3.Розробка удосконаленої конструктивної концепції агрегату.....23
2.4. Аналітичне визначення продуктивних характеристик.....24
2.5. Моделювання кінематики робочих органів.....26
2.6. Енергетична оцінка та силовий баланс механізмів.....30
2.7. Формування системи дозованого корморозподілу.....32
2.8. Опис конструктивної реалізації модернізованого рішення.....34
2.9. Висновки за розділом.....35
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ.....37
3.1. Нормативні основи безпеки праці.....37
3.2. Заходи забезпечення безпечної експлуатації модернізованого агрегату.....38
3.3. Висновки за розділом.....40
РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ КОРМОРОЗДАВАЧА.....41
ВИСНОВКИ.....43
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....45

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку молочного скотарства одним із ключових напрямів підвищення ефективності галузі є впровадження інноваційних технологій та удосконалення виробничих процесів. Важливе місце у структурі функціонування молочних ферм займає організація системи годівлі тварин, оскільки саме від її ефективності значною мірою залежать продуктивність стада, стан здоров’я корів, якість молока та економічні результати діяльності господарства.

Актуальність теми дипломного проєкту обумовлена сучасними потребами аграрного виробництва. В умовах зростання вартості ресурсів та необхідності підвищення конкурентоспроможності підприємств особливого значення набуває зниження витрат на утримання тварин, підвищення енергоефективності та забезпечення точного дозування кормів відповідно до фізіологічних потреб поголів’я. Перспективним напрямом удосконалення виробництва є механізація й автоматизація процесів кормороздачі. Використання мобільних кормороздавачів забезпечує рівномірну та точну подачу кормових сумішей, зменшує трудомісткість робіт, підвищує продуктивність праці та знижує вплив людського фактора на технологічний процес. Водночас модернізація конструкції мобільних агрегатів сприяє підвищенню їх надійності, довговічності та економічності в експлуатації.

Метою дипломного проєкту є теоретичне обґрунтування та розробка ефективної системи роздавання кормів на молочній фермі шляхом удосконалення конструкції мобільного кормороздавача відповідно до сучасних технологічних та зоотехнічних вимог.

Для реалізації поставленої мети передбачено вирішення таких **завдань**:

1. проаналізувати господарську діяльність об'єкта дослідження, виявивши критичні вузли та вектори для оптимізації існуючої системи годівлі;
2. вивчити актуальний стан ринку технічних рішень та нормативні

зоотехнічні регламенти щодо процесів роздавання кормосумішей;

3. запропонувати вдосконалену схему технологічної лінії та внести конструктивні зміни у будову мобільного кормороздавача;

4. здійснити розрахунок економічної ефективності запропонованих інновацій та оцінити їх вплив на ключові показники рентабельності ферми;

5. сформувати комплекс заходів щодо забезпечення безпеки праці під час виконання механізованих робіт у тваринництві.

Практичне значення проєкту полягає у комплексному підході до модернізації технічного парку ферми. Особливий акцент зроблено на техніко-економічному обґрунтуванні, що підтверджує доцільність інвестицій у нові технології. Удосконалення механізмів розподілу кормів дозволить не лише підвищити продуктивність тварин, а й створити передумови для сталого розвитку підприємства та зміцнення його позицій на ринку молочної продукції.

РОЗДІЛ 1
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ЛІНІЇ КОРМОРОЗДАЧІ

1.1. Обґрунтування удосконалення мобільного кормороздавача

Достатня матеріально-технічна база, наявність власної кормової основи та кваліфікованого персоналу забезпечують стабільний розвиток підприємства та позитивну динаміку продуктивності великої рогатої худоби червоної степової породи.

Водночас, поряд із загальною позитивною динамікою, результати аналізу виявили низку проблемних аспектів. Зокрема, спостерігається зростання собівартості продукції та підвищення трудомісткості виробничих процесів, що свідчить про поступове технічне та моральне старіння окремих елементів механізації. Найбільш вразливою ланкою технологічного процесу залишається система роздавання кормів. Саме експлуатація застарілого обладнання у цій лінії призводить до ряду негативних наслідків. Передусім це проявляється у зниженні якості годівлі тварин через нерівномірний розподіл та неточне дозування кормових компонентів, що безпосередньо впливає на фізіологічний стан і продуктивність стада. Крім того, відмічаються економічні втрати, пов’язані з перевитратою паливно-мастильних матеріалів і втратами кормової маси через недосконаліть робочих органів існуючих кормороздавачів. Додатково, використання енергоємних та металомістких стаціонарних рішень, зокрема кормоцехів, є економічно недоцільним для господарств середнього масштабу.

У сучасних умовах більш ефективним напрямом розвитку є впровадження мобільних багатофункціональних кормороздавачів, які забезпечують поєднання операцій транспортування, точного дозованого розподілу та за потреби додаткового змішування кормових сумішей. Це дозволяє оптимізувати технологічний процес годівлі та зменшити витрати

ресурсів.

Враховуючи зазначене, метою даного проєкту є підвищення ефективності роботи молочнотоварної ферми шляхом удосконалення конструкції мобільного кормороздавача. Реалізація запропонованих рішень сприятиме зменшенню впливу людського фактору, скороченню експлуатаційних витрат і підвищенню точності годівлі, що в кінцевому підсумку позитивно позначиться на продуктивності тварин і конкурентоспроможності господарства.

1.2. Обґрунтування необхідності модернізації процесу годівлі

Механізація процесу роздавання кормів на сучасних тваринницьких підприємствах реалізується за допомогою широкого спектра технічних засобів, які класифікуються за конструктивними особливостями та принципом роботи. Водночас в умовах інтенсивного виробництва функціональне призначення кормороздавальних машин не обмежується лише безпосередньою видачею раціону у годівниці.

Мобільні кормороздавачі є важливою складовою загальної логістично-технологічної системи господарства, оскільки забезпечують виконання комплексу взаємопов’язаних операцій. Насамперед вони використовуються для транспортування кормів від місць зберігання (силосних траншей, складів, кагатів) або кормоцехів до тваринницьких приміщень. Крім того, ці машини можуть здійснювати перевантаження кормів у стаціонарні системи роздавання, а також забезпечувати безпосередню дозовану видачу кормових сумішей тваринам як у приміщеннях, так і на вигульних майданчиках. Таким чином, процес кормороздавання слід розглядати як одну з найбільш складних і трудомістких технологічних операцій у тваринництві. Його ефективність безпосередньо залежить від узгодженості обраної технологічної схеми та технічних характеристик кормороздавального обладнання.

Правильне обґрунтування типу кормороздавача та його можливе

удосконалення дозволяє вирішити низку ключових завдань. Передусім це забезпечення точного дозування кормів відповідно до зоотехнічних норм годівлі, що гарантує стабільність раціонів і позитивно впливає на продуктивність тварин. Окрім цього, важливим результатом є безперервність процесу годівлі, яка підтримує оптимальний режим утримання стада. У підсумку знижується рівень експлуатаційних витрат і втрат кормів, що сприяє зменшенню собівартості продукції та підвищенню економічної ефективності господарства.

1.3. Оцінка існуючої системи кормозабезпечення на фермі

На сучасному етапі функціонування молочнотоварної ферми технологія розподілу кормів базується на використанні багатокомпонентних раціонів, до складу яких входять силос, грубі корми, коренеплоди, концентрати та мінеральні добавки. Такий підхід дозволяє забезпечити повноцінну годівлю тварин відповідно до їх фізіологічних потреб і рівня продуктивності. Водночас існуюча система механізації кормозабезпечення характеризується певними особливостями. Зокрема, транспортування концентрованих кормів зі складських приміщень до кормоцеху здійснюється за допомогою причепів-роздавачів КТУ-10А. Завантаження силосу та грубих кормів виконується спеціалізованими навантажувальними засобами ПСК-5 та ФН-1,4. Безпосереднє роздавання кормових сумішей у тваринницьких приміщеннях також забезпечується мобільними агрегатами типу КТУ-10А.

Проведений техніко-технологічний аналіз зазначеної схеми свідчить про її недостатню ефективність у порівнянні із сучасними вимогами до організації годівлі. Основною проблемою є використання морально та фізично зношених кормороздавачів серії КТУ, які не забезпечують достатньої точності дозування та характеризуються підвищеною енергоємністю. У зв’язку з цим розглядаються можливі альтернативні технологічні рішення. Одним із них є впровадження стаціонарних автоматизованих ліній, які об’єднують усі етапи — від підготовки до роздавання кормів — у єдиний технологічний потік. Однак

така система є ефективною лише за умови централізованого розташування будівель і наявності спеціалізованого кормоцеху.

Іншим варіантом є використання координатних (підвісних) систем роздавання кормів, де доставка здійснюється мобільними засобами, а розподіл — автоматизованими механізмами безпосередньо в приміщеннях. Попри високу технологічність, даний підхід потребує значних капітальних витрат та складної реконструкції виробничої інфраструктури. Найбільш практичним і універсальним рішенням для умов досліджуваного господарства є застосування сучасних мобільних кормороздавачів із розширеним функціоналом, які можуть виконувати не лише транспортування та роздавання, а й часткове змішування та дозування компонентів безпосередньо в бункері.

Таким чином, оптимальний вибір технології повинен базуватися на поєднанні науково-технічного рівня розвитку, існуючої інфраструктури та економічної доцільності. Проведений аналіз свідчить, що для умов найбільш раціональним напрямом є модернізація саме мобільного кормороздавача, що дозволить підвищити якість годівлі, зменшити експлуатаційні витрати та уникнути необхідності масштабної реконструкції виробничих приміщень.

1.4. Формування удосконаленої технологічної схеми роздавання кормів

Враховуючи економічну недоцільність будівництва капітальних кормоцехів на фермах із середньою чисельністю поголів’я, постає завдання інтеграції функцій приготування кормосумішей безпосередньо у процес їх розподілу. Це досягається шляхом використання багатофункціональних мобільних засобів, здатних виконувати операції дозування та змішування.

Запропонована технологічна схема механізації лінії (рис. 1.1) передбачає мінімізацію кількості проміжних ланок та заміну стаціонарного приготування кормів на мобільне.

