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

Допущено до захисту
«___»_____ 2026 р.
Зав. кафедри _д.т.н., професор___
(науковий ступінь, вчене звання)
_____ __Володимир ДІДУР____
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)

перший (бакалаврський)
(назва освітнього рівня)

тема проекту: «**Удосконалення технологічної лінії приготування кормів на фермі великої рогатої худоби з розробкою кормодробарки**»

Виконав: студент _3 курсу, групи 31к-ім
освітньої програми___бакалавр_____
спеціальності _208 «Агроінженерія»_
_Дзвониський Богдан Олексійович ____
(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. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ КОРМОПРИГОТУВАННЯ 8

1.1. Аналіз вимог до якості та поживності кормових сумішей 8

1.2. Обґрунтування структури раціонів та розрахунок добової потреби в кормах 9

1.3. Розрахунок місткості кормових складів і сховищ 15

1.4. Підбір і розрахунок технологічного обладнання лінії кормоцеху 16

1.5. Висновки за розділом 22

РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТОРСЬКА РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ МОДЕРНІЗОВАНОГО КОРМОДРОБИЛЬНОГО АГРЕГАТУ 21

2.1. Дослідження фізико-механічних вимог до кормоподрібнення 21

2.2. Порівняльний аналіз конструкцій дробарок для кормів 24

2.3. Аналіз доцільності вдосконалення кормодробильного агрегату 27

2.4. Принцип дії та конструктивні особливості модернізованого обладнання 28

2.5.Розрахунок основних технологічних параметрів процесу подрібнення 31

2.6. Розрахунок та обґрунтування конструкції робочих органів 33

2.7. Перевірочні розрахунки деталей на міцність 38

2.8. Організація сервісного обслуговування кормоподрібнювача 41

2.9. Висновки за розділом 42

РОЗДІЛ 3. ОХОРОНИ ПРАЦІ 44

3.1. Організація роботи з охорони праці 44

3.2. Технічні та організаційні заходи з безпеки праці в кормоцеху 47

3.5. Висновки за розділом 46

РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ 47

ВИСНОВКИ 50

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 52

ДОДАТКИ 54

ВСТУП

Одним із пріоритетних напрямів розвитку сучасного тваринництва в Україні є підвищення обсягів виробництва конкурентоспроможної продукції шляхом інтенсифікації виробничих процесів, впровадження ресурсозберігаючих технологій та переходу господарств на високий рівень механізації й автоматизації. Ефективне функціонування тваринницьких підприємств неможливе без використання сучасних технічних засобів, які забезпечують стабільність технологічних операцій, зниження трудових витрат та підвищення продуктивності праці.

Особливістю експлуатації машин та обладнання у тваринництві є їх безперервна робота протягом усього року в умовах підвищеної вологості, запиленості та агресивного середовища тваринницьких приміщень. Значна частина технологічного обладнання безпосередньо взаємодіє з кормовими матеріалами та біологічними об’єктами, тому рівень його технічної досконалості суттєво впливає на продуктивність тварин і економічні показники господарства. У структурі собівартості продукції скотарства найбільшу частку становлять витрати на приготування та використання кормів, які можуть досягати 60–70 %. Саме тому вдосконалення технологічних процесів підготовки кормових сумішей є важливою складовою підвищення ефективності виробництва продукції великої рогатої худоби. Якість подрібнення кормових компонентів визначає рівень засвоєння поживних речовин, рівномірність змішування та загальну ефективність годівлі тварин.

Аналіз існуючих технічних засобів для подрібнення кормів показує, що більшість експлуатованих кормодробарок мають підвищену енергоємність процесу, нерівномірний фракційний склад готового продукту та недостатню універсальність при роботі з різними видами сировини. Крім того, значний знос робочих органів і високі експлуатаційні витрати негативно впливають на економічну ефективність виробництва. У зв’язку з цим актуальним науково-практичним завданням є вдосконалення технологічної лінії приготування

кормів та розробка комбінованої кормодробарки, здатної забезпечити якісне подрібнення зернових, грубих і стеблових кормів при одночасному зниженні питомих витрат енергії та експлуатаційних витрат.

Зв’язок роботи з науковими програмами. Дослідження виконано відповідно до наукового напряму кафедри агроінженерії Дніпровський державний аграрно-економічний університет, пов’язаного з розробкою та вдосконаленням енергоощадних технічних засобів для галузі тваринництва.

Основною метою цього дослідження визначено підвищення продуктивності та економічної ефективності технологічного процесу кормоприготування на підприємствах з вирощування великої рогатої худоби . А саме, шляхом модернізації виробничої лінії та розробки інноваційного комбінованого агрегату для подрібнення кормів, що сприятиме суттєвому зниженню питомих енергетичних витрат на процес і, відповідно, зменшення щорічних експлуатаційних витрат.

Для досягнення поставленої мети визначено та вирішено такі **задачі дослідження:**

1. оцінити стан існуючих технологічних ліній кормоприготування;

2. виконати технологічні та конструктивні розрахунки процесу приготування кормів для заданого поголів'я ВРХ, визначити добову й річну потребу в кормах та підібрати комплекс необхідного технологічного обладнання;

3. обґрунтувати та розробити модернізовану конструкцію універсальної кормодробарки з комбінованими робочими органами (молотками і ножами), виконати розрахунок її основних конструктивно-технологічних, кінематичних та енергетичних параметрів;

4. провести інженерні розрахунки елементів розробленої кормодробарки на міцність та зносостійкість;

5. розробити комплекс організаційно-технічних заходів з охорони праці, промислової безпеки та екологічної безпеки навколишнього середовища на проектованій дільниці;

6. провести техніко-економічну оцінку впровадження модернізованої технологічної лінії та розробленої кормодробарки, визначити річний економічний ефект і термін окупності капітальних інвестицій.

Об'єкт дослідження — технологічний процес приготування кормових сумішей для великої рогатої худоби.

Предмет дослідження — конструктивно-технологічні параметри універсальної кормодробарки з комбінованими робочими органами у складі поточно-технологічної лінії.

Методи дослідження. У роботі використано загальні методи системного аналізу, класичні закони механіки та теорії руйнування матеріалів різанням і ударом, інженерні методи розрахунку деталей машин на міцність, а також методи техніко-економічного аналізу та математичної статистики при обробці результатів.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено та запропоновано до впровадження модернізовану конструкцію комбінованої кормодробарки, яка дозволяє здійснювати якісне подрібнення зернових, стеблових та грубих кормів однією машиною. Впровадження розробки у виробництво дозволяє оптимізувати фракційний склад кормів, знизити питомі витрати електроенергії на тонну готової продукції та суттєво скоротити експлуатаційні витрати тваринницької ферми.

РОЗДІЛ 1
РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ КОРМОПРИГОТУВАННЯ

1.1. Аналіз вимог до якості та поживності кормових сумішей

Ефективний розвиток молочно-м’ясного скотарства ґрунтується на раціональному використанні як власних, так і закупівельних кормових ресурсів. У господарстві передбачено вирощування різноманітних зернофуражних і кормових культур, коренебульбоплодів, а також однорічних і багаторічних трав, які використовуються для заготівлі зеленої маси, силосу, сінажу та сіна.

Для забезпечення максимальної реалізації продуктивного потенціалу тварин і підвищення ефективності засвоєння поживних речовин більшість кормових компонентів перед згодовуванням проходить обов’язкову технологічну підготовку. Її параметри визначаються чинними зоотехнічними та ветеринарно-санітарними вимогами, які враховують фізіологічні особливості травної системи великої рогатої худоби.

Основні вимоги до заготівлі та підготовки кормової сировини полягають у дотриманні оптимальних строків збирання, оскільки скошування кормових культур повинно виконуватися у відповідні фази розвитку рослин, коли забезпечується максимальний вихід кормових одиниць, перетравного протеїну та сухої речовини з одиниці площі. Важливим елементом є контроль якості та безпечності кормів, оскільки їхня поживна цінність визначається не лише хімічним складом, але й ступенем механічної чистоти. Наявність сторонніх домішок є небажаною, оскільки може призводити до травмування тварин, розвитку захворювань травного тракту (зокрема травматичного ретикуліту), а також до прискореного зносу та пошкодження робочих органів кормоприготувального обладнання.

Обов’язковою є стадія очищення та підготовки кормової сировини перед подачею до технологічної лінії, що дозволяє зменшити кількість шкідливих включень та підвищити надійність роботи обладнання. Згідно з чинними

ветеринарно-санітарними та зоотехнічними нормами встановлюються такі граничні показники забрудненості кормів: вміст ґрунтових домішок і пилу не більше 1,0–2,0 % від сухої маси, мінеральних домішок не більше 0,3–1,0 %, металомагнітних включень — лише дрібні частинки до 2 мм без гострих країв у кількості не більше 30 мг на 1 кг корму, насіння токсичних бур’янів у зернофуражі — не більше 0,25 %.

Дотримання зазначених вимог є необхідною умовою для проєктування технологічної лінії та робочих органів модернізованої кормодробарки, яка повинна забезпечувати стабільну та надійну роботу в заданих експлуатаційних параметрах.

1.2. Обґрунтування структури раціонів та розрахунок добової потреби в кормах

Формування оптимального раціону годівлі великої рогатої худоби (ВРХ) безпосередньо залежить від спектру сільськогосподарських культур, що культивуються у межах господарства, а також від показників річної молочної продуктивності окремої особини. З огляду на це, розробляється деталізований графік харчування для тварин, які демонструють річний надій у 4000 кг молока на одну корову. Вся необхідна інформація щодо складу цього раціону буде ретельно зафіксована у відповідній таблиці.

Загальний щоденний обсяг потреби у кормах для всього поголів'я обчислюється відповідно до наступної формули:

$$G_{доб.i} = \sum_{j=}^{n} g_i m_j \qquad (1.1)$$

Де m_j – чисельність тварин у відповідній j-й групі, виражену у головах;

g_i – позначає індивідуальну норму видачі і-го типу корму на одну голову з j-ї групи тварин, виміряну у кілограмах (кг) (див. таблицю 1.1);

n – це загальна кількість груп тварин, які отримують ідентичну норму конкретного виду корму.

На основі визначеної рецептури раціонів та застосовуючи наведену

методологію, виконуємо розрахунок загальної добової потреби у кожному виді корму для всього стада з 360 корів. Шляхом множення індивідуальної добової норми кожного корму (з табл. 1.1) на загальну кількість корів у стаді, ми отримуємо наступні показники добового споживання для кожного компонента раціону.

Таблиця 1.1

Склад щоденного раціону живлення великої рогатої худоби

Енергетична цінність одиниць	Маса кормових інгредієнтів, кг	Різновид кормового матеріалу
Літо		
8,53	38,7	Зелена фуражна маса
0,87	3	Грубі корми (солома)
-	0,08	Натрій хлорид (кухонна сіль)
4,6	4	Концентровані корми
14,0	45,78	Сумарна поживна цінність
Зима		
-	0,08	Натрій хлорид (кухонна сіль)
3,85	11	Сінажна маса
4,8	24	Силос з кукурудзи
4,6	4	Концентровані корми
0,88	2	Сіно
-	0,08	Карбамід
0,87	3	Грубі корми (солома)
14,0	44,16	Сумарна поживна цінність

Кукурудзяний силос: щоденна потреба становить:

$$G_{доб.сил.} = 360 \cdot 24 = 8640 \text{ кг.}$$

Солома: щоденне споживання складає:

$$G_{доб.сол.} = 360 \cdot 3 = 1080 \text{ кг.}$$

Зелена маса (для літнього періоду): щоденний обсяг складає:

$$G_{доб.з.м} = 360 \cdot 38,7 = 13932 \text{ кг.}$$

Сіно: необхідна кількість сягає:

$$G_{доб.сін.} = 360 \cdot 2 = 720 \text{ кг.}$$

Обсяг необхідних концкормів:

$$G_{доб.конц.} = 360 \cdot 4 = 1440 \text{ кг.}$$

Сінаж: добова потреба визначена на рівні:

$$G_{доб.сінаж} = 360 \cdot 11 = 3960 \text{ кг.}$$

Кухонна сіль та карбамід: для кожної з цих добавок потрібно:

$$G_{доб.кух.с.} = 360 \cdot 0{,}08 = 28{,}8 \text{ кг.}$$

Сукупна добова потреба усіх видів кормів для всього поголів'я буде відрізнятися залежно від сезону. Для зимового періоду загальна маса кормової суміші для стада сягатиме:

$$G_{доб.з.к} = 8640 + 720 + 1080 + 3960 + 1440 + 28{,}8 + 28{,}8 = 15897{,}6 \text{ кг}$$

Натомість, у літній період, завдяки включенню великої кількості зеленої маси, загальний обсяг спожитих кормів зросте до:

$$G_{доб.з.к} = 1440 + 1080 + 28{,}8 + 13932 = 16480{,}8 \text{ кг}$$

Усі отримані результати розрахунків для щоденних, річних та усереднених норм кормів для різних вікових груп тварин заносяться до відповідної таблиці 2.2 для систематизації та подальшого планування кормової бази.

