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

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

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)

перший (бакалаврський)
(назва освітнього рівня)

тема проекту: «Удосконалення технологічного процесу заготівлі вологого зернофуражу з розробкою вальцевої плющилки»

Виконав: студент 3 курсу, групи 31к-з-ім
освітньої програми___бакалавр_____
спеціальності _208 «Агроінженерія»_
__Ягузинський Руслан Валерійович_____
(прізвище та ініціали)
Керівник доктор філософії, доцент Шевчук М.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Умань – 2026

ЗМІСТ

ВСТУП 6

РОЗДІЛ 1. МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ КОРМОЗАГОТІВЛІ 8

1.1. Обґрунтування необхідності удосконалення технології 8

1.2. Висновки за розділом 9

1.3. Актуальність удосконалення процесу кормозаготівлі 10

1.4. Формування вихідних параметрів для розрахунку 11

1.5. Порівняльний аналіз технологій кормозаготівлі 16

1.5.1. Аналіз технології заготівлі грубих кормів 16

1.5.2. Аналіз технологій заготівлі соковитих кормів 17

1.5.3. Технологічний процес заготівлі вологого зернофуражу 20

1.6. Системний підхід до зберігання різних видів кормів 23

1.7. Висновки за розділом 25

РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТИВНА МОДЕРНІЗАЦІЯ ПЛЮЩИЛКИ ПЗ-3,0 ДЛЯ ЗАГОТІВЛІ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА 26

2.1. Обґрунтування напрямку модернізації вальцевої плющилки 26

2.2. Порівняльна характеристика сучасних конструкційних рішень 27

2.3. Технологія роботи плющильної машини 31

2.4. Технічні розрахунки удосконаленої конструкції плющилки 33

2.5. Висновки за розділом 41

РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ 42
3.1. Нормативно-правові та виробничі аспекти охорони праці 42
3.2. Система безпеки праці при роботі з вальцевою плющилкою 44
3.3. Висновки за розділом 46
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЗАГОТІВЛІ ЗЕРНОФУРАЖУ 47
4.1. Формування вихідних даних для економічного аналізу 47
4.2. Техніко-економічна оцінка проєктного рішення 49
4.3. Висновки за розділом 51
ВИСНОВКИ 53
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 55

ВСТУП

Розвиток сучасного тваринництва неможливий без використання висококалорійних і поживних кормів, які є фундаментом для стабільного приросту біомаси та високих показників молочної продуктивності. Серед інноваційних методів кормовиробництва особливої уваги заслуговує технологія заготівлі вологого зернофуражу. Даний метод дозволяє максимально зберегти природний склад зернівки та нівелювати деструктивні процеси втрати поживних компонентів, що зазвичай виникають при традиційних методах обробки. Плющене зерно високої вологості характеризується кращою біологічною доступністю, а відмова від термічного сушіння суттєво знижує собівартість раціонів для великої рогатої худоби.

Ефективність отримання якісного фуражу безпосередньо залежить від чіткого дотримання регламентів на етапах його збирання та консервації. Ключовим технологічним моментом тут є механічне плющення, яке руйнує оболонку зерна, полегшуючи доступ ферментів тварини до поживних речовин. Проте експлуатація серійних моделей плющилок часто виявляє низку конструктивних недосконалостей: низьку пропускну здатність, швидкий вихід із ладу робочих поверхонь вальців та високу питому енергоємність процесу.

Актуальність обраної теми зумовлена необхідністю модернізації технічних засобів для заготівлі вологого фуражу. Удосконалення конструкції вальцевого апарату дозволить оптимізувати енергетичні витрати, наростити продуктивність лінії та гарантувати високу якість плющення. Впровадження модернізованого обладнання у виробничий цикл агропідприємства сприятиме зміцненню кормової бази та підвищенню загальної рентабельності галузі.

Метою дипломного проєкту є обґрунтування та розробка вдосконаленої вальцевої плющилки, конструктивні параметри якої забезпечать стабільну роботу обладнання та високу якість підготовки зерна вологістю 25–40%.

Для реалізації поставленої мети в роботі вирішуються наступні

завдання:

1. здійснити аналітичний огляд сучасних методів та технічних засобів для консервації вологого зернофуражу;

2. запропонувати інженерні рішення щодо модернізації вузлів вальцевої плющилки;

3. виконати розрахунок основних параметрів процесу деформації зерна;

4. технічно обґрунтувати вибір геометричних та кінематичних характеристик робочих органів;

5. розробити комплекс заходів з охорони праці при експлуатації проектованої техніки;

6. оцінити економічну доцільність впровадження запропонованих удосконалень.

Практична цінність результатів дослідження полягає у можливості інтеграції розробленої машини у технологічні процеси фермерських господарств та кормоцехів з метою зниження витрат на кормовиробництво та покращення якості готового продукту.

РОЗДІЛ 1
МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ КОРМОЗАГОТІВЛІ

1.1. План розвитку тваринницького комплексу

Одним із пріоритетних завдань підприємств є поступове збільшення чисельності молочного стада до 400 голів. Розширення поголів'я дозволить підвищити обсяги виробництва молока, ефективніше використовувати наявну матеріально-технічну базу та забезпечити зростання економічних показників господарства. Важливе місце у програмі розвитку займає вдосконалення системи приготування та роздавання кормів. Для забезпечення повноцінної годівлі тварин планується впровадження технології повнораціонних кормосумішей із використанням сучасного змішувача-роздавача WP Metaltech Polska. Застосування такого обладнання дозволить отримувати однорідні кормові суміші, підвищити ефективність використання кормів та скоротити затрати часу на виконання технологічних операцій.

У зв'язку зі збільшенням виробничих навантажень передбачається модернізація технічного оснащення ферми. Планується оновлення кормороздавального обладнання, удосконалення систем гноєвидалення та переоснащення доїльних установок, що сприятиме підвищенню рівня механізації праці та покращенню санітарно-гігієнічних умов виробництва. Окрема увага приділяється покращенню умов утримання тварин. Проєктом розвитку передбачено реконструкцію тваринницьких приміщень, удосконалення систем вентиляції та освітлення, а також впровадження автоматизованих засобів контролю мікроклімату. Це дозволить створити більш комфортні умови для утримання худоби та позитивно вплине на її продуктивність.

Подальший розвиток тваринництва також пов'язаний із удосконаленням селекційної роботи. Збільшення частки високопродуктивних тварин, використовуючи сучасні методи відбору та якісний генетичний матеріал.

Впровадження інформаційних систем моніторингу продуктивності та фізіологічного стану тварин. Для ефективної роботи з новими технічними засобами та сучасними технологіями значна увага приділятиметься підвищенню кваліфікації персоналу. Планується проведення навчання операторів і спеціалістів щодо експлуатації сучасного обладнання та організації технологічних процесів у тваринництві.

Водночас збільшення поголів'я та підвищення вимог до якості кормів обумовлюють необхідність удосконалення технології заготівлі зернофуражу. У зв'язку з цим перспективним напрямом є впровадження технології заготівлі вологого зерна із застосуванням модернізованої вальцевої плющилки, що дозволить підвищити поживну цінність кормів, скоротити енерговитрати та забезпечити господарство якісною кормовою базою власного виробництва.