Ключовим параметром для вибору технічних засобів є необхідна продуктивність технологічної лінії, яку визначаємо за формулою:

$$Q_{P} = \frac{Gp_1 + Gp_2 + Gp_3}{Tp \cdot K \cdot 1000}, т / год, \quad (1.1)$$

Де Gp_1, Gp_2 , Gp_3 - добова витрата кормів для відповідних статево-вікових груп тварин (корів, телиць/нетелів та молодняку), кг.

Визначимо добову потребу в кормах для кожної групи поголів'я на основі зоотехнічних норм для основного стада (корів):

$$Gp1 = m_1 \cdot q_1 = 400 \cdot 40{,}9 = 16360 кг; \quad (1.2)$$

Де m_1 - чисельність поголів'я великої рогатої худоби (ВРХ) на тваринницькому підприємстві, що становить 400 особин (дані наведено у таблиці 1.4).

q_1 - середньодобова норма відпуску кормової суміші, яка складає 40,9 кг на одну голову тварини.

$$Gp2 = m_2 \cdot q_2 = 122 \cdot 27{,}74 = 3384{,}5 кг; \quad (1.3)$$

Де m_2 - становить 122 одиниці, що визначає загальну чисельність нетелів та телиць віком понад один рік;

$q_2 = 27,74$ кг – відображає встановлену добову норму надання кормової суміші для молодняка (телят) та нетелів віком понад один рік.

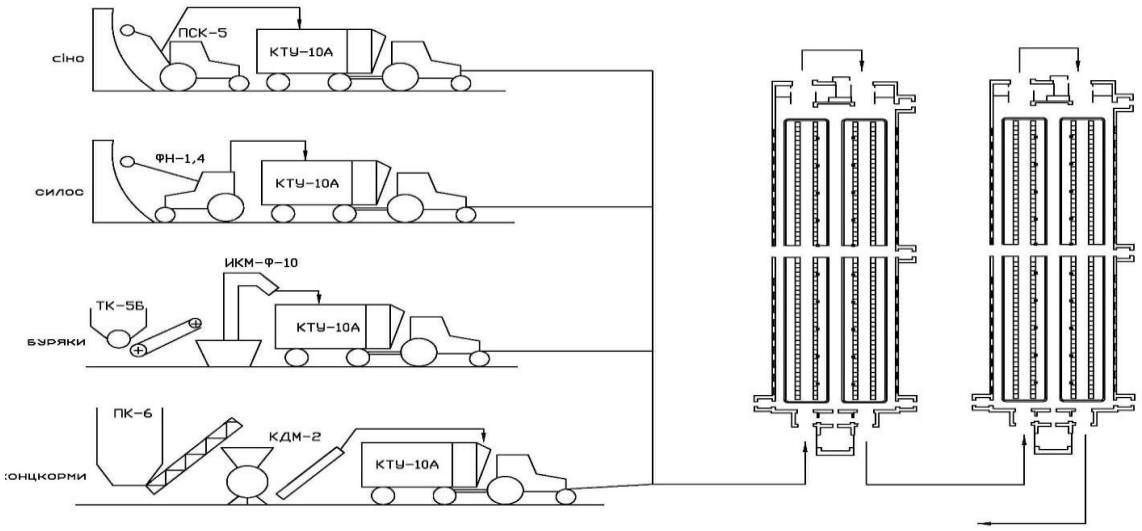


Рис. 1.1. Принципова схема функціонування системи розподілу кормових сумішей

Для молодняку до одного року:

$$Gp_3 = m_3 \cdot q_3 = 20 \cdot 22 = 440кг; \quad (1.4)$$

Де q_3 = 22 кг – встановлена добова норма видачі поживного раціону, призначена для молодих тварин;

$m_3 = 20$ голів – чисельність молодих тварин віком до одного року.

Приймаємо тривалість роздавання Тр = 2 год., та кратність годування К = 2. Підставляємо отримані значення в формулу (1.1):

$$Qp = \frac{4400 + 13127 + 1215}{2 \cdot 2 \cdot 1000} = 14,58т / год.$$

1.5. Підбір технічних засобів проєкту

Основним завданням даного етапу є вибір комплексу машин для навантаження, транспортування та розподілу кормів. Найбільш відповідальними ділянками технологічного процесу є доставка компонентів від місць зберігання та їх безпосередня видача у корівниках.

Для визначення потрібної кількості мобільних агрегатів необхідно розрахувати фактичну вантажопідйомність роздавача з урахуванням об'єму бункера, коефіцієнта заповнення та щільності кормосуміші:

$$G_p = V_p \beta_з \rho, \quad (1.5)$$

Приймаючи V = 10 м^3 (для КТУ-10), β= 0,8 та середню щільність суміші ρ = 450 кг/м^3, отримуємо:

$$G_p = 10 \cdot 0,8 \cdot 450 = 3600кг;$$

$$i = Тр / t_ц \quad (1.6)$$

Тривалість одного повного циклу роботи роздавача складається з часу на окремі операції:

$$t_ц = (t_x + t_з + t_m + t_p)k_o \quad (1.7)$$

$$t_x = L/Vx \quad (1.8)$$

$$t_x = 0,25 / 20 = 0,0125 год.$$

$$tз = Gp1/Q1 + Gp2/Q2 + Gp3/Q3 + Gp4/Q4 \quad (1.9)$$

Згідно з прийнятим технологічним регламентом виробничої лінії, складові кормової суміші подаються до розподільного пристрою безпосередньо з місць їх складування. Зокрема, силос вилучається за допомогою агрегату ПСК-5А, що має продуктивність 15 тонн/годину; сіно транспортується із застосуванням механізму ФН-1,4 з продуктивністю 3 тонни/годину; буряки подаються обладнанням ТК-5Б, яке забезпечує пропускну здатність 10 тонн/годину; а концентровані корми переміщуються за допомогою пристрою ПК-6, що характеризується продуктивністю 6 тонн/годину. Кількісне співвідношення (маса) кожного інгредієнта раціону визначається з урахуванням номінальної вантажопідйомності розподільного механізму та заданого процентного співвідношення складових.

$$t_з = \frac{2,5}{15} + \frac{1,67}{3} + \frac{0,6}{10} + \frac{0,33}{6} = 0,83 год.$$

Час транспортування:

$$t_m = l / v_m \quad (1.10)$$

$$t_m = 0,25 / 10 = 0,025 год.$$

Час подачі корму до місця споживання розраховується за формулою:

$$t_p = (G_p \times 1000) / Q_p \quad (1.11)$$

Об'ємна продуктивності розподільника: (1.12)

$$Q_p = 1000 g v_p,$$

$$g = \frac{g_в}{b} \cdot 1000,$$

$$g_в = \frac{g_1 + g_2 + g_3}{3 \cdot K} = \frac{40,9 + 27 + 22}{3 \cdot 2} = 14,9 кг. \quad (1.13)$$

$$g = \frac{14,9 \cdot 1000}{1,1} = 13621 кг / км. \quad (1.14)$$

$$Q_p = 13621 \cdot 3,24 = 44133 кг / год. \quad (1.15)$$

Роздавання корму розраховується на основі норми видачі на метр проходу та робочої швидкості агрегату:

$$t_p = \frac{2,8 \cdot 1000}{44133} = 0,06 год.$$

Сумарний час циклу:

$$t_ц = (0,0125 + 0,83 + 0,025 + 0,06) \cdot 1,1 = 0,87 год. \quad (1.16)$$

Кількість можливих циклів одного роздавача за 2 год:

$$i_ц = \frac{2,0}{0,87} = 2,3 циклів. \quad (1.17)$$

Розрахункова кількість циклів, необхідних для повного розподілу заданої маси корму:

$$i_з = Gраз / G \quad (1.18)$$

$$Gраз = m \times q / 1000 = 570 \times 14,9 / 1000 = 8,49\ m \quad (1.19)$$

$$i_з = \frac{8,49}{3,6} = 2,36 циклів.$$

Розрахункова кількість кормороздавачів:

$$n_p = \frac{2,36}{2,3} = 1,02. \quad (1.20)$$

Для забезпечення технологічного процесу годівлі на фермі достатньо 1 одиниці вдосконаленого мобільного кормороздавача.

1.6. Функціональна модель роботи системи кормозабезпечення

Функціонування удосконаленої системи кормозабезпечення базується на потоково-циклічному принципі роботи, за якого мобільний кормороздавач виступає основною транспортно-технологічною ланкою між зонами зберігання кормів і місцями їх споживання. Загальний виробничий цикл включає три взаємопов’язані етапи.

На першому етапі здійснюється формування багатокомпонентної

кормової суміші. Завантаження інгредієнтів виконується безпосередньо у бункер мобільного кормороздавача КТУ-10А у місцях зберігання кормів. При цьому застосовується відповідний комплекс машин: силос завантажується агрегатом ПСК-5А, який забезпечує виїмку та подрібнення маси; грубі корми (сіно) подаються за допомогою начіпного фуражира ФН-1,4; коренеплоди (буряки) транспортуються стрічковим транспортером ТК-5Б; концентровані корми дозовано вводяться через живильник ПК-6.т Другий етап передбачає транспортно-технологічний процес. Після заповнення бункера мобільний агрегат здійснює доставку кормосуміші до тваринницьких приміщень. У процесі руху, завдяки вдосконаленню конструктивних елементів (що детально розглядається у наступному розділі), відбувається додаткове перемішування компонентів, що сприяє підвищенню однорідності кормової маси. На завершальному етапі виконується розподіл корму безпосередньо у місцях утримання тварин. Після прибуття у корівник або на вигульний майданчик активується вивантажувальний механізм, який забезпечує дозовану подачу корму на одну або дві сторони годівниць відповідно до встановлених зоотехнічних норм.

Реалізація такої функціональної моделі дозволяє скоротити непродуктивні простої техніки, підвищити оперативність виконання годівлі та забезпечити стабільність технологічного процесу, що є важливим фактором підтримання продуктивності молочного поголів’я.

1.7. Оцінка експлуатаційних характеристик

З метою всебічного аналізу економічної доцільності запропонованого машино-тракторного комплексу, що складається з трактора ЮМЗ-6Л та модернізованого роздавача КТУ-10А, ми першочергово здійснимо детальний розрахунок добового споживання пального, що виникає при виконанні технологічних операцій з розподілу кормових мас:

$$B_n = \frac{n_a \cdot N_g \cdot q \cdot G_{доб}}{W_{год}}, \quad (1.21)$$

Де q- питома витрата палива силовою установкою, що становить 0,258 кг/кВт·год;

N_g – номінальна потужність двигуна трактора моделі ЮМЗ-6, яка дорівнює 65 кВт;

$G_{доб}$- добовий обсяг виконаних робіт, виражений у тоннах.