У теплий сезон до основних кормових засобів відносяться концентровані корми (річна потреба – 331170 кг, добова норма – 1577 кг), зелена маса (щорічне споживання – 3204054 кг, щоденна потреба – 15257,4 кг), кухонна сіль (6621,3 кг на рік, 31,53 кг на добу) та солома (248377,5 кг на рік, 1182,75 кг на добу). Сумарна добова норма споживання кормів у цей період становить 18048,68 кг.

У холодний сезон раціон тварин модифікується, включаючи сінаж (672196,25 кг на рік, 4336,75 кг на добу), рідину (воду) (907478,5 кг на рік, 5854,7 кг на добу), солому (183326,3 кг на рік, 1182,75 кг на добу), карбамід (4887,2 кг на рік, 31,53 кг на добу), силос (1466610 кг на рік, 9462 кг на добу), кухонну сіль (4887,2 кг на рік, 31,53 кг на добу) та сіно (122217,5 кг на рік, 788,5 кг на добу). Концентровані корми також присутні у значному обсязі (244435 кг на рік, 1577 кг на добу). Загальна щоденна потреба у кормах для ВРХ у зимовий період сягає 23264,76 кг.

Таблиця 1.2

Нормативи споживання та розподілу кормів для великої рогатої худоби

Категорія корму	Щорічна потреба, кг	Добова норма, кг	Обсяг разової видачі (кг) за годування		
			1-видача	3-видача	2-видача
Літній (вегетаційний) період					
Концентровані корми	331170	1577	501	501	576
Зелена фуражна маса	3204054	15257,4	4842,3	4842,3	5572,8
Натрій хлорид (кухонна сіль)	6621,3	31,53	10,04	10,04	11,52
Грубі корми (солома)	248377,5	1182,75	375,37	375,37	432
Сумарна норма	3790222,8	18048,68	5728,71	5728,71	6592,32
Зимовий (стійловий) період					
Сінажна маса	672196,25	4336,75	1376,4	1376,4	1584
Водна субстанція	907478,5	5854,7	1928,85	1928,85	1500
Грубі корми (солома)	183326,3	1182,75	375,37	375,37	432
Карбамід	4887,2	31,53	10,04	10,04	11,52
Силос	1466610	9462	3003	3003	3456
Натрій хлорид (кухонна сіль)	4887,2	31,53	10,04	10,04	11,52
Сіно	122217,5	788,5	250,25	250,25	288
Концентровані корми	244435	1577	501	501	576
Сумарна норма	3422711,7	23264,76	7454,95	7454,95	7859,04
Сукупна річна потреба у кормових засобах					
Карбамід	4887,2	-	-	-	-
Грубі корми (солома)	431703,8	-	-	-	-
Концентровані корми	575605	-	-	-	-
Водна субстанція	3790222,8	-	-	-	-
Натрій хлорид (кухонна сіль)	11508,5	-	-	-	-
Сіно	122217,5	-	-	-	-
Зелена фуражна маса	3204054	-	-	-	-
Сінажна маса	672196,25	-	-	-	-
Силос	1466610	-	-	-	-
Сумарна норма	10279005	-	-	-	-

Завершальний розділ таблиці підсумовує щорічні обсяги споживання всіх видів кормів: карбаміду (4887,2 кг), соломи (431703,8 кг), концентрованих кормів (575605 кг), рідини (3790222,8 кг), кухонної солі (11508,5 кг), сіна (122217,5 кг), зелених кормів (3204054 кг), сінажу (672196,25 кг) та силосу (1466610 кг). Загальний річний попит на всі кормові ресурси становить 10279005 кг.

1.3. Розрахунок місткості кормових складів і сховищ

Обчислення необхідної місткості для кожного виду кормової продукції здійснюється згідно з математичною формулою [18], яка враховує потенційні втрати під час зберігання:

$$G_{сх} = k_в \cdot G_{річ.і.}, \quad (1.3)$$

Де $k_в$ – це спеціальний поправочний коефіцієнт, що враховує неминучі втрати корму в процесі його зберігання. Величина цього коефіцієнта залежить від конкретного виду корму та обраного методу його консервації: для концентрованих кормів становить 1,01; для силосу та сінажу – 1,1; а для сіна та соломи – 1,05;

$G_{річ.і.}$ – позначає річний обсяг потреби в і-тому виді корму, виміряний у тоннах (згідно з даними, наведеними у таблиці 1.2).

Застосувавши вищезгадану формулу, отримуємо розрахункові значення місткості для кожного типу корму.

Місткість сховища для силосу становить:

$$G_{сх} = 1466,61 \cdot 1,1 = 1612,3\text{т.}$$

Для зберігання сіна необхідна місткість:

$$G_{сх} = 122,2 \cdot 1,05 = 128,31\ \text{т.}$$

Для сінажу обчислена місткість:

$$G_{сх} = 672,2 \cdot 1,1 = 739,42\ \text{т.}$$

Для соломи передбачається місткість:

$$G_{сх} = 431,7 \cdot 1,05 = 453,3\ \text{т.}$$

Місткість сховища для концентрованих кормів дорівнює:

$$G_{сх} = 575,6 \cdot 1,01 = 581,4 \text{ т.}$$

Наступним етапом є визначення фізичного об'єму складських приміщень, необхідного для розміщення розрахованої місткості кормової продукції. Цей показник обчислюється за формулою [18]:

$$V_з = G_{сх.і} / \rho_і \quad (1.4)$$

Де $G_{сх.і.}$ – розрахована місткість сховища для і-того виду корму, виміряна в тоннах;

$\rho_і$ – це питома об’ємна маса відповідного виду корму, що вимірюється в т/м³. Значення насипної щільності залежать від фізичного стану, вологості та ступеня ущільнення кормового матеріалу. Для основних видів кормів приймаються такі розрахункові значення: сіно ρ = 0,06 т/м³, сінаж ρ = 0,3 т/м³, солома ρ = 0,05 т/м³, концентровані корми ρ = 0,7 т/м³, силос ρ = 0,4 т/м³.

Шляхом підстановки значень у формулу, отримуємо такі об’єми сховищ:

для сінажу:

$$V = 739,42 \text{ т} / 0,3 \text{ т/м}^3 = 2462,7 \text{ м}^3.$$

об’єм сховища, необхідний для сіна:

$$V = 128,31 \text{ т} / 0,06 \text{ т/м}^3 = 2138,5 \text{ м}^3.$$

для концентрованих кормів:

$$V = 581,4 \text{ т} / 0,7 \text{ т/м}^3 = 830,6 \text{ м}^3.$$

для соломи:

$$V = 453,3 \text{ т} / 0,05 \text{ т/м}^3 = 9066 \text{ м}^3.$$

для силосу:

$$V = 1612,3 \text{ т} / 0,4 \text{ т/м}^3 = 4030,7 \text{ м}^3.$$

Для визначення оптимальної кількості окремих складських одиниць для кожного виду корму використовується наступна формула [8]:

$$N_{сх} = G_{сх.і.} / G_1 = V_з / V_1, \quad (1.5)$$

Де G_1, V_1 – означає місткість або об’єм однієї типової складської одиниці, також у тоннах або кубічних метрах;

$G_{сх.і.}$, $V_з$ – агальна розрахована кількість або сумарний об'єм і-того виду

корму, який потребує зберігання, виміряний у тоннах чи кубічних метрах відповідно

Вибір конкретних об’ємів сховищ виконується на основі аналізу типових проєктних рішень споруд, призначених для зберігання різних видів кормів. Для зберігання соломи передбачаються скиртові сховища зі стандартними габаритами 18×54×6 м, що забезпечує об’єм G1 = 5800 м³, відповідно до типового проєкту ТП 811-36. Для силосу та сінажу використовуються спеціалізовані траншейні сховища розмірами 12×49,5×3 м з об’ємом G1 = 3000 м³ (ТП 811-36). Для концентрованих кормів приймається закрите складське приміщення з габаритами 15×30×3 м, що відповідає об’єму G1 = 1350 м³ (ТП 815-23). Для сіна, згідно з розрахунковими даними, приймається об’єм сховища G1 = 1400 м³. Далі, підставляючи отримані значення у формулу (2.10), виконуємо відповідні розрахунки:

Розрахункова потреба у місткості для сіна становить:

$$N_{сх} = 2138,5 / 1400 = 1,5 \text{ одиниць зберігання.}$$

З урахуванням отриманого результату, було прийнято рішення про використання 1,5 одиниці сіносховищ, що дозволить ефективно зберігати необхідний обсяг висушеної трави.

Аналогічно, для зберігання соломи, отримано наступний показник:

$$N_{сх} = 9066 / 5800 = 1,5 \text{ одиниць.}$$

Відповідно, ми плануємо використовувати 1,5 одиниці скирт для складування сухих стебел зернових культур.

Обчислення щодо силососховищ дають наступний результат:

$$N_{сх} = 4030,7 / 3000 = 1,3 \text{ одиниць.}$$

На основі цього показника, прийнято рішення про експлуатацію однієї траншеї для заквашених кормів, яка забезпечить достатнє зберігання.

Щодо сінажу, розрахунок показує:

$$N_{сх} = 2462,7 / 3000 = 0,8 \text{ одиниць.}$$

Таким чином, для консервованого корму з пров'яленої трави передбачається використання одного сховища, що є оптимальним рішенням.

Для концентрованих кормів ми отримали значення:

$$N_{сх} = 830,6 / 1350 = 0,6 \text{ одиниць.}$$

Отже, для зберігання цих важливих компонентів раціону достатньо передбачити одне спеціалізоване сховище.

Підсумовуючи, для ефективного та належного зберігання сінажу та силосу, остаточно визначено використання по одній спеціалізованій траншеї для кожного виду корму. Водночас, для складування таких необхідних мінеральних добавок, як кухонна сіль та карбамід, задіюватимуться наявні приміщення складського комплексу, що розташований безпосередньо в кормоцеху.

1.4. Підбір і розрахунок технологічного обладнання лінії кормоцеху

При розробці та підборі виробничих ліній для сучасного комбікормового комплексу є ґрунтовний аналіз існуючого референтного об'єкта, який виступив у ролі базового прототипу. Одночасно, було ретельно інтегровано та враховано найкращі світові практики та інноваційні методики організації всіх етапів підготовки, переробки та кондиціонування кормових ресурсів у галузі тваринництва. Виходячи з цих комплексних передумов, було детально сформовано вичерпний перелік ключових технологічних ланцюгів та відповідного високотехнологічного машинного обладнання.

На основі цього ретельно підібраного комплексу технологічного устаткування була розроблена цілісна загальна технологічна схема, що детально відображає логістику та траєкторії руху матеріальних потоків сировинних компонентів. Більш деталізована структурно-технологічна діаграма, що візуалізує весь процес приготування кормів від початку до кінця, наочно представлена на рисунку 1.1.