1.2. Обґрунтування необхідності удосконалення технології

У сучасних умовах розвитку тваринництва одним із ключових факторів підвищення ефективності виробництва є забезпечення високоякісними та енергетично цінними кормами. Саме тому удосконалення технології заготівлі вологого зернофуражу із впровадженням модернізованої вальцевої плющилки є актуальним і економічно доцільним напрямом розвитку.

В умовах постійного зростання вартості енергоносіїв традиційна технологія сушіння зерна потребує значних енергетичних витрат, що негативно впливає на собівартість кормів. Використання технології консервування зерна з вологістю 25–40 % дозволяє відмовитися від енергоємного процесу сушіння, скоротити виробничі витрати та зберегти більшу кількість поживних речовин у кормі. Крім економічних переваг, вологе плющене зерно характеризується кращою перетравністю та більш ефективним використанням у раціонах великої рогатої худоби. Аналіз структури витрат у молочному скотарстві показує, що значна частка собівартості продукції припадає саме на корми та процеси їх підготовки. Основними складовими цих витрат є енергетичні ресурси,

амортизація техніки, витрати на технічне обслуговування обладнання та оплата праці персоналу. У зв’язку з цим особливого значення набуває вдосконалення технологічних процесів заготівлі та підготовки кормів.

Ефективність використання вологого зернофуражу значною мірою залежить від якості його плющення. Наявність непошкодженого зерна або нерівномірна структура кормової маси знижують рівень засвоєння поживних речовин та погіршують технологічні показники корму. Саме тому модернізація вальцевої плющилки спрямована на підвищення однорідності плющення, зменшення втрат продукції та забезпечення стабільної роботи обладнання. Основною метою удосконалення є зниження питомих витрат на заготівлю зернофуражу за рахунок оптимізації конструкції робочих органів плющилки. Реалізація запропонованих технічних рішень дозволить зменшити енергоємність процесу, підвищити надійність обладнання та покращити якість готового корму відповідно до зоотехнічних вимог.

Таким чином, впровадження модернізованої технології заготівлі вологого зернофуражу створить умови для формування ефективної кормової бази, зниження собівартості продукції тваринництва та підвищення конкурентоспроможності підприємства в сучасних ринкових умовах.

1.3. Актуальність удосконалення процесу кормозаготівлі

Сучасна динаміка продуктивності в галузі тваринництва безпосередньо залежить від стану та якості кормового забезпечення. Дефіцит високоенергетичних кормів та їхня незадовільна поживна цінність призводять до суттєвого недоотримання продукції: генетичний потенціал сучасних кросів та порід реалізується лише на 40–90%. Оскільки витрати на корми у структурі собівартості тваринницької продукції досягають 70%, мінімізація втрат поживних речовин під час їх заготівлі та зберігання є стратегічним завданням для підвищення рентабельності підприємства.

Гострою проблемою залишається високий рівень фізичного та

морального зносу технічного парку. Використання застарілих моделей машин зумовлює високу питому енергоємність процесів і не дозволяє дотримуватися сучасних зоотехнічних вимог до якості корму. Невідповідність номенклатури технічних засобів сучасним агротехнологічним термінам призводить до втрати поживних речовин та вітамінів у процесі збирання врожаю. Світовий досвід вказує на доцільність впровадження гнучких і багатофункціональних технологічних ліній. Закордонні комплекси для кормозаготівлі відзначаються високою пропускною здатністю, автоматизацією контролю якості та можливістю реалізації безперевалочних логістичних схем. Це дозволяє радикально скоротити експлуатаційні витрати та підвищити продуктивність праці операторів.

В українських реаліях, де частка кормових витрат у виробництві молока становить 40–50%, а в м’ясному скотарстві та свинарстві сягає 60–90%, перехід на енергоощадні технології є безальтернативним. Практика доводить, що традиційне подрібнення сухого зерна є енерговитратним і супроводжується великою кількістю пилоподібних фракцій, які погано засвоюються тваринами.

Враховуючи вищезазначене, для підвищення ефективності молочнотоварної ферми необхідно провести модернізацію технологічної лінії шляхом впровадження процесу заготівлі вологого зернофуражу. Центральною ланкою цієї лінії має стати вдосконалена вальцева плющилка. Така розробка забезпечить:

- оптимальний гранулометричний склад готового корму;
- високу збереженість поживних речовин за рахунок консервації зерна у вологому стані;
- суттєве зниження питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів на одиницю готової продукції.

1.4. Формування вихідних параметрів для розрахунку

Основою для проектування ефективної технологічної лінії заготівлі та

розподілу кормів є точне визначення чисельності тварин і розрахунок їхнього річного енергетичного балансу. Відповідно до стратегії розвитку, розробленої в першому розділі, розрахункове поголів’я тваринницького комплексу складе 567 голів. Детальний розподіл за віковими та виробничими групами наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Технологічна структура стада на розрахунковий період

Чисельність, гол	Функціональна група	Питома вага в стаді, %
567	У підсумку	100
400	Корови (маточне поголів'я)	67
20	Молодняк (до 1 року)	4
85	Телиці різних вікових груп	16
62	Нетелі	13

** Враховано реалізацію телят у 20-денному віці*

З метою гарантування оптимального та збалансованого харчування поголів'я нашого господарства, була успішно імплементована стратегія використання адаптованого раціону, який повною мірою відповідає унікальним агрокліматичним умовам та наявній кормовій базі Центрального регіону України. На підставі цього обґрунтованого раціону було здійснено комплексний розрахунок як індивідуальної річної потреби в кормах для кожної окремої корови, так і сукупної потреби для всього наявного поголів'я. Зазначені розрахунки базуються на суворому дотриманні чинних зоотехнічних нормативів годівлі та глибокому аналізі фактичного споживання кормових ресурсів тваринами, що детально відображено у відповідних таблицях 1.2 – 1.4.

Таблиця 1.2

Річні нормативи споживання кормових ресурсів на одну голову великої рогатої худоби, кг

Тип корму	Літній період	Зимовий період
Сінаж	-	840
Концентровані корми	780	1057
Силос кукурудзяний	-	3150
Зелена маса	7130	
Коренеплоди (буряки)	-	1470
Сіно	-	840

Дані, представлені в таблиці 1.2, ілюструють, що у літній період раціон корів передбачає використання 7130 кг зелених кормів та 780 кг концентрованих добавок. Натомість, у зимовий період, структура кормової бази формується з 840 кг сінажу, 1057 кг концентрованих кормів, 3150 кг силосу, 1470 кг коренеплодів (зокрема, буряків) та 840 кг сіна.

Таблиця 1.3

Щоденний раціон харчування для молодняка віком до одного року

Тип корму	Літній період	Зимовий період
У підсумку	9,213	9,913
Силос	-	2,2
Мікрелементи	0,013	0,013
Коренеплоди (буряки)	-	2,2
Молоко	3,9	3,3
Концентровані корми	1,4	1,1
Зелена маса	3,9	-
Сіно	-	1,1

Дані, представлені у таблиці 1.3, ілюструють щоденний раціон харчування для молодняка віком до одного року, розділений на літній та зимовий періоди. Загальний обсяг споживання кормів демонструє невеликі коливання між періодами: у теплий період року він становить 9,213 кг, тоді як у холодний період зростає до 9,913 кг. У літній сезон раціон переважно складається з молочних продуктів (3,9 кг), зеленої маси (3,9 кг) та концентрованих кормів (1,4 кг). Додатково включаються мікроелементи у незначній кількості (0,013 кг). При цьому силос, коренеплоди та сіно в даний період не використовуються. Натомість у зимовий сезон структура раціону суттєво змінюється. Вона включає силос (2,2 кг), коренеплоди (зокрема, буряки – 2,2 кг), сіно (1,1 кг), а також молоко (3,3 кг) та концентровані корми (1,1 кг). Кількість мікроелементів залишається незмінною (0,013 кг). Зелені корми в зимовому раціоні відсутні.