Згідно з попередніми розрахунками (п. 1.3), сумарна маса корму за один цикл роздавання складає близько 19,1 т. При дворазовій годівлі:

$$G_{доб} = G_{роз} \cdot K = 19{,}1 \cdot 2 = 48{,}2 m. \quad (1.22)$$

Величина годинної продуктивності агрегату, встановлена на рівні:

$$W_{год} = Q_p = 62{,}2 m / год. \quad (1.23)$$

Де $W_{год}$ - позначає годинну виробничу потужність агрегату, що вимірюється у т/год.

Додатково враховуються такі параметри:

К=0,5 – коефіцієнт експлуатаційного навантаження двигуна.

Na=1 кількість експлуатованих агрегатів;

Підставляємо значення у формулу (1.21):

$$B_n = \frac{1 \cdot 65 \cdot 0{,}258 \cdot 48{,}2 \cdot 0{,}5}{62{,}2} = 6{,}5 \ кг / год.$$

1.8. Висновки за розділом

На основі проведених технологічних розрахунків та аналізу існуючої системи кормозабезпечення на молочнотоварній фермі можна сформулювати такі узагальнені висновки.

Перш за все, обґрунтовано вибір технологічної схеми роздавання кормів. Встановлено, що для умов господарства з наявним поголів’ям найбільш доцільною є мобільна система кормороздачі, яка дозволяє поєднувати функції

транспортування, змішування та безпосереднього розподілу кормових раціонів, забезпечуючи при цьому достатню гнучкість технологічного процесу. У ході розрахунків визначено основні параметри продуктивності технологічної лінії годівлі, яка становить 14,58 т/год. Отримане значення забезпечує можливість виконання всього комплексу операцій в межах встановленого технологічного графіка без порушення ритму годівлі тварин. Сформовано відповідний комплекс машин та обладнання для реалізації запропонованої схеми. Зокрема, передбачено використання навантажувачів ПСК-5А та ФН-1,4, а також мобільного кормороздавача КТУ-10А у агрегатуванні з трактором ЮМЗ-6Л. Розрахунками підтверджено, що для забезпечення безперервного технологічного процесу достатньо одного такого агрегату.

Додатково виконано оцінку енергетичної ефективності процесу, за результатами якої встановлено, що добові витрати палива на виконання операцій із доставки та роздавання кормів становлять 6,5 кг/добу. Разом із тим, аналіз конструкції базового кормороздавача КТУ-10А виявив низку технічних недоліків, які негативно впливають на рівномірність розподілу кормів та надійність роботи окремих вузлів.

Виявлені недоліки обґрунтовують необхідність подальшої модернізації робочих органів машини, що є предметом детального розгляду у наступному конструкторському розділі проєкту.

РОЗДІЛ 2
КОНСТРУКТИВНА ТРАНСФОРМАЦІЯ МОБІЛЬНОГО АГРЕГАТУ КОРМОРОЗДАЧІ

2.1. Оцінка потреби в модернізації кормороздавача моделі КТУ-10А

Результати економічного аналізу показують, що використання та утримання стаціонарних кормоцехів у господарствах із середньою чисельністю поголів'я є економічно недоцільним. Основними причинами цього виступають значні капітальні витрати на їх створення, а також низький коефіцієнт завантаження обладнання в процесі експлуатації, що знижує загальну ефективність виробництва. У зв'язку з цим у даному проєкті розглядається доцільність зменшення витрат шляхом об'єднання операцій приготування та роздавання кормових сумішей в межах одного мобільного агрегату, що дозволяє спростити технологічну схему годівлі.

Як базову модель для реалізації такого підходу обрано універсальний кормороздавач КТУ-10А. У стандартному виконанні він призначений лише для транспортування та дозованої видачі готових кормових сумішей, однак не забезпечує ефективного змішування компонентів різної фізико-механічної структури, таких як силос, сіно та концентровані корми. Для розширення функціональних можливостей агрегату КТУ-10А передбачається його конструктивне вдосконалення з метою перетворення на мобільну змішувально-роздавальну систему. Основні напрями модернізації включають удосконалення привідного механізму робочих органів для забезпечення якісного перемішування кормових компонентів у процесі завантаження та транспортування, а також модернізацію бітерної системи з метою підвищення однорідності кормосуміші перед її вивантаженням. Додатково передбачається впровадження елементів дозувального контролю, що дозволить використовувати агрегат як мобільний ваговий пристрій для точного формування раціону.

У результаті запропоновані технічні рішення дозволяють відмовитися від використання стаціонарного кормоцеху, зменшити матеріальні та енергетичні витрати, а також забезпечити приготування збалансованих кормових сумішей безпосередньо в процесі роздаванн

2.2. Дослідження існуючих технічних підходів

2.2.1. Порівняльна характеристика кормороздавальних машин

Сучасні мобільні засоби механізації процесу годівлі великої рогатої худоби умовно поділяються на дві основні групи: кормороздавачі та змішувачі-роздавачі. Машини першого типу, до яких належить КТУ-10А, призначені переважно для транспортування та дозованого розподілу монокормів або заздалегідь приготовлених кормових сумішей. Змішувачі-роздавачі, у свою чергу, забезпечують виконання додаткових операцій — подрібнення, перемішування та приготування повнораціонних сумішей безпосередньо у бункері машини.

Останніми роками найбільшого поширення набули високопродуктивні змішувачі-роздавачі зарубіжного виробництва, які характеризуються високим рівнем автоматизації та якістю приготування кормів. Проте їх використання на фермах із невеликим або середнім поголів’ям часто є економічно необґрунтованим. Це пояснюється значною енергоємністю агрегатів, необхідністю використання тракторів підвищеної потужності, а також високими витратами на технічне обслуговування й ремонт. Крім того, подібна техніка найбільш ефективна лише за умов великого обсягу виробництва, тоді як на малих фермах спостерігається низький коефіцієнт її використання.

Проведений аналіз патентних та науково-технічних джерел показав, що основним напрямом удосконалення кормороздавачів типу КТУ-10А є підвищення рівномірності подачі корму та покращення якості дозування.

Одним із варіантів модернізації є конструкція з вертикально розташованими зчісуючими бітерами (рис. 2.1). У даному рішенні традиційні робочі органи замінено системою вертикальних пальцевих бітерів, розташованих по всій площі поперечного перерізу бункера. Під час роботи поздовжній транспортер подає кормову масу до бітерів, пальці яких захоплюють окремі порції матеріалу та спрямовують їх на поперечний вивантажувальний транспортер. Завдяки такому компонуванню забезпечується більш рівномірна щільність корму в зоні відокремлення, що позитивно впливає на стабільність подачі та точність дозування.

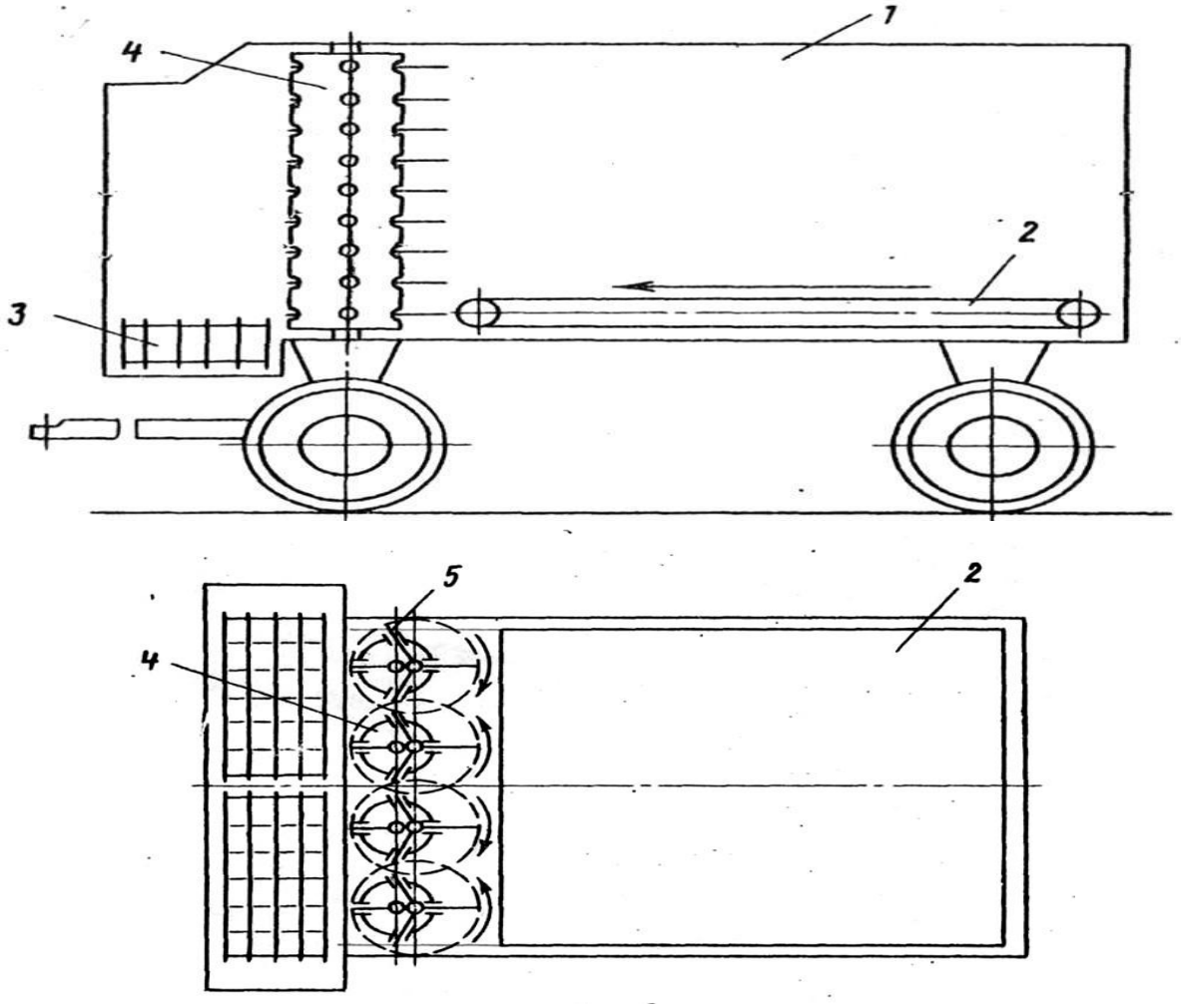


Рис. 2.1. Функціональна схема агрегату для розподілу кормів:

1 – накопичувальна ємність; 2 – поздовжній конвеєрний механізм; 3 – вивантажувальний конвеєрний механізм; 4 – обертовий розпушувальний барабан;5 – виступаючий робочий елемент

Іншим технічним рішенням є кормороздавач із похилим зчісуючим

транспортером (рис. 2.2), у якому функцію відокремлення корму виконують окремі вертикальні секції транспортера. Секції встановлені під кутом 15–20° у напрямку до бункера, що відповідає куту природного укосу кормової маси. Така конструкція дозволяє робочим елементам захоплювати корм по всій площі перерізу бункера, забезпечуючи більш стабільне та рівномірне вивантаження. Привід системи здійснюється від вала відбору потужності трактора через редукторний механізм.

