

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

Допущено до захисту

“__” _____ 2026р.

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

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

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

тема проекту: «Удосконалення технологічного процесу заготівлі стеблових
кормів з розробкою пакувальника силосу»

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

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

м. Умань – 2026 рік

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ КОРМОЗАГОТІВЛІ	7
1.1. Обґрунтування актуальності дослідження	7
1.2. Формування вихідних параметрів проєктування.....	9
1.3. Організація технологічного процесу кормозаготівлі	11
1.3.1. Технологічні особливості заготівлі сіна	11
1.3.2. Особливості технології консервування силосної та сінажної маси... 13	
1.3.3. Технологія заготівлі зернових кормів.....	18
1.4. Розрахунок річної потреби у кормових ресурсах	21
1.5. Обґрунтування площ кормовиробництва та підбір технічних засобів.....	23
1.5.1. Технічне забезпечення процесу заготівлі сіна	23
1.5.2. Механізація процесів заготівлі силосу й сінажу.....	24
1.5.3. Підбір обладнання для концентрованих кормів	26
1.6. Висновки за розділом	30
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПАКУВАЛЬНИКА СИЛОСНОЇ МАСИ	31
2.1. Аналіз передумов для модернізації пакувального обладнання.....	31
2.2. Оцінка існуючих конструкцій пакувальних систем	32
2.3. Проєктування модернізованого варіанта пакувальника AG-BAG RT 8000	35
2.3.1. Кінематичний розрахунок робочих органів	36
2.3.2. Визначення силових навантажень на елементи конструкції.....	38
2.3.3. Перевірочний розрахунок елементів конструкції на міцність	39
2.4. Висновки за розділом	44
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА	45
3.1 Нормативно-організаційні вимоги безпеки праці.....	45
3.2. Комплекс безпекових вимог та регламент дій оператора при роботі з модернізованим пакувальним комплексом AG-BAG RT 8000	46
3.3. Висновки за розділом	48
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ .	49
4.1. Формування вихідної інформаційної бази для розрахунків	49
4.2. Оцінка економічної ефективності впровадження удосконаленої технології	50
4.3. Висновки за розділом	51
ВИСНОВКИ	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	54

ВСТУП

Сучасне ефективне функціонування галузі тваринництва та підвищення його конкурентоспроможності безпосередньо залежать від створення міцної кормової бази, а також впровадження прогресивних технологій заготівлі та зберігання кормів. Якість і збалансованість раціону безпосередньо визначають продуктивність великої рогатої худоби та собівартість отриманої продукції. Одним із основних видів соковитих кормів у зимово-стійловий період є стеблові корми, зокрема кукурудзяний силос та сінаж із багаторічних і однорічних трав.

Проте процес заготівлі таких кормів є високотехнологічним, енергоємним і складним. Він потребує чіткого дотримання агротехнічних термінів та застосування високонадійної, продуктивної й економічно виправданої техніки. На багатьох агропідприємствах України й досі експлуатуються морально та фізично застарілі технічні засоби для заготівлі кормової маси, що призводить до значних втрат сухої речовини й поживних елементів, а також супроводжується перевитратою палива і високою трудомісткістю процесів. Одним із найбільш критичних та відповідальних етапів у технологічній лінії є безпосередньо пакування (герметизація) подрібненої силосної маси. Недостатня щільність ущільнення або порушення технології герметизації призводять до проникнення кисню, розвитку гнильних процесів і псування значної частини корму. Тому дослідження, спрямовані на конструктивне вдосконалення технічних засобів для пакування силосу та оптимізацію параметрів кормозаготівельних ліній, є вкрай актуальними для сучасного агропромислового комплексу.

Мета дипломного проєкту – підвищення ефективності та якості заготівлі стеблових кормів шляхом обґрунтування параметрів технологічної лінії та конструктивного вдосконалення мобільного пакувальника силосної маси в полімерні рукави.

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

1. виконати технологічний розрахунок і обґрунтувати структуру та склад механізованої технологічної лінії для заготівлі соковитих кормів відповідно до наявного поголів'я худоби;

2. розробити конструкторське рішення щодо вдосконалення робочих органів пакувальника силосу, виконавши необхідні інженерні розрахунки на міцність, жорсткість та кінематичне узгодження елементів;

3. розробити заходи з охорони праці, техніки безпеки та цивільного захисту під час обслуговування кормозаготівельних машин і прес-пакувальників;

4. провести техніко-економічне оцінювання впровадження розробленого пакувальника та розрахувати термін окупності капіталовкладень.

Об'єкт дослідження – технологічний процес заготівлі, транспортування та ущільнення стеблових кормів при консервуванні.

Предмет дослідження – конструктивно-кінематичні параметри пресуючого вузла пакувальника силосної маси.

Практичне значення отриманих результатів. Запропоновані технічні та технологічні рішення щодо модернізації пакувальника силосу дозволяють забезпечити високу щільність пресування маси, суттєво мінімізувати втрати поживних речовин під час тривалого зберігання та знизити питомі витрати енергії на тонну готового корму. Матеріали проекту можуть бути безпосередньо впроваджені в практику роботи фермерських господарств та великих тваринницьких комплексів.

РОЗДІЛ 1

ОБҐРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ КОРМОЗАГОТІВЛІ

1.1. Обґрунтування актуальності дослідження

Важливим чинником розвитку тваринництва є активне впровадження енергоощадних і маловитратних технологій утримання та годівлі тварин, які дозволяють значно підвищити рентабельність виробництва. У зв'язку з цим у господарстві розглядається можливість реконструкції та повторного введення в експлуатацію молочно-товарної ферми, технічний стан якої є більш задовільним порівняно з іншими виробничими об'єктами. Наявність придатних будівель, інженерних комунікацій та допоміжної інфраструктури дозволяє суттєво скоротити обсяги капітальних вкладень порівняно з будівництвом нового тваринницького комплексу.

Після модернізації ферма повинна відповідати сучасним виробничим та зоотехнічним вимогам, що передбачають використання прогресивних технологій утримання тварин, комплексну механізацію основних виробничих процесів, скорочення частки ручної праці та підвищення енергоефективності виробництва. Особлива увага приділятиметься автоматизації процесів приготування і роздавання кормів, видалення гною, доїння та підтримання оптимального мікроклімату в приміщеннях. Важливою умовою успішного функціонування модернізованої ферми є також раціональне використання вже існуючих виробничих площ, транспортних шляхів та інженерних мереж.

Однією з головних передумов ефективного розвитку тваринництва є формування стабільної кормової бази. Для забезпечення високопродуктивного поголів'я необхідною кількістю якісних соковитих кормів у господарстві планується вдосконалення технологічної лінії заготівлі та консервування стеблових кормів. Особливе значення надається впровадженню сучасних способів пакування й герметичного зберігання

силосної та сінажної маси, що дозволить мінімізувати втрати поживних речовин, покращити якість кормів та підвищити ефективність функціонування тваринницької галузі загалом

Показники продуктивності сільськогосподарських тварин, а також загальна економічна доцільність функціонування тваринницької галузі в умовах сучасних агропромислових комплексів визначаються сукупністю взаємопов'язаних факторів, серед яких ключову роль відіграють якість і збалансованість кормової бази, рівень технології утримання тварин, генетичний потенціал поголів'я та організація виробничих процесів. При цьому саме кормовий фактор є базовим обмежуючим елементом, оскільки він безпосередньо впливає на реалізацію продуктивних можливостей тварин і формує значну частку собівартості готової продукції.

У структурі витрат тваринницької галузі частка кормів є найбільш вагомою і в залежності від виду продукції може становити від 40 до 60%, що особливо характерно для виробництва молока, яловичини та свинини. У таких умовах будь-які втрати кормової маси або зниження її поживної цінності безпосередньо призводять до зростання витрат на одиницю продукції та зниження загальної рентабельності господарства. Особливе значення мають процеси заготівлі, консервування та зберігання кормів, оскільки саме на цих етапах формується їх кінцева якість. Використання застарілих технологій зберігання, зокрема відкритих курганів або недостатньо герметичних сховищ, спричиняє значні втрати сухої речовини, розвиток аеробних процесів псування та зниження енергетичної цінності кормів. Це, у свою чергу, негативно позначається на продуктивності тварин та економічних показниках виробництва.

Підвищення ефективності тваринницької галузі безпосередньо пов'язане з необхідністю вдосконалення технології заготівлі стеблових кормів. Перспективним напрямом є впровадження сучасної технології консервування силосної маси у герметичні полімерні рукава із застосуванням спеціалізованого пакувального обладнання. Такий підхід дозволяє мінімізувати втрати поживних

речовин, забезпечити стабільні анаеробні умови ферментації та суттєво підвищити якість кормів, що формує надійну основу для розвитку високопродуктивного тваринництва.

1.2. Формування вихідних параметрів проєктування

Для комплексного розрахунку й оптимізації параметрів технологічної лінії механізованої заготівлі, транспортування та пакування стеблових кормів. До них належать: обсяг і структура поголів'я тварин за статеві-віковими групами, тип і добова структура раціону годівлі, а також базові технологічні схеми заготівлі основних компонентів кормової бази.

На основі за розвитку та модернізації тваринницької, розрахункове поголів'я великої рогатої худоби на модернізованій МТФ та його планова структура представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Структурний розподіл поголів'я великої рогатої худоби за функціональними сегментами

Функціональна категорія	Відносний показник	Чисельність, гол.
Молодняк ВРХ віком 8-12 місяців	0,95	570
Нетелі з терміном тільності до 6-7 місяців	0,2	120
Корови з телятами на підсисі (до 8-місячного віку)	0,41	426
Нетелі	0,2	120
Маточне поголів'я (корови)	1,00	600
зокрема: новотільні та глибокотільні особини (у пологовому відділенні)	0,29	174
Сукупне поголів'я		1410

Для забезпечення запланованого рівня продуктивності тварин на модернізованому виробничому комплексі передбачається впровадження цілорічної однотипної (силосно-сінажної) системи годівлі. Її сутність полягає у використанні стабільного, збалансованого за поживністю раціону протягом

усього року, основу якого становлять високоякісні об'ємисті корми — силос і сінаж.

Порівняно з традиційною пасовищно-зеленою системою годівлі, запропонований підхід має низку важливих технологічних та організаційних переваг. Зокрема, він дозволяє відмовитися від організації так званого «зеленого конвеєра», що значно спрощує структуру кормовиробництва, зменшує потребу в щоденному транспортуванні зелених кормів і забезпечує більш раціональне використання техніки та посівних площ у період активної вегетації. Нормативні показники добової потреби в основних видах кормів для кожної статеві-вікової групи тварин визначаються відповідно до прийнятої технології годівлі та наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Рекомендовані добові норми споживання кормових компонентів для різних категорій ВРХ

Категорія кормового компоненту	Добовий раціон на одну особину, кг			
	Тільні нетелі (до 7-го місяця вагітності)	Тільні нетелі (завершальні стадії вагітності)	Молодняк ВРХ (8-12 місяців)	Дорослі корови
Мінерально-вітамінні добавки	0,14	0,14	0,11	0,14
Сінаж багаторічних трав	5,2	6,3	5,1	8,2
Концентровані корми	1,1	1,2	0,8	2,5
Сіно злаково-бобове	6,5	8,2	5,8	9,8
Силос	15	18	12,5	27

Важливим технологічним ефектом є також стабілізація процесів рубцевого травлення у тварин, оскільки відсутність різких змін у структурі раціону знижує рівень кормового стресу, нормалізує мікробіологічні процеси в рубці та сприяє рівномірному перебігу лактації у дійного стада. Окрім цього, застосування однотипної системи годівлі дозволяє суттєво оптимізувати виробничу логістику, оскільки основний обсяг польових кормозаготівельних

робіт концентрується у стислі агротехнічні терміни, що знижує загальні витрати на експлуатацію техніки та паливно-енергетичних ресурсів.

Окремо слід відзначити підвищення стійкості системи годівлі до погодних ризиків, оскільки формування запасів консервованих кормів у герметичних умовах забезпечує стабільне забезпечення тваринництва поживними речовинами незалежно від сезонних коливань кліматичних умов.

1.3. Організація технологічного процесу кормозаготівлі

Продуктивність тваринницького комплексу суттєво обумовлена поживністю фуражу, інтегрованого у раціони годівлі. З метою гарантування забезпечення тварин поживними та збалансованими кормами, передбачається впровадження передових технологічних рішень для виробництва сіна, сінажу та силосу. У даному підрозділі буде детально розглянуто методологію заготівлі сіна, як однієї з ключових складових фуражної бази підприємства.