Таблиця 1.4

Структура добового раціону для телиць та нетелів

Компонент раціону	Літній період	Зимовий період
У підсумку	30,74	27,74

Сіно	-	4,5
Мікрелементи	0,14	0,14
Концентровані корми	0,6	0,6
Зелена маса	30	-
Силос	-	20
Коренеплоди (буряки)	-	2,5

Річна потреба у кормах для основного стада великої рогатої худоби визначається згідно з аналітичним виразом (1.1):

$$G_{рк} = n_к G_i / 1000, m \quad (1.1)$$

Де G_i – індивідуальна річна норма споживання і-го виду корму на одну голову корови, дані щодо якої представлені у таблиці 1.2;

$G_{рк}$ – щорічний обсяг кормових одиниць для корів, т.;

$n_к$ – загальна чисельність поголів'я тварин на тваринницькому комплексі, згідно з даними, наведеними у таблиці 1.1.

З огляду на цю методику, річний обсяг потреби у сіні становить:

$$G_{рк}^{сіна} = 400 \cdot 840 / 1000 = 336 m .$$

Подібні обчислення послідовно виконуються для всіх інших категорій кормових ресурсів, а всі здобуті показники та висновки систематизуються у відповідній довідковій таблиці 1.5. Особливу увагу слід приділити молодому поголів'ю великої рогатої худоби, а саме: нетелям, телицям, що перетнули річний віковий рубіж, а також молодняку віком до одного року. Для цих груп тварин їхній загальний річний обсяг потреби у кормах розраховується та встановлюється, ґрунтуючись на точно визначених добових нормативах споживання, які детально викладені та стандартизовані у довідкових таблицях 1.3 та 1.4, слугуючи основою для точного планування раціону.

Річний обсяг і-го виду корму для цих категорій тварин:

$$G_p = \frac{n_i (G_{с.л.} \cdot t_л \cdot к + G_{с.з.} \cdot t_з \cdot к)}{1000}, m \quad (1.4)$$

Де $t_л$, $t_р$ – тривалість літнього та зимового періодів утримання і годівлі, виражена у днях;

$G_{с.л}$, $G_{с.з}$ – щоденна потреба в конкретному виді корму протягом літнього

та зимового періодів відповідно, у кілограмах;

к – коефіцієнт забезпечення резервного запасу кормових засобів, діапазон якого становить 1,05–1,25;

G_p – щорічний обсяг потреби у і-му виді корму, вимірюваний у тоннах.

Результати цих обчислень систематизовано та представлено у Таблиці 1.5.

Зокрема, як ілюстративний приклад, щорічна потреба в силосі, призначеному для молодняку великої рогатої худоби – нетелів та телиць, вік яких перевищує один рік – розраховується відповідно до встановлених норм і становитиме певну величину:

$$G = \frac{(62+85)\cdot(20\cdot 210\cdot 1{,}25)}{1000} = 771{,}8m$$

Далі, стосовно всіх інших категорій кормових ресурсів та для кожної вікової групи тварин, обчислення виконуються за подібною методологією та аналогічними принципами, а всі отримані показники також належить реєструвати у зазначеній таблиці 1.5 для забезпечення прозорості та послідовності обліку.

Таблиця 1.5

Щорічні потреби тваринницького господарства у кормових ресурсах, т

Щорічна потреба у кормових ресурсах, т	Компонент раціону	Молодняк віком до 12 місяців	Корови	Телиці та нетелі віком понад 12 місяців
8,13	Мікрелементи	0,23	0	7,9
516,2	Сіно	6,6	336	173,6
779,4	Концентровані корми	10,8	734,8	33,8
3654,1	Зелені корми	16,0	2852	786,1
684,6	Коренеплоди (буряки)	11,7	588	84,9
336	Сінаж	0	336	0
2045,1	Силос кукурудзяний	13,3	1260	771,8

1.5. Порівняльний аналіз технологій кормозаготівлі

1.5.1. Аналіз технології заготівлі грубих кормів

Одним із ключових компонентів раціону великої рогатої худоби є сіно, оскільки забезпечує надходження структурної клітковини та сприяє нормальному функціонуванню рубцевого травлення. Його якість значною мірою визначається рівнем вологості, який повинен становити 14–17%. Дотримання цього показника дозволяє стабілізувати кормову масу під час зберігання, запобігти розвитку плісняви та максимально зберегти біологічно цінні речовини, зокрема білки та каротин, що містяться у рослинній сировині.

У сучасній практиці кормовиробництва застосовуються різні технологічні підходи до заготівлі сіна, кожен із яких має свої особливості, переваги та обмеження. Першим і найпоширенішим є технологія розсипного сіна, яка базується на природному висушуванні скошеної трави в валках із подальшим збиранням та скиртуванням. Незважаючи на простоту реалізації та низькі капітальні витрати, дана технологія суттєво залежить від погодних умов і характеризується значними втратами поживних речовин, які можуть сягати 30–40%, переважно за рахунок осипання листкової частини рослин. Другим варіантом є заготівля сіна з активним вентилюванням, яка передбачає досушування попередньо підв’яленої маси за допомогою стаціонарних вентиляційних установок. Такий підхід дозволяє отримати корм високої якості, однак потребує значних енергетичних витрат та суттєвих інвестицій у обладнання. Третім є пресова технологія заготівлі сіна, що передбачає формування щільних тюків або рулонів із підсушеної трав’яної маси. Даний спосіб є найбільш збалансованим з точки зору енергозатрат, втрат поживних речовин та зручності подальшого використання корму.

З урахуванням виробничих умов доцільним є впровадження саме пресової технології. Такий вибір обґрунтовується низкою техніко-економічних переваг. Зокрема, за рахунок скорочення кількості польових операцій

забезпечується зменшення втрат поживних речовин у 1,5–2 рази порівняно з традиційним методом. Крім того, підвищена щільність тюків дозволяє ефективніше використовувати транспортні засоби та складські площі, що позитивно впливає на логістику кормозаготівлі.

Не менш важливим є економічний ефект, оскільки застосування прес-підбирачів дає можливість знизити трудові витрати на 15–18%, а витрати пально-мастильних матеріалів — в межах 10–40% залежно від умов транспортування. Додатковою перевагою є зручність використання тюків у складі змішаних раціонів при завантаженні у кормозмішувачі. Зберігання заготовленого сіна передбачено у капітальному сховищі відповідно до розрахункової річної потреби 516,2 т. Для цього обрано типовий проєкт ТП 801-306. Сховище має місткість 700 т, що забезпечує необхідний страховий запас, габарити 18 × 48 м та виконане у вигляді закритої ангарної споруди, яка захищає корм від впливу атмосферних факторів. Конструкція передбачає також можливість механізованого завантаження та вивантаження сіна, що підвищує ефективність виробничих процесів.

Таким чином, запропонована технологічна схема дозволяє забезпечити стабільну якість грубих кормів, мінімізувати втрати поживних речовин і створити надійну кормову базу для тваринницької галузі.