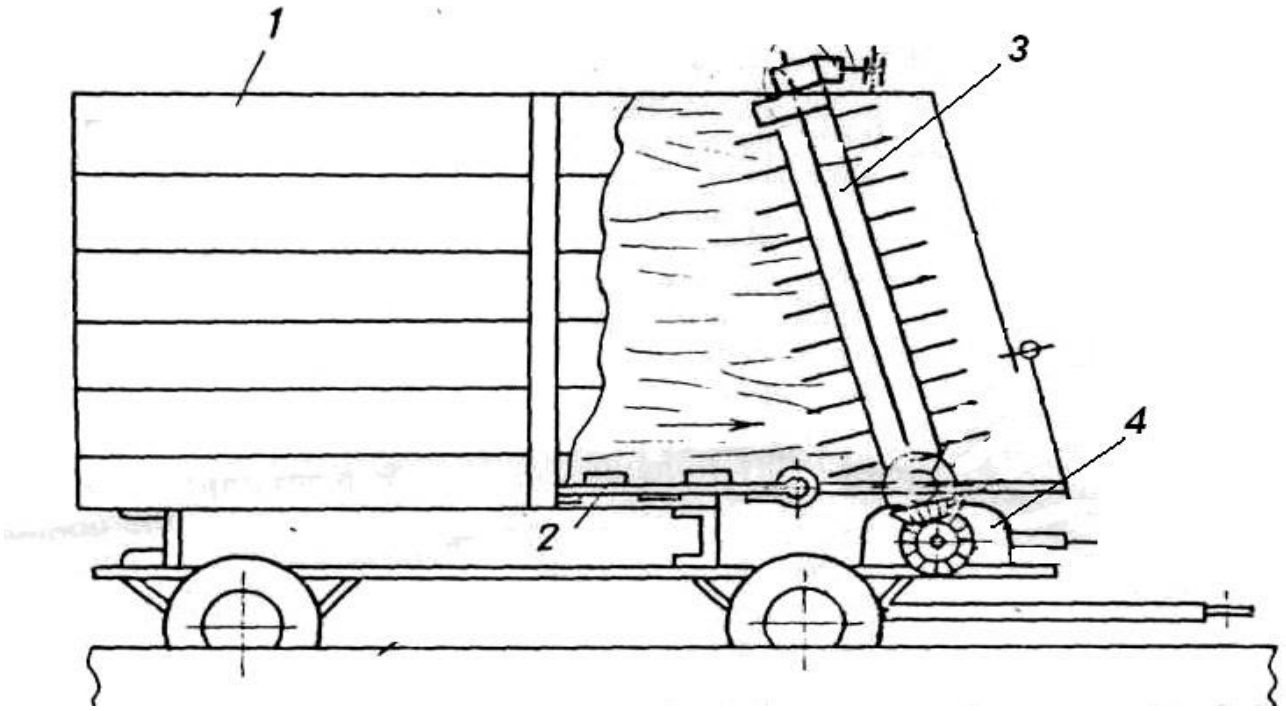


Рис. 2.2. Функціональна схема агрегату для розподілу кормових сумішей:
1 – накопичувальна ємність; 2 – поздовжній транспортувальний механізм; 3 – розподільчий елемент; 4 – редуктор

Перевагою даної схеми є можливість безпосереднього вивантаження корму в годівниці без застосування додаткових транспортуючих механізмів, що дозволяє спростити конструкцію машини та зменшити кількість робочих вузлів.

2.2.2. Формування вихідної бази для проєктування

Для забезпечення ефективної роботи модернізованого кормороздавального агрегату та обґрунтування його конструктивних

параметрів необхідно сформувати вихідні дані, що враховують як технологічні особливості ферми, так і зоотехнічні вимоги до процесу годівлі великої рогатої худоби. Саме ці параметри визначають основні напрями подальшого проєктування та вибору технічних рішень.

Однією з головних умов є дотримання встановленого режиму годівлі тварин, відповідно до якого максимально допустимий час виконання операції роздавання кормів для всього поголів'я не повинен перевищувати 2 годин. Виробнича потужність ферми передбачає обслуговування основного стада чисельністю 400 корів при дворазовому режимі годівлі протягом доби. Під час розрахунків також враховується добова норма видачі повнораціонної кормової суміші, яка становить 45 кг на одну голову. Важливе значення мають і фізико-механічні властивості компонентів корму, зокрема їх щільність, вологість, сипучість та ступінь подрібнення стеблових матеріалів, оскільки саме ці характеристики безпосередньо впливають на процес транспортування, перемішування та дозованого вивантаження кормової маси. Крім того, модернізований агрегат повинен відповідати встановленим зоотехнічним вимогам щодо якості годівлі. Нерівномірність розподілу корму по довжині годівниці не повинна перевищувати ±10–15 %, що є необхідною умовою забезпечення рівномірного споживання корму тваринами.

Враховуючи результати аналізу існуючих конструкцій кормороздавальної техніки та потребу в підвищенні ефективності мобільних систем годівлі, у даному проєкті поставлено завдання модернізації кормороздавача КТУ-10А. Передбачається, що після удосконалення агрегат зможе виконувати не лише функції транспортування та дозованого розподілу кормів, а й забезпечувати якісне перемішування компонентів раціону безпосередньо перед їх вивантаженням у годівниці.

2.3.Розробка удосконаленої конструктивної концепції агрегату

На основі аналізу існуючих технічних рішень, а також з урахуванням переваг зчісуючих робочих органів над традиційними бітерними системами, запропоновано удосконалення мобільного кормороздавача КТУ-10А. Запропонована модернізація спрямована на розширення функціональних можливостей агрегату та забезпечення приготування повнораціонної кормової суміші без застосування стаціонарного кормоцеху.

Принципова конструктивна схема модернізованої машини наведена на рисунку 2.3.

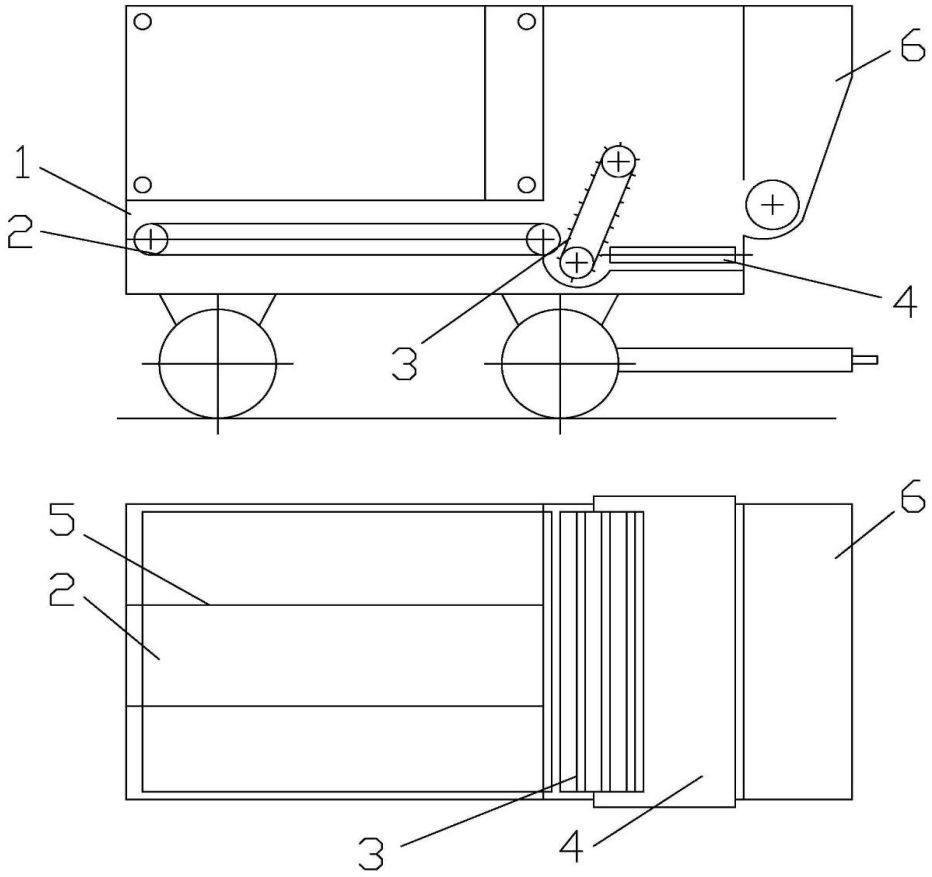


Рис. 2.3. Структурна схема модернізованої системи розподілу агрегату КТУ-10А:

1 – основна накопичувальна ємність; 2 – поздовжній транспортувальний елемент; 3 – транспортувальний елемент для дозованого подавання; 4 – розвантажувальний транспортувальний механізм; 5 – розділювальний компонент; 6 – дозувальна ємність для концентрованих раціонів (ПКТУ-10)

Основною особливістю конструкції є переобладнання внутрішнього простору бункера. Для цього бункер розділяється вертикальними поздовжніми перегородками на окремі секції, призначені для різних компонентів кормової суміші. Розділювачі мають можливість переміщення, що дозволяє змінювати об’єм кожного відсіку залежно від рецептури раціону та забезпечує необхідне співвідношення компонентів. Для підвищення рівномірності подачі корму та покращення процесу змішування замість стандартних бітерів встановлено похилий зчісуючий транспортер. Його розміщення під певним кутом до поздовжнього транспортера дозволяє здійснювати рівномірне відокремлення шарів корму по всій площі перерізу бункера. У результаті цього компоненти суміші частково перемішуються вже на етапі подачі до вивантажувального транспортера.