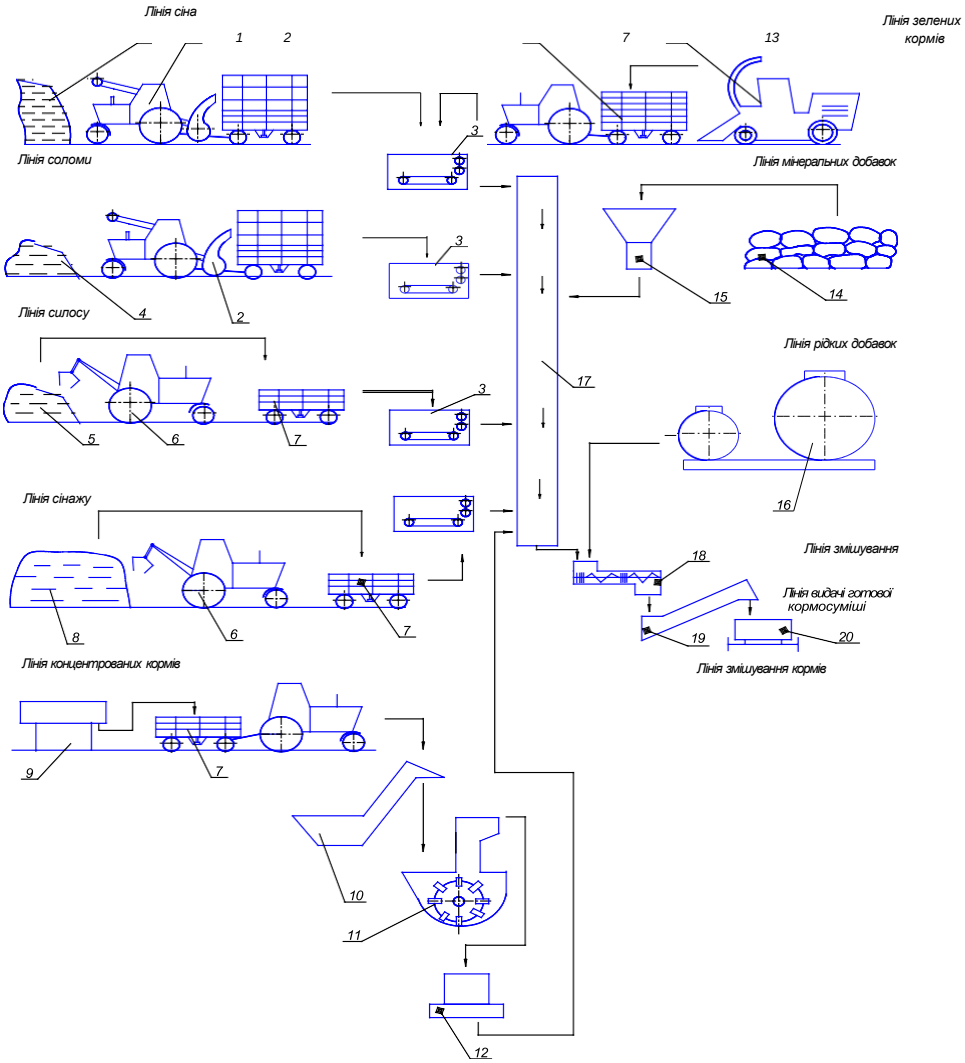


Рис. 1.1. Принципова структурно-технологічна діаграма комплексу з приготування кормових сумішей:

1 – сіно у скирті; 2 – подрібнювач-навантажувач ФН-1,2 в агрегаті з трактором ЮМЗ-6Л та причепом 2ПТС-4-787А; 3 – живильник КТУ-10; 4 – скирта соломи; 5 – силосна траншея; 6 – навантажувальний агрегат ПЭ-0,8Б у комплекті з трактором ЮМЗ-6Л; 7 – тракторний причіп 2ПТС-4 з тягачем ЮМЗ-6Л; 8 – траншея для сінажу; 9 – склад концентрованих кормів; 10 – подавальний пристрійПК-6; 11 – подрібнювач зернових ДКУ-1,0; 12 – дозуючий пристрій ДК-10; 13 – комбайн для заготівлі силосу КСК-100; 14 – склад для мінеральних добавок; 15 – дозуючий пристрій МТД-3А; 16 – установка для подачі рідких компонентів СМ-1,7; 17 – транспортер стрічковий ТЛ-65; 18 – змішувальна машина С-30; 19 – механізм для переміщення сипучих матеріалів за допомогою шнека ТС-40М; 20 – механізм для роздачі кормів КТУ-10А

Так, ділянка обробки концентрованих кормових компонентів передбачає залучення високопродуктивного живильника концентрованих кормів моделі ПК-6, що забезпечує рівномірну подачу сировини. Для ефективного доведення компонентів до необхідної фракції використовується потужний подрібнювач концкормів ДКУ-1,0, а точне дозування забезпечує прецизійний дозувальний пристрій ДК-10. Для сегментів, що спеціалізуються на підготовці грубих та соковитих кормів – таких як сіно, солома, силос та сінаж – застосовується універсальний живильник КТУ-10, спроможний працювати з різнотипною об'ємною сировиною. Фінальний, але не менш важливий, етап – лінія гомогенізації та подальшого вивантаження готової кормосуміші – включає в себе збірний транспортер ТЛ-65 для акумуляції компонентів, потужний змішувач кормів С-30, що гарантує ідеальну однорідність кінцевого продукту, та розвантажувальний транспортер ТС-40М для безперебійного відведення готової продукції.

Для проведення подальших інженерно-технологічних розрахунків систематизовано основні параметри обладнання. Технічні характеристики вибраних машин наведено в таблиці 1.3.

Ефективність функціонування технологічних ліній, призначених для приготування кормових сумішей, встановлюється на основі аналізу продуктивності ключового обладнання – змішувача. Для розрахунку цього показника застосовується наступна формула [3]:

$$Q_л = G_{раз} / T \quad (1.6)$$

Де $G_{раз}$ – об'єм необхідної одноразової порції або партії кормової суміші. Згідно з даними, представленими у таблиці 1.2, цей показник становить 7,86 тонн;

T – загальна тривалість функціонування лінії, необхідна для повного циклу приготування кормових сумішей, виражена в годинному еквіваленті.

Для визначення тривалості робочого циклу (Т) використовується така розрахункова формула:

$$T = G_{раз} / Q_{зм} \quad (1.7)$$

Де $Q_{зм}$ – фактична продуктивність ключового обладнання – змішувача кормів, яка, відповідно до технічних характеристик (наприклад, модель С-30 у таблиці 1.3), становить 30 тонн за годину.

Проведемо попередні обчислення для визначення необхідного часу роботи:

$$T = 7{,}86 \text{ т} / 30 \text{ т/год} = 0{,}262 \text{ години},$$

що еквівалентно приблизно 15,72 хвилинам.

Здійснюємо остаточні обчислення для визначення продуктивності лінії:

$$Q_л = 7{,}86 \text{ т} / 0{,}262 \text{ год} = 30 \text{ т/год}.$$

Таблиця 1.3

Деталізовані технічні параметри обладнання для виробництва та обробки кормових сумішей

Найменування обладнання	Маса нетто (кг)	Модельний ряд	Номінальна потужність електроприводу (кВт)	Чисельний склад машин, (шт)	Об'єм завантажувального бункера ($м^3$)	Годинна продуктивність (т/год)
Транспортери-розвантажувальні	650	ТС – 40М	3,0	1	-	40
Змішувальні агрегати для сухих кормів	620	С-30	11,0	1	1,77	5 – 30
Дозувальні пристрої для точного розподілу мінеральних преміксів	85	МТД – 3А	0,4	1	-	0,03 – 0,75
Подрібнювальне обладнання для концентрованих кормів	715	ДКУ – 1,0	14,0	1	-	1,2
Дозатор конц. кормів	135	ДК – 10	0,6	1	-	0,3 – 10
Транспортер для переміщення сипучих компонентів	1100/620	ТЛ – 65	1,5	1	-	20
Живильники для подачі грубих кормових засобів	2700	КТУ – 10	7,5	4	10,0	5 – 60
Змішувальні агрегати рідких добавок	1807	СМ – 1,7	6,2	1	1,7	1,8
Живильник для подачі концентрованих кормів	700	ПК – 6	3,7	1,3 – 10,3	9,0	1

Дані показники є фундаментальними для проектування, експлуатації та оцінки ефективності ліній з приготування кормів, дозволяючи раціонально підбирати та інтегрувати обладнання в технологічний процес.

1.5. Висновки за розділом

Узагальнюючи результати, отримані в розділі 2, слід зазначити, що було визначено необхідні обсяги заготівлі кормових компонентів та обґрунтовано найбільш доцільні способи їх зберігання. Також виконано вибір і розрахунок комплексу технологічного обладнання, необхідного для функціонування лінії приготування кормів, із визначенням типу машин, їх кількості та виробничих параметрів. На основі проведених розрахунків сформовано структурно-технологічну схему кормоцеху, яка відповідає умовам господарства та забезпечує виконання основних операцій з підготовки, дозування, змішування і роздавання кормів.

Разом із тим проведений аналіз існуючої технологічної лінії показав, що її конструктивне та технологічне виконання має низку недоліків, які негативно впливають на енергоефективність, якість подрібнення кормів і загальну продуктивність процесу. У зв’язку з цим виникає необхідність у подальшому вдосконаленні окремих елементів системи кормоприготування та розробці модернізованих технічних рішень. Саме цим питанням присвячуються наступні розділи дипломного проєкту, у яких буде наведено технічне обґрунтування запропонованих удосконалень і конструктивних розробок.

РОЗДІЛ 2
КОНСТРУКТОРСЬКА РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ МОДЕРНІЗОВАНОГО КОРМОДРОБИЛЬНОГО АГРЕГАТУ

2.1. Дослідження фізико-механічних вимог до кормоподрібнення

Механічне подрібнення становить одну з ключових і, водночас, найбільш енергоємних технологічних операцій у загальному комплексі обробки кормової сировини перед її безпосереднім згодовуванням. Необхідність механічного руйнування цілісної структури кормової сировини зумовлена анатомо-фізіологічними особливостями травної системи великої рогатої худоби.

Основною метою процесу подрібнення є руйнування міцних зовнішніх оболонок зернових і бобових культур для підвищення доступності поживних речовин дії ферментів шлунково-кишкового тракту тварин, збільшення питомої площі контакту корму з травними соками, що підвищує засвоюваність і ефективність конверсії корму, покращення органолептичних властивостей кормосуміші за рахунок рівномірного змішування компонентів, зменшення технологічних втрат, пов’язаних із вибірковим поїданням корму тваринами та його розкиданням на кормовому столі, а також забезпечення умов для точного вагового або об’ємного дозування інгредієнтів під час формування повнораціонних сумішей.

Дослідженнями встановлено, що використання попередньо подрібнених кормів дозволяє зменшити їх втрати в процесі згодовування на 20–30 %. Особливо це стосується грубих стеблових кормів (сіно, солома), які в цільному вигляді поїдаються тваринами значно гірше. Попри низьку поживність соломи (в середньому 1 кг містить близько 0,2 кормової одиниці, що відповідає енергетичній цінності близько 600 ккал або 2510 кДж, та 5–12 г перетравного протеїну), її використання є обов’язковим у раціонах великої рогатої худоби для стимулювання моторики передшлунків. Ефективність її засвоєння суттєво

підвищується за умови оптимального ступеня подрібнення. Згідно з діючими зоотехнічними вимогами, які враховуються при проектуванні робочих органів модернізованої кормодробарки, розмір часток подрібненого корму повинен відповідати віковим групам тварин: для дорослої великої рогатої худоби довжина часток грубих кормів становить 30–50 мм (3–5 см), для молодняку (телят) 10–30 мм (1–3 см). При цьому надмірне подрібнення до пилоподібного стану (менше 1–2 мм) є неприпустимим, оскільки може призводити до порушення процесів жуйки та розвитку захворювань шлунково-кишкового тракту, зокрема ацидозу.