1.5.2. Аналіз технологій заготівлі соковитих кормів

Силос та сінаж відіграють центральну роль у забезпеченні енергетичних потреб та вітамінного балансу поголів'я великої рогатої худоби. Ці високоякісні соковиті корми формують основну масу раціону тварин упродовж всього року, що є життєво важливим для їхнього добробуту. Від їхнього стабільного надходження та високої біологічної цінності безпосередньо залежить не тільки загальний стан здоров'я тварин, але й критично обумовлюється обсяг та якість їхньої молочної продуктивності. Для отримання якісного сінажу перевага надається бобовим культурам, зокрема люцерні та конюшині, які скошуються у

фазі бутонізації, коли в рослинах зберігається максимальний вміст перетравного протеїну, що визначає поживну цінність корму.

У сучасній практиці кормовиробництва застосовують кілька основних технологій заготівлі та зберігання пров'яленої зеленої маси. Наземне ущільнення у буртах, курганах або траншеях є традиційним способом, який передбачає трамбування маси важкою технікою для витіснення повітря. Ефективність такого методу значною мірою залежить від якості ущільнення та організації робіт. Вертикальні сховища у вигляді башт забезпечують високий рівень герметизації та стабільні умови зберігання, однак потребують значних капітальних вкладень і витрат на обслуговування. Пакування у рулони або тюки з використанням плівки дозволяє здійснювати консервування корму порційно, що підвищує гнучкість технологічного процесу та зменшує потребу у стаціонарних спорудах. Найбільш сучасним і технологічно ефективним способом є зберігання у полімерних рукавах. Така технологія забезпечує швидке створення анаеробного середовища, що є необхідною умовою для якісного молочнокислого бродіння.

Зберігання кормів в рукавах дозволяє мінімізувати доступ кисню, що, у свою чергу, зменшує розвиток небажаної мікрофлори, зокрема маслянокислих бактерій та пліснявих грибів, які часто виникають при традиційному силосуванні у траншеях. Перевагами даної технології є висока якість ферментації, відсутність необхідності у будівництві капітальних сховищ, можливість розміщення рукавів безпосередньо біля тваринницьких приміщень, а також екологічна безпека завдяки відсутності витоку силосного соку в ґрунт. Основним недоліком є необхідність регулярного використання полімерної плівки, однак ці витрати компенсуються значним зниженням втрат поживних речовин, які зменшуються з 15–20 відсотків до 3–5 відсотків.

На основі розрахованих обсягів заготівлі виконується визначення кількості пакувального обладнання за формулою:

$$n = \frac{G_{сил+сінаж}}{}, \quad (1.5)$$

$$W_ч \cdot T \cdot N$$

Де Т- є тривалістю робочого періоду, що становить вісім годин;

$W_ч$- годинна продуктивність агрегату (для УСМ-1 прийнято 30 тонн за годину);

N- період заготівлі, днів.

Проводячи підстановку зазначених числових значень та специфічних параметрів, характерних для виробничих умов діяльності, ми обчислюємо та отримуємо наступний показник:

$$n = \frac{2045,1+336}{30 \cdot 8 \cdot 10} = 0,99.$$

Відтак, на підставі проведених розрахунків, можна зробити висновок, що для повноцінного та ефективного забезпечення безперервності технологічного процесу пакування цілком вистачає експлуатації лише одного пакувального агрегату моделі УСМ-1, візуальне представлення якого наведено на рисунку 1.5.



Рис. 1.5. Оглядове зображення пакувальника моделі УСМ-1

1.5.3. Технологічний процес заготівлі вологого зернофуражу

Традиційна система зберігання зернофуражу при умові його попереднього досушування до вологості 12–14% є енергоємною та призводить до втрат частини поживних речовин. У сучасних умовах більш доцільним є впровадження технології заготівлі вологого зерна у фазі воскової стиглості з вологістю 35–40%. Такий підхід дозволяє виключити стадію штучного сушіння та зберегти вищу біологічну цінність корму.

Технологічний процес передбачає послідовне виконання операцій: збирання зерна зернозбиральними комбайнами у фазі воскової стиглості, транспортування маси до пункту обробки, механічне плющення зерна на вальцевій плющилці ПЗ-3,0, внесення консервантів на основі органічних кислот для стабілізації процесів бродіння та подальше пакування готової маси у полімерні рукави із забезпеченням герметичних умов зберігання. Плющення зерна є ключовим етапом технології, оскільки забезпечує руйнування зовнішньої оболонки та підвищує доступність крохмалю для ферментативного розщеплення у рубці тварин, що позитивно впливає на засвоюваність корму та продуктивність ВРХ.

Розрахунок необхідної кількості плющильного обладнання виконується за залежністю:

$$n = \frac{G_{к.к.}}{W_ч \cdot T \cdot N}, \tag{1.6}$$

Де $W_ч$ - погодинна продуктивність технологічного агрегату (для моделі ПЗ-3,0 цей показник становить 6 тонн на годину);

Т- тривалість однієї робочої зміни, яка дорівнює 8 годинам;

N- загальна кількість операційних днів у межах певного періоду, що визначається тривалістю фази воскової стиглості зерна кукурудзи, яка складає 16 діб.

Підставляючи вихідні дані, отримуємо:

$$n = 779{,}4 / (6 \cdot 8 \cdot 16) \approx 1{,}01$$

Отриманий результат свідчить, що для забезпечення технологічного процесу достатньо однієї одиниці плющилки ПЗ-3,0.

Транспортування плющеного зерна від місця обробки до пакувального комплексу здійснюється тракторними агрегатами у складі МТЗ-82 з причепом 2ПТС-4. Необхідна кількість транспортних засобів визначається через добовий обсяг перевезень і продуктивність одного агрегату.

Мінімальна кількість мобільних транспортних засобів, необхідних для забезпечення своєчасного транспортування зерна до пункту пакування, розраховується за формулою:

$$n_{моб} = i_p / i_1 \tag{1.7}$$

Де $i_р$ – сумарна кількість рейсів, що підлягають виконанню;

i_1 – продуктивність однієї транспортної одиниці за робочу зміну (кількість рейсів).

$$i_p = \frac{G_{доб}}{G_{моб}}, \tag{1.8}$$

Де $G_{доб}$ - позначає сукупну масу переміщених матеріалів протягом доби, що вимірюється в кілограмах.

$$G_{доб} = G_{к.к} / N = 779 / 16 = 48{,}6 \text{ т/добу} \tag{1.9}$$

Вантажопідйомність мобільного агрегату (2ПТС-4М) становить:

$$G_{моб} = 4 \text{ т}$$

Кількість рейсів, необхідних для перевезення добового обсягу корму, визначається за формулою:

$$i_p = G_{доб} / G_{моб} = 48{,}6 / 4 = 12{,}1 \text{ рейсів}$$

Далі визначається кількість рейсів, які може виконати один мобільний агрегат за зміну, з урахуванням тривалості транспортного циклу:

$$i_1 = (t_{зм} \cdot 3600) / T_{ц.моб} \tag{1.10}$$

Де $T_{ц.моб}$ – тривалість одного транспортного циклу мобільного засобу, с.

Ця залежність показує, скільки повних рейсів агрегат може виконати за одну зміну з урахуванням часу на рух, завантаження та розвантаження.