Крім того, конструкція передбачає встановлення додаткового бункера-дозатора ПКТУ-10 для внесення концентрованих кормів та мінеральних добавок. Це дозволяє забезпечити точніше дозування концентратів безпосередньо під час роздавання корму. Після проходження через зчісуючий механізм кормова маса надходить на поперечний вивантажувальний транспортер, за допомогою якого здійснюється безпосередня подача суміші у годівниці.

Запропонована конструктивна схема фактично реалізує принцип мобільного кормоцеху, оскільки поєднує в одному агрегаті функції транспортування, дозування, часткового змішування та роздавання кормів. Це дозволяє скоротити кількість допоміжного обладнання, знизити енерговитрати та підвищити ефективність технологічного процесу годівлі на фермі.

2.4. Аналітичне визначення продуктивних характеристик

Для забезпечення ефективного функціонування вдосконаленої конструкції необхідно визначити розрахункову годинну продуктивність

вивантажувального механізму, яка повинна відповідати швидкості руху агрегату та зоотехнічним нормам видачі корму.

Отже, продуктивність кормороздавача визначається за формулою:

$$Q_p = 1000\, g v_{p,}; \tag{2.1}$$

Питома погонна норма видачі корму розраховується як:

$$g = \frac{g_в}{b} \cdot 1000 \tag{2.2}$$

Де $g_в$ - маса кормових ресурсів для одноразового споживання однією біологічною одиницею, кг.

$$g_в = \frac{g1 + g2 + g3}{3 \cdot K} = \frac{55 + 44{,}5 + 27}{3 \cdot 2} = 21{,}1 кг; \tag{2.3}$$

Де q_1, q_3, q_2 - визначають добовий обсяг споживання корму. Ці показники встановлені для наступних категорій великої рогатої худоби: q_1 = 55 кг/добу для дорослих корів, q_2 = 44,5 кг/добу для нетелів, та q_3 = 27 кг/добу для молодняку (зокрема, телиць віком понад один рік);

K = 2 – кратність використання одного кормового місця для годівлі тварин в умовах прив'язного утримання [13];

b = 1,1 м – характеризує рекомендовану ширину кормового фронту на одну особину.

Визначаємо погонну норму видачі на кілометр шляху:

$$g = \frac{21{,}1 \cdot 1000}{1{,}1} = 19200 кг / км;$$

Визначаємо годинну продуктивність вивантажувальних органів:

$$Q_p = 19200 \cdot 3{,}24 = 62208 кг / год;$$

Розрахункова продуктивність робочих органів складає 62,2 т/год, що забезпечує виконання технологічного процесу у повній відповідності до встановлених зоотехнічних вимог щодо темпів годівлі.

2.5. Моделювання кінематики робочих органів

Для забезпечення стабільної роботи модернізованого агрегату необхідно визначити геометричні та кінематичні параметри зчісуючого транспортера, зокрема висоту його скребків (пальців) та частоту обертання привода.

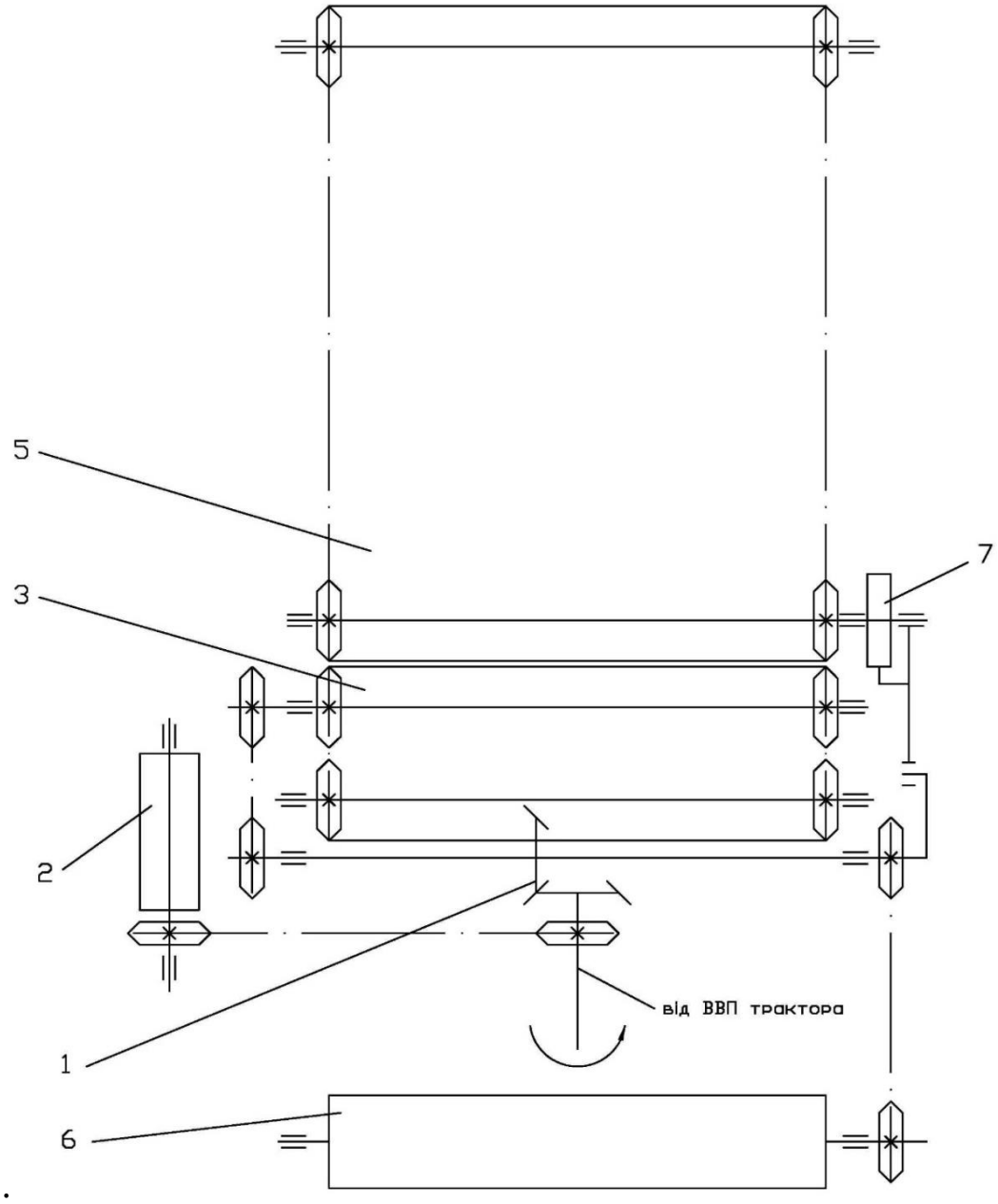


Рис. 2.4. Проєктна кінематична схема обладнання:

1 – конічний редуктор; 2 – ведучий барабан розвантажувального конвеєра; 3 – збиральний транспортер; 5 – поздовжній транспортер;

6 – роторний дозуючий елемент бункера-живильника концентрованих кормів;

7 – храповий механізм приводу поздовжнього транспортера

Розрахунок базується на рівнянні балансу витрат кормового моноліту, що подається поздовжнім транспортером, та маси, що зчісується відокремлювачем. Як виконавчі механізми, призначені для зняття корму з монолітного масиву, використовуються бітери, фрези та транспортери. З огляду на фізико-механічні характеристики кормів та енергоємність відповідних операцій, процес дозованого відокремлення стеблових кормів за допомогою бітерних та конвеєрних корморозподільчих пристроїв може розглядатися як завдання підвищеної складності. Під час руху ланцюгових систем з гребінчастими елементами конвеєрного корморозподільчого апарату, що ілюструється кінематичною схемою (рис. 2.5, а), кінцеві частини пальців, які занурюються у щільний масив корму, що подається до апарату зі швидкістю vп поздовжнім транспортером, описують складну криву траєкторію (рис. 2.5, б) відносно кормового моноліту.

Протягом переміщення кінчика пальця від нижнього положення *Ао* до верхнього *А'о,* палець гребінчастого елемента проникає в моноліт на глибину ΔX , величина якої визначається з математиного виразу:

$$\Delta X = k0 \cdot vn \cdot (\pi/\omega + L0/vк,0) \quad (2.4)$$

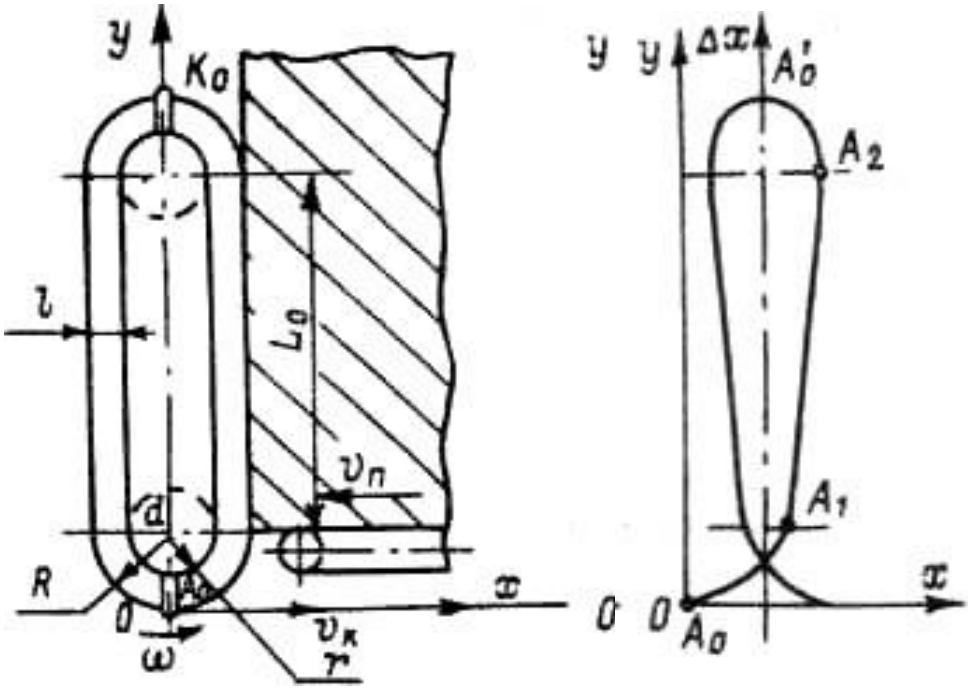
Де ω - кутова швидкість приводного елемента зчісуючого транспортера, $с^{-1}$;