Враховуючи умови експлуатації розроблюваної кормодробарки у ФГ «Алігатор», конструкція її робочих органів повинна забезпечувати стабільну роботу в умовах наявності природних домішок у сировині. Допустимий вміст забруднень становить: ґрунтові домішки 1–2 %, пісок 0,3–1,0 %, випадкові металомагнітні включення до 30 мг на 1 кг кормової маси.

Зазначені фізико-механічні вимоги є вихідною базою для подальшого інженерного обґрунтування геометричних, кінематичних та міцнісних параметрів проектованої машини.

2.2. Порівняльний аналіз конструкцій дробарок для кормів

У сфері агроінженерії основними методами механічного руйнування та подрібнення волокнистих стеблових кормів є лезове різання, яке може бути вільним або з використанням протирізальної пластини, плющення шляхом стискання між вальцями, а також ударне подрібнення вільної або обмеженої дії, що здійснюється робочими елементами типу молотків або бітерів.

Традиційно базовим способом підготовки стеблових кормів вважалося лезове різання, на основі якого створено більшість типових машин для подрібнення соломи та силосу. Однак результати сучасних зоотехнічних досліджень і практичний досвід експлуатації свідчать, що ефективність споживання, перетравлення та засвоєння кормів, оброблених лише гладким

лезовим різанням, є недостатньою. За такого способу обробки стебла рослин перерізаються рівно, при цьому їх внутрішня капілярна структура залишається закритою. Це ускладнює проникнення мікроорганізмів рубця та травних ферментів у внутрішні шари кормових часток, що знижує ступінь їх перетравлення та загальну ефективність використання. У зв’язку з цим виникає потреба у створенні робочих органів, які забезпечують комбінований вплив на кормову масу, поєднуючи поздовжнє та поперечне розщеплення і розволокнення стебел із руйнуванням клітинної структури. Така обробка суттєво збільшує питому поверхню корму, покращує його змочування слиною та підвищує засвоюваність поживних речовин.

На сучасному ринку сільськогосподарської техніки представлено різні типи подрібнювачів грубих кормів, які відрізняються конструкцією та принципом роботи. Далі наведено характеристику основних із них. Зокрема, подрібнювач «ИГК-30Б» призначений для стаціонарного подрібнення соломи, сіна, сухих стебел кукурудзи та інших грубих кормів із одночасним пневматичним транспортуванням подрібненої маси до накопичувального бункера або транспортних засобів.



Рис. 2.1. Схематичне зображення агрегату для механічного подрібнення об'ємної кормової сировини, модель «ИГК-30Б»

Дана машина характеризується значною конструктивною металомісткістю за відносно невисокої експлуатаційної продуктивності, яка коливається в межах 0,8–3,2 т/год залежно від виду та вологості вихідної сировини. Питома енергоємність процесу становить 8,5–10,0 кВт·год/т при потужності встановленого головного електродвигуна 30 кВт. Робочий орган роторного типу забезпечує подрібнення матеріалу вздовж і впоперек волокон за рахунок ударно-стиральної дії штифтів (де can-пристрою), проте фракційний склад готового продукту є нестабільним, з наявністю надмірно великих часток, що не повною мірою задовольняє зоотехнічні нормативи.

Агрегат для переробки грубих кормів «ИГК-5» або «ИГК-5М» призначений для подрібнення та розпушування сінажу і соломи незалежно від способу їх заготівлі, як у вигляді щільно сформованих рулонів, обв’язаних шпагатом, так і у розсипному стані.



Рис. 2.2. Пристрій для подрібнення сировини серії «ИГК-5» та її модифікація «ИГК-5М»

Дана машина характеризується значною конструкційною масою та підвищеною питомою металомісткістю, яка становить 3,82 кг/(т/год). Незважаючи на досить високу продуктивність в межах 0,6–12,0 т/год, агрегат має значну енергоємність процесу подрібнення, що досягає 30,4 кВт·год/т. Якість подрібнення та розпушування кормового матеріалу відповідає

встановленим агротехнічним вимогам. Водночас недоліком конструкції є потреба у використанні додаткових засобів для подачі рулонів у приймальний бункер, що ускладнює автоматизацію технологічної лінії та знижує її загальну технологічну гнучкість.

Подрібнювальна установка «ИКВ-5» («Волгарь-5») являє собою багатофункціональний агрегат, розроблений для ефективного диспергування та переробки як вологомістких фуражних матеріалів, зокрема, коренеплідних та бульбоплідних культур, баштанних, силосованої маси, так і грубих волокнистих стеблових компонентів рослинного походження.

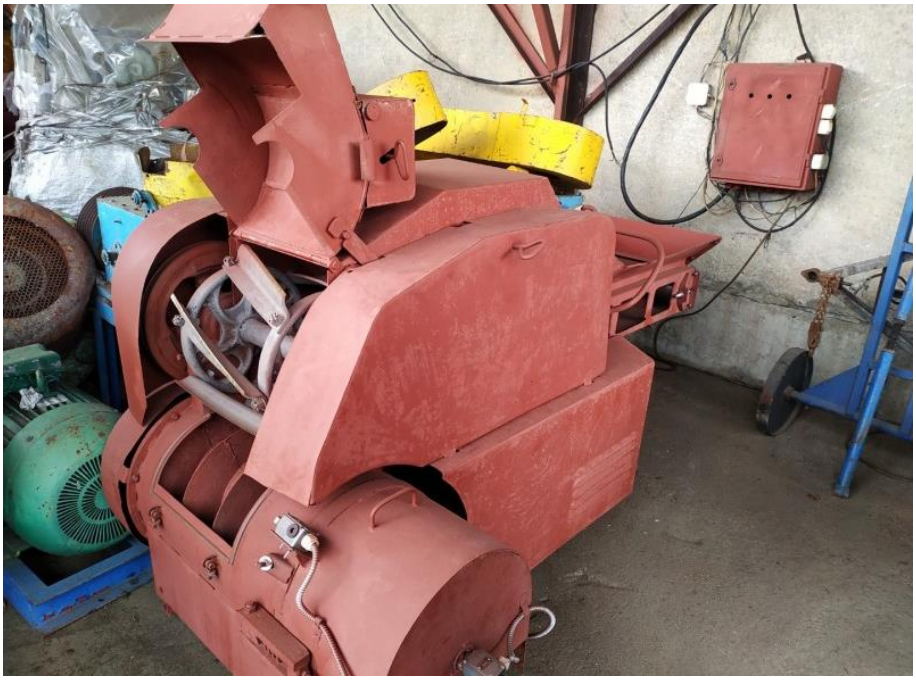


Рис. 2.3. Пристрій для подрібнення моделі «ИКВ-5»

Даний агрегат характеризується помірними показниками питомої металоємності, які знаходяться в межах 2,54–3,42 кг/(т/год) залежно від його конструктивного виконання. Експлуатаційна продуктивність при переробці грубих кормових матеріалів становить близько 3,0 т/год, при цьому питомі енерговитрати процесу перебувають на рівні 21,2 кВт·год/т. Основним робочим органом є ножовий ротор, який працює у поєднанні зі шнековим подавальним пристроєм. Така конструкція забезпечує достатньо високу якість подрібнення соковитих кормів, однак має і певні недоліки. Зокрема, спостерігається інтенсивний абразивний знос ріжучих елементів, а також підвищена

ймовірність забивання робочої камери при обробці сухих грубих кормів, особливо за наявності жорсткої соломи.

Безситова дробильна установка «ДМ-10» призначена для подрібнення різних видів кормових матеріалів, включаючи соковиті, грубі та концентровані зернові компоненти раціону.



Рис. 2.4. Подрібнювач кормової сировини «ДМ-10»

Дана конструкція характеризується найменшою питомою металомісткістю серед розглянутих аналогів, яка становить 1,5 кг/(т/год). При цьому машина забезпечує високу експлуатаційну продуктивність до 6,5 т/год за оптимального рівня питомих енерговитрат, що дорівнює 23,0 кВт·год/т. Завдяки відсутності сита та використанню дефлекторів, «ДМ-10» забезпечує ефективне руйнування кормового матеріалу у поздовжньому та поперечному напрямках за рахунок ударної дії молотків. Конструкція відрізняється простотою в налаштуванні, зручністю технічного обслуговування та можливістю регулювання ступеня подрібнення. Разом з тим, недоліком агрегату є відсутність можливості оперативного переходу між режимами подрібнення зернових культур і довгостеблової соломи без заміни робочих органів або суттєвого переналаштування ротора.

Проведений порівняльний аналіз свідчить про доцільність розробки модернізованої кормодробарки на базі комбінованих робочих органів із поєднанням молотків і підрізних ножів, що дозволить поєднати низьку металомісткість «ДМ-10» з універсальністю та високою якістю розволокнення стеблових кормів, характерною для штифтових і ножових конструкцій.

2.3. Аналіз доцільності вдосконалення кормодробильного агрегату

Головною метою модернізації серійної універсальної дробарки «ДКУ-1,0» є удосконалення конструкції її робочої камери та подрібнювальних органів для забезпечення якісної переробки різних за фізико-механічними властивостями видів кормів в межах однієї машини. Базова схема серійного агрегату представлена на рисунку 2.5.



Рис. 2.5. Базова дробарка «ДКУ-1,0» до модернізації

З метою розширення технологічних можливостей машини та забезпечення ефективного подрібнення як крихких зернових компонентів, так і волокнистих грубих кормів (сіно, солома) та соковитої стеблової маси (кукурудза у фазі молочно-воскової стиглості), розроблювана конструкція оснащується комбінованими робочими органами. Сутність модернізації полягає у зміні конструкції ротора подрібнювача. На модернізованому валу симетрично розміщуються чотири ряди шарнірно підвішених молотків та чотири ряди підрізних ножів, які можуть бути жорстко або шарнірно закріплені, із заточенням лез під оптимальним кутом $\alpha = 30°$.

Завдяки наявності гострозаточених ножів забезпечується первинне інтенсивне перерізання довгостеблової кормової маси, що надходить у робочу

камеру. Після цього подрібнений матеріал піддається багатократній ударній дії молотків, у результаті чого відбувається його інтенсивне розволокнення вздовж волокон, розщеплення та подальше руйнування. Кінцева фракція готового кормового продукту та її відповідність зоотехнічним вимогам регулюється за рахунок встановлення та налаштування змінної сепарувальної решітки (сита), яка розміщується у нижній частині камери подрібнення. Поєднання роботи ножів і молотків дозволяє усунути ефект забивання ротора довгостебловою сировиною, підвищити стабільність роботи агрегату та знизити питому енергоємність процесу подрібнення.

Загальний вигляд та компонувальне рішення вдосконаленого кормодробильного агрегату в зборі з електроприводом і рамою наведено на рисунку 3.6. Детальні конструктивні креслення розробленого модернізованого ротора, схеми розстановки комбінованих робочих органів, а також специфікації кріпильних елементів та шпильок представлені на форматі А1 графічної частини даного випускного кваліфікаційного проєкту.

2.4. Принцип дії та конструктивні особливості модернізованого обладнання

Під час переробки грубих кормів, таких як сіно і солома, або соковитих кормів, зокрема кукурудзи з качанами та коренебульбоплодів, сировина рівномірними порціями подається на стрічковий транспортер, який переміщує її до живильного барабана. Далі барабан примусово подає кормову масу у приймальне вікно корпусу машини, де вона потрапляє в зону дії першого етапу подрібнення — підрізних ножів ротора, що працюють у безпосередній взаємодії з протирізальною пластиною. На цьому етапі здійснюється первинне грубе різання стеблової маси.

Після цього подрібнені частки надходять у циліндричну робочу камеру, де підхоплюються шарнірно закріпленими молотками ротора, що обертається. Під дією відцентрових сил і ударних навантажень матеріал притискається до

ребристої внутрішньої поверхні деки, де відбувається інтенсивне подрібнення, стирання та розволокнення. У результаті корм доводиться до необхідної фракції та виводиться через вихідний патрубок разом із повітряним потоком.