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

Де T_x – показник тривалості переміщення рухомої одиниці у стані без корисного навантаження, що виражається у секундах (с).

$$T_x = l_{сп} / V_x \quad (1.12)$$

Де $l_{сп}$ — відстань від плющилки до місця зберігання зернофуражу, $l_{сп}$ = 200 м

V_x — швидкість руху незавантаженого агрегату, 4,2 м/с.

Підставляючи значення, отримуємо:

$$T_x = 200 / 4{,}2 = 47{,}6 \text{ с}$$

Далі визначається тривалість завантаження причепа, яка розраховується окремо з урахуванням продуктивності плющилки:

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

Де $Q_з$ – визначає продуктивність подавального пристрою, виражену в кілограмах на годину (кг/год). Пропускна здатність системи завантаження комбікормової сировини встановлюється на рівні, ідентичному продуктивності вальцьового агрегату, що становить 6000 кг/год.

$$T_{зав} = (3600 \cdot 4000) / 6000 = 2400 \text{ с}$$

Далі визначається тривалість переїзду завантаженого агрегату до місця зберігання корму:

$$T_p = l_{сп} / V_p = 200 / 2{,}8 = 71{,}4 \text{ с} \quad (1.14)$$

Де $V_р$– Величина швидкості переміщення завантаженої технічної одиниці становить 2,8 м/с.;

$T_{роз}$ – тривалість операції розвантаження:

$$T_{роз} = (3600 \cdot G_{моб}) / W_{пак} = (3600 \cdot 4) / 30 = 480 \text{ с}$$

Далі загальний час транспортного циклу визначається як сума всіх складових: холостого переїзду, завантаження, руху з вантажем та розвантаження:

$$T_{ц.моб} = 47{,}6 + 2400 + 71{,}4 + 480 = 2999 \text{ с}$$

Кількість рейсів, які може виконати один мобільний агрегат за зміну, становить

$$i_ц = \frac{3600 \cdot 8}{2999} = 9,6 .$$

Необхідна кількість агрегатів визначається як:

$$n_{моб} = i_р / i_1 = 12,1 / 9,6 = 1,26$$

Отримане значення округлюється у більшу сторону з урахуванням безперервності технологічного процесу.

Отже, для забезпечення стабільної роботи лінії заготівлі приймаємо 2 мобільні агрегати.

1.6. Системний підхід до зберігання різних видів кормів

Для забезпечення безперервного процесу годівлі тварин та збереження поживної цінності кормів протягом усього періоду експлуатації необхідно передбачити відповідну систему їх зберігання. Кожен вид корму характеризується специфічними фізико-хімічними властивостями, тому потребує окремих умов зберігання та відповідної складської інфраструктури.

На основі розрахованої річної потреби господарства у кормових буряках, яка становить 684,6 т, для зберігання приймається типове механізоване сховище ТП 813-154. Проєктна місткість сховища становить 800 т, що дозволяє не лише забезпечити потребу ферми, а й створити резервний запас корму. Габаритні розміри споруди становлять 12 × 42 м. Конструкція сховища забезпечує захист кормів від атмосферних опадів, а система вентиляції дозволяє підтримувати необхідний температурно-вологісний режим для мінімізації втрат продукції.

Для зберігання мікродомішок і мінеральних добавок необхідно передбачити герметичні ємності, які унеможливлюють зволоження та псування компонентів. Необхідний об’єм бункера визначається за формулою:

$$V^{пат} = (G_р{}^{м.д} \cdot \psi) / (\varphi \cdot \rho_{м.д.}) \qquad (1.15)$$

Де φ – коефіцієнт заповнюваності ємності;

$G_р^{м.д.}$– річний обсяг потреби у мікродомішках, інформація щодо якого

наведена у таблиці 1.5.;

Ψ – коефіцієнт резерву місткості.

Для умов господарства річна потреба в мікродомішках становить 8,13 т, коефіцієнт запасу приймається ψ = 1,4, коефіцієнт заповнення бункера φ = 0,9, а насипна щільність мікродомішок — 1,8 т/м³. Після підстановки значень отримуємо:

$$V^{nam} = \frac{8,13 \cdot 1,4}{0,9 \cdot 1,8} = 7,17 м^3.$$

Враховуючи отриманий результат та необхідність створення резерву місткості, для використання на фермі приймається стандартний бункер об’ємом 8 м³.

Запропонована система зберігання кормів забезпечує стабільність технологічного процесу годівлі, сприяє зменшенню втрат поживних речовин та створює необхідний страховий запас кормів для безперебійної роботи молочнотоварної ферми.

1.7. Висновки за розділом

Для заготівлі силосу та сінажу обрано технологію консервування у полімерних рукавах, яка забезпечує стабільні анаеробні умови та мінімізує втрати сухої речовини під час ферментації. Результати розрахунків підтвердили, що для забезпечення потреб господарства достатньо використання одного пакувальника УСМ-1. Проведений аналіз також підтвердив ефективність технології заготівлі вологого зернофуражу при вологості зерна 35–40%. Встановлено, що для переробки річного обсягу концентрованих кормів в межах оптимального агротехнічного терміну достатньо однієї плющилки ПЗ-3,0 та двох транспортних агрегатів у складі трактора МТЗ-82 і причепа 2ПТС-4. Запропонований комплекс технічних і технологічних рішень дозволяє створити стабільну кормову базу для молочнотоварної ферми, знизити енергоємність процесів заготівлі кормів та підвищити ефективність використання кормових

ресурсів.

Установлено, що центральним елементом технологічної лінії заготівлі концентрованих кормів є вальцева плющилка ПЗ-3,0, від ефективності роботи якої залежить якість підготовки зернофуражу та продуктивність усього комплексу. У зв’язку з цим у наступному розділі буде розглянуто конструктивне удосконалення робочих органів плющилки з метою підвищення її надійності та покращення якості плющення зерна.

РОЗДІЛ 2
КОНСТРУКТИВНА МОДЕРНІЗАЦІЯ ПЛЮЩИЛКИ ПЗ-3,0 ДЛЯ ЗАГОТІВЛІ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА

2.1. Обґрунтування напрямку модернізації вальцевої плющилки

Модернізація технічних засобів для підготовки концентрованих кормів є одним із пріоритетних напрямів інтенсифікації тваринництва. Традиційні способи механічної обробки зерна, зокрема подрібнення молотковими дробарками та екструдування, поступово поступаються технології плющення, що базується на пластичній деформації зернівки між вальцями. Це зумовлено фізіологічними особливостями травлення жуйних тварин та необхідністю максимального збереження поживної цінності корму.

Зоотехнічна доцільність використання плющеного зерна визначається такими основними перевагами: руйнування оболонки без надмірного пилоутворення: на відміну від дроблення, плющення забезпечує порушення цілісності оболонки зерна без його подрібнення до пилоподібної фракції. Це сприяє доступу ферментів рубцевої мікрофлори до внутрішніх поживних речовин; збереження структури корму: утворення пластівців оптимальної товщини стимулює жувальну активність тварин і підвищує слиновиділення, що сприяє стабілізації кислотно-лужного балансу в рубці та знижує ризик ацидозів; підвищення засвоюваності поживних речовин: наявність мікротріщин у зерні збільшує площу контакту з травними соками, що підвищує засвоєння протеїну та крохмалю на 10–15 % порівняно з подрібненим зерном.