1.3.1. Технологічні особливості заготівлі сіна

Високоякісне сіно посідає одне з основоположних місць у системі годівлі великої рогатої худоби, виступаючи як фундаментальний вид об'ємних кормів. Воно відіграє ключову роль у підтримці стабільного функціонування шлунково-кишкового тракту цих жуйних тварин протягом стійлового, або зимового, періоду. Заготівля цього життєво важливого фуражу здійснюється шляхом ретельного зневоднення свіжоскошеної зеленої рослинної біомаси. Цей процес може відбуватися як природним способом у польових умовах під дією сонячних променів та вітру, так і за допомогою спеціалізованих агрегатів для штучної сушки. Кінцевою метою є досягнення показника вмісту вологи в межах 14–17%, що є оптимальною для тривалого зберігання без найменшої втрати початкової поживної цінності та біологічної активності.

Основним сировинним джерелом для виробництва сіна виступають переважно культивовані багаторічні та однорічні трав'яні суміші, складені з представників родин бобових та злакових культур. Саме ці рослинні види котрі вирізняються винятково високою поживністю та оптимально збалансованим хімічним складом, що робить їх ідеальними для забезпечення повноцінного раціону тварин. Процес заготівлі сіна розглядається як сукупність послідовних технологічних операцій, спрямованих на збереження максимальної кількості поживних речовин і отримання якісного кормового продукту. Залежно від рівня технічного оснащення господарства та організації виробництва застосовують різні технологічні підходи: класичне польове сушіння з подальшим складуванням у скирти, заготівлю із досушуванням активною вентиляцією або механізоване пресування сіна в тюки чи рулони.

Умовами найбільш ефективною визначено технологію пресування сіна у рулони, оскільки вона забезпечує вищий рівень механізації, зменшує втрати листостеблової частини рослин та покращує логістику транспортування і зберігання. Пресоване сіно характеризується підвищеною щільністю, що дозволяє значно раціональніше використовувати складські приміщення та знижує витрати на переміщення кормів.

Технологічна схема заготівлі включає кілька послідовних етапів. Спочатку проводиться скошування трав із частковим плющенням бобових культур для прискорення процесу висихання. Далі маса підсушується в полі до проміжного рівня вологості, після чого формується у валки для остаточного сушіння. Завершальними операціями є підбирання маси, пресування у рулони, їх обв'язування та транспортування до місць зберігання, де вони укладаються у штабелі під накриттям або в спеціально обладнаних сховищах.

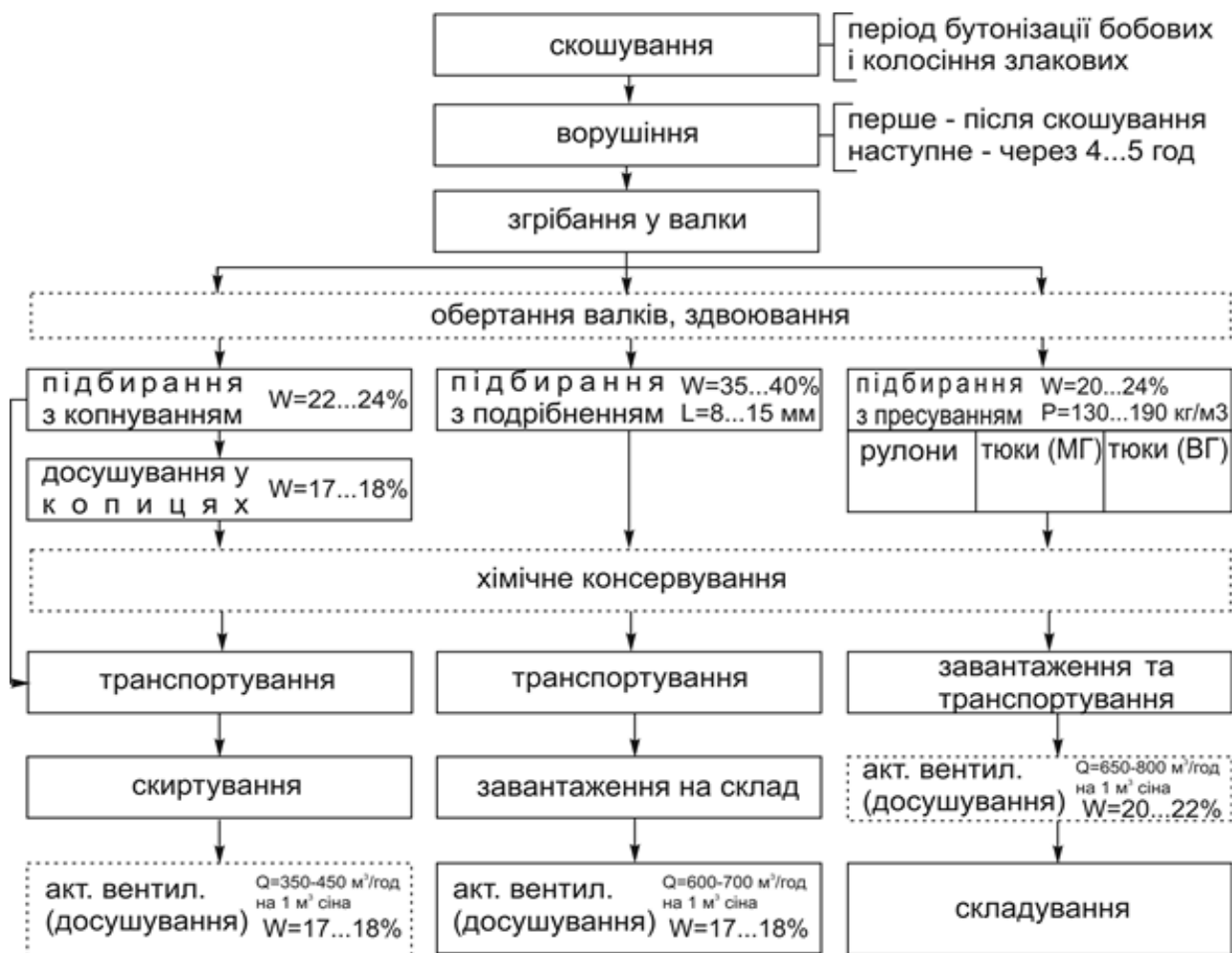


Рис. 1.1. Загальна структурно-блочна схема реалізації процесу

Запровадження такої технології дає змогу зменшити втрати поживних речовин, підвищити якість кінцевого корму та забезпечити більш ефективне використання техніки і трудових ресурсів у період заготівлі кормів.

1.3.2. Особливості технології консервування силосної та сінажної маси

Основу об'ємної частини раціону великої рогатої худоби за умов цілорічної однотипної системи годівлі становлять кукурудзяний силос і сінаж багаторічних трав. Саме ці види кормів визначають енергетичну та протеїнову збалансованість раціону, тому вибір ефективної технології їх заготівлі, ущільнення та герметичного зберігання є одним із ключових чинників, що впливають на собівартість і рентабельність виробництва молока та м'ясної

продукції.

Сінаж являє собою високоякісний консервований корм, який отримують із зеленої маси бобових трав (люцерна, конюшина) або їх сумішей зі злаковими культурами шляхом попереднього пров'ялювання до вологості на рівні 50–55%. Такий режим зволоження забезпечує оптимальні умови для подальшого анаеробного консервування та збереження поживних речовин.

Технологічно заготівлю сінажу проводять у визначені фази розвитку рослин, коли їх кормова цінність є максимальною: для бобових культур це період бутонізації, а для злакових — початок колосіння. Саме в ці фази досягається найкраще співвідношення між вмістом протеїну, клітковини та енергетичною цінністю зеленої маси. У сучасній практиці кормовиробництва застосовують різні способи зберігання сінажної маси, серед яких традиційні бурти та кургани, стаціонарні траншеї, баштові сховища, а також сучасні технології пакування у стрейч-плівку або гнучкі полімерні рукава. Останні характеризуються підвищеним рівнем герметизації та мінімальними втратами поживних речовин.

Для умов найбільш доцільною визначено технологію заготівлі та зберігання сінажу у полімерних рукавах, як найбільш технологічно ефективну та економічно обґрунтовану. Порівняльний аналіз існуючих способів консервування кормів представлено у вигляді блок-схеми на рисунку 1.2. Застосування полімерних рукавів дозволяє створити стабільні анаеробні умови одразу після закладання маси, що істотно знижує інтенсивність небажаних мікробіологічних процесів та практично виключає розвиток плісняви і гнильних бактерій. У результаті втрати сухої речовини скорочуються до мінімальних значень, а поживна цінність корму зберігається на рівні, максимально наближеному до вихідної зеленої маси.

Крім того, дана технологія характеризується високою мобільністю та гнучкістю застосування, оскільки не потребує будівництва капітальних сховищ (траншей, башт чи буртів), що особливо важливо для середніх за розміром господарств. Також зменшуються витрати на транспортні операції та

внутрішньогосподарську логістику завдяки можливості розміщення рукавів безпосередньо поблизу місць годівлі тварин або в полі. Разом із тим слід відзначити й певні обмеження технології, зокрема залежність від вартості полімерних матеріалів та необхідність дотримання високої культури механізованого завантаження для забезпечення герметичності. З урахуванням наведеного, технологічний процес заготівлі сінажу в полімерних рукавах включає послідовність операцій: скошування трав у оптимальну фазу розвитку, пров'ялювання зеленої маси до заданої вологості, підбирання та подрібнення кормозбиральними агрегатами, рівномірне ущільнене завантаження в рукави спеціалізованими пакувальними машинами, герметизацію кінців рукава з метою створення анаеробного середовища, а також подальше складування на підготовлених майданчиках із забезпеченням захисту від механічних пошкоджень і атмосферних опадів.



Рис. 1.2. Технологічна модель заготівлі сінажу із застосуванням диференційованих підходів

Головним недоліком технології є щорічні експлуатаційні витрати на придбання одноразового пакувального матеріалу, проте цей мінус повністю нівелюється високою збереженістю поживних речовин та відсутністю витрат на капітальне будівництво залізобетонних силососховищ.

Силосування є біохімічним способом консервування свіжоскошеної або попередньо підв'яленої зеленої маси, найчастіше кукурудзи у фазі воскової стиглості зерна. Його технологічна основа полягає у керованому процесі молочнокислого бродіння, що відбувається в умовах повної відсутності доступу кисню. Основним інженерним завданням при силосуванні є створення та підтримання стабільного анаеробного середовища, необхідного для розвитку молочнокислих бактерій. У процесі їх життєдіяльності відбувається зброджування вуглеводів рослинної маси до молочної та частково оцтової кислот, що забезпечує швидке зниження кислотності корму до рівня рН 4,0–4,2. Досягнення такого значення рН є критичним для стабілізації корму, оскільки воно пригнічує розвиток гнильної, маслянокислої та іншої небажаної мікрофлори, тим самим забезпечуючи тривале зберігання силосу без втрати його поживної цінності.