Рухома підпружинена рама з живильним барабаном переміщується по напрямних, що дозволяє автоматично змінювати технологічний зазор відповідно до товщини шару кормової маси. Пружинний механізм забезпечує постійний притиск рами донизу, що гарантує стабільну подачу корму, надійний контакт зі стрічкою транспортера та запобігає її пробуксовуванню і забиванню живильного вузла.

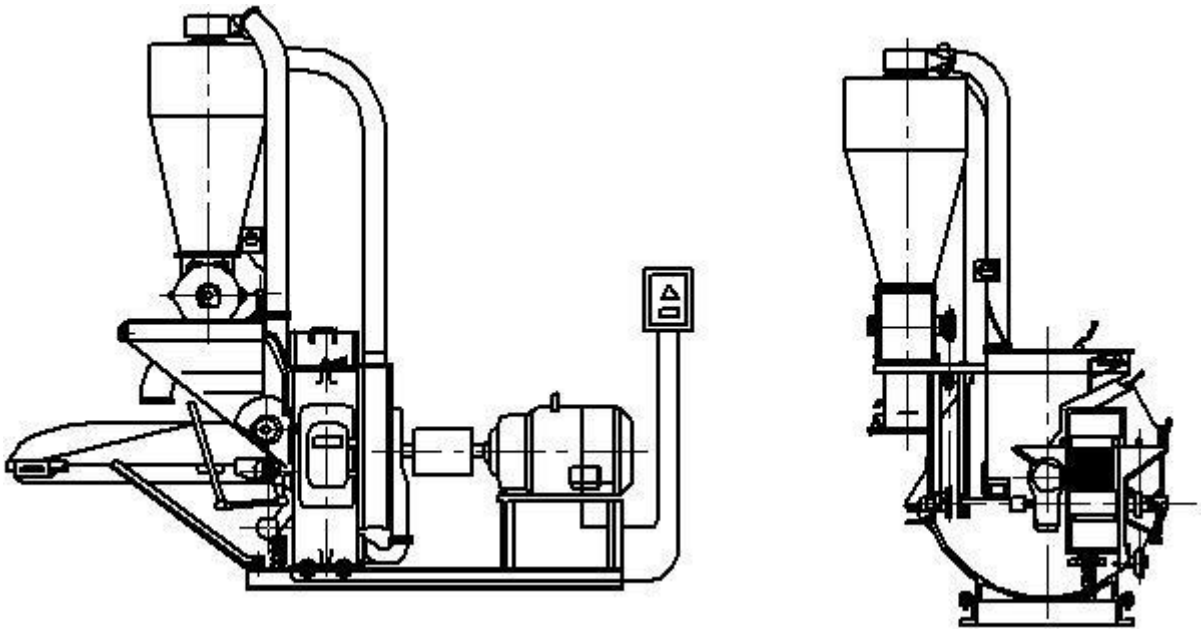


Рис. 2.6. Оновлена конструкція подрібнювального пристрою «ДКУ-1,0»

Робота модернізованої комбінованої кормодробарки «ДКУ-1,0» базується на двоступеневому принципі подрібнення сировини, що забезпечує ефективну переробку різних видів кормів, включаючи сухі грубі корми, такі як сіно і солома, соковиті стеблові корми, зокрема кукурудзу з качанами, а також коренебульбоплоди. Технологічний процес починається з рівномірного подавання вихідної сировини на стрічковий живильний транспортер, який переміщує її до вузла примусового захоплення. Далі живильний барабан спрямовує кормову масу у приймальний отвір дробарки, де вона надходить в зону першого етапу подрібнення. Тут підрізні ножі ротора у взаємодії з

нерухомою протирізальною пластиною виконують первинне грубе різання довгостеблового матеріалу на окремі частини. Після цього попередньо подрібнений матеріал потрапляє до циліндричної робочої камери, де підхоплюється шарнірно закріпленими на роторі молотками, що обертаються з високою швидкістю. Під дією відцентрових сил і ударних навантажень корм притискається до ребристої внутрішньої поверхні деки, де відбувається інтенсивне подрібнення, стирання та розволокнення до необхідної фракції.

Вивантаження готового продукту здійснюється за рахунок повітряного потоку, який створюється ротором-вентилятором. Подрібнена маса транспортується до циклону-розвантажувача, де відбувається відокремлення корму від повітря під дією відцентрових сил, після чого продукт через шлюзовий затвор надходить в тару або транспортний засіб. Очищене повітря повертається у робочу зону по рециркуляційному каналу, що зменшує запиленість приміщення. Для забезпечення стабільної подачі матеріалу різної щільності конструкцією передбачено рухому підпружинену раму з живильним барабаном, яка переміщується по вертикальних напрямних. Це дозволяє автоматично адаптувати положення живильного вузла до товщини шару корму. Пружинний механізм забезпечує постійне притискне зусилля, завдяки чому гарантується стабільне захоплення сировини, усувається пробуксовування стрічки та запобігається заклинюванню приймального вузла.

Для монтажу та підготовки до роботи дробарка встановлюється стаціонарно у приміщенні кормоцеху або під навісом на підготовленому майданчику з метою захисту електрообладнання від атмосферних впливів. Монтаж виконується на рівну бетонну основу з жорстким кріпленням рами анкерними болтами, а при встановленні на ґрунт використовується підрамник для зменшення вібрацій. Після монтажу виконується заземлення та підключення до трифазної мережі через пускову апаратуру, а також перевірка рівня мастила і технічного стану приводу. Перед початком роботи оператор проводить щозмінний контроль стану обладнання, перевіряючи заземлення, кріплення вузлів та ізоляцію електричних з’єднань. Запуск здійснюється

кнопкою пуск із обов’язковою роботою на холостому ходу протягом п’яти хвилин. Подавання корму дозволяється лише після виходу ротора на номінальні оберти. У разі появи сторонніх шумів, вібрацій або ознак несправності роботу негайно припиняють до повного усунення причин і відключення живлення.

При переході на переробку соковитих кормів або коренебульбоплодів виконують переналаштування машини, зокрема знімають сепарувальні сита та встановлюють суцільні деки для запобігання забиванню, герметизують кришку корпусу із замковою фіксацією, демонтують вхідний шибер для вільної подачі сировини, а при обробці коренеплодів додатково відключають натяжні пружини живильного механізму для забезпечення безперешкодного проходження великих фракцій.

2.5.Розрахунок основних технологічних параметрів процесу подрібнення

Питома інтенсивність завантаження обладнання, яка є одним з критично важливих показників ефективності процесу, розраховується за наступною формулою (2.1):

$$Д' = \frac{д_р}{Д \cdot L}, \tag{2.1}$$

Де L це 150 мм, або 0,15 м – робоча ширина роторної частини;

$д_р$ становить 0,46 кг/с – це виробнича потужність дробарки під час переробки зернової маси;

$Д$ дорівнює 740 мм або 0,74 м – що є діаметром обертового барабана.

Застосовуючи ці значення, отримуємо:

$$Д' = \frac{0{,}46}{0{,}74 \cdot 0{,}15} = 4{,}14 \ \text{кг/(с} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

Цей показник відображає навантаження на одиницю площі ротора.

На початковому етапі підбираємо бичі з такими габаритними параметрами: а = 100 мм, та в = 30 мм. Для забезпечення оптимальної роботи

бичів вони повинні бути збалансовані для рівномірного ударного впливу. У такому випадку інерційний радіус ударного елемента відносно його осі обертання обчислюється за виразом (2.2):

$$p^2 = c \cdot l, \tag{2.2}$$

Де c – позначає відстань від осі шарнірного кріплення до центру мас бича;

l -довжина молотка, виміряна від точки підвішування до його робочої кромки.

Радіус позиціонування молотка, позначений як, обчислюється згідно з емпіричною залежністю, що враховує конструктивні характеристики:

$$R_n = 4 \cdot l = 0{,}346 \cdot Д, \tag{2.3}$$

Відстань від центральної осі підвішування до геометричного центру важкості елемента, яка позначається символом "c", розраховується за складною аналітичною формулою:

$$c = -\frac{A}{2} + \sqrt{\frac{A^2}{4} + B}, \tag{2.4}$$

У цій формулі, складові коефіцієнти A та B, що є допоміжними змінними для коректного розрахунку ексцентриситету, визначаються таким чином:

$$A = [a^2 \cdot в/(\pi \cdot d^2)]\ a/2 \tag{2.5}$$

$$B = [a \cdot в(a^2 + в^2)/6\pi \cdot d^2] - d^2 / 8 \tag{2.6}$$

При цьому, d = 10,5 мм являє собою діаметр посадкового отвору, що є важливим конструктивним параметром.

Після підстановки відповідних числових параметрів, де a та в є певними розмірами молотка, а d – діаметром отвору, в зазначені формули, отримуємо конкретні значення для A та B:

$$A = [100^2 \cdot 30 / (3{,}14 \cdot 110{,}25^2)] – 100/2 = 816{,}5.$$

$$B = [100 \cdot 30(100^2+30^2) / 6 \cdot 3{,}14 \cdot 110{,}25^2] – 110{,}25^2/8 = 15756{,}8.$$

Далі, застосовуючи отримані величини допоміжних коефіцієнтів A та B до формули 3.4, виконуємо обчислення ексцентриситету "c":

$$c = -\frac{816,5}{2} + \sqrt{\frac{816,5^2}{4} + 15756,8} = 18,87 \text{ мм.}$$

З практичних міркувань та для подальших інженерних розрахунків, приймається заокруглене значення ексцентриситету: с = 19 мм.

За аналогією, підставляємо необхідні дані у формулу 3.3 для визначення радіуса позиціонування R_n та пов'язаної з ним довжини плеча l:

$$R_n = 0,346 \cdot 740 = 256 \text{ мм},$$

$$l = 0,15 \cdot 740 = 111 \text{ мм}.$$

Для підтвердження відповідності та оптимізації параметрів, здійснюється перевірка габаритних розмірів молотків (а та в) за емпіричними залежностями:

$$a \approx 1,5 \cdot l, \quad (2.7)$$

$$в \approx 0,1 \cdot Д \quad (2.8)$$

$$a \approx 1,5 \cdot 111 = 166,5 \text{ мм} \approx 166 \text{ мм}.$$

$$в \approx 0,1 \cdot 740 = 74 \text{ мм}.$$

Отже, після всіх розрахунків та перевірок, остаточні габаритні параметри молотків затверджуються як: а = 166 мм та в = 74 мм.

Підставляючи встановлені значення "с" та довжини плеча у відповідну формулу 3.2, виконуємо обчислення параметру р:

$$p^2 = 19 \cdot 111 = 2109 \text{ мм}$$

Звідси, квадратний корінь з цього значення дає нам: р ≈ 45,9 мм.

2.6. Розрахунок та обґрунтування конструкції робочих органів

Визначення оптимального діаметра вала здійснюється за такою залежністю:

$$d_в = \sqrt[3]{(T / (0,2 \cdot [\tau]))} \quad (2.9)$$

$d_в$ — розрахунковий діаметр вала, мм;

Т— крутний момент, Н·мм;

[τ] — допустиме напруження кручення, МПа.

Сам крутний момент (Т) обчислюється наступним чином:

$$T = N / \omega \quad (2.10)$$

Де ω – кутова швидкість обертання, виражена в радіанах за секунду.

Кутова швидкість, у свою чергу, розраховується з урахуванням частоти обертання:

$$\omega = (\pi \cdot n) / 30 \qquad (2.11)$$

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

Шляхом послідовної підстановки наявних параметрів у рівняння (2.10) отримуємо значення кутової швидкості:

$$\omega = (3{,}14 \cdot 1450) / 30 = 151{,}7 \text{ рад/с}$$

Далі, використовуючи отриманий крутний момент, можна обчислити розрахунковий крутний момент:

$$T = (14 \cdot 10^3) / 151{,}7 = 92{,}2 \cdot 10^3 \text{ Н·мм.}$$

З урахуванням допустимого напруження зсуву, розраховуємо діаметр вала за формулою (3.9):

$$d_в = \sqrt[3]{\frac{92{,}2 \cdot 10^3}{0{,}2 \cdot 25}} = 26{,}4 \text{ мм.}$$

Зважаючи на стандартизацію та запас міцності, для підшипникових вузлів приймається номінальний діаметр вала що дорівнює 30 мм.