$v_{к,о}$— тангенціальна швидкість крайньої точки виконавчого елемента пристрою для сепарації матеріалу, м/с;

ΔX - величина подачі робочого елемента в суцільний шар матеріалу протягом одного повного циклу обертання транспортера-сепаратора, м;

$L_о$ - протяжність прямолінійної ділянки траєкторії руху активної секції механізму сепарації, яка орієнтовно відповідає міжосьовій відстані валів конвеєра, м;

k_0 — коефіцієнт, який коригує або відображає інерційне відставання оброблюваного суцільного матеріалу від системи подачі (подавального конвеєра), зі сталим значенням k0 = 0,75.



а б

Рис. 2.5. Представлено кінематичну схему функціонування кормовідокремлювача (а) та траєкторію кінцевої точки рухомого елемента (б)

Шляхом здійснення низки нескладних перетворень, співвідношення (2.4) може бути виражене у наступній формі:

$$\Delta X = \frac{k_0}{\lambda}\left(\pi \cdot R + L_0\right), \tag{2.5}$$

Де λ - відношення лінійних швидкостей між корморозподільним механізмом та подавальним транспортером;

R - радіус обертання кінцевого робочого елемента, виміряний в метрах.

Для забезпечення належного функціонування дозувального пристрою, що взаємодіє з конвеєрними розподільниками сировини, вимагається, щоб його об'ємна продуктивність була не меншою, ніж об'ємна продуктивність подавального конвеєра, що виражається у наступній залежності:

$$B \cdot H_0 \cdot \rho \cdot v_n \cdot k_0 \leq B \cdot h \cdot v_k \cdot \rho_1 \cdot \psi, \tag{2.6}$$

Де ρ, ρ_1 - об'ємна густина кормового матеріалу, відповідно, у компактному блоці та після його надходження на пристрій для сепарації, кг/м^3.

B - ширина цілісного масиву кормового матеріалу, м;

ψ - безрозмірний коефіцієнт, який відображає ступінь заповнення об'єму між робочими елементами гребінчастого транспортувального механізму, значення якого встановлено як $\psi = 0{,}95$;

h - висота робочих виступів гребінчастого пристрою, м.

Згідно з рівнянням (3.6.), швидкість відокремлювального конвеєра має бути еквівалентною або незначно перевищувати швидкість подавального механізму. Відтак, спираючись на технічні параметри агрегату КТУ-10А (де швидкість подачі, v_n, варіюється в діапазоні 0,011 – 0,11 м/с), встановлюється значення vк = 0,5 м/с. Щодо співвідношення ρ до ρ_1, його величина стабільно коливається в межах 1,2 – 1,4, незалежно від типології кормової суміші. Застосовуючи залежність (3.6.), можливо вивести рівняння для розрахунку висоти сепарувальних елементів (гребінок/пальців) кормороздільника:

$$h = \frac{B \cdot H_0 \cdot \rho \cdot v_n \cdot k_0}{B \cdot v_k \cdot \rho_1 \cdot \psi} \tag{2.7}$$

Шляхом підстановки заданих параметрів було отримано:

$$h = (1{,}3 \cdot 1{,}8 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}11 \cdot 0{,}8) / (1{,}8 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}95) = 0{,}12 \text{ м}$$

Отже, за результатами проведених розрахунків, лінійна швидкість зчісувального транспортера становить 0,5 м/с, водночас висота гребінки становить 0,12 м.

З метою забезпечення ефективного функціонування приводного механізму зчісувального транспортера вимагається обчислення передаточного числа відповідної ланцюгової передачі, як показано на рисунку 2.4. Процедура трансформації лінійної швидкості транспортера в частоту обертання привідної зірочки реалізується за формулою:

$$n = \frac{30 v_k}{\pi \cdot R}\ , \tag{2.8}$$

Де R – визначає радіус веденої зірочки вузла сепарації подачі, виражений у метрах. З огляду на інженерно-конструктивні міркування, прийнято значення R, що дорівнює 0,05 м. Відповідно:

$$n = \frac{30 \cdot 0,5}{3,14 \cdot 0,05} = 95,4 \text{ хв}^{-1}.$$

Відповідно до технічних характеристик агрегату КТУ-10А, номінальна частота обертання валу відбору потужності (ВВП) трактора при експлуатації із зазначеним розподілювачем становить 500 хв$^{-1}$. При цьому передавальне відношення конічного редуктора зафіксоване на рівні 1,8. Для обчислення передавального відношення приводу зчісуючого транспортера пропонується застосувати такий математичний вираз:

$$i_к = \frac{n_{ВВП}}{i_р \cdot n}, \quad (2.9)$$

Після підстановки відповідних значень до виразу (3.9.) одержимо:

$$i_к = \frac{500}{1,8 \cdot 95,4} = 2,91$$

Для ефективного функціонування модернізованого кормороздавача висота пальців зчісуючого транспортера має становити 0,12 м, а передаточне число привода від вала редуктора — 2,9.

2.6. Енергетична оцінка та силовий баланс механізмів

Даний підрозділ присвячений визначенню величини додаткової потужності, потрібної для функціонування приводу інтегрованого зчісувального конвеєра, а також обчисленню сумарного енергетичного балансу модернізованої установки. Параметр потужності приводу конвеєра, обчислюється згідно з наступною формулою:

$$N=F \cdot v/1000, \quad (2.10)$$

Де v – лінійна швидкість транспортування матеріалу (корму) в межах конвеєрної системи, м/с;

F – рушійне зусилля, котре є необхідним для активації та забезпечення функціонування механізму, Н.

Відповідно, величина рушійного зусилля, що забезпечує функціонування конвеєра, може бути розрахована на основі наступного математичного виразу:

$$F = F_1 + F_2, \quad (2.11)$$

Де F_2 - характеризує силу опору, що виникає внаслідок тертя транспортованого матеріалу (корму), Н;

F_1 - сумарну силу опору, яка протидіє переміщенню корму під час його підйому транспортером, Н.

Значення сили опору, що виникає при підйомі корму конвеєрним транспортером, може бути розраховане за допомогою наступної аналітичної залежності:

$$F_1 = m \cdot g \cdot \sin\beta, \quad (2.12)$$

Де g - прискорення вільного падіння, що становить 9,81м/с^2;

m – маса переміщуваного матеріалу на конвеєрній системі, вимірювана в кілограмах;

β - кут нахилу робочої поверхні транспортувального пристрою, який, згідно з умовами, викладеними у пункті 3.5, визначено як β=60°.

Розрахунок маси корму на транспортері, виходячи з геометричних параметрів зчісуючого органу:

$$m = h \cdot B \cdot L \cdot \rho, \quad (2.13)$$

Де ρ - масова густина корму, яка, згідно з положеннями пункту 2.5, становить 450 кг/м^3.

h – висота шару корму, визначена в пункті 3.5 як 0,12 м;

L – довжина робочої ділянки транспортера, що, відповідно до пункту 3.5, дорівнює 0,5 м;

B – ширина транспортерної стрічки, зафіксована в пункті 3.5 на рівні 1,8 м.

На основі цих даних, маса матеріалу на зазначеній ділянці обчислюється наступним чином:

$$m = 0{,}12 \cdot 1{,}8 \cdot 0{,}5 \cdot 450 = 48{,}6 \text{ кг},$$

Таким чином, обчислена маса складає 48,6 кг, що дозволяє перейти до подальшого аналізу та визначення сили F_1

$$F_1=48,6\cdot 9,81\cdot \sin 60°=412,9 \text{ Н}.$$

Величина сили тертя, що протидіє руху кормової маси, може бути розрахована за наступним співвідношенням:

$$F_2=m\cdot g\cdot f\cdot \sin\beta=F_1\cdot f, \quad (2.14)$$

Де f - позначає коефіцієнт внутрішнього тертя кормового матеріалу, значення якого прийнято як 0,65.

Підставивши відповідні числові значення, отримуємо:

$$F_2= 412,9\cdot 0,65=268,4\text{Н}.$$

Отже, потужність, яка потрібна для функціонування приводу зчісувального транспортера, обчислюється наступним чином:

$$N_m = \frac{(412,9+268,4)\cdot 0,5}{1000} = 0,84 \text{ кВт}.$$

Враховуючи номінальну (паспортну) потужність стандартного агрегату КТУ-10А, яка становить 11,8 кВт, сумарна потужність, необхідна для забезпечення роботи всіх робочих органів модернізованого кормороздавача, визначається як:

$$N = N_n + N_m = 11,8 + 0,84 = 12,64 \text{ кВт}. \quad (2.15)$$

Встановлена потужність трактора ЮМЗ-6 значно перевищує необхідні 12,64 кВт, що забезпечує стабільну роботу агрегату навіть при максимальному завантаженні бункера та складних фізико-механічних властивостях корму.

2.7. Формування системи дозованого корморозподілу

Конструктивна особливість модернізованого кормороздавача передбачає можливість точного дозування основних компонентів раціону безпосередньо у бункері. Цей процес реалізується шляхом геометричного розділення корисного об’єму кузова за допомогою пересувних вертикальних розділювачів.

Для точного розрахунку ємності бункера за вихідний орієнтир було взято зимовий раціон годівлі. Він складається з таких компонентів: кукурудзяний силос (76,5 %), кормові буряки (18,3 %) та сіно (5,2 %). При цьому були враховані ключові фізико-механічні характеристики цих кормів, зокрема їхня питома вага, а також показник наповнення бункера, значення якого дорівнює 0,72.