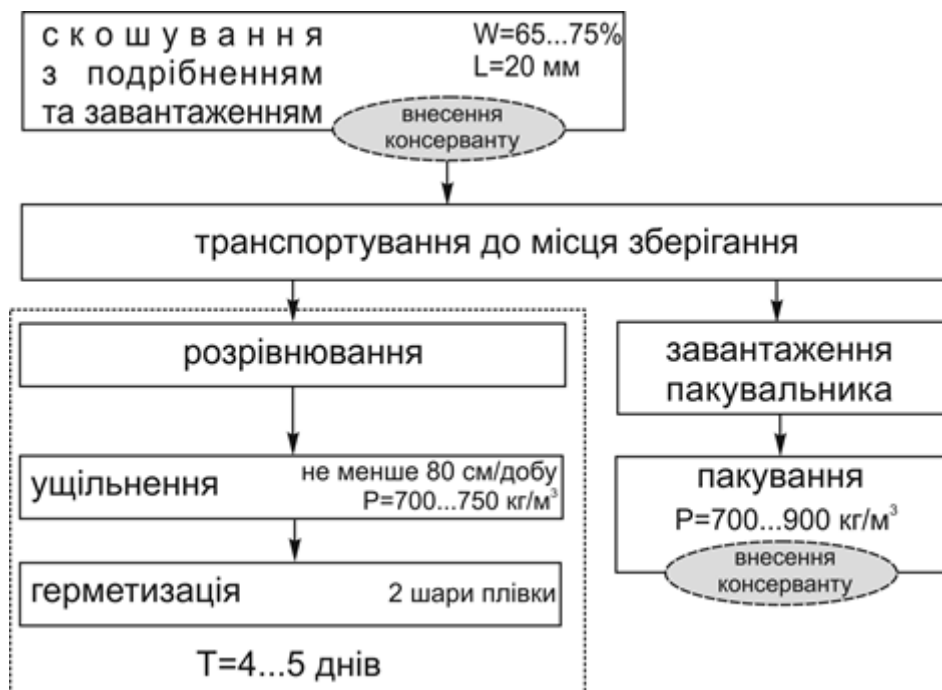


Рис. 1.3. Структурна блок-схема технологічного циклу отримання силосної продукції із застосуванням множинних підходів

Аналогічно до технології сінажу, для умов як альтернативу традиційним наземним курганам обрано сучасний спосіб заготівлі силосу з використанням гнучких полімерних рукавів. Порівняльний аналіз можливих конструктивно-технологічних рішень силососховищ свідчить про перевагу саме цього варіанта за показниками якості корму, втрат поживних речовин та експлуатаційних витрат. Курганний спосіб характеризується значними втратами сухої речовини через аеробне псування та витік силосного соку, а також нестабільною якістю корму. Облицьовані траншеї забезпечують кращі умови зберігання, однак потребують значних капіталовкладень і є чутливими до технологічних порушень під час закладання маси. Натомість пакування в полімерні рукави забезпечує повну герметизацію, високу щільність ущільнення маси (700–800 кг/м³), мінімальні втрати поживних речовин та тривалий термін зберігання без суттєвого зниження якості.

Інтегрована технологічна схема заготівлі кормів у полімерні рукави передбачає використання єдиного комплексу машин, центральним елементом якого є пакувальник силосної маси, що розробляється в межах даного дипломного проєкту. Технологічний процес включає такі основні етапи. Скошування та подрібнення зеленої маси здійснюється кормозбиральними комбайнами. Для кукурудзи у фазі воскової стиглості довжина подрібнення становить 10–15 мм із обов'язковим руйнуванням зернової оболонки, тоді як для сінажу з багаторічних трав — 30–40 мм. Транспортування подрібненої маси виконується тракторними причепами або автомобільним транспортом до місця пакування.

Закладання, ущільнення та пакування здійснюється пакувальною машиною, де подрібнена маса через приймальний бункер і пресувальний механізм подається у полімерний рукав діаметром 2,4–3,0 м і довжиною 60–90 м. При цьому досягається необхідна щільність ущільнення на рівні 700–800 кг/м³. Після заповнення рукава його кінці герметизуються спеціальними затискними елементами, що забезпечує повну ізоляцію від доступу повітря. За необхідності, для стабілізації процесів бродіння та підвищення якості

консервування, у кормову масу можуть вводитися біологічні або хімічні консерванти (молочнокислі бактерії, пропіонова кислота та їх аналоги), що дозволяє забезпечити стабільність корму при зберіганні до 24 місяців.

1.3.3. Технологія заготівлі зернових кормів

Зернофураж, що представлений концентрованими кормами на основі зерна кукурудзи, ячменю та пшениці, є основним енергетичним компонентом раціонів високопродуктивної великої рогатої худоби. Традиційна технологія його заготівлі передбачає збирання зерна у фазі повної стиглості з подальшим термічним сушінням у зерносушильних установках до кондиційної вологості 12–14%, тривале зберігання у складських приміщеннях або силосах елеваторного типу, а також обов'язкове подрібнення безпосередньо перед згодовуванням тваринам. Основним недоліком такого технологічного підходу є значні енергетичні витрати, пов'язані насамперед із процесом штучного сушіння зерна.

Як більш ефективну альтернативу прийнято сучасну технологію заготівлі та консервування вологого плющеного зернофуражу із використанням гнучких полімерних рукавів. Даний підхід дозволяє суттєво знизити енергетичні витрати та підвищити загальну ефективність кормовиробництва.

Суть технології полягає у збиранні зерна кукурудзи або ячменю у фазі воскової стиглості за вологості 28–35%, його оперативному механічному плющенні на вальцевих плющильних установках, обробці консервантами на основі органічних кислот та подальшому герметичному пакуванню у полімерні рукави. Такий спосіб забезпечує стабільні анаеробні умови зберігання та збереження енергетичної цінності корму без необхідності енергоємного сушіння.

Порівняльна схема основних інженерно-технологічних варіантів організації зернового ланцюга наведена на рисунку 1.4.

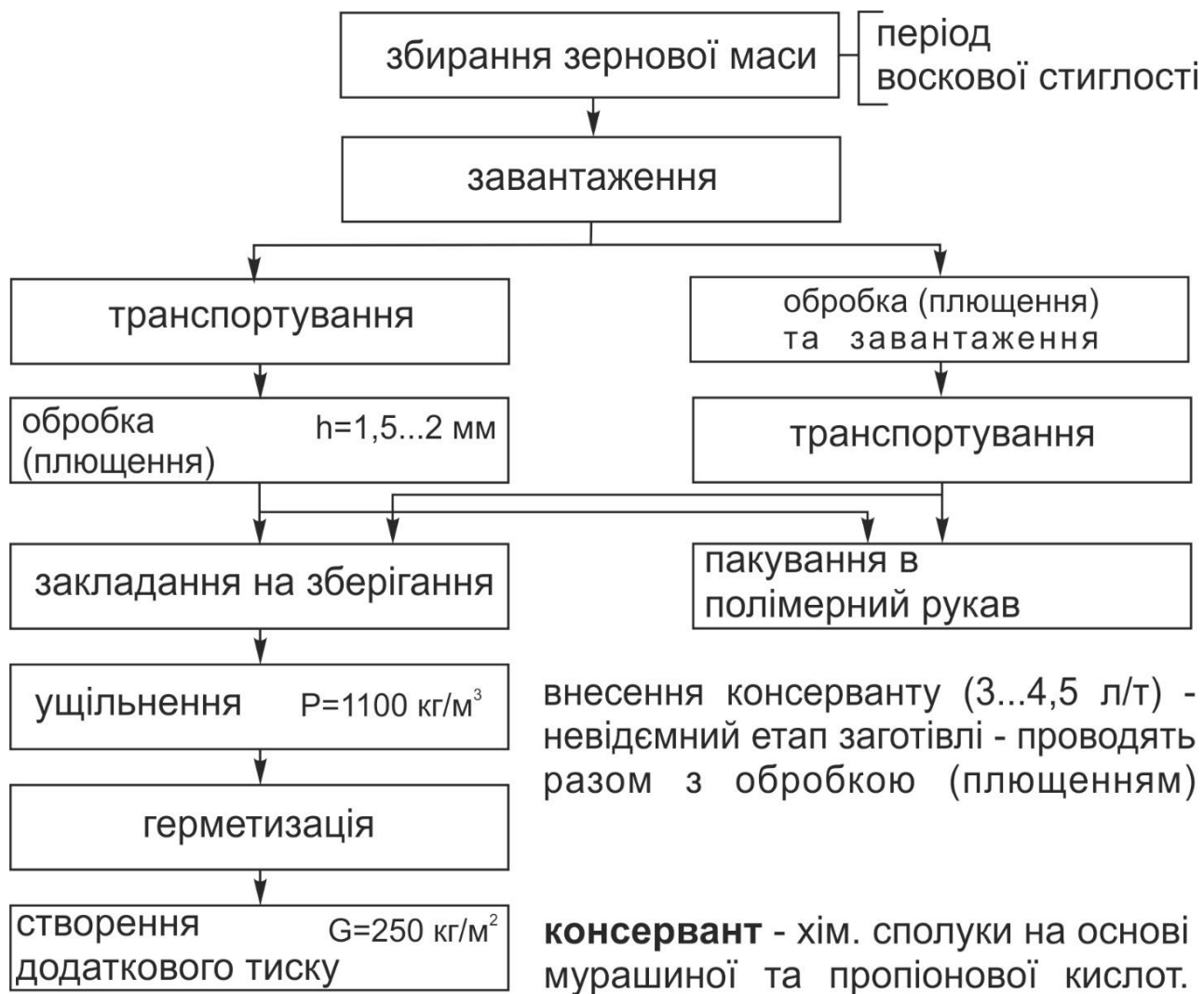


Рис. 1.4. Принципова технологічна блок-схема заготівлі зволжених зернових кормів за допомогою варіативних методик

Впровадження даної технології забезпечує комплексний техніко-економічний ефект, що формується за рахунок кількох взаємопов'язаних чинників. Насамперед досягається енергетична незалежність процесу, оскільки повністю виключаються операції штучного сушіння та доведення зерна до кондиційної вологості. Це дозволяє суттєво знизити собівартість виробництва концентрованих кормів в межах 30–40%.

Важливим результатом є також агротехнічна оптимізація виробничого процесу, оскільки збирання зерна кукурудзи у фазі воскової стиглості дає можливість змістити строки жнив на 2–3 тижні раніше порівняно з традиційною технологією. Це, у свою чергу, забезпечує своєчасне звільнення площ під озимі культури та підвищує ефективність використання

зернозбиральної техніки. Суттєвим позитивним ефектом є підвищення поживної цінності корму, оскільки у процесі консервування вологого плющеного зерна відбуваються природні ферментативні перетворення крохмалю та білкових сполук. Завдяки цьому перетравність такого корму в рубці великої рогатої худоби зростає на 12–15% порівняно з традиційною сухою дертею.

Додатково знижується капіталомісткість виробництва, оскільки відпадає потреба у будівництві зерносушильних комплексів, критих токів і стаціонарних зерносховищ. Консервованій зернофураж може зберігатися безпосередньо на технологічних майданчиках господарства у полімерних рукавах без втрати якості. Єдиним стримуючим фактором залишається необхідність щорічного забезпечення полімерним рукавним матеріалом, що потребує точного інженерного розрахунку обсягів заготівлі та параметрів ущільнення маси. Технологічний процес заготівлі плющеного зернофуражу в умовах господарства реалізується як послідовна система операцій. Спочатку здійснюється пряме комбайнування кукурудзи або ячменю у фазі воскової стиглості. Після цього вологе зерно без попереднього сушіння транспортується до майданчика заготівлі, де подається у приймальний бункер вальцевого плющильного агрегату.

Далі виконується механічне плющення зерна між рифленими вальцями з регульованим зазором 0,5–1,5 мм, які обертаються з різною коловою швидкістю. У результаті руйнується зернова оболонка, що забезпечує кращу доступність поживних речовин для мікрофлори рубця тварин. Одночасно з цим у потік маси дозовано вносяться органічні консерванти на основі пропіонової та мурашиної кислот у нормі 3–5 л на тонну сировини, що запобігає розвитку пліснявих грибів і дріжджів та стабілізує процес зберігання. Після підготовки маса надходить до пакувального агрегату, де ущільнюється та подається у полімерний рукав. При цьому формується щільність на рівні 950–1050 кг/м³, що забезпечує повне витіснення повітря та створення анаеробних умов. Завершальним етапом є герметизація рукавів механічними затискачами. Процес

біохімічної стабілізації триває 3–4 тижні, після чого корм набуває стабільних характеристик і може зберігатися до 24 місяців без втрати поживної цінності.

1.4. Розрахунок річної потреби у кормових ресурсах

Планові показники потреби в окремих видах кормів по тваринницькому комплексу розраховуються на основі затвердженої структури стада (див. табл. 1.1) та добових раціонів годівлі для кожної статеві-вікової групи тварин (див. табл. 1.2). Загальна добова потреба ферми в конкретному виді корму з урахуванням неминучих втрат під час його транспортування та роздавання в межах корівника визначається за формулою:

$$G_{\kappa}^i = k_{\kappa} \frac{\sum_{n=1}^i g_i n_i}{1000} \quad (1.1)$$

Де k_{κ} – позначає коригуючий коефіцієнт, що враховує неминучі технологічні втрати кормових ресурсів під час утримання тварин у приміщеннях (корівнику), значення якого встановлено на рівні 1,05 (що еквівалентно 5 %);

n_i – це середньорічна чисельність поголів'я тварин для кожної i -тої технологічної групи, що утримуються в господарстві (вимірюється в головах);

g_i – визначає індивідуальну добову норму споживання корму для однієї тварини i -тої технологічної групи (виражається в кг/голову).