Більшість сучасних дробарок інтегрують ефективну пневматичну транспортну систему, призначену для переміщення подрібненого матеріалу. Основними компонентами такої системи є потужні вентилятори, комплектовані всмоктувальними та нагнітальними трубопроводами, а також циклони для сепарації, шлюзові затвори та спеціалізовані канали для рециркуляції повітря.

Фундаментальний розрахунок цієї комплексної системи базується на визначенні необхідної витрати повітря, яка розраховується за наступним співвідношенням:

$$Q_в = Q / (3{,}6 \cdot \mu \cdot \gamma_в) \qquad (2.12)$$

Де $\gamma_в$ - щільність атмосферного повітря за стандартних умов, що становить 1,29 кг/м^3;

μ - коефіцієнт вагового вмісту твердих частинок у газовій суміші, який для установок низького та середнього тиску коливається в діапазоні від 0,5 до

1,0.

Підставивши значення в рівняння (2.12):

$Q_в = 0,694 / (3,6 \cdot 0,5 \cdot 1,29) = 0,694 / 2,322 \approx 0,299 \approx 0,3$ м³/с.

Для ефективного пневматичного транспортування сировини переважно застосовуються відцентрові вентилятори [25]. На основі розрахованої витрати повітря, доцільним є вибір вентилятора типу № 3 (модель СР-7-40) з продуктивністю 1552 м³/год, коефіцієнтом корисної дії (ККД) 0,5 та частотою обертання 2840 об/хв.

Діаметри як всмоктувального, так і нагнітального трубопроводів визначаються за такою формулою:

$$d_{тр} = \sqrt{(4 \cdot Q_в / (\pi \cdot \nu_в))} \quad (2.13)$$

Де $v_в$ - середня швидкість потоку повітря всередині трубопроводу, виміряна в метрах за секунду.

Швидкість повітряного потоку є критично важливою, оскільки вона визначається початковим станом транспортованих частинок і повинна бути достатньою для запобігання засміченню трубопроводу матеріалом:

$$v_в = (1,25…2,5) \cdot v_{кр}\ , \quad (2.14)$$

Критичну швидкість потоку повітря (νкр) можна отримати з доступних літературних джерел, що містять дані про аеродинамічні характеристики подрібнених продуктів, або ж розрахувати за допомогою емпіричної формули:

$$\nu_{кр} = 36,5 \cdot \sqrt{\frac{\mu_1}{(100 - \omega) \cdot l_z}}, \quad (2.15)$$

Де μ_1 - середньозважений розмір частинок подрібненого продукту, що коливається в діапазоні 3…5 мм (візьмемо 3 мм для розрахунку);

l_z - характерна довжина частинок, яка становить 14 мм; а ω – показник вологості матеріалу, рівний 30% (або 0,3).

Підставляємо значення для розрахунку критичної швидкості:

$$\nu_{кр} = 36,5 \sqrt{\frac{5}{(100 - 30) \cdot 14}} = 2,607 \text{ м/с},$$

Тоді діапазон швидкості повітряного потоку в трубопроводі

становитиме:

$$\nu_{в} = (1{,}25...2{,}5)\cdot 2{,}607 = (3{,}259...6{,}517)\ \text{м/с}.$$

Для подальших розрахунків обираємо швидкість повітря νв = 6,5 м/с.

Тепер обчислимо діаметр трубопроводу:

$$d_{тр} = \sqrt{\frac{4\cdot 0{,}3}{3{,}14\cdot 6{,}5}} = 0{,}242 м = 242\ мм$$

Нагнітальний трубопровід приєднується до циклону через спеціальний дифузор, функція якого полягає у плавному та поступовому зниженні швидкості повітряного потоку. З метою оптимального розділення фаз, швидкість повітря на вхідному патрубку циклону має бути в межах 10–15 м/с. Відповідно, площа поперечного перерізу дифузора значно перевищує аналогічний параметр нагнітального трубопроводу:

$$c \cdot h \geq (\pi \cdot d^2) / 4 \qquad (2.16)$$

Де $c \cdot h$ - редставляє площу вихідного перерізу дифузора у точці його з'єднання з циклоном;

а $\pi \cdot d^2 / 4$ – площа поперечного перерізу нагнітального трубопроводу.

При дотриманні цих умов, фактична швидкість потоку на вході до циклону, що позначається як νвх, розраховується за наведеною формулою, яка гарантує, що значення не вийде за встановлені межі:

$$\nu_{вх} = (\pi \cdot d^2 \cdot \nu_в) / (4 \cdot c \cdot h) \leq (10…15)\ \text{м/с} \qquad (2.17)$$

Для цілей подальших інженерних розрахунків, ми встановлюємо значення вхідної швидкості $\nu_{вх}$ на рівні 14 метрів за секунду. Якщо ж ми припускаємо, що вихідний переріз дифузора є квадратною формою, тобто його сторони 'c' та 'h' рівні між собою (c = h), то, підставивши відповідні значення до формули, ми отримуємо:

$$c^2 = (\pi \cdot d^2 \cdot \nu_в) / (4 \cdot \nu_{вх}) = 0{,}3 / 14 = 0{,}0214\ м^2$$

Вже безпосередньо всередині робочого об'єму циклону, завдяки ефекту розширення каналу та вихровому руху, швидкість потоку суттєво падає. Ця знижена швидкість становить лише 30-40% від початкової вхідної швидкості $\nu_{вх}$. Отже, результуюча швидкість всередині циклону, позначена як $\nu_ц$, буде

знаходитись у діапазоні від (0,3 до 0,4) · 14 = (4,2 до 5,6) метра на секунду.

Остаточно, для подальших конструктивних розрахунків, ми фіксуємо значення швидкості потоку всередині циклону ($\nu_ц$) на рівні 5 метрів за секунду.

Для визначення оптимального діаметра центральної вихлопної труби циклону, яка відповідає за відведення очищеного повітря, використовується наступне співвідношення. Підставивши розрахункові значення до формули, ми отримуємо значення:

$$Д_о = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_в}{\pi \cdot \nu_ц}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,3}{3,14 \cdot 5}} = 0,0276 \text{ м} = 276 \text{ мм} \qquad (2.19)$$

Детальна графічна ілюстрація схеми розрахунків габаритних розмірів циклону представлена на рисунку 2.7.

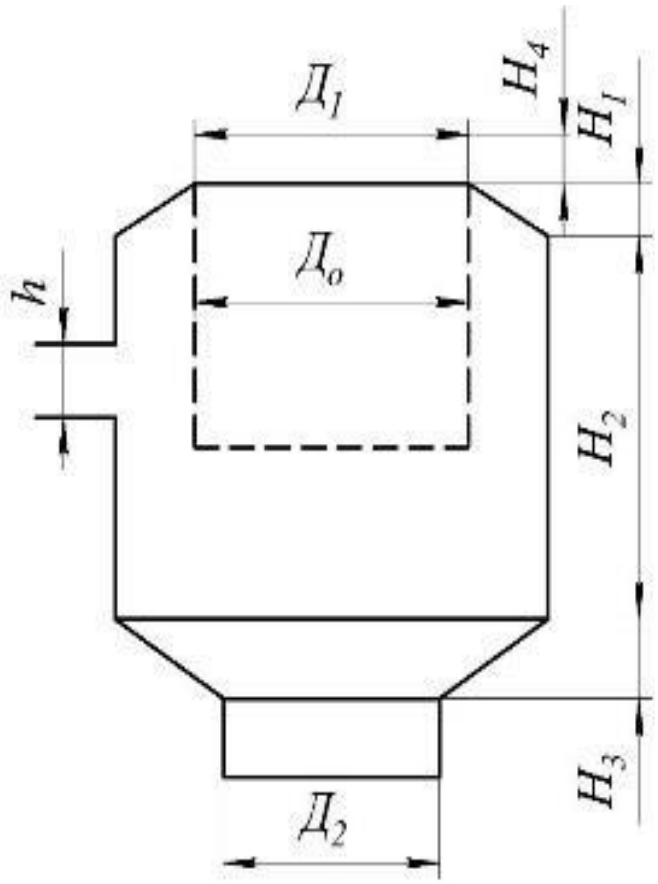


Рисунок 2.7. Графічне зображення до розрахунку конструктивних розмірів циклону

Ґрунтуючись на отриманому значенні $Д_о$, виконують визначення мінімально допустимих та рекомендованих габаритних розмірів основних елементів циклону.

Д1, що відповідає діаметру зовнішнього корпусу циклону, визначається як:

$$Д_1 = 1{,}5 \cdot Д_о = 1{,}5 \cdot 0{,}276 = 0{,}414 \text{ м}, \quad (2.20)$$

Д2, діаметр конусної частини циклону, приймається як:

$$Д_2 = 0{,}4 \cdot Д_о = 0{,}4 \cdot 0{,}276 = 0{,}110 \text{ м}, \quad (2.21)$$

Н1, що характеризує висоту циліндричної частини, визначається як:

$$H_1 = 0{,}1 \cdot Д_о = 0{,}276 \text{ м}, \quad (2.22)$$

Н2, висота конусної частини циклону, розраховується як:

$$H_2 = 1{,}25 \cdot Д_о = 0{,}345 \text{ м}, \quad (2.23)$$

Н3, як додаткова вертикальна геометрична характеристика:

$$H_3 = 0{,}25 \cdot Д_о = 0{,}069 \text{ м}. \quad (2.25)$$

Діаметр вихідного повітропроводу, який призначений для відведення вже очищеного газоповітряного потоку, оптимально повинен бути ідентичним діаметру центральної витяжної труби циклону, який ми вже розрахували як $Д_о$ = 276 міліметрів.

2.7. Перевірочні розрахунки деталей на міцність

Насамперед, для забезпечення працездатності та довговічності системи, ми приступаємо до розрахунку діаметра валу ротора. Цей критично важливий параметр визначається, виходячи з торсійного навантаження, якому піддається вал, оскільки згинальні моменти в даному випадку є вкрай незначними і ними можна знехтувати:

$$d \geq 80 \cdot \sqrt[3]{(N / (n \cdot [\tau]))} \quad (2.26)$$

У наведеній формулі (2.26), яка є ключовою для визначення мінімально необхідного діаметра, кожен параметр має своє чітке значення: N позначає загальну привідну потужність подрібнювального ротора, що становить 22,94 кВт; n – це встановлена частота обертання ротора, яка дорівнює 1470 обертів на хвилину; а [τ] – це гранично допустима напруга при крученні, встановлена на рівні 125.

Виконавши підстановку числових значень у формулу, ми отримуємо мінімальний діаметр валу:

$$d \geq 80\sqrt[3]{\frac{22{,}94}{1470 \cdot 125}} = 4{,}8 \text{ см} = 48 \text{ мм}$$

Проте, з огляду на неминуче ослаблення конструкції валу через наявність шпонкового паза, що є необхідним елементом для кріплення, було прийнято рішення про збільшення його номінального діаметра до 50 мм. Саме такий діаметр (d = 50 мм) буде використано для монтажу підшипників. Для забезпечення надійного обертання подрібнювального ротора, на зазначений вал обираються високоякісні дворядні радіальні роликопідшипники з короткими роликами, що відповідають стандарту ГОСТ 8328-75. Їхні ключові розміри: внутрішній діаметр (d) становить 50 мм, зовнішній діаметр (D) – 85 мм, а ширина (B) – 20 мм.