Аналіз експлуатації базової моделі плющилки ПЗ-3,0, що використовується показав необхідність її конструктивного вдосконалення. Незважаючи на достатню продуктивність (6 т/год), існуюча конструкція має низку недоліків:

- нерівномірність робочого зазору між вальцями, що призводить до неповного плющення або пропуску зерна;

- недостатня зносостійкість робочих органів при обробці вологого зерна, особливо кукурудзи;
- підвищена енергоємність через недосконалу кінематику приводу.

Метою модернізації плющилки ПЗ-3,0 є удосконалення конструкції вальців та механізму регулювання робочого зазору. Це дозволить забезпечити стабільну якість плющеного зерна незалежно від культури, підвищити продуктивність без збільшення встановленої потужності та збільшити ресурс роботи основних вузлів у важких умовах експлуатації.

У наступних підрозділах буде виконано аналіз технічних рішень та наведено розрахунково-конструкторське обґрунтування запропонованих удосконалень плющилки ПЗ-3,0.

2.2. Порівняльна характеристика сучасних конструкційних рішень

Плющення зерна є одним із стратегічних етапів у сучасному кормовиробництві, що знайшло широке відображення у світовій аграрній практиці. Найбільший досвід експлуатації відповідного обладнання накопичений у США, де понад 60% фермерських господарств застосовують вальцеві агрегати для підготовки раціонів. Аналогічні тенденції спостерігаються в Італії, Англії, Канаді, Німеччині та Новій Зеландії, де технологія отримала визнання завдяки високій економічній рентабельності. Головною перевагою плющилок перед іншими методами деструкції зерна є їхня енергоефективність: питомі витрати електричної енергії на одиницю готової продукції тут є мінімальними. Окрім цього, тривалий експлуатаційний ресурс робочих органів робить цей тип машин пріоритетним для довгострокового використання у господарствах.

Конструктивне вдосконалення зернових плющилок відбувалося паралельно з інтенсифікацією сільськогосподарського машинобудування. Якщо перші покоління машин комплектувалися гідравлічним приводом, що працював від систем трактора, то сучасне обладнання базується на використанні

автономних електродвигунів або валів відбору потужності (ВВП). Це дозволило досягти високої мобільності та адаптивності техніки до різних умов експлуатації. Базовим робочим органом більшості моделей залишається пара вальців, що обертаються назустріч один одному. Технологічний цикл передбачає гравітаційне надходження сировини з бункера безпосередньо в зону контакту, де під дією стискального зусилля відбувається трансформація зернівки у пластинчасту структуру.

Ключовим фактором, що визначає продуктивність та якість процесу, є характеристики вальців. У класичних модифікаціях досі широко застосовується вибілений чавун, який цінується за оптимальне поєднання зносостійкості та низької собівартості. Водночас інноваційні моделі все частіше комплектуються сталевими вальцями з поверхневим термозміцненням. Попри вищу ціну, вони мають меншу масу та кращу опірність абразивному зносу. Вибір профілю поверхні — гладкої або рифленої — залежить від стану вихідного зерна: якщо гладкі поверхні краще підходять для обробки сухої маси, то рифлені є незамінними при роботі з вологим зернофуражем, оскільки забезпечують надійне захоплення та стабільну якість плющення незалежно від вологості сировини.

Експлуатаційні можливості сучасних вальцевих агрегатів дозволяють ефективно обробляти зернову сировину з різним рівнем вмісту вологи. Оптимальним режимом вважається робота із зерном, вологість якого перевищує 20%. У такому стані механічна дія вальців призводить до формування цілісних еластичних пластівців, що мають максимальну біологічну та кормову цінність для організму тварин. Натомість при обробці сухої маси (з вологістю 14–15%) спостерігається інтенсивне розколювання зернівки на дрібні фракції, що за своїми характеристиками наближає цей процес до звичайного подрібнення. Раціональність конструкції більшості новітніх моделей забезпечується використанням самопливної схеми подачі сировини з бункера безпосередньо до робочих органів. Таке рішення дозволяє не лише спростити кінематику машини, а й суттєво мінімізувати питомі енерговитрати під час

виконання технологічних операцій.

Світова практика підтверджує високу результативність впровадження вальцевих технологій у різних кліматичних зонах. У США та Канаді основний акцент робиться на заготівлі зерна воскової стиглості, яке після плющення піддається консервації та тривалому зберіганню у полімерних рукавах, що гарантує збереження поживних речовин на рівні 95–97%. Європейські аграрії, зокрема в Англії та Німеччині, орієнтують використання плющеного зернофуражу на інтенсивне молочне скотарство для стимуляції продуктивності стада. Що стосується вітчизняного ринку, то тут переважають моделі з чавунними вальцями (гладкими або рифленими), які цінуються за конструктивну простоту та надійність в експлуатації. Проте, порівняно із провідними зарубіжними аналогами, вони часто потребують вдосконалення в контексті універсальності та пропускної здатності.

Для детального аналізу існуючого ринку технічних засобів та обґрунтування подальшої модернізації базової моделі, нижче наведено порівняльні характеристики найбільш поширених зразків вальцевих плющилок. Підсумовуючи проведений огляд, можна стверджувати, що ефективність функціонування вальцевих агрегатів детермінується сукупністю технічних чинників: конфігурацією робочих органів, кінематичною схемою приводу, фізико-механічними властивостями матеріалу вальців та архітектурою системи завантаження сировини. Досягнення максимальних показників продуктивності за одночасного забезпечення високої якості корму потребує впровадження прецизійних механізмів регулювання міжосьового зазору та використання компонентів із підвищеним рівнем зносостійкості.

З огляду на це, подальша частина дослідження буде зосереджена на глибокому аналізі конструктивних особливостей плющилки ПЗ-3,0, що експлуатується в умовах господарства, та обґрунтуванні шляхів її технічної модернізації. У сегменті вітчизняного обладнання найбільш затребуваною залишається плющилка зерна ПЗ-3,0. Її функціональне призначення полягає у

Таблиця 2.1

Порівняльний аналіз технічних характеристик вальцьових агрегатів для плющення зерна

Вид агрегату	Сфера застосування	Пропускна здатність	Тип приводної системи	Потужність кВт,	Характерні особливості
Геркулес-150	Дрібні фермерські господарства	150 кг/год	Електричний	2×0,75	Компактна конструкція; призначена для обробки сухого та вологого зернового матеріалу
ПЗ-6 (Доза-Агро)	Значні (великі) с/г підприємства	6 т/год	Електричний	2×5,5	Високий рівень продуктивності; оптимізоване енергоспоживання
Romill M2 Plus	Промислове виробництво	60 т/год	Від валу відбору потужності	160 к.с.	Інтегрована система дозування консервантів
Murska 1000 HD	Великі агропідприємства	15–20 т/год	Від ВВП	55–75	Висока пропускна здатність; функція пакування в полімерні рукави
Геркулес-2500	Середні агропром. комплекси	2,5 т/год	Електричний	2×2,2	Можливість регулювання зазору між робочими вальцями
ПЗ-2 (Доза-Агро)	Середні та малі підприємства	2 т/год	Електричний	2×1,5	Відзначається надійністю конструкції та зручністю в експлуатації
KoMo Flocino	Побутове застосування	80–130 г/хв	Ручний	Ручний	Придатність для виготовлення харчових пластівців
ПЗ-3,0	Фермерські господарства сер. розміру	6 т/год	Електричний	2×1,5	Модель вітчизняного виробництва; простота в обслуговуванні
Romill M900	Великі переробні підприємства	5–6 т/год	Електричний	18,5	Оснащена автоматизованою системою управління
Murska 700 HD	Господарства великого розміру	10–15 т/год	Від валу відбору потужності	37–45	Висока пропускна здатність; інтегрована можливість пакування в полімерні рукави

проведенні волого-теплової обробки та виготовленні пластівців із широкого спектра культур: кукурудзи, ячменю, вівса та інших видів фуражного зерна. Завдяки своїй універсальності, цей агрегат інтегрується у технологічні лініїкомбікормових заводів, кормоцехів, а також у комплекси для збагачення об’ємистих кормів (силосу та сінажу) безпосередньо перед роздачею. В межах даного проекту пропонується її застосування як базового елемента в технології заготівлі високоякісного плющеного зернофуражу.