Згідно з методологією, викладеною у формулі (1.1), розрахунок необхідного обсягу заготівлі основних видів кормів, з урахуванням зазначених параметрів, здійснюється таким чином:

для силосу

$$G_{\kappa}^c = 1,005 \frac{(600 \cdot 27 + 120 \cdot 18 + 120 \cdot 15 + 570 \cdot 12,5)}{1000} = 28,65m;$$

для мікродомішок

$$G_{\kappa}^c = 1,005 \frac{(600 \cdot 0,14 + 120 \cdot 0,14 + 120 \cdot 0,14 + 570 \cdot 0,11)}{1000} = 0,19m.$$

для сіна

$$G_{\kappa}^c = 1,005 \frac{(600 \cdot 9,8 + 120 \cdot 8,2 + 120 \cdot 6,5 + 570 \cdot 5,8)}{1000} = 11,5m;$$

для концентрованих кормів

$$G_{\kappa}^c = 1,005 \frac{(600 \cdot 2,5 + 120 \cdot 1,2 + 120 \cdot 1,1 + 570 \cdot 0,8)}{1000} = 2,34m;$$

для сінажу

$$G_{\kappa}^c = 1,005 \frac{(600 \cdot 8,2 + 120 \cdot 6,3 + 120 \cdot 5,2 + 570 \cdot 5,1)}{1000} = 9,67m;$$

Результати проведених обчислень фіксуються в таблиці 1.4. Об'єм вихідної заготовки визначається шляхом застосування відповідної формули:

$$G_z^i = 365 k_z G_{\kappa}^i, \quad (1.2)$$

Де k_z є поправочним фактором, що враховує технологічні втрати кормів, які можуть виникати під час їх зберігання та роздачі в умовах тваринницького комплексу (корівника). Його значення варіюються в діапазоні від 1,05 до 1,25, що відповідає рівню потенційних втрат від 5% до 25% відповідно.

Відповідно до методології, викладеної у формулі (1.2), були виконані наступні розрахунки річної потреби у кормах з урахуванням втрат.

Для силосу:

$$G_z^i = 365 \cdot 1,25 \cdot 28,65 = 13071,2m;$$

Для сіна:

$$G_z^i = 365 \cdot 1,25 \cdot 11,5 = 5245,7m;$$

Для мікродомішо:

$$G_z^i = 365 \cdot 1,0 \cdot 0,19 = 69,1m;$$

Для сінажу:

$$G_z^i = 365 \cdot 1,25 \cdot 9,67 = 4410,7m;$$

Для концентрованих кормів:

$$G_z^i = 365 \cdot 1,05 \cdot 2,34 = 898,2m;$$

Зведені результати проведених технологічних розрахунків кормової бази для ТОВ «Відродження» занесені в таблицю 1.4.

Зведені дані щорічної потреби в кормах, тонни

Найменування корму	Коефіцієнт резерву	Добова потреба для господарства, тонн	Необхідний обсяг заготівлі, тонн	Чиста річна потреба, тонн
Концентровані корми	1,05	2,34	898,2	855,4
Сінаж	1,25	9,67	4410,7	3528,6
Мікродомішки та премікси	1	0,19	69,1	69,1
Сіно	1,25	11,50	5245,7	4196,6
Силос	1,25	28,65	13071,2	10457,0

1.5. Обґрунтування площ кормовиробництва та підбір технічних засобів**1.5.1. Технічне забезпечення процесу заготівлі сіна**

Заготівля сіна здійснюватиметься у великогабаритних пресованих брикетах, формування яких відбуватиметься безпосередньо на полі із застосуванням спеціалізованого прес-підбирача моделі KRONE BiG Pack 1290 HDP (див. рис. 1.5). Наступним етапом передбачається транспортування сформованих брикетів до місця постійного зберігання на території господарства із залученням наявних автотранспортних засобів, а їхнє штабелювання буде виконуватися за допомогою спеціалізованої навантажувальної техніки марки Merlo.

Стандартні об'ємні показники пресованої продукції, що продукуються сучасним прес-підбирачем BiG Pack 1290, визначаються параметрами 1,2 метра завширшки та 0,9 метра заввишки, з можливістю регулювання довжини, що може сягати значних 3,2 метра. У контексті логістики та укладання, гранична висота завантаження/розвантаження, яка доступна при використанні багатофункціонального телескопічного навантажувача Merlo, сягає позначки у

14 метрів.



1

2

Рис. 1.5. Тюкувальний прес високої щільності моделі KRONE BiG Pack 1290 HDP (1), а також багатофункціональний телескопічний навантажувач виробництва Merlo (2)

На підставі наведених вихідних даних здійснюється розрахунок площі, необхідної для зберігання сіна.

Формула для визначення площі має вигляд:

$$F_{\text{сіна}} = \frac{G_{\text{сіна}}}{\rho \cdot h}, \quad (1.3)$$

Де h – висота навантаження, що становить 14,0 м;

ρ - щільність пресованого сіна, яка встановлена на рівні 0,19 т/м³.

Підставивши ці значення у формулу, отримуємо:

$$F_{\text{сіна}} = 5245,7 / (0,19 \cdot 14,0) = 5245,7 / 2,66 \approx 1972 \text{ м}^2.$$

Таким чином, для забезпечення функціональності сховища передбачено використання залізобетонної платформи з габаритними розмірами 50х40 м, яка додатково обладнана навісом.

1.5.2. Механізація процесів заготівлі силосу й сінажу

Для розрахунку необхідної кількості пакувальних машин використовується наступний вираз (1.4):

$$n = (G_{\text{сил}} + \text{сінаж}) / (W_{\text{ч}} \cdot T \cdot N), \quad (1.4)$$

Де T - тривалість робочої зміни (8 годин);

W_q - погодинна продуктивність агрегату (для пакувальної машини AG-BAG RT 8000 цей показник становить 30 т/год);

N - число операційних днів у періоді заготівлі, діб.

Виходячи з наведених даних, розрахункове значення становить:

$$n = (13071,2 + 4410,7) / (30 \cdot 8 \cdot 20) = 17481,9 / 4800 \approx 2,1.$$

Враховуючи отримане значення, для забезпечення виробничих потреб приймається до експлуатації 2 пакувальні машини типу AG-BAG RT 8000 (рис. 1.5).

Сумарна площа ділянки, відведеної для зберігання силосу та сінажу, обчислюється за виразом (1.5):

$$F_{c+c} = k_v \cdot (G_{\text{сінаж}} / (\rho_{\text{сін}} \cdot h) + G_{\text{силос}} / (\rho_{\text{сил}} \cdot h)), \quad (1.5)$$

Де h – висота пакувального мішка, м. Встановлено значення. $h=2,7$ м

$\rho_{\text{сін}}$, $\rho_{\text{сил}}$ - об'ємна щільність сінажу та силосу відповідно, т/м³.

Приймаються значення: $\rho_{\text{сін}}=0,450$ т/м³, $\rho_{\text{сил}}=0,900$ т/м³;

k_g – коефіцієнт ефективності використання площі. Рекомендований діапазон: 1,1...1,25. Приймаємо $k_g=1,2$. Таким чином, розрахункова площа становить:

$$\begin{aligned} F_{c+c} &= 1,2 \cdot (4410,7 / (0,450 \cdot 2,7) + 13071,2 / (0,900 \cdot 2,7)) = 1,2 \cdot (3629,5 + 5391,8) \\ &= 1,2 \cdot 9021,3 \approx 10809,6 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

Отже, для забезпечення необхідних умов зберігання, потрібна ділянка з габаритними розмірами 120x100 м.



Рис. 1.5. Типовий вигляд пакувальної машини AG-BAG RT 8000

1.5.3. Підбір обладнання для концентрованих кормів

Планові показники потреби в окремих видах кормів по тваринницькому комплексу розраховуються на основі затвердженої структури стада (див. табл. 1.1) та добових раціонів годівлі для кожної статеві-вікової групи тварин (див. табл. 1.2).

Сукупна добова потреба тваринницького комплексу у чітко визначеному виді раціону, з обов'язковим урахуванням неминучих операційних втрат, що виникають протягом процесу його логістичного переміщення та безпосереднього розподілу безпосередньо всередині тваринницьких приміщень, підлягає ретельному обчисленню за допомогою спеціально розробленої математичної формули:

$$n = \frac{G_{\text{з}}^{\text{KK}}}{W_{\text{ч}} \cdot T \cdot N}, \quad (1.6)$$

Де N- визначає загальне число робочих днів, що відповідає тривалості певного операційного періоду. Прикладом може слугувати період воскової стиглості зерна кукурудзи, який становить 12 днів;

$W_{\text{ч}}$ - репрезентує погодинну продуктивність технічного обладнання. Зокрема, для агрегату «Grinder bagger» моделі GB 6 -15S зазначена продуктивність дорівнює 15 тонн за годину;

T- позначає встановлену тривалість робочої зміни, яка, як правило, складає 8 годин.

$$n = 898,2 / (15 \cdot 8 \cdot 12) = 898,2 / 1440 \approx 0,62.$$

На підставі отриманих розрахунків обґрунтовано необхідність використання однієї одиниці обладнання для плющення зерна.

Організація безперебійного транспортування зернової маси з підвищеним вмістом вологи від тимчасових накопичувальних майданчиків до спеціалізованих ділянок фасування та формування готової продукції буде забезпечена за рахунок ефективного використання спеціалізованих самохідних зерноавантажувачів марки ЗСК-12А. Оптимальна кількість одиниць даної

техніки, необхідна для безперебійної роботи, буде визначена та обґрунтована на наступних етапах детального планування.



Рис. 1.6. Оглядове зображення агрегату для плющення та пакування зволоженого зернофуражу моделі «Grinder bagger» GB 6

Для розрахунку мінімально необхідної кількості мобільних транспортних засобів, що здатні забезпечити оперативну та безперебійну подачу зернової сировини до пункту її пакування, застосовується наступна формула:

$$n_{\text{моб}} = \frac{i_p}{i_1}, \quad (1.7)$$

Де i_1 – вказує на кількість рейсів, яку може виконати один мобільний агрегат протягом однієї робочої зміни;

i_p – відображає загальну кількість рейсів, які необхідно здійснити для перевезення всього запланованого обсягу зерна.

Загальна кількість необхідних рейсів визначається:

$$i_p = \frac{G_{\text{доб}}}{G_{\text{моб}}}, \quad (1.8)$$

Де $G_{\text{доб}}$ - це сукупний добовий обсяг (маса) зерна, що потребує транспортування, виміряний у кілограмах.

Наприклад, якщо добова маса сировини становить 898,2 одиниць, яка обробляється протягом 12 циклів (або годин), то розрахунковий добовий обсяг транспортування складе:

$$G_{\text{доб}} = G_{\text{к.к.}} / N = 898,2 / 12 = 74,8 \text{ т/добу.} \quad (1.9)$$

Де $G_{\text{моб}} = 8000$ кг — максимальна вантажна місткість одного завантажувача кормів, наприклад, моделі ЗСК-12А.

Отже, виходячи з наведених даних, загальна кількість рейсів, які необхідно виконати, дорівнює:

$$i_p = 74,8 / 8 = 9,3.$$

Кількість рейсів, яку здатен здійснити один мобільний агрегат протягом однієї робочої зміни, обчислюється за наступним співвідношенням:

$$i = t_{\text{зм}} \cdot 3600 / T_{\text{ц.моб}}, \quad (1.10)$$

Де $T_{\text{ц.моб}}$ — це повна тривалість одного циклу рейсу мобільного транспортного засобу, виміряна в секундах.

Тривалість повного циклу рейсу складається з суми часу, витраченого на різні етапи перевезення:

$$T_{\text{ц.моб}} = T_x + T_{\text{зав}} + T_p + T_{\text{роз}}, \quad (1.11)$$

Де T_p — тривалість робочого переїзду (з вантажем);

T_x — тривалість холостого переїзду (порожнього пробігу) агрегату, в секундах;

$T_{\text{зав}}$ — час на завантаження;

$T_{\text{роз}}$ — час на розвантаження.

Час холостого переїзду розраховується як відношення відстані, яку долає агрегат без вантажу, до швидкості його руху:

$$T_x = l_{\text{сп}} / V_x = 200 / 5,5 = 36,4 \text{ с.} \quad (1.12)$$

Де $V_x = 5,5$ м/с швидкість пересування не завантаженого агрегату (порожнього транспортного засобу).