Під час експлуатації, коли ротор приводиться в рух, молотки, що є робочими елементами, під дією потужної відцентрової сили займають стійке радіальне положення. Для того, щоб система ефективно функціонувала та витримувала всі експлуатаційні навантаження, необхідно дотримуватися важливої умови рівноваги моментів: крутний момент ($M_{кр}$) має бути більшим або рівним моменту тертя ($M_{тр}$), який, своєю чергою, повинен перевищувати момент перекидання ($M_о$) молотка.

Момент перекидання ($M_о$) для одного молотка, який є критично важливим параметром для оцінки стійкості, обчислюється за формулою:

$$M_o = T \cdot l, \quad (2.27)$$

Де T – це сила, що прагне перекинути молоток. Вона визначається за виразом:

$$T = (Q \cdot t \cdot K_н) / (3600 \cdot z) \quad (2.28)$$

Де t - це тривалість перебування матеріалу в робочій камері, що становить 10 секунд;

Q - загальна продуктивність дробарки, виміряна у кілограмах на годину;

$K_н$ - це коефіцієнт, що відображає нерівномірність розподілу продукту,

прийнятий рівним 1,4.

Після підстановки всіх відомих значень, отримуємо величину сили Т:

$$T = (2500 \cdot 10 \cdot 1{,}4) / (3600 \cdot 96) = 0{,}1 \text{ кг} \approx 1 \text{ Н}.$$

Плече прикладеної перекидаючої сили (l1) розраховується за формулою:

$$l_1 = (d_n / 2) \cdot f_м \cdot \omega^2 \cdot R \qquad (2.29)$$

Де d_n - це діаметр кільця підвісу молотків, що використовується для обчислення маси молотків і становить 20 мм;

fм – коефіцієнт, що враховує геометрію молотка відносно його осей підвісу, fм = 0,3;

R – це радіус обертання центру мас молотків.

Радіус обертання центру мас молотків обчислюється наступним чином:

$$R_ц = (Д_р - d) / 2 = (576 - 132) / 2 = 222 \text{ мм}. \qquad (2.20)$$

Маса кожного молотка (m) є ключовим показником, що залежить від густини матеріалу, з якого він виготовлений (γ = 7800 кг/м3). Розрахунок маси здійснюється за формулою (2.31), яка враховує геометричні розміри молотка (a, b, δ) та параметри отворів:

$$m_т = (\gamma_{ст} / g) \cdot (a \cdot b \cdot \delta - (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot 2 \cdot \delta) =$$
$$= (7800 / 9{,}8) \cdot (0{,}132 \cdot 0{,}055 \cdot 0{,}006 - (3{,}14 \cdot 0{,}022^2 / 4) \cdot 2 \cdot 0{,}006) =$$
$$= 0{,}032 \text{ кг} \qquad (2.31)$$

Тоді, розрахунковий момент перекидання становить:

$$M_m = 20/2 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}032 \cdot 2762 \cdot 0{,}222 = 405{,}9 \text{ кг·м} = 4059 \text{ Н}.$$

Далі ми визначаємо сумарну відцентрову силу, яка впливає на певну ділянку осі, розташовану між двома сусідніми точками її кріплення. Ця сила обчислюється за формулою:

$$P_{ц.о} = m \cdot n^2 \cdot R_ц \cdot Z'_n, \qquad (2.32)$$

Де Z'_n - це кількість молотків, що припадають на даний фрагмент осі підвісу, і становить 4 одиниці.

Після обчислень ми отримуємо:

$$P_{ц.о} = 0{,}032 \cdot 276^2 \cdot 0{,}222 \cdot 4 = 594{,}2 \text{ кг·м} = 5942 \text{ Н}.$$

Важливим геометричним параметром є відстань між точками кріплення

осі підвісу молотків (L1), яка визначається за формулою:

$$L_1 = Lp / (C - 1) \quad (2.33)$$

Де C = 6 — загальна кількість точок кріплення.

Тоді:

$$L_1 = 616 / (6 - 1) = 616 / 5 = 123{,}2 \text{ мм.}$$

Моделюючи вісь як рівномірно завантажену балку, ми можемо визначити максимальний згинальний момент за формулою:

$$M\delta_1 = (P_1 \cdot L_1^2) / 8. \quad (2.34)$$

Для цього спочатку необхідно обчислити рівномірне навантаження (P1) на одиницю довжини:

$$P_1 = Pц.o / L_1 = 594{,}2 / 12{,}3 = 48{,}3 \text{ кг/м} \approx 483 \text{ Н/м.} \quad (2.35)$$

Для виготовлення осі підвісу молотків було обрано високоміцний матеріал – сталь 45, що відома своїми механічними властивостями та стійкістю до навантажень. Діаметр цієї осі розраховується за формулою:

$$d_0 = 10 \cdot \sqrt[3]{(M\delta_1 / [\delta]п)} \quad (2.36)$$

Де [δ]п представляє гранично допустиму напругу при згині для сталі 45, яка дорівнює 950 кг/см².

За результатами обчислень отримано:

$$d_o = 10\sqrt{\frac{913{,}4}{0{,}1 \cdot 95}} = 19{,}6 \text{ мм}$$

З метою забезпечення додаткового запасу міцності та стандартизації, прийнято остаточний діаметр 20 мм.

2.8. Організація сервісного обслуговування кормоподрібнювача

Справна робота пускового механізму подрібнювального агрегату забезпечується за умови дотримання встановлених технічних вимог та належного стану всіх вузлів машини. Обов’язковим є регулярний контроль обладнання з боку кваліфікованого спеціаліста. У разі необхідності заміни індукційної котушки слід від’єднати фіксувальний гвинт, після чого

забезпечується її демонтаж. При відключенні системи тепловий релейний захист скидається натисканням відповідної кнопки, розташованої на лівій бічній панелі пускового пристрою. Після завершення роботи важіль керування необхідно перевести у положення «Вимкнено».

Для забезпечення стабільної та безаварійної роботи подрібнювача обов'язково виконується щозмінне технічне обслуговування перед початком кожного циклу експлуатації. Воно включає такі операції: проведення зовнішнього огляду агрегату з перевіркою відсутності сторонніх предметів у зоні конвеєра та робочій камері при вимкненому електродвигуні; контроль затягування всіх різьбових з'єднань, зокрема болтів і гайок, що фіксують робочий диск на приводному валу; перевірка надійності кріплення молоткових елементів; контроль фіксації протирізального елемента; оцінка стану ріжучих поверхонь, при необхідності їх заточування або заміни.

При цьому регулювання зазору між протирізальним елементом і центральною частиною різального елемента здійснюється в межах 0,5–1,5 мм, а проміжок між кінцями елементів становить 1,0–2,5 мм, коригування виконується шляхом регулювання різьбових з'єднань і положення контрпластини; кут встановлення різального елемента у вертикальній площині повинен відповідати 3–40 градусам; у разі зношення молотків їх розвертають на іншу робочу грань або замінюють після демонтажу захисної кришки та зняття фіксувального штифта; перевірка справності системи заземлення; проведення змащування всіх вузлів відповідно до встановленої технологічної карти.

2.9. Висновки за розділом

На основі дослідження фізико-механічних і зоотехнічних вимог до процесу приготування кормів обґрунтовано доцільність застосування двоступеневої технології подрібнення зернової та стеблової сировини, що забезпечує формування раціонального фракційного складу кормосумішей для різних вікових груп великої рогатої худоби. Проведено порівняльний аналіз

існуючих серійних моделей кормодробарок (ИГК-30Б, ИГК-5, ИКВ-5, ДМ-10), у результаті якого встановлено їхні основні недоліки, зокрема підвищену енергоємність процесу, обмежену універсальність та недостатню ефективність при роботі з різними видами кормів. На основі цього доведено необхідність модернізації універсальної дробарки «ДКУ-1,0» шляхом удосконалення конструкції ротора.

Запропоновано конструктивне рішення з використанням комбінованих робочих органів, що поєднують шарнірні молотки та підрізні ножі. Це забезпечує розширення технологічних можливостей машини та підвищує ефективність подрібнення грубих, стеблових і зернових кормів. У модернізованій конструкції передбачено симетричне розміщення рядів молотків і ножів із кутом заточування лез 30°. На основі виконаних технологічних і гідродинамічних розрахунків визначено раціональні параметри роботи робочих органів та необхідну продуктивність повітряного потоку для транспортування подрібненого матеріалу.

Виконано конструктивні розрахунки основних елементів дробарки, зокрема обґрунтовано діаметр приводного вала з урахуванням умов міцності та жорсткості, а також визначено геометричні параметри циклону-розвантажувача для ефективного відокремлення готового продукту від повітряного потоку. На основі енергетичного розрахунку встановлено загальну потужність приводу комбінованого ротора у найбільш навантажених режимах роботи та підтверджено правильність вибору електродвигуна.

Проведено перевірочні розрахунки елементів конструкції на міцність (згин, кручення, зріз), що підтверджує достатній рівень надійності, довговічності та безпеки експлуатації розробленої кормодробарки в умовах фермерського господарства ФГ «Алігатор».

РОЗДІЛ 3
ОХОРОНИ ПРАЦІ

3.1. Організація роботи з охорони праці

Охорона праці являє собою комплексну систему правових, організаційних, соціально-економічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров’я та працездатності працівників у процесі їхньої трудової діяльності. Створення безпечних і здорових умов праці на підприємстві є обов’язком адміністрації господарства, яка повинна впроваджувати сучасні засоби безпеки, забезпечувати належний рівень виробничої дисципліни та запобігати виникненню нещасних випадків і професійних захворювань.

Організація роботи з охорони праці здійснюється відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці» і охоплює весь комплекс управлінських та виробничих заходів, спрямованих на підтримання безпечних умов праці. З цією метою на підприємстві здійснюється призначення відповідальних осіб за стан охорони праці та безпечну експлуатацію обладнання у структурних підрозділах, що оформлюється відповідними наказами керівника господарства. Окрему увагу приділено розробці, затвердженню та впровадженню інструкцій з охорони праці, які доводяться до працівників безпосередньо на робочих місцях.

Важливим елементом системи є інформаційно-роз’яснювальна робота, яка реалізується через облаштування куточків та стендів з безпеки праці, де розміщуються основні вимоги, інструкції та попереджувальні матеріали. Паралельно працівники забезпечуються засобами індивідуального захисту, спецодягом, а також необхідними мийними та дезінфікуючими засобами, що дозволяє знизити вплив шкідливих виробничих факторів.

Невід’ємною частиною організації охорони праці є система обліку та аналізу виробничих ризиків, яка включає своєчасне розслідування нещасних випадків, аварій та професійних захворювань. Отримані результати використовуються для подальшого удосконалення умов праці та підвищення

рівня безпеки на підприємстві. Також у господарстві організовується підготовка добровільних пожежних формувань, що забезпечує додатковий рівень захисту виробничих об’єктів. Загальне керівництво системою охорони праці здійснює керівник господарства, який несе відповідальність за її функціонування та ефективність. Оперативний контроль покладено на інженера з охорони праці, який координує виконання вимог безпеки у всіх підрозділах.

Усі працівники, що приймаються на роботу, проходять обов’язковий вступний інструктаж, результати якого фіксуються у встановлених журналах та особових картках. Допуск до самостійної роботи здійснюється лише після проходження стажування, перевірки знань і практичних навичок безпечного виконання робіт. Для підтримання належного рівня підготовки персоналу повторні інструктажі проводяться не рідше одного разу на шість місяців, а позапланові — у разі зміни технологічних процесів, модернізації обладнання або виявлення порушень вимог безпеки. Для робіт підвищеної небезпеки застосовується система нарядів-допусків із обов’язковим проведенням цільового інструктажу.

3.2. Технічні та організаційні заходи з безпеки праці в кормоцеху

Вимоги безпеки до проектованого та експлуатованого обладнання кормоцеху (зокрема до модернізованої кормодробарки «ДКУ-1,0») встановлюються з урахуванням виявлених небезпечних і шкідливих виробничих факторів: рухомі машини та механізми, підвищений рівень шуму та вібрації, висока концентрація органічного пилу в повітрі робочої зони, небезпека ураження електричним струмом.