Агрегат ПЗ-3,0 працює в умовах закритих приміщень при температурному режимі від 0°С до 36°С. Важливою конструктивною перевагою даної моделі є наявність вбудованого пропарювача, що дозволяє отримувати якісні пластівці навіть із зерна з низьким вмістом початкової вологості. Проте, ретельний аналіз основних робочих показників існуючої системи виявив низку суттєвих недоліків, на виправлення яких спрямовані подальші інженерні розробки в рамках даного проєкту.

2.3. Технологія роботи плющильної машини

Функціонування вдосконаленої вальцевої плющилки базується на безперервному та послідовному виконанні технологічних операцій, спрямованих на перетворення зернової сировини у пластівці з високою кормовою цінністю при максимальному збереженні її поживних властивостей. Усі процеси в агрегаті взаємопов’язані та утворюють єдиний технологічний цикл.

На початковому етапі здійснюється підготовка та очищення зернової маси. Сировина надходить із накопичувального бункера за допомогою шнекового живильника, який забезпечує рівномірну подачу матеріалу до робочих органів. Далі зерно проходить первинне очищення через ґратчасту горловину, де відокремлюються великі домішки та каміння. Очищення ґрат виконується автоматично за допомогою гребінчастого механізму, закріпленого на шнеку. На цьому ж етапі передбачено магнітний сепаратор, який вилучає

металеві включення та запобігає пошкодженню робочих поверхонь вальців.

Після очищення зерно надходить в зону кондиціонування та дозування. У шнековому пропарювачі термічна обробка не використовується, оскільки робота здійснюється з вологим зерном. Замість цього виконується рівномірне нанесення консерванту через систему форсунок, що забезпечує стабілізацію маси під час зберігання. У колоні пропарювача відбувається темперування, тобто вирівнювання вологості та рівномірний розподіл консерванту по всій зерновій масі. Подача сировини до робочої зони здійснюється роторним дозатором, продуктивність якого регулюється положенням заслінки з мотор-редуктором.

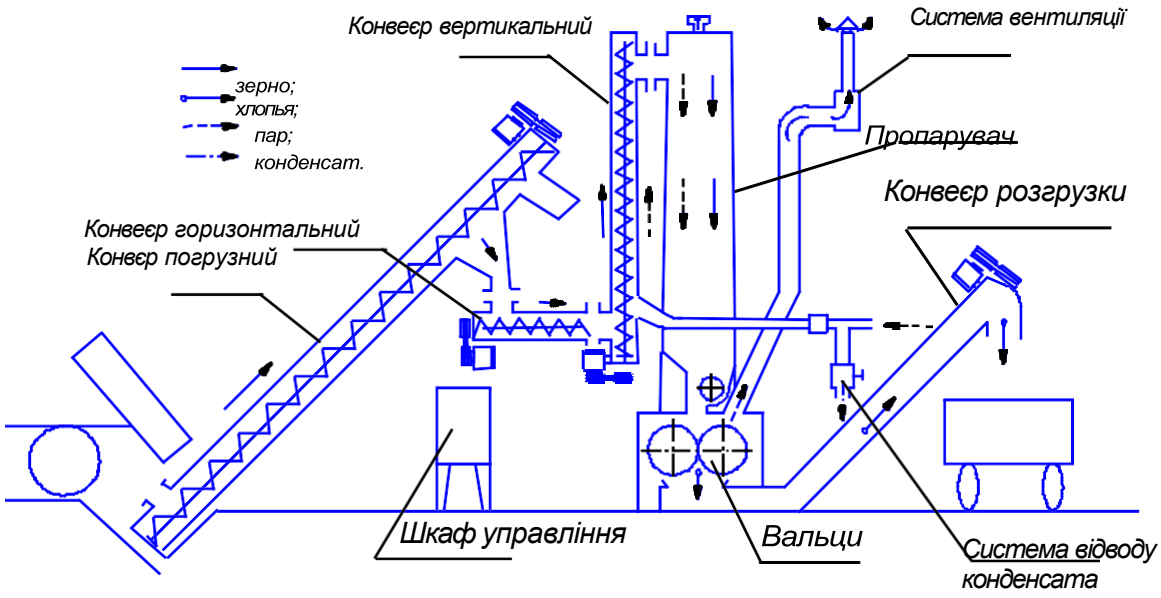


Рис. 2.1. Схема функціонування технологічного обладнання

Основний технологічний процес відбувається у зоні плющення, де зерно проходить між двома вальцями, що обертаються назустріч один одному. У модернізованій конструкції передбачено можливість точного регулювання зазору між вальцями шляхом рухомого кріплення одного з них. Другий вал оснащений пружинними амортизаторами, які забезпечують захист механізму при потраплянні твердих сторонніх предметів, запобігаючи його пошкодженню. Для підвищення надійності роботи встановлено чистики, що запобігають налипанню вологої маси на поверхню вальців.

Після плющення готовий продукт через перехідний лоток надходить на

розвантажувальний конвеєр і транспортується до місця зберігання або подальшого використання в годівлі тварин. У процесі модернізації ПЗ-3,0 передбачено ряд конструктивних удосконалень. Зокрема, робочі вальці виготовляються з високоміцних сталей із термічною обробкою поверхні, що підвищує їх зносостійкість та довговічність. Додатково застосовано змінні накладки, які дозволяють виконувати ремонт шляхом заміни окремих елементів без демонтажу всього вала.

Також впроваджується система автоматичного контролю подачі консерванту на основі датчиків вологості та температури зерна, що забезпечує оптимальні витрати реагентів і стабільну якість корму. Електропривод обладнується частотними перетворювачами, які дозволяють регулювати швидкість обертання вальців залежно від виду зернової культури, забезпечують плавний пуск та зменшують динамічні навантаження на механізми.

У сукупності зазначені рішення забезпечують підвищення надійності роботи плющилки, стабілізацію якості готового продукту та зниження енергоємності технологічного процесу.

2.4. Технічні розрахунки удосконаленої конструкції плющилки

Для забезпечення заданих показників продуктивності та якості плющення необхідно провести комплексний розрахунок кінематичних та енергетичних параметрів агрегату. В основу розрахунків покладено наступні вихідні дані: продуктивність Q = 6 т/год; цільова товщина пластівців t = 1 мм; вологість сировини W = 23%; маса тисячі зерен A = 40 г; коефіцієнт тертя f = 0,2. Геометричні розміри зернівки прийнято як: довжина l = 4 мм, ширина s = 3 мм, товщина a = 2 мм.