$l_{\text{сп}} = 200$ м — це максимальна відстань від місця зберігання зернофуражу

(складу сировини) до пункту його плющення або іншої переробки.

Далі, для повного розрахунку часу циклу, необхідно визначити тривалість завантаження причепа, що обчислюється за окремою формулою:

$$T_{\text{зав}} = (3600 \cdot G_{\text{моб}}) / Q_{\text{з}} \quad (1.13)$$

Де $Q_{\text{з}}$ – ефективна продуктивність завантажувального механізму, вимірювана в кілограмах на годину. Під час виконання операцій із завантаження зернофуражу, ми приймаємо, що ця продуктивність відповідає потужності живильника моделі KB3-50, яка становить 50000 кг/год.

$$T_{\text{зав}} = \frac{3600 \cdot 8000}{50000} = 576 \text{ с.}$$

Час, необхідний для процесу завантаження ($T_{\text{зав}}$), обчислюється за наступною формулою:

$$T_{\text{зав}} = l_{\text{сп}} / V_{\text{р}} = 200 / 5,5 = 36,4 \text{ с,} \quad (1.14)$$

Де $T_{\text{роз}}$ – це тривалість операції розвантаження;

$V_{\text{р}} = 5,5 \text{ м/с}$ – це оперативна швидкість руху завантаженої машини;

Тривалість операції розвантаження, яка встановлюється на такому рівні:

$$T_{\text{роз}} = (3600 \cdot G_{\text{моб}}) / W_{\text{пак}} = (3600 \cdot 8) / 30 = 960 \text{ с.}$$

Відтак, сумарний час повного операційного циклу мобільного агрегату включає в себе всі послідовні фази:

$$T_{\text{ц,моб}} = 36,4 + 576 + 36,4 + 960 = 1608,8 \text{ с.}$$

Виходячи з отриманих результатів, ми визначаємо показник, який відображає кількість циклів або продуктивність (у центнерах) за годину:

$$i_{\text{ц}} = \frac{3600 \cdot 8}{1608,8} = 17,9$$

Таким чином, необхідна кількість мобільних технічних засобів для виконання поставлених завдань складе:

$$n_{\text{моб}} = 9,1 / 17,9 = 0,52.$$

З практичної точки зору, оскільки частка агрегату не може бути використана, приймаємо рішення про використання 1 цілого агрегату для забезпечення безперебійної роботи

1.6. Висновки за розділом

У даному розділі було виконано аналіз та розробку технологічних рішень, спрямованих на формування стабільної та ефективної кормової бази. На основі проведених розрахунків і технологічного обґрунтування встановлено, що річна потреба в кормах визначається відповідно до структури поголів'я тварин та їх фізіологічних норм годівлі, що дозволило чітко конкретизувати необхідні обсяги заготівлі сінажу, силосу та зернофуражу.

У результаті дослідження обґрунтовано вибір сучасних технологій заготівлі основних видів кормів. Зокрема, передбачено використання пресованого сіна, що забезпечує зниження втрат поживних речовин та оптимізацію умов його зберігання. Також визначено доцільність заготівлі сінажу та силосу із застосуванням полімерних рукавів, що гарантує високу герметичність, стабільну якість корму та зменшення капітальних витрат на будівництво стаціонарних сховищ. Окремо обґрунтовано впровадження технології консервування вологого зернофуражу в полімерних рукавах, яка дозволяє максимально зберегти його енергетичну цінність, виключити витрати на штучне досушування та скоротити загальні енергетичні витрати виробництва.

Встановлено, що найбільш сприятливі умови консервування та мінімальні втрати поживних речовин при заготівлі зернофуражу досягаються саме за рахунок зберігання в герметичних полімерних рукавах, які забезпечують стабільне анаеробне середовище та повністю запобігають розвитку небажаної мікрофлори.

Таким чином, розроблені технологічні рішення в комплексі забезпечують підвищення ефективності процесів заготівлі кормів, покращення їх якісних показників та суттєве зниження витрат на формування кормової бази тваринницької ферми.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПАКУВАЛЬНИКА СИЛОСНОЇ МАСИ

2.1. Аналіз передумов для модернізації пакувального обладнання

Заготівля об'ємистих кормів, зокрема кукурудзяного силосу, сінажу та вологого зернофуражу із закладанням у гнучкі полімерні рукави, належить до сучасних та технологічно ефективних способів формування стабільної кормової бази у тваринництві. У порівнянні з традиційними методами зберігання в траншеях або буртах, дана технологія забезпечує швидке створення анаеробних умов, що є визначальним фактором якісного консервування рослинної маси.

Перевагами пакування кормів у полімерні рукави є стабілізація біохімічних процесів у масі за рахунок швидкого припинення доступу кисню та інтенсивного розвитку молочнокислого бродіння, в результаті чого рівень рН знижується до 4,0–4,2. Це забезпечує надійне консервування поживних речовин, збереження протеїну, каротину та енергетичної цінності корму. Додатково технологія характеризується тривалим терміном зберігання, який може досягати 18–24 місяців за умови герметичності оболонки та дотримання технологічних вимог. Важливою перевагою також є екологічна безпека процесу, оскільки виключається контакт кормової маси з ґрунтом, атмосферними опадами та сторонніми домішками, а також запобігається витіканню силосного соку. Логістична гнучкість технології дозволяє організовувати майданчики для пакування безпосередньо поблизу місць збирання або тваринницьких комплексів, що суттєво скорочує транспортні витрати.

Водночас ефективність реалізації даної технології значною мірою визначається технічним рівнем пакувального обладнання. Проведений аналіз існуючих конструкцій прес-пакувальних машин дозволив виявити низку суттєвих недоліків, які обмежують їх продуктивність та якість формування

кормового моноліту. Зокрема, спостерігається нерівномірність щільності ущільнення маси по довжині рукава, що виникає через пульсаційний характер подачі матеріалу та недосконалу геометрію робочих органів. Це призводить до утворення зон із підвищеним вмістом повітря, де активізуються процеси аеробного псування та розвиток небажаної мікрофлори.

Окремою проблемою є підвищена енергоємність процесу, пов'язана з великими втратами потужності на подолання внутрішнього тертя та повторне перемішування маси в приймальному бункері. Частка непродуктивних витрат енергії в окремих конструкціях може досягати 30–40% від загальної потужності приводу. Також недоліком існуючих машин є недостатньо досконалі системи регулювання ступеня ущільнення, які часто працюють інерційно та не враховують зміну фізико-механічних властивостей кормової маси в процесі роботи. Це підвищує ризик або недостатнього ущільнення, або перевищення допустимого тиску з подальшим пошкодженням полімерного рукава.

Таким чином, виявлені конструктивні та технологічні недоліки існуючих прес-пакувальників обумовлюють необхідність їх удосконалення шляхом оптимізації конструкції робочих органів, підвищення рівномірності ущільнення та зниження енергоємності процесу формування кормового моноліту, що і є основою подальшої конструкторської розробки даного дипломного проекту.

2.2. Оцінка існуючих конструкцій пакувальних систем

Ефективність процесу ущільнення подрібненої рослинної маси та якість подальшого анаеробного консервування кормів у гнучких рукавах значною мірою визначаються конструктивно-кінематичною схемою пакувальної машини. Сучасні технічні рішення, що застосовуються у кормозаготівельній техніці, умовно поділяються на три основні типи ущільнювальних систем: роторні, шнекові та поршневі, кожна з яких має характерні конструктивні особливості, переваги та обмеження.

Роторні пакувальні машини базуються на використанні масивного

обертового барабана, оснащеного пресувальними елементами у вигляді зубців або пальців, які захоплюють і безперервно транспортують масу в напрямку формувального тунелю. До переваг таких систем належать висока продуктивність (до 50–60 т/год), рівномірність ущільнення та здатність ефективно працювати з різнорідною рослинною масою, включаючи вологий сінаж. Водночас для них характерні підвищені динамічні навантаження на привод, значна металоємність конструкції та висока вартість ремонту робочих органів, зокрема зношуваних елементів ротора.

Шнекові пакувальні системи реалізують процес нагнітання маси за рахунок обертання одного або декількох гвинтових робочих органів. Вони відзначаються конструктивною простотою, високою надійністю та невеликою кількістю рухомих вузлів, що позитивно впливає на експлуатаційну стійкість. Однак їх ефективність суттєво знижується при роботі з вологою та неоднорідною масою, характерною для силосу та сінажу. У таких умовах виникає налипання матеріалу на шнекові поверхні, підвищене перетирання корму та порушення його структури, що негативно впливає на якість кінцевого продукту. Поршневі (кривошипно-повзунові) пакувальні механізми забезпечують циклічне формування ущільнених порцій корму за рахунок зворотно-поступального руху пресувальної плити. Їх основною перевагою є можливість створення високих питомих тисків та точне дозування маси. Проте дискретний характер роботи обмежує продуктивність таких систем, а значні інерційні навантаження негативно впливають на довговічність рами та приводних елементів.

Порівняльний аналіз основних типів пакувальних машин, що застосовуються у сучасному кормовиробництві, наведено у таблиці 2.1, яка дозволяє оцінити їх технічний рівень, продуктивність та конструктивні особливості. На основі проведеного аналізу встановлено, що найбільш ефективними з точки зору продуктивності є роторні системи, однак саме вони мають низку конструктивних недоліків, пов'язаних із нерівномірністю ущільнення та підвищеними енерговитратами. Шнекові системи є більш

простими, але недостатньо ефективними для роботи з вологими кормами, а поршневі — обмежені за продуктивністю через циклічний характер роботи.

Таблиця 2.1

Порівняльна характеристика типових моделей пакувального обладнання

Номінальний об'єм рукава, м ³	Ідентифікатор моделі обладнання	Механізм ущільнення	Ключові функціональні особливості	Пропускна здатність, т/год
240	MegaWrap 1500	Роторний	Адаптивність до широкого спектра сировини	45
150	Ag-Bag G6000	Шнековий	Конструктивна надійність та простота експлуатації	25
200	Unipak 8000	Шнековий	Багатофункціональність	30
100	EkoBag Compact	Поршневий	Забезпечення підвищеної густини пакування	20
270	SilaFlex 7000	Роторний	Інтегрована система автоматичного регулювання параметрів ущільнення	55
180	Trioliet TU 195	Шнековий	Оптимізовані габарити та зручність використання	25
350	FarmPack 6000	Роторний	Висока енергоефективність та економічна доцільність	60
300	AgriPac 5000	Роторний	Оптимальна ефективність виробничого процесу	45
320	Bagmaster Pro	Роторний	Прискорений процес заміни пакувальних контейнерів	50
180	ProSilage 3000	Шнековий	Мінімальний акустичний вплив під час роботи	28
250	AG-BAG RT 8000	Роторний	Значна виробнича потужність	50
150	MaxiBale 4000	Поршневий	Забезпечення підвищеної густини пакування	22

Таким чином, результати порівняльного аналізу свідчать, що подальше удосконалення доцільно здійснювати саме на базі роторного типу пакувальних машин як найбільш продуктивного та технологічно гнучкого. При цьому основними напрямками модернізації повинні стати підвищення рівномірності подачі маси в тунель, зниження енергоємності процесу ущільнення та

вдосконалення конструкції робочих елементів ротора для стабілізації щільності пакування по всій довжині рукава.

2.3. Проектування модернізованого варіанта пакувальника AG-BAG RT 8000

Проведений аналіз конструкції пакувальної машини AG-BAG RT 8000 показав наявність низки конструктивно-експлуатаційних недоліків, які негативно впливають на її енергоефективність, надійність та зручність обслуговування. Основним із них є надмірна масивність ротора-ущільнювача, що визначає підвищену металоємність машини та значні навантаження на елементи привода і опорні вузли.

Збільшена маса ротора призводить до таких негативних наслідків: підвищення моменту інерції системи, що ускладнює пускові режими роботи; зростання витрат потужності на розгін і підтримання обертання робочого органу; збільшення витрати пального трактора-енергозасобу; а також прискорений знос підшипникових вузлів через підвищені динамічні навантаження. Окрім того, значна маса елементів ротора ускладнює виконання ремонтно-обслуговуючих операцій в умовах господарства.