Загальна місткість бункера кормороздавача КТУ-10А складає 10 м³, однак фактичний робочий об’єм при завантаженні становить 7,2 м³. На основі масового співвідношення компонентів та їх щільності визначено необхідний об’єм кожного виду корму в межах бункера. Важливо зазначити, що кожен вид корму характеризується власною, відмінною від інших, щільністю. Зокрема, для силосу цей показник становить 650 кг/м³, для сіна — 100 кг/м³, а для буряків — 600 кг/м³. Враховуючи ці відмінності, стає можливим обчислити об'ємне співвідношення складових, на відміну від простого масового. Результати розрахунків наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Співвідношення складових кормової суміші за масою та об’ємом

Тип корму	Фактичний об'єм, $м^3$	Маса в накопичувачі, кг	Масова частка, %	Маса згідно рецептури раціону, кг	Об'ємна частка, %
Кормові буряки	1,1	658,8	18,3	6,8	15,2
Сіно	1,8	187,2	5,2	1,9	26
Кукурудзяний силос	4,23	2754	76,5	28,3	58,8
Загалом	7,21	3600	100	37	100

Оскільки висота та довжина всіх секцій залишаються однаковими, регулювання об’єму здійснюється шляхом зміни ширини кожного відсіку. При загальній ширині бункера 1,8 м визначено необхідні параметри встановлення розділювачів, що відповідають об’ємному співвідношенню компонентів кормосуміші. Результати розрахунків наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Параметри розподільчої системи згідно з технологічними вимогами

Тип кормового компонента	Ширина секції (м)	Об'ємна частка (%)
Загалом	1,8	100
Сіно	0,47	26
Кукурудзяний силос	1,06	58,8
Кормові буряки	0,27	15,2

Таким чином, застосування пересувних розділювачів дозволяє забезпечити точне дозування компонентів відповідно до встановленого раціону годівлі. Запропонована конструкція характеризується універсальністю та дає можливість оперативно змінювати співвідношення кормів шляхом регулювання положення перегородок залежно від технологічних потреб господарства.

2.8. Опис конструктивної реалізації модернізованого рішення

Модернізований кормороздавач призначений для роботи в агрегаті з тракторами тягового класу 1,4, зокрема ЮМЗ-6Л або МТЗ-80/82. Робота машини базується на поєднанні процесів транспортування, дозування та формування кормосуміші безпосередньо під час роздавання.

На початковому етапі, відповідно до встановленого раціону годівлі, всередині бункера встановлюються вертикальні розділювачі у положеннях, визначених розрахунками. Після цього агрегат направляється до місць зберігання кормів, де кожен компонент завантажується у відповідний відсік бункера. Силос, сіно та коренеплоди розміщуються окремо, а концентровані корми та мінеральні добавки подаються у додатковий бункер-дозатор ПКТУ-10. Така схема забезпечує точне дозування компонентів ще на етапі завантаження. Після заповнення бункера кормороздавач транспортує компоненти до тваринницьких приміщень. Завдяки наявності внутрішніх розділювачів виключається хаотичне перемішування кормів під час руху, що дозволяє зберігати необхідне співвідношення інгредієнтів до моменту видачі.

Під час заїзду у кормовий прохід активується система роздавання корму. Поздовжній ланцюгово-планчастий транспортер переміщує компоненти корму до вихідної зони бункера. Далі похилий зчісуючий транспортер одночасно відбирає корм із усіх секцій, забезпечуючи його рівномірну подачу та часткове змішування у потоці. Сформована маса надходить на вивантажувальний транспортер, куди одночасно через дозатор ПКТУ-10 подаються концентровані корми та мінеральні добавки. У результаті цього в годівниці надходить уже готова повнораціонна кормова суміш. Регулювання норми видачі корму здійснюється двома способами: зміною швидкості руху поздовжнього транспортера за допомогою храпового механізму та зміною швидкості руху самого тракторного агрегату. Це дозволяє оперативно адаптувати процес годівлі відповідно до технологічних вимог.

Таким чином, запропонована конструкція забезпечує поєднання кількох технологічних операцій в одному агрегаті. Модернізований КТУ-10А виконує функції транспортування, дозування, часткового змішування та роздавання кормів, що дозволяє значно підвищити ефективність процесу годівлі при відносно невеликих енергетичних та матеріальних витратах.

2.9. Висновки за розділом

У результаті виконання конструкторської розробки з модернізації мобільного кормороздавача КТУ-10А отримано такі основні результати.

Розроблено оновлену конструктивну концепцію агрегату, яка передбачає переобладнання базової машини у мобільний кормозмішувально-роздавальний пристрій. Це досягається шляхом впровадження системи пересувних поздовжніх розділювачів у бункері, встановлення похилого зчісуючого транспортера та інтеграції дозатора концентрованих кормів ПКТУ-10. Обґрунтовано основні геометричні параметри робочих органів. Зокрема визначено оптимальну висоту пальців зчісуючого механізму, яка становить 0,12

м, а також розраховано ширину технологічних відсіків бункера, що забезпечує задане співвідношення компонентів раціону: силос — 1,06 м, коренеплоди — 0,27 м, сіно — 0,47 м.

Встановлено кінематичні параметри роботи модернізованого транспортно-зчісуючого вузла. Доведено, що для забезпечення стабільного процесу зняття кормового моноліту необхідна лінійна швидкість транспортера 0,5 м/с, яка реалізується при передаточному числі ланцюгового приводу близько 2,9. Виконано енергетичний аналіз системи. Додаткова потужність на привід модернізованих робочих органів становить 0,84 кВт, тоді як сумарна потужність агрегату — 12,64 кВт, що є повністю узгодженим із можливостями трактора тягового класу 1,4. Максимальна продуктивність робочих органів досягає 62,2 т/год, що забезпечує виконання технологічних вимог годівлі в задані строки.

Підтверджено технологічну доцільність запропонованого рішення. Реалізована конструкція дозволяє об’єднати операції дозування, змішування та роздавання кормів в межах одного мобільного агрегату, що забезпечує відмову від використання стаціонарних кормоцехів і підвищує загальну ефективність кормозабезпечення на фермі.

РОЗДІЛ 3
ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1. Нормативні основи безпеки праці

При механізованому роздаванні кормів на фермах великої рогатої худоби із застосуванням мобільного агрегату ЮМЗ-6Л + КТУ-10А необхідно суворо дотримуватися вимог охорони праці, встановлених чинним законодавством України. Це є обов'язковою умовою забезпечення безпеки оператора та обслуговуючого персоналу, а також запобігання виробничому травматизму під час виконання технологічних операцій.

Нормативно-правове регулювання у цій сфері базується на таких основних документах: Закон України «Про охорону праці», який визначає пріоритет життя і здоров'я працівників та покладає відповідальність за створення безпечних умов праці на роботодавця; НПАОП 01.0-1.02-18 «Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві», що регламентує вимоги до експлуатації мобільної техніки та кормороздавачів; а також Кодекс цивільного захисту України, який встановлює порядок дій у разі виникнення надзвичайних ситуацій. У процесі експлуатації модернізованого кормороздавача необхідно враховувати комплекс вимог безпеки, які охоплюють організаційні, технічні та санітарно-гігієнічні аспекти. Перед допуском до роботи працівники повинні пройти обов'язкове навчання та інструктажі з охорони праці, зокрема первинний інструктаж на робочому місці та періодичні повторні інструктажі не рідше одного разу на шість місяців. При цьому особлива увага приділяється ознайомленню з конструктивними особливостями модернізованих вузлів агрегату, зокрема зчісуючого транспортера та системи розділювачів бункера.

Важливим елементом безпеки є забезпечення працівників засобами індивідуального захисту, до яких належать спецодяг, захисні рукавиці та взуття. У випадках роботи з пиловими кормовими компонентами обов'язковим

є використання респіраторів та захисних окулярів, що знижує ризик впливу шкідливих факторів виробничого середовища.

Не менш важливою умовою безпечної експлуатації є контроль технічного стану обладнання. Забороняється використання агрегату у разі несправностей карданної передачі, відсутності або пошкодження захисних кожухів ланцюгових механізмів, а також при порушеннях у роботі гідравлічної системи. Регулярний технічний огляд є обов'язковою умовою надійної та безпечної роботи машини. Санітарно-гігієнічні вимоги передбачають підтримання належного стану робочих місць відповідно до ДСанПіН 4.4.4.073-2001. При цьому рівні шуму та вібрації від трактора ЮМЗ-6 не повинні перевищувати встановлені нормативні значення, а персонал повинен мати можливість дотримання особистої гігієни під час виконання робіт.

Окрему увагу слід приділяти безпеці при роботі з рухомими розділювачами бункера, які входять до конструкції модернізованого агрегату. Їх регулювання та фіксація повинні здійснюватися виключно при повністю зупиненому двигуні трактора та вимкненому валу відбору потужності, що виключає ризик травмування.

Таким чином, дотримання вимог охорони праці при механізованому роздаванні кормів є обов'язковою складовою безпечної експлуатації техніки. Реалізація комплексу організаційних і технічних заходів дозволяє знизити виробничі ризики та забезпечити створення безпечних умов праці відповідно до чинних нормативно-правових актів України.

3.2. Заходи забезпечення безпечної експлуатації модернізованого агрегату

Для забезпечення безаварійної роботи та запобігання травматизму під час експлуатації модернізованого кормороздавача КТУ-10А у проєкті передбачено комплекс інженерно-технічних заходів, спрямованих на підвищення загального рівня безпеки технологічного процесу. Перш за все,

враховуючи заміну стандартних бітерів на зчісуючий транспортер із відкритими ланцюговими передачами та рухомими робочими елементами, передбачено обов’язкове встановлення захисних відкидних металевих кожухів. Вони повинні повністю перекривати зони приводу зірочок і ланцюгів відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 12100, що виключає випадковий контакт персоналу з рухомими частинами.