Для забезпечення безпечної експлуатації модернізованої кормодробарки «ДКУ-1,0» реалізовано такі заходи:

- захисні огородження: привідні паси від електродвигуна до валу ротора, а також механізм привода стрічкового транспортера закриті суцільними металевими кожухами, пофарбованими у попереджувальний колір;
- блокувальні пристрої: відкидна кришка дробарки оснащена кінцевим

вимикачем, який унеможливлює запуск головного електродвигуна при відкритій або негерметично закритій робочій камері;

- ергономіка пуску: органи керування (кнопки «Пуск» та «Стоп») виконані у пиловодонепроникному виконанні та встановлені безпосередньо на робочому місці оператора. Кнопка зупинки має грибоподібну форму та збільшені розміри для можливості екстреного вимкнення.

3.3. Висновки за розділом

В першу чергу передбачається технологічна модернізація виробничих процесів, зокрема автоматизація операцій завантаження сировини шляхом впровадження підпружинених живильних барабанів. Це дозволяє мінімізувати або повністю виключити ручне втручання працівників у небезпечну зону різання. Наступним напрямом є поліпшення параметрів виробничого середовища. З цією метою планується реконструкція систем опалення в центральній ремонтній майстерні та кормоцеху для забезпечення нормативного температурного режиму, а також встановлення додаткових джерел штучного освітлення безпосередньо над робочими зонами, що підвищить безпечність та комфорт виконання робіт.

РОЗДІЛ 4
ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ

Першочерговим етапом є детальне обчислення витрат на сировину та матеріали, енергетичні ресурси та використання трудової сили. Ці затрати ретельно визначаються згідно з чинними стандартами та інтегруються до складу поточних операційних витрат, також відповідно до встановлених нормативів.

Загальний обсяг експлуатаційних витрат, які є критично важливим показником для оцінки економічної життєздатності, визначається за допомогою такої формули [16]:

$$U = O_n + E + A + E_n, \quad (4.1)$$

Де A – це розмір амортизаційних відрахувань, що відображають знос основних засобів (у гривнях);

O_n – представляє оплату праці всього залученого персоналу (вимірюється у гривнях);

E - відображає вартість спожитих енергетичних ресурсів (також у гривнях).

Сукупний обсяг капіталовкладень, необхідних для впровадження проєкту, визначається шляхом підсумовування трьох основних компонентів за формулою:

$$K_в = B_р + B_м + B_п, \quad (4.2)$$

Де $B_р$ — вартість монтажу та встановлення нового обладнання, яка приймається у розмірі 40 % від вартості машин. Розрахунок виконується за залежністю: $B_р = 450600 \cdot 0{,}4 = 180160$ грн.

$B_м$ — загальна балансова вартість нового обладнання, що включає: 184000 грн — вартість змішувача; 22800 грн — вартість дозатора МТД-3А; 243600 грн — вартість причепа 2ПТС-4-787А. Таким чином, сукупна вартість нового обладнання $B_м = 184000 + 22800 + 243600 = 450600$ грн.

Вп – це витрати на реконструкцію існуючого приміщення. Виходячи з наданих розрахунків, ця складова дорівнює 782000 грн.

Отже, після підсумовування всіх складових, загальний обсяг капіталовкладень становить:

$$К_в = 180160 + 450600 + 782000 = 1412760 \text{ грн.}$$

Період окупності додаткових інвестицій є критично важливим показником, що демонструє, за який час вкладені кошти повернуться завдяки отриманому економічному ефекту. Він розраховується за формулою:

$$T = \frac{К_в}{E}, \tag{4.3}$$

$$\text{Т} = \frac{1412760}{2721600} = 0{,}51 \text{ роки.}$$

Питомі трудові затрати на виробництво одиниці продукції, виміряні в людино-годинах на тонну, розраховуються за формулою :

$$З_п = t_{вир} / м \tag{4.4}$$

Де $t_{вир}$ – це загальна трудомісткість виконання всіх технологічних операцій, виражена в людино-годинах;

м – загальна кількість виробленої продукції, що складає 1360,8 тонн.

Таким чином, питомі трудові затрати для різних варіантів розрахунків становлять:

Для базового сценарію:

Зп.б. = 25672,7 люд-год / 1360,8 т = 18,8 люд-год/т.

Для проєктного варіанту:

Зп.п. = 18240,6 люд-год / 1360,8 т = 13,4 люд-год/т.

Це чітко ілюструє значне зниження трудомісткості на тонну продукції у проєктному варіанті, що вказує на підвищення продуктивності праці та ефективності виробничого процесу.

Усі вищезазначені та додаткові економічні показники ефективності впровадження проєкту узагальнені та детально представлені у зведеній таблиці 5.1. Ця таблиця наочно демонструє порівняння між поточним станом та

очікуваними результатами після реалізації проєкту, а також відображає чисельні відхилення за кожним показником.

Таблиця 4.1

Оцінка економічної ефективності реалізації проєкту

Найменування критеріїв	Сценарії аналізу		Різниця (±)
	очікуваний	допроєктний	
Трудовитрати, люд.-год.	364812	513454	-148642
Поголів'я дійних корів, одиниць	360	360	-
Середньорічна продуктивність молока на одну корову, кг	3780	3780	-
Додаткові інвестиції, грн.	1412760	-	-
Чистий прибуток від реалізації продукції, грн	304027200	296235300	7791900
Сукупні витрати, грн.	19681806	22480422	-2798616
Обсяг реалізованого молока за звітний період, кг	1360800	1360800	-
Собівартість одиниці продукції: грн/кг	14,4	16,4	-2
люд-год/т	13,4	18,8	-5,4
Річний економічний ефект, грн.	2721600	-	-
Операційні витрати, грн.	11268568	14067184	-2798616
Період окупності додаткових капітальних вкладень, років	0,51	-	-

ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті на основі комплексного інженерного підходу вирішено актуальне виробничо-технічне завдання щодо вдосконалення технологічної лінії приготування кормів шляхом модернізації кормодробарки та розробки комбінованого робочого органу. За результатами проведених досліджень, технологічних і конструктивних розрахунків сформульовано такі висновки.

Під час аналізу існуючого рівня механізації кормоприготування встановлено наявність ряду технологічних недоліків, що негативно впливали на ефективність виробництва. Зокрема недостатній рівень автоматизації технологічних процесів. Окремою проблемою була відсутність універсального обладнання для якісного подрібнення різних видів кормової сировини.

У процесі проєктування технологічної схеми кормоцеху визначено оптимальні обсяги заготівлі та переробки кормів, обґрунтовано способи їх зберігання та підібрано раціональний комплекс машин і механізмів. Розроблено структурно-технологічну схему приготування кормосумішей з урахуванням особливостей безприв’язного утримання великої рогатої худоби та вимог до механізації основних операцій. У результаті модернізації базової дробарки «ДКУ-1,0» запропоновано конструкцію комбінованого ротора, що поєднує підрізні ножі та шарнірні молотки. Ротор оснащено чотирма рядами ножів і чотирма рядами молотків, що дозволило забезпечити ефективне подрібнення зернових, грубих та соковитих кормів без необхідності зміни робочих органів. Використання ножів із кутом заточування 30° забезпечує попереднє різання довгостеблової маси, а молотковий механізм виконує остаточне розволокнення та досягнення необхідної фракції корму.

На основі інженерних розрахунків визначено основні параметри модернізованої машини: продуктивність вентиляційної системи, геометричні розміри циклона-розвантажувача, параметри приводного валу та елементів ротора. Проведені перевірочні розрахунки підтвердили достатню міцність і

надійність конструкції при тривалій роботі в умовах фермерського господарства. У розділі з охорони праці розроблено комплекс організаційно-технічних заходів, покращеню умов праці. Запропонована замкнута система пневмотранспорту кормів дозволяє зменшити запиленість повітря у виробничому приміщенні та мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище.

Проведений техніко-економічний аналіз підтвердив доцільність впровадження розробленого проєкту. У результаті модернізації очікується зниження собівартості виробництва продукції, скорочення трудових витрат та підвищення ефективності роботи кормоцеху. Розрахований річний економічний ефект становить 2721 600 грн, а термін окупності додаткових капіталовкладень складає близько 0,51 року, що свідчить про високу економічну ефективність і практичну цінність запропонованих технічних рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ярошко М. Особливості різних систем утримання ВРХ. Прив'язне утримання [Електронний ресурс]. Режим доступу: http:// www.agro-bisiness.com.ua/ suchasne- tvarynnytstvo/657.html
2. Утримання, годівля та доїння корів [Електронний ресурс]. Режим доступу: http:// buklib.net/books/34167/
3. Смоляр В. Адаптація корів за різних технологічних варіантів утримання та доїння. Тваринництво України. 2001. № 1. С. 9-10.
4. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Полісся і західного регіону України. Редкол.: М.В. Зубець (голова) [та ін.]. К.: Аграрна наука, 2010. 944 с.
5. Голобородько С. Малі ферми: чи є майбутнє? Аграрний тиждень. 2014. № 16 (289). С. 58-61.
6. Ярошко М. Особливості різних систем утримання ВРХ. Безприв'язне утримання [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.agro-bisiness.com.ua/ suchasne-tvarynnytstvo/ 693.html
7. Костенко В. Особливості вирощування телят: профілакторний період [Електронний ресурс]. Режим доступу: http:/ /www.agro- bisiness.com.ua/ suchasne-tvaryn- nytstvo/1400.html
8. Антоненко С. Технології вирощування телят [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.agro-bisiness.com.- ua/ suchasne- tvarynnytstvo/ 346.html
9. Вирощування молодняку [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://buklib.net/ books/ 34165/
10. Системи утримання тварин: навч. посіб. [Захаренко М.О., Поляковський В.М., Шевченко Л.В. та ін.]. К: Центр навч. літ., 2016. 424 с.
11. Відомчі норми технологічного проектування. ВНТП – АПК 01.05. «Скотарські підприємства». Мінагрополітики України, К.: 2005. 96 с.
12. Алієв, Е. Б., Миколенко, С. Ю., Сова, Н. А. та ін. (2022). Техніко-

технологічне забезпечення безвідходної переробки зернової сировини у харчові продукти і корми: колективна монографія / за заг. ред. Е. Б. Алієва. Дніпро: ЛІРА. 192 с. ISBN 978-966-981-687-0.

13. Aliiev E., Maliehin R., Ivliev V., Aliieva O. Simulation of the process of cavitation treatment of liquid feed [Техніко-технологічне забезпечення комплексної безвідходної переробки рослинної сировини олійних культур у корми для органічного тваринництва]. Scientific Horizons, 24(2), 2021. P. 16-26. DOI: 10.48077/scihor.24(2).2021.16-26.

14. Удосконалити технологічні процеси і робочі органи типорозмірного ряду змішувачів-кормороздавачів вологих кормосумішей для ферм великої рогатої худоби з різною чисельністю поголів'я: звіт про НДР (заключи.): 33.02.00.08; № ДР 0111U004415 / Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» НААН; кер. І.А. Шевченко; вик.: В.М. Павліченко, Л.С. Вороній, С.О. Доруда, Л.Г. Шапаренко, О.В. Бєлка, Е.Б. Алієв та інш. – Запоріжжя, 2013. – 102 с. – Інв. № 0214U000399.

15. Шевченко І.А. Моделювання процесу потокового змішування кормосумішей з використанням методу дискретних елементів / І.А. Шевченко, Е.Б. Алієв, С.О. Доруда // Механізація та електрифікація сільського господарства – Глеваха, 2013. – Вип. 97. Том 1. – С. 536-544.

16. Алієв Е.Б., Лінко М.О. Аналіз техніко-технологічного оснащення процесів експандованого приготування кормів. Корми і факти. 2022. № 9 (145). С. 8-10.

17. Алієв Е. Б., Лінко М. О., Алієва О. Ю. Симуляція процесу експандованого приготування кормів. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2022. Вип. 5(36), ч.II. С. 176-185. DOI: https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.176-185