З метою усунення зазначених недоліків у даному проєкті пропонується модернізація конструкції ротора шляхом зменшення його маси та підвищення загальної енергоефективності роботи машини. Першим напрямом удосконалення є перехід до порожнистої конструкції ротора. Замість суцільного вала пропонується застосування трубчастої конструкції з привареними цапфами по кінцях. Таке конструктивне рішення дозволяє зменшити масу без втрати міцності, оскільки основні крутильні напруження концентруються у зовнішніх шарах перерізу, тоді як центральна частина матеріалу практично не бере участі у сприйнятті навантаження. Другим напрямом є використання високоміцних легованих конструкційних сталей для виготовлення основних елементів ротора. Це забезпечує підвищену стійкість до

втомного руйнування, дозволяє зменшити товщину стінки трубчастого вала та загальну масу конструкції при збереженні необхідного запасу міцності. Третім елементом модернізації є удосконалення привода ротора шляхом застосування більш ефективної закритої редукторної схеми з оптимізованим передатним числом. Це дозволяє знизити втрати потужності, стабілізувати кутову швидкість обертання робочого органу та зменшити динамічні навантаження на систему привода.

У сукупності запропоновані конструктивні зміни забезпечують зниження металоємності машини, підвищення енергоефективності процесу ущільнення кормової маси та покращення експлуатаційної надійності модернізованого пакувальника.

2.3.1. Кінематичний розрахунок робочих органів

Наріжний габаритний розмір розташування робочих елементів на поверхні барабана, що становить $D=540$ мм, зберігається без змін. Це принципове рішення прийнято задля уникнення будь-яких модифікацій у конфігурації пресувальної камери, що забезпечує стабільність та передбачуваність процесу ущільнення.

Гранична швидкість обертання вала головного робочого органу (барабана) визначається за формулою (2.1).

$$n_{\max} = \frac{A}{\sqrt{D}} \quad (2.1)$$

Де A - емпіричний коефіцієнт, величина якого корелюється з типом та характеристиками вантажів, що обробляються. Згідно з даними, наведеними в нормативному джерелі [6], таблиця 39, для обраної групи матеріалів цей коефіцієнт дорівнює 45.

Таким чином, обчислене максимально допустиме значення частоти обертання становить:

$$n_{\max} = 45 / \sqrt{0,54} = 61,6 \text{ хв}^{-1}.$$

Однак, з огляду на конструктивні особливості та вимоги до стабільності роботи, оптимальна робоча частота обертання вала барабана була прийнята на рівні 55 обертів за хвилину.

Продуктивність системи подачі матеріалу, розраховується за відповідною формулою (2.2).

$$Q_B = 47 \cdot D^2 \cdot S \cdot n \cdot \psi \cdot \gamma \cdot c, \quad (2.2)$$

Де γ_B - показник насипної густини переміщуваного матеріалу, що дорівнює 8 кН/м³;

ψ - коефіцієнт, що характеризує ступінь заповнення поперечного перерізу шнека матеріалом, прийнятий як 0,3;

S - це крок різьби подавального шнека, вимірюваний у метрах;

c - коригувальний коефіцієнт, який враховує вплив кута нахилу осі шнекового механізму. В даному конкретному випадку його значення дорівнює одиниці ($c=1$), оскільки вісь набивача розташована горизонтально, тобто кут нахилу становить 0 градусів.

Після підстановки всіх цих параметрів у вищезазначену формулу, розрахункова продуктивність подавального механізму становить:

$$Q_B = 47 \cdot 0,54 \cdot 0,233 \cdot 55 \cdot 0,3 \cdot 8 \cdot 1 = 78 \text{ т/год.}$$

Лінійна швидкість подачі матеріалу, що здійснюється набивачем, розраховується за формулою (2.3). Використовуючи встановлені параметри кроку шнека та робочої частоти обертання, отримуємо значення швидкості V :

$$V = (S \cdot n) / 60 \quad (2.3)$$

$$V = (0,233 \cdot 55) / 60 = 0,21 \text{ м/с.}$$

Нарешті, питома лінійна інтенсивність навантаження на валу визначається за формулою (3.4). З огляду на розраховану продуктивність та швидкість подачі, отримане значення погонного навантаження q становить:

$$q = Q / (3,6 \cdot V) \quad (2.4)$$

$$q = 78 / (3,6 \cdot 0,21) = 103,2 \text{ кг/м.}$$

2.3.2. Визначення силових навантажень на елементи конструкції

Величина осьового зусилля, яка прикладена уздовж осі вала, розраховується за наступною формулою:

$$F_a = q \cdot L \cdot f', \quad (2.5)$$

Де L - представляє собою загальну робочу довжину барабана набивача. У цьому конкретному випадку, довжина встановлена на рівні 3,5 метра, і ця конструктивна характеристика залишається незмінною для даного розрахунку, відображаючи базові параметри конструкції;

q - позначає лінійне навантаження, розподілене вздовж довжини вала, виміряне у кілограмах на метр (кг/м). Це параметр, що характеризує інтенсивність розподілу маси або тиску по довжині елемента;

f' - визначає приведений коефіцієнт тертя між оброблюваною сінажно-силосною масою та поверхнею жолоба, чиє чисельне значення встановлено як 0,85. Цей коефіцієнт враховує опір рухові матеріалу.

Підставивши вказані вихідні дані у рівняння (2.5), отримуємо чисельне значення осьової сили:

$$F_a = 9,8 \cdot 103,2 \cdot 3,5 \cdot 0,85 = 3008,6 \text{ Н.}$$

Обертаючий момент, який передається на вал набивача, є ключовим параметром для визначення його міцності та вибору приводу. Він обчислюється за такою залежністю:

$$T = F_a \cdot r \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi), \quad (2.6)$$

Де α - кут підйому гвинтової лінії або спіралі, розрахований на радіус r ;
 r - є ефективним радіусом, виміряним у метрах, на якому прикладена осьова сила. Це радіус, що визначає плече дії сили.

Кут підйому гвинтової лінії визначається як:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= S / (\pi \cdot r) = 0,233 / (3,14 \cdot 0,2) = 0,04 \\ \alpha &= 20,4^\circ \end{aligned} \quad (2.7)$$

φ — позначає приведений кут тертя, що виникає при взаємодії матеріалу з контактними поверхнями зубів або лопатей набивача. Цей кут прямо пов'язаний з приведеним коефіцієнтом тертя таким чином:

$$\operatorname{tg} \varphi = f' \Rightarrow \varphi \approx 40,4^\circ$$

Після підстановки визначених значень в рівняння (3.6), знаходимо крутний момент:

$$T = 3008,6 \cdot 0,2 \cdot \operatorname{tg}(20,4 + 40,2) = 1100 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для забезпечення функціонування вала набивача з заданими параметрами, необхідно розрахувати потужність, яка повинна бути забезпечена привідним механізмом. Потужність обчислюється за формулою:

$$P = (T \cdot n) / 975 \quad (2.8)$$

$$P = (1100 \cdot 55) / 975 = 62 \text{ кВт}.$$

На підставі отриманих розрахунків, для практичного застосування та з урахуванням необхідного резерву для компенсації можливих втрат, пускових навантажень та забезпечення запасу міцності, приймається рекомендована потужність приводу в 65 кВт.

2.3.3. Перевірочний розрахунок елементів конструкції на міцність

Приймемо до комплексного інженерного аналізу барабана, що набиває, для чого першочергово необхідно розробити його розрахункову схему, візуалізовану на рисунку 3.1. На підставі ретельної конструкторської документації та проєктних рішень, встановлено ключові геометричні параметри елемента: відстань a складає 1300 мм, а відстань b – 2275 мм. Згідно з результатами попередніх розрахунків, виконаних із обов'язковим врахуванням коефіцієнта запасу міцності ($k = 1,2$), визначено наступні експлуатаційні навантаження: крутний момент ($T = 10000 \text{ Н} \cdot \text{м}$) та прикладена сила ($P = 50000 \text{ Н}$). При цьому слід зазначити, що крутний момент є величиною, яка генерує необхідну силу різання. Для забезпечення статичної рівноваги системи та подальшого аналізу міцності, перш за все, визначимо реакції опор.

Застосовуючи фундаментальні принципи статички, а саме рівняння суми моментів відносно точки А, що дорівнює нулю, ми отримуємо:

$$\begin{aligned}\sum M_A &= 0; \\ R_B \cdot (a + b) - F \cdot a &= 0;\end{aligned}\tag{2.9}$$

Шляхом алгебраїчних перетворень цього рівняння, ми можемо обчислити значення реакції в опорі В:

$$R_B = (50000 \text{ Н} \cdot 1300 \text{ мм}) / (1300 \text{ мм} + 2275 \text{ мм}) = 18181.8 \text{ Н.}$$

Таким чином, величина реакції в опорі В становить 18181.8 Н.

З метою забезпечення статичної рівноваги системи та визначення реакційних сил, що виникають в опорах, необхідно застосувати основний принцип статички – рівняння рівноваги моментів. Зокрема, сума всіх моментів відносно обраної контрольної точки, а саме точки В, повинна дорівнювати нулю.

Цей принцип математично виражається як:

$$\sum M_A = 0;$$

Таким чином, рівняння рівноваги моментів щодо точки В набуває вигляду:

$$F \cdot b - R_A \cdot (a + b) = 0;\tag{2.10}$$

Після підстановки числових значень та виконання відповідних арифметичних операцій, розрахунок показує, що значення опорної реакції R_A становить:

$$R_A = (50000 \text{ Н} \cdot 2275 \text{ мм}) / 3575 \text{ мм} = 31818,2 \text{ Н.}$$

Для підтвердження коректності отриманих результатів, а саме величин реакційних сил в опорах, проводимо контрольну перевірку шляхом застосування першого рівняння рівноваги – суми проекцій всіх сил на вертикальну вісь. Згідно з цим принципом, алгебраїчна сума всіх вертикальних сил повинна дорівнювати нулю:

$$\sum F = 0;$$

Підставляючи обчислені значення, отримуємо:

$$R_A + R_A' - F = 31818,2 + 18181,8 - 50000 = 0.$$

Цей результат підтверджує вірність попередніх розрахунків, оскільки сума дорівнює нулю, що свідчить про повну статичну рівновагу.

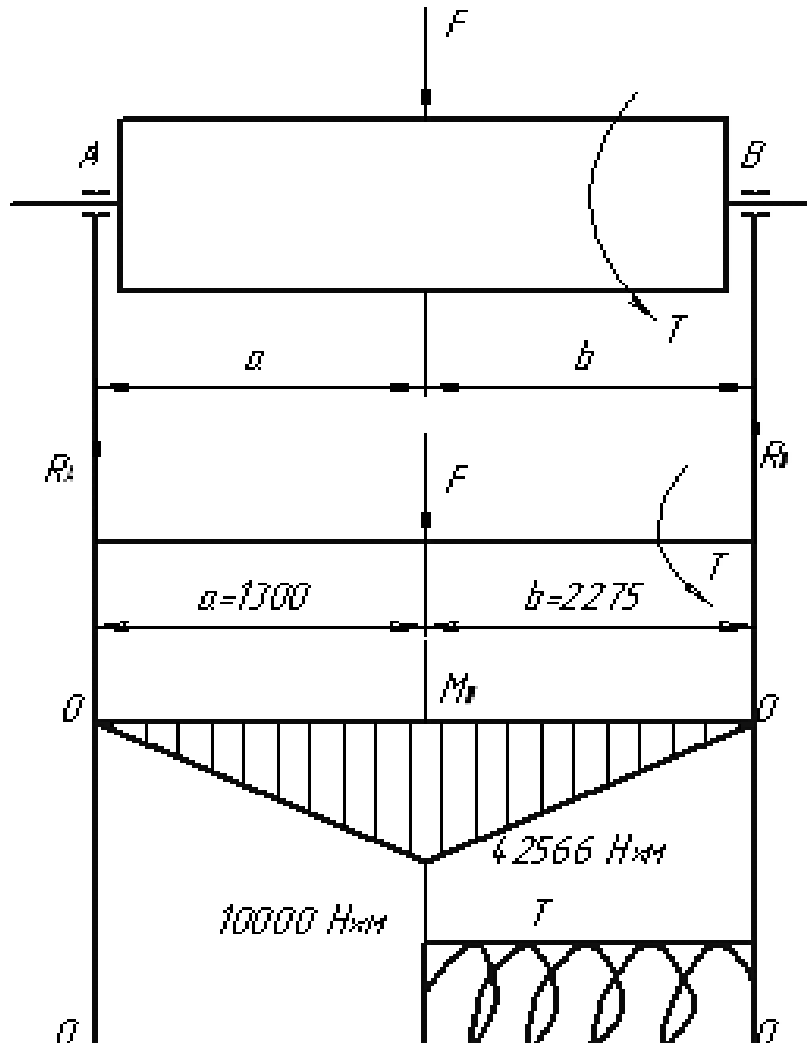


Рис. 2.1. Аналітична модель барабана та графіки розподілу внутрішніх зусиль

Далі, для повного аналізу напружено-деформованого стану елемента, необхідно обчислити значення згинального моменту у критичному або заданому перетині. Використовуючи значення опорної реакції та плеча сили a , визначаємо, що згинальний момент в розглядуваному перетині становить:

$$M_{\text{И}} = R_A \cdot a = 31818,2 \cdot 1,3 = 41364 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.11)$$

Ця величина є ключовою для подальших розрахунків міцності.