Окрему увагу приділено системі дозування та розділення бункера. Конструкція пересувних розділювачів передбачає їх жорстку фіксацію за допомогою болтових з’єднань або шплінтів, що запобігає самовільному зміщенню перегородок під дією тиску кормової маси. Це забезпечує стабільну роботу поздовжнього транспортера та виключає можливість заклинювання робочих органів. З урахуванням підвищеного пиловиділення під час роботи з концентрованими кормами та компонентами через бункер-дозатор ПКТУ-10, передбачено заходи пожежо- та вибухобезпеки. Зокрема, усі елементи приводу повинні бути належним чином змащені для запобігання іскроутворенню, а трактор ЮМЗ-6Л обов’язково комплектується іскрогасником на вихлопній системі та сертифікованим вогнегасником.

Для підвищення безпеки роботи в умовах обмеженої видимості (ранкова та вечірня годівля) агрегат оснащується додатковим освітленням, спрямованим на зону вивантаження корму, що забезпечує контроль процесу без необхідності виходу оператора з кабіни. Крім того, перед увімкненням валу відбору потужності передбачено подачу звукового сигналу для попередження обслуговуючого персоналу, який може перебувати в робочій зоні.

Додатково слід відзначити, що модернізація приводу сприяє зменшенню пікових навантажень на двигун трактора, що, у свою чергу, знижує рівень викидів відпрацьованих газів і покращує екологічні умови роботи в закритих тваринницьких приміщеннях.

3.3. Висновки за розділом

На основі проведеного аналізу стану охорони праці та розроблених заходів безпеки при експлуатації модернізованого кормороздавача КТУ-10А в агрегаті з трактором ЮМЗ-6Л можна сформулювати такі висновки. Перш за все, встановлено та обґрунтовано нормативно-правову базу, відповідно до якої повинна здійснюватися експлуатація проектованої лінії годівлі. Дотримання вимог Закону України «Про охорону праці» та НПАОП 01.0-1.02-18 забезпечує належний рівень правового та організаційного захисту персоналу під час виконання технологічних операцій.

Розроблено комплекс заходів безпеки, спрямованих на зниження ризику травматизму. Зокрема, передбачено встановлення захисних кожухів на ланцюгові передачі зчісуючого транспортера, а також забезпечення жорсткої фіксації внутрішніх розділювачів бункера, що виключає їх самовільне зміщення під час роботи. Визначено вимоги до професійної підготовки персоналу. До роботи з модернізованим агрегатом допускаються працівники, які пройшли відповідне навчання та інструктаж з охорони праці, що охоплює особливості експлуатації комбінованих мобільних кормороздавачів.

Окремо відзначено покращення умов праці за рахунок впроваджених заходів, зокрема організації додаткового освітлення робочої зони та використання засобів індивідуального захисту, що дозволяє зменшити вплив пилу та інших шкідливих факторів виробничого середовища. Також доведено, що за умови своєчасного технічного обслуговування та регулярного контролю стану вузлів модернізованої конструкції ризик виникнення аварійних ситуацій може бути зведений до мінімального рівня.

У цілому реалізація запропонованих заходів забезпечує формування безпечного виробничого середовища, зниження рівня травматизму та підвищення загальної культури охорони праці на підприємстві.

РОЗДІЛ 4
АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ КОРМОРОЗДАВАЧА

Проводиться порівняльний аналіз двох підходів до організації процесу приготування та дистрибуції кормів. Базовий варіант функціонує згідно зі схемою, наведеною у Розділі 1: кормороздавальна машина послідовно переміщується між сховищами кормів, здійснює завантаження вже підготовленими до згодовування компонентами, дозує їх, формує суміш, яка потім вивантажується безпосередньо в годівниці. Проектний варіант реалізує ідентичний технологічний алгоритм, при цьому ключова відмінність полягає виключно у типі задіяного роздавального обладнання. Для базового варіанта передбачено використання моделі РСП-10, тоді як для проєктного – модернізованої модифікації КТУ-10А, описаної у Розділі 2.

Отже, зіставлення показників ефективності цих систем може бути зведене до аналізу експлуатаційної продуктивності зазначених машин. Вихідні дані, що характеризують обидва варіанти, наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Вхідні відомості для проведення розрахунків економічних індикаторів

Вхідний параметр	Проєктний варіант	Базовий варіант
Модель механізму роздачі	КТУ-10А (оптимізований)	РСП-10
Добова тривалість роботи, год.	4,0	4,0
Вартість одиниці обладнання, грн.	38120,00	79720,00
зокрема, витрати на модернізацію роздавача кормів	18980,00	-
Кількість обслуговуючого персоналу, осіб	1	1
Потужність приводу, кВт	13,64	22,80

Основна мета даного етапу дослідження полягає у проведенні комплексного зіставлення між існуючим технологічним підходом та його інноваційним аналогом за ключовим критерієм питомих операційних витрат. З цією метою передбачається виконання детальних розрахунків, які будуть

ґрунтуватися на апробованих методологіях та рекомендаціях, що викладені у фахових літературних джерелах, зокрема у праці [13]. Отримані результати, що відображатимуть показники економічної доцільності та ефективності, будуть систематизовані у таблиці 4.2. Крім того, для наочності та кращого візуального сприйняття, ці дані будуть представлені на аркуші 5 графічної частини роботи.

Таблиця 4.2

Індикатори економічної ефективності запропонованої модернізації

Вихідні дані	Проєктний варіант	Базовий варіант
Модель обладнання	КТУ-10А (модернізований)	РСП-10
Щоденна тривалість функціонування, год.	4	4
Загальна капітальна вартість, грн.	38120,00	79720,00
в т.ч. витрати на переоснащення	18980,00	-
Кількість операційного персоналу, осіб	1	1
Споживана потужність приводу, кВт	13,64	22,80
Операційні витрати, грн.	78126,49	119607,47
в т.ч.: оплата праці з відрахуваннями	16503,51	16503,51
відрахування на ремонт та ТО	3049,60	6377,60
витрати на паливо-мастильні матеріали	54761,38	91537,36
амортизаційні відрахування	3812,00	5189,00
Період окупності додаткових капіталовкладень, років	0,46	-
Економія операційних витрат, грн.	41480,98	-

Аналіз економічних індикаторів, представлених у таблиці 4.2, демонструє, що впровадження модернізованого кормороздавача, порівняно з існуючим варіантом, характеризується суттєвим скороченням експлуатаційних витрат та нижчими початковими капітальними вкладеннями.

ВИСНОВКИ

В рамках масштабного проєкту з оптимізації ключових аспектів функціонування системи кормозабезпечення вдалося досягти низки важливих показників.

Проведений аналіз виробничої діяльності господарства показав, що використання мобільних засобів механізації є більш доцільним для ферм із середнім поголів'ям великої рогатої худоби, ніж будівництво стаціонарних кормоцехів. Встановлено, що модернізація кормороздавача КТУ-10А дозволяє скоротити капітальні витрати та спростити організацію процесу годівлі тварин. У роботі розроблено технологічну лінію приготування і роздавання кормів, визначено склад та кількість необхідних технічних засобів. Розрахункова продуктивність лінії становить 14,58 т/год, що забезпечує своєчасне обслуговування поголів'я відповідно до встановленого режиму годівлі. Добові витрати пального при роботі агрегату складають 6,5 кг, що свідчить про достатню енергоефективність прийнятого рішення.

У конструкторській частині проєкту запропоновано модернізацію кормороздавача КТУ-10А шляхом встановлення зчісуючого транспортера та системи поздовжніх розділювачів бункера. Виконані технологічні, кінематичні та силові розрахунки підтвердили працездатність і надійність запропонованої конструкції. Розроблене технічне рішення забезпечує можливість одночасного транспортування, дозування та змішування компонентів кормової суміші безпосередньо у кузові машини. У розділі охорони праці визначено основні вимоги безпечної експлуатації модернізованого агрегату. Передбачені конструктивні заходи, зокрема встановлення захисних кожухів, системи фіксації рухомих елементів та організація безпечного обслуговування обладнання, спрямовані на зниження ризику виробничого травматизму та відповідають чинним нормативним вимогам.

Економічні розрахунки підтвердили доцільність впровадження запропонованого технічного рішення. Прямі експлуатаційні витрати при

використанні модернізованого агрегату становлять 78126,49 грн на рік, а економія експлуатаційних витрат порівняно з базовим варіантом досягає 41480,98 грн. Додаткові капіталовкладення на модернізацію складають 18980,00 грн, при цьому строк їх окупності становить менше одного року.

Таким чином, запропонований модернізований кормороздавач КТУ-10А забезпечує ефективне виконання процесів приготування та роздавання кормів, дозволяє підвищити рівень механізації виробництва, зменшити енергетичні та матеріальні витрати й може бути рекомендований для впровадження на фермах із аналогічними умовами господарювання.

.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ВНТП-АПК-01.05. Скотарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми)// Міністерство аграрної політики України (Мінагрополітики України) // Київ – 2005.

2. Машини для тваринництва та птахівництва // За редакцією В.І. Крав- чука, 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. Машини для тваринництва та птахівництва // За редакцією В.І. Крав- чука, Ю.Ф. Мельника, Дослідницьке, УкрНДІВПТ ім. Погорілого – 2009, -207 с.

7. Сайт фірми «GEA Farm Technologies» [Електронний ресурс]/ Каталог продукції Режим доступа: http://www.gea-farmtechnologies.com/, вільний. - Загл. з екрана. - Яз. укр., англ.

8. Постельга С., Калітинський Ю. Дослідження технології приготування і роздавання кормосумішей на фермах ВРХ за результатами випробувань кормозмішувачів-роздавачів в господарських умовах//Зб. Наук. Праць "Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової те-хніки і технологій для сільського господарства".– Дослідницьке.: Укр-НДІПВТ ім. Погорілого, 2006. – випуск № 9 – С. 77 – 84.

9. Сайт фірми DeLaval [Електронний ресурс]/ Каталог продукції Режим доступу: http://www.delaval.ru/, вільний. - Загл. з екрана.

10. Романюха І.О., Дудін В.Ю. Курсове і дипломне проектування тваринницьких підприємств: навч. посібн. [для студ. вищ. навч. закл.] /І.О. Романюха, В.Ю. Дудін; за ред. І. Романюхи. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2014. – 418 с.
11. НПАОП 01.2-1.10-05. Правила охорони праці у тваринництві. Велика рогата худоба.
12. ДСТУ 4397: 2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економіч- ного оцінювання техніки на етапі випробування. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 15 с.