Враховуючи одночасну дію як згинальних, так і крутних навантажень на вал, для оцінки загального рівня напружень, необхідно розрахувати

еквівалентний момент. Цей параметр об'єднує вплив обох типів навантажень в єдину величину, що дозволяє застосовувати уніфіковані критерії міцності. Згідно з відповідною формулою, яка враховує компоненти вигину та крутіння, еквівалентний момент дорівнює:

$$M_E = \sqrt{M_H^2 + T^2} = \sqrt{41364^2 + 10000^2} = 42556 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.12)$$

Для забезпечення необхідних експлуатаційних характеристик та міцності, було обрано конструкційний матеріал для виготовлення вала – сталь марки 45. На підставі стандартних довідкових даних для цієї марки вуглецевої сталі, а також з урахуванням особливостей даної конструкції, приймаються наступні ключові параметри: межа витривалості при симетричному циклі напружень (σ_{-1}) становить 432 Н/мм, коефіцієнт впливу концентрації напружень на межу витривалості (ε_δ) дорівнює 0,88 для вуглецевої сталі; коефіцієнт масштабу (β) прийнято 0,96; попередньо встановлене значення коефіцієнта концентрації напружень (K_δ) становить 2,15; а допустимий коефіцієнт запасу міцності (S) встановлений на рівні 3.

Маючи наведені вище параметри, наступним етапом є розрахунок коефіцієнта довговічності. Цей коефіцієнт є критично важливим для оцінки здатності елемента протистояти циклічним навантаженням протягом тривалого часу без руйнування. Для визначення його значення буде використана спеціалізована циклограма напружень, що дозволяє врахувати характер зміни напружень у часі.

На завершальному етапі попереднього розрахунку необхідно встановити загальний номінальний період експлуатації. Отже, сумарна кількість годин роботи даного агрегату або механізму, що передбачена протягом усього його проєктного терміну служби, становить:

$$L_h = 365 \cdot 24 \cdot L \cdot K_r \cdot K_c = 365 \cdot 24 \cdot 8 \cdot 0,8 \cdot 0,33 = 18500 \text{ год} \quad (2.13)$$

Загальна номінальна кількість циклів функціонування протягом усього передбачуваного терміну служби була розрахована як:

$$N_\Sigma = 60 \cdot L_h \cdot n = 60 \cdot 18500 \cdot 730 = 81034902. \quad (2.14)$$

Далі, використовуючи надану циклограму напружень, було обчислено

еквівалентне число циклів N_E за спеціальною формулою:

$$\begin{aligned} N_E &= N_\Sigma (1^m \cdot 0,2 + 0,75^m \cdot 0,5 + 0,2^m \cdot 0,3) = \\ &= 810349020 \cdot (1^9 \cdot 0,2 + 0,75^9 \cdot 0,5 + 0,2^9 \cdot 0,3) = \\ &= 192,5 \cdot 10^6; \end{aligned}$$

Розрахункове значення коефіцієнта довговічності:

$$K_L = \sqrt[m]{\frac{N_o}{N_E}} = \sqrt[9]{\frac{5 \cdot 10^6}{192,5 \cdot 10^6}} > 1, \text{ прийнято } K_L = 1$$

Після встановлення всіх необхідних коефіцієнтів, стало можливим визначити допустиме напруження $[\sigma]$ для матеріалу вала. Це критично важливий параметр, що гарантує надійність конструкції. Розрахунок проводився за наступною формулою:

$$[\sigma] = (\sigma_{-1} \cdot \varepsilon \cdot \beta \cdot K_L) / ([S] \cdot K_\sigma) = (432 \cdot 0,88 \cdot 0,96 \cdot 1) / (3 \cdot 2,15) = 56,6 \text{ Н/мм}^2. \quad (2.15)$$

Отже, діаметр вала у його найбільш навантаженому перерізі встановлено на рівні:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_E}{0,1 \cdot [\sigma_{-1}]}} = \sqrt[3]{\frac{42556000}{0,1 \cdot 56,6}} = 195 \text{ мм.}$$

Цей розрахунок демонструє, що початковий суцільний вал володіє досить значними габаритами: при діаметрі 195 мм його довжина сягає 3575 мм. Відповідно, маса такого монолітного елемента буде становити істотні 822 кг.

З метою ефективного зниження цієї надмірної маси, нами висувається пропозиція оптимізувати конструкцію вала шляхом його трансформації у порожнистий варіант. Приймаючи оптимальне співвідношення між внутрішнім (d_2) та зовнішнім (d_1) діаметрами порожнистого вала, що дорівнює 0,8, та базуючись на зовнішньому діаметрі (d) первісного суцільного вала у 195 мм, ми можемо переглянути його геометричні параметри.

За умови забезпечення ідентичної несучої здатності обох валів ($W_1 = W$), зовнішній діаметр нового порожнистого вала (d_1) буде розрахований як 1,192 від діаметра суцільного вала (d). Це дозволить досягти вражаючої редукції ваги на 49%. Відповідно, зовнішній діаметр d_1 становитиме $195 \text{ мм} \times 1,192 = 232 \text{ мм}$,

а внутрішній діаметр $d_2 = 232 \text{ мм} \times 0,8 = 185 \text{ мм}$. Таким чином, сумарне зменшення ваги становитиме приблизно 403 кг (що є 49% від 822 кг).

На основі технічних довідників здійснюється вибір відповідного безшовного гарячедеформованого трубного прокату згідно з ГОСТ 8732-78. Рекомендований зовнішній діаметр становить 219 мм, а марка сталі – В20. Керуючись інженерно-конструктивними принципами, оптимальним варіантом є труба розміром 219х16 за ГОСТ 8732-78, виготовлена зі сталі марки В20 відповідно до ГОСТ 8731-74.

Беручи до уваги значні коливання вартості металопродукту, впровадження даного рішення дозволить суттєво знизити загальну собівартість виготовлення машини, забезпечуючи значну економічну вигоду.

2.4. Висновки за розділом

У межах даного розділу було здійснено ґрунтовний аналіз будови та архітектури пакувального агрегату AG-BAG RT 8000. Одночасно з цим, особливу увагу було приділено всебічному дослідженню її ключових інженерно-технічних параметрів та експлуатаційних показників. Встановлено, що основним недоліком серійного зразка є надмірна масивність набивача, яка призводить до підвищеного енергоспоживання під час пакування силосу та сінажу, а також до збільшення навантаження на елементи привода.

З метою усунення виявленого недоліку запропоновано конструктивне вдосконалення, що полягає у заміні суцільного вала набивача на трубчасту конструкцію з привареними цапфами. Це дозволило зменшити масу робочого органу при збереженні необхідної міцності та жорсткості. Виконані кінематичні та силові розрахунки підтвердили працездатність і технічну доцільність запропонованого рішення.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА

3.1 Нормативно-організаційні вимоги безпеки праці

Під час механізованої заготівлі, транспортування та пакування стеблових кормів і вологого зернофуражу необхідно забезпечувати дотримання комплексу вимог охорони праці, встановлених чинним законодавством України та гармонізованими європейськими нормами. Їх метою є формування безпечних умов праці, зниження виробничого травматизму та захист здоров'я персоналу.

Нормативною базою у сфері охорони праці є Закон України «Про охорону праці», який визначає загальні принципи державної політики у сфері безпеки праці, обов'язки роботодавця щодо створення безпечних умов праці та права працівників на належний рівень захисту. Додатково технологічні процеси у сільському господарстві регламентуються Правилами охорони праці у сільськогосподарському виробництві (НПАОП 01.0-1.02-18), обов'язковими до виконання на всіх підприємствах аграрного сектору.

Відповідно до нормативних вимог до організації робіт із заготівлі кормів висуваються такі основні вимоги. До роботи допускаються особи віком від 18 років, які пройшли медичний огляд, мають відповідну кваліфікацію та посвідчення на право керування технікою, а також пройшли вступний, первинний та періодичні інструктажі з охорони праці. Виробничі майданчики перед початком робіт повинні бути підготовлені: вирівняні, очищені від сторонніх предметів, із забезпеченими під'їзними шляхами та чітким позначенням зон роботи машин і безпечного руху транспорту.

Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту, зокрема спецодягом, рукавицями, захисними окулярами, респіраторами та взуттям із захисним підноском. Особлива увага приділяється безпечній експлуатації машин із рухомими робочими органами (ротори, шнеки, приводи ВВП). Усі операції з очищення, регулювання та технічного обслуговування

виконуються лише при повній зупинці двигуна та вимкненому приводі.

Європейські вимоги безпеки визначаються, зокрема, Директивою 89/391/ЄЕС щодо покращення безпеки та здоров'я працівників, а також Директивою 2006/42/ЄС «Про безпеку машин», яка встановлює вимоги до конструкції сільськогосподарської техніки, включаючи наявність захисних кожухів, аварійних вимикачів та захисних решіток в зонах роботи механізмів. Стандарт EN ISO 4254-7:2017 регламентує вимоги безпеки до кормозбиральних машин, зокрема допустимі навантаження на органи керування, безпечні відстані до небезпечних зон та вимоги до гідравлічних систем.

Передбачено виконання організаційних заходів: проведення інструктажів перед початком кожного сезону заготівлі, використання справної техніки із захисними пристроями, дотримання безпечної дистанції від робочих зон машин, організація перерв та питного режиму, а також наявність первинних засобів пожежогасіння.

Дотримання зазначених вимог дозволяє мінімізувати ризики травматизму, забезпечити безперебійну роботу технологічних процесів та підвищити загальний рівень безпеки праці на підприємстві.

3.2. Комплекс безпекових вимог та регламент дій оператора при роботі з модернізованим пакувальним комплексом AG-BAG RT 8000

1. Організаційно-профілактичні положення

1.1. Керувати пакувальним агрегатом та здійснювати його налаштування мають право особи, які досягли повноліття (18 років), мають чинне посвідчення тракториста-машиніста відповідної категорії, пройшли попереднє медичне обстеження, а також повний цикл інструктажів (вступний, на робочому місці) та успішно склали залік з перевірки знань безпечних методів праці в агропромисловому виробництві.

1.2. Персонал зобов'язаний неухильно виконувати правила внутрішнього розпорядку компанії та під час зміни застосовувати такий комплект засобів

індивідуального захисту (ЗІЗ):

- спеціальний щільний комбінезон без вільних чи звисаючих елементів конструкції (для унеможливлення затягування в зону обертання привода);
- рукавиці захисні трикотажні з нітриловим або латексним покриттям;
- закриті окуляри з полікарбонатним склом для захисту органів зору від дрібних часток подрібненого силосу;
- індивідуальні протишумові вкладні (беруші) або навушники у разі перевищення номінального рівня звукового тиску від енергетичного засобу;
- респіратор фільтрувальний (при внесенні сухих бактеріальних консервантів та біологічних добавок).

1.3. Виконання будь-яких технологічних операцій на прес-багері особами, які не мають відповідного допуску, або працівниками у стані будь-якого виду сп'яніння чи під дією уповільнюючих реакцію медикаментів, суворо заборонено.

2. Заходи безпеки під час підготовки техніки до зміни

2.1. Перед початком роботи оператор має перевірити правильність одягання спецодягу: застібнути всі гудзики, зафіксувати манжети рукавів, підготувати ЗІЗ.

2.2. За умов вимкненого двигуна трактора та заблокованого привода необхідно провести візуальний моніторинг технічного стану агрегату AG-BAG RT 8000, контролюючи:

- надійність фіксації захисних металевих кожухів редуктора, ланцюгових передач та захисної пластикової лійки карданного вала ВВП;
- відсутність мікротріщин у зварних з'єднаннях модернізованого трубчастого ротора та люфтів у його підшипникових опорах;
- герметичність з'єднань гідравлічної системи керування гальмівними дисками, відсутність перетискань чи зносу рукавів високого тиску (PBT);
- цілісність ізоляції дротів електричної мережі, датчиків щільності набивання та сигнальних ліхтарів.

2.3. Перевірити працездатність кнопок екстреної зупинки агрегату,

наявність противідкатних упорів під колесами пакувальника та справність механізму фіксації петель заземлення.

2.4. Переконатися у відсутності дефектів (проколів, розрізів) на заправленому в касету еластичному полімерному рукаві.

3. Правила безпеки при виконанні технологічного процесу

3.1. Активацію вала відбору потужності (ВВП) трактора дозволяється проводити лише після подачі попереджувального звукового сигналу та за умови, що в радіусі 5 м від бункера та тунелю немає людей.

3.2. Під час роботи пакувального комплексу категорично забороняється:

- виконувати будь-які маніпуляції з обслуговування, змащування, очищення чи налаштування робочих органів;
- знаходитися в безпосередній близькості до натягнутих сталевих тросів гальмівної системи та біля виходу з формувального тунелю;
- залишати кабіну трактора або пульт керування пакувальником без нагляду при увімкненому приводі.

3.3. Необхідно безперервно відстежувати показники манометрів гідросистеми зворотного ходу. Забороняється перевищувати розрахунковий тиск напресування, щоб запобігти аварійному розриву оболонки рукава або деформації модернізованої конструкції вала набивача.

3.3. Висновки за розділом

У цьому розділі окреслено ключові вимоги з охорони праці під час заготівлі стеблових кормів, згідно з українським та європейським законодавством. Також розроблено інструкцію з безпеки праці для оператора модернізованого пакувальника силосу, яка містить правила безпечної експлуатації техніки та використання засобів індивідуального захисту. Дотримання цих положень забезпечить відповідні умови роботи, знизить ризик травмування персоналу та підвищить продуктивність праці.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ

4.1. Формування вихідної інформаційної бази для розрахунків

Грунтовна оцінка техніко-економічної ефективності запропонованих інноваційних інженерних рішень була реалізована шляхом ретельного порівняльного аналізу двох принципово відмінних технологічних систем заготівлі та довготривалого консервування соковитих кормових культур — а саме, традиційного силосу та сучасного сінажу. Всі ключові вихідні інженерно-економічні показники, нормативні коефіцієнти та релевантні технологічні параметри, що є фундаментом для всіх подальших розрахунків та аналізу, були ретельно систематизовані, упорядковані та вичерпно представлені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Базові дані для обчислення економічних показників

Параметр	Інноваційний варіант	Стандартний варіант
Річна тривалість функціонування обладнання, діб	30	30
Капітальні інвестиції в основне устаткування, грн	1250000	2800000
Питома вартість паливно-мастильних матеріалів (ПММ), грн/кг	52,3	52,3
Встановлена потужність агрегатів, кВт	120	180
Капітальні вкладення у будівельні споруди, грн	1208000	3760000
Погодинна тарифна ставка основного персоналу, грн/год	202,50	202,50
Штатний склад обслуговуючого персоналу, осіб	1	1
Річний обсяг виконаних робіт, т/рік	17481,9	17481,9

Стандартний варіант передбачає застосування усталеної, класичної технології, що включає укладання зеленої кормової маси у відкриті наземні залізобетонні силосні траншеї, з подальшим інтенсивним ущільненням та трамбуванням за допомогою потужної гусеничної техніки, зокрема важкого трактора-бульдозера моделі Т-150Д-09. Натомість, інноваційний варіант ґрунтується на впровадженні передової, сучасної технології герметичного

пакування та консервування кормової сировини у спеціальні герметичні полімерні рукави. Для цього задіюється модернізований пакувальний агрегат AG-BAG RT 8000, який ефективно агрегатується з енергетичними засобами (тракторами) середнього класу потужності 1,4–2,0, такими як МТЗ-100 або МТЗ-1221.

4.2. Оцінка економічної ефективності впровадження удосконаленої технології

З метою зіставного аналізу вихідної та модернізованої методики технологічного процесу заготівлі фуражу, основну увагу буде зосереджено на удельних операційних витратах. Такий підхід забезпечить можливість комплексної оцінки продуктивності та економічної обґрунтованості запропонованих інноваційних змін. Структура операційних видатків охоплює такі ключові компоненти, як витрати на оплату праці персоналу, споживання енергетичних носіїв, амортизаційні нарахування, а також видатки на сервісне обслуговування та поточний ремонт обладнання.

Таблиця 4.2

Метрики економічної ефективності системи заготівлі кормових культур

Параметр	Інноваційний варіант	Стандартний варіант
Прогнозований річний економічний зиск, грн	133561,72	–
Удельні операційні витрати, грн/т	10,11	16,46
Удельні приведені витрати, грн/т	11,18	18,82
Енергетична потужність обладнання, кВт	120	180
Щорічний обсяг виробництва, т	17481,9	17481,9
Річне скорочення експлуатаційних видатків, грн	111010,06	–
Додаткові інвестиції в основний капітал, грн.	125000	–
Чисельність операційного персоналу, осіб	1	1
Період окупності модернізації, роки.	1,13	–

4.3. Висновки за розділом

Комплексний порівняльний аналіз узагальнених техніко-економічних показників досліджуваних варіантів інженерних рішень (табл. 4.2) свідчить про суттєву перевагу впровадження запропонованої проєктної технології консервування кормів у герметичних поліетиленових рукавах. За результатами виконаних розрахунків річний економічний ефект від реалізації проєктного варіанта становить 133561,72 грн, що підтверджує його високу економічну ефективність та доцільність впровадження у виробничу практику.

Досягнутий ефект забезпечується насамперед за рахунок зменшення капітальних вкладень, оскільки відбувається відмова від будівництва масивних залізобетонних силосних траншей і переходу до мобільної технології з використанням полімерних рукавів та пакувальника AG-BAG RT 8000, що суттєво скорочує витрати на створення стаціонарної інфраструктури. Додатково економічний результат формується завдяки зниженню експлуатаційних витрат, зокрема енергоємності процесу пакування, витрат палива та технічного обслуговування обладнання, що в сукупності зменшує собівартість заготівлі кормів у розрахунку на одну тонну продукції.

Отримані результати підтверджують швидку окупність проєкту та його практичну ефективність для впровадження в умовах сучасних агропідприємств.

ВИСНОВКИ

За результатами виконання дипломного проєкту, спрямованого на модернізацію технічного забезпечення та підвищення ефективності заготівлі соковитих кормів в умовах агропідприємства, сформульовано комплекс науково-практичних та інженерних висновків.

На основі проведеного аналізу науково та технологічно обґрунтовано доцільність переходу на прогресивну технологію анаеробного консервування рослинної біомаси в еластичних полімерних рукавах. Використання мобільних прес-пакувальників забезпечує стабільну щільність ущільнення, мінімізує вплив людського фактора, повністю ізолює корм від доступу кисню та атмосферних опадів, сприяє збереженню поживної цінності та виключає необхідність будівництва стаціонарних сховищ.

В межах конструкторської частини розроблено та обґрунтовано модернізацію робочого органу прес-пакувальника AG-BAG RT 8000. Запропоновано заміну суцільнометалевого вала роторного набивача на порожнисту трубчасту конструкцію з високоміцної легованої сталі 30ХГСА із звареними кінцевими цапфами, що дозволило суттєво знизити масу вузла, зменшити динамічний момент інерції та знизити навантаження на підшипникові опори і трансмісію. Проведені інженерні розрахунки геометричних, кінематичних і міцнісних параметрів підтвердили працездатність та надійність запропонованого рішення. Отримані результати свідчать, що модернізований вал забезпечує необхідну жорсткість на кручення навіть за пікових навантажень, а розроблена конструкторська документація підтверджує його технологічну реалізованість в умовах виробництва.

Окремо сформовано комплекс організаційно-технічних заходів з охорони праці відповідно до вимог НПАОП 01.0-1.02-18 та європейського стандарту EN ISO 4254-7:2017, а також розроблено інструкцію для оператора з урахуванням специфіки експлуатації модернізованого обладнання, включаючи вимоги безпечного обслуговування, контроль гідросистеми та порядок заміни

полімерних рукавів.

Розрахунок економічної ефективності підтвердив доцільність впровадження розробки, оскільки за рахунок зниження капітальних вкладень у будівельну інфраструктуру та зменшення експлуатаційних витрат, зокрема витрат на паливно-енергетичні ресурси, інтегральний річний економічний ефект становить 133561,72 грн, що підтверджує високу рентабельність запропонованих інженерних рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ВНТП-АПК-01.05. Скотарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми)// Міністерство аграрної політики України (Мінагрополітики України) // Київ – 2005.
2. Машина для заготівлі та приготування кормів// За редакцією В.І. Кравчука, Дослідницьке, УкрНДІВПТ ім. Погорілого – 2009, -136 с.
3. Машина для тваринництва та птахівництва // За редакцією В.І. Кравчука, Ю.Ф. Мельника, Дослідницьке, УкрНДІВПТ ім. Погорілого – 2009, -207 с.
4. Масло І. Молочному тваринництву – надійну техніку і енергозберігаючі технології / І. Масло, А. Фененко // Техніка АПК. – 2000. – № 4. – С. 2–5.
5. Кудревич О. Шлях до високих надоїв / О. Кудревич, М Геймор // Пропозиція. – 2023. – № 3. – С. 84–85.
6. Шкурко Т. Шляхи підвищення ефективності виробництва молока / Т. Шкурко // Тваринництво України – 2023. – № 8. – С. 5–7. 5
7. Адмін Є. Перехід на енергозберігаючі технології виробництва молока та реконструкція молочних ферм / Є. Адмін, О. Борщ // Тваринництво України. – 2002. – № 11. – С. 5–7.
8. В. Кравчук, М. Луценко, М. Мечта. Прогресивні технології заготівлі, приготування і роздавання кормів. - К: Фенікс, 2008 – 104 с.
9. Ібатуллін І., Єрмакова Л. Якісний сінаж - початок ваших прибутків/ І. Ібатуллін, Л. Єрмакова// Пропозиція, № 6, 2022, с. 36-47.
10. Ібатуллін І., Єрмакова Л. Вчимося правильно готувати силос/ Пропозиція, № 8, 2001, с. 43-51.
11. Сайт фірми Bernard Krone Holding GmbH. Катлог продукції [Електронний ресурс]/ Режим доступу: <http://landmaschinen.krone.de/русский/katalog-produkcii/krupnorakujushchie-press-podborshchiki/big-pack/>, вільний. - Загл. з екрана. – мова укр., англ.
12. Сайт фірми RomiLL. Каталог продукції [Електронний ресурс]/ Режим доступу: <http://www.romill.cz>, вільний. - Загл. з екрана. – мова укр., англ.

13. ДСТУ 4397: 2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 15 с.
14. Дудін В.Ю. Експериментальні дослідження малогабаритного подрібнювача соковитих кормів/ В.Ю. Дудін, О.С. Гаврильченко, П.С. Височин // Materials of the XIII International scientific and practical Conference Science and civilization – 2018, Volume 12, January 30 - February 7, 2018.: Sheffield. Science and education LTD – 41-45 p
15. Дудін В.Ю. Формування якості годівлі повнораціонними комбікормами / В.Ю. Дудін, О.С. Гаврильченко, Ю.І. Мудрак, П.І. Черниш // Materiály XIV Mezinárodní vědecko - praktická konference «Moderní vymoženosti vědy - 2018», Volume 8 : Praha. Publishing House «Education and Science» - S. 48-53.
16. Дудін В.Ю. Дослідження енергетичних характеристик процесу змішування сипких кормів/ В.Ю. Дудін, Я.О. Муха, О.Ю. Лук'яненко // Materials of the XIII International scientific and practical Conference Conduct of modern science - 2018, November 30 - December 7, 2018. Construction and architecture. Agriculture. Modern information technology.: Sheffield. Science and education LTD – 41-45 p.
17. Дудін В.Ю. Дослідження процесу різання коренеплодів / В.Ю. Дудін, І.А. Бородавка // Materiały XV Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, «Strategiczne pytania światowej nauki - 2019», Volume 10 Przemysł: Nauka i studia – 36-39 s.
18. 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.
19. Нова сільськогосподарська техніка/ В.А.Ясенецький, В.С.Куліш, М.П. Мечта та ін.; За ред. В.А. Ясенецького. – К.: Урожай, 1991. – 320 с.