Першочерговим показником є ступінь деформації (плющення) E, що відображає співвідношення між вихідними розмірами зерна та фінальною товщиною пластівця. Розрахунок за імовірнісно-геометричною залежністю виглядає так:

$$E = (1 / t_i) \cdot \Sigma (b_i \cdot p_i) , \quad (2.1)$$

Де p_i - характеризує ймовірність надходження зерна на вальці при даній конфігурації;

t_i - відповідає математичному очікуванню для і-го класу розмірів зерен, значення якого встановлено на рівні 0,67;

b_i - є геометричним параметром зерна.

$$E = \frac{1}{0,67} \cdot (3 \cdot 0,23 + 2 \cdot 0,77) = 3,33.$$

Для оптимізації процесу плющення зернової сировини, зокрема пшениці, величина міжвалкового зазору, яка корелює з визначеним рівнем вологості зерна та необхідним ступенем його деформації, детермінується за емпіричним співвідношенням. Зазначене співвідношення було отримане шляхом застосування методології екстремального експериментального аналізу:

$$\delta = 0,251 - 0,237 \cdot W + 0,862 \cdot E + 0,426 \cdot W^2 + 0,289 \cdot W \cdot E - 0,254 \cdot E^2 , \quad (2.2)$$

$$\delta = 0,251 - 0,237 \cdot 0,23 + 0,862 \cdot 3,33 + 0,426 \cdot 0,23^2 + 0,289 \cdot 0,23 \cdot 3,33 - 0,254 \cdot 3,33^2 = 0,49 \text{ мм}$$

Мінімальний діаметр робочих вальців, необхідний для забезпечення надійного захоплення зернового матеріалу при його подачі до плющильного обладнання, обумовлюється вихідними габаритними характеристиками зерна (мм), коефіцієнтом тертя між зерновим матеріалом та робочою поверхнею вальців, а також заданим технологічним зазором між цими елементами. З урахуванням співвідношення діаметрів активних вальців та конфігурації приводної системи, розрахунок даного мінімального діаметра здійснюється за допомогою наступної формули:

$$D_{\min} = \frac{d \cdot \cos\varphi - \delta}{1 - \cos\varphi}, \quad (2.3)$$

Де φ - представляє собою кут тертя зерна, розрахований за формулою arctgf = arctg0,2, що становить 11,8 °;

d - позначає початковий діаметр частинки, рівний 3,16 мм.

$$D_{\min} = \frac{3{,}16 \cdot \cos 11{,}8 - 0{,}49}{1 - \cos 11{,}8} = 134{,}33 \text{ мм.}$$

З огляду на функціональне призначення проектованого вальцьового млина для переробки широкого спектра кормових культур, зокрема кукурудзи, а також з урахуванням типових розмірів робочих вальців та встановленого коефіцієнта технологічної надійності, номінальний діаметр робочого вальця визначено як 450 мм.

Коефіцієнт поперечної деформації зернового матеріалу визначається як співвідношення площі, яку займає готовий продукт у вигляді пластівців, до площі вихідного зернового матеріалу, розташованого в один шар. При сталих значеннях вологості матеріалу та робочого зазору, даний коефіцієнт розраховується за допомогою відповідної емпіричної формули:

$$\sigma = 4{,}279 + 0{,}179 \cdot W - 7{,}952 \cdot \delta - 0{,}004 \cdot W^2 - 0{,}0235 \cdot W \cdot \delta + 4{,}851 \cdot \delta^2, \quad (2.4)$$

$$\sigma = 4{,}279 + 0{,}179 \cdot 0{,}23 - 7{,}952 \cdot 0{,}49 - 0{,}004 \cdot 0{,}23^2 - 0{,}0235 \cdot 0{,}23 \cdot 0{,}49 +$$

$$+4{,}851 \cdot 0{,}49^2 = 1{,}58$$

Площа поверхні, яку займає тисяча зерен, коливається в діапазоні:

$$\omega = 0{,}0179 \div 0{,}196 \text{ м}^2.$$

Для подальших розрахунків прийнято значення $\omega = 0{,}0186$ м^2.

Питома величина навантаження на робочі вальці зернової сировини, що характеризує масу матеріалу, віднесену до одиниці площі контактної поверхні, розраховується на підставі абсолютної маси та проекційної площі однієї тисячі зернин, а також із корекцією на коефіцієнт поперечної деформації, що виникає в процесі плющення. Значення цієї маси встановлюється за допомогою наступної емпіричної залежності:

$$G = \frac{A \cdot C \cdot 10^{-3}}{\omega \cdot \sigma} \quad (2.5)$$

Де C - є коефіцієнтом однорідності заповнення зернистим матеріалом. Для розглядуваного подавального пристрою його значення становить від 0,5 до 0,6, тоді

$$G = \frac{40 \cdot 0{,}6 \cdot 10^{-3}}{0{,}0186 \cdot 1{,}58} = 0{,}82 \text{ кг/м}^2.$$

Встановлюється мінімальна довжина валків з урахуванням верхнього граничного значення їхньої оптимальної окружної швидкості. Зокрема, для валків діаметром, що не перевищує 350 мм, ця швидкість дорівнює 8,5 м/с, у той час як для валків діаметром до 500 мм вона становить 11 м/с.

Обчислення зазначеної довжини здійснюється за наступною формулою:

$$L_{\min} = \frac{3{,}6 \cdot Q}{G \cdot V_{\max}} = \frac{3{,}6 \cdot 3}{0{,}82 \cdot 11} = 1{,}197 \text{ м.} \quad (2.6)$$

Для подальших розрахунків приймається значення довжини L, що становить 1,2 м.

Розраховується робоча швидкість вальців (V) за наступним виразом:

$$V = \frac{3{,}6 \cdot Q}{L \cdot G} = \frac{3{,}6 \cdot 3}{1{,}2 \cdot 0{,}82} = 11{,}0 \text{ м/с.} \quad (2.7)$$

Для визначення оптимальної швидкості обертання валкових механізмів, що є критично важливим параметром для ефективності технологічного процесу, застосовується спеціальна математична модель або аналітична залежність. Цей ключовий показник, відомий як частота або інтенсивність обертання (позначена як n), розраховується за наступною формулою:

$$n = \frac{3{,}6 \cdot Q}{\pi \cdot D \cdot L \cdot G} = \frac{3{,}6 \cdot 3}{3{,}14 \cdot 0{,}45 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}82} = 7{,}8 \text{ об/с.} \quad (2.8)$$

Сукупні енергетичні витрати, пов'язані з процесом плющення зернового матеріалу, детермінуються його вологосттю, встановленим міжвалковим зазором та лінійною швидкістю периферії валків. Зокрема, для зерна кукурудзи цей показник обчислюється за допомогою наступної формули:

$$E = 10{,}636 - 0{,}252 \cdot W + 0{,}553 \cdot V - 12{,}676 \cdot \delta + 0{,}002 \cdot W^2 - 0{,}002 \cdot W \cdot V + \\ + 0{,}165 \cdot W \cdot \delta - 0{,}004 \cdot V^2 - 0{,}442 \cdot V \cdot \delta + 4{,}75 \cdot \delta^2 \quad (2.9)$$

$$E = 10{,}636 - 0{,}252 \cdot 0{,}23 + 0{,}553 \cdot 11{,}0 - 12{,}676 \cdot 0{,}49 + 0{,}002 \cdot 0{,}23^2 - 0{,}002 \cdot 0{,}23 \cdot \\ \cdot 11{,}0 + 0{,}165 \cdot 0{,}23 \cdot 0{,}49 - 0{,}004 \cdot 11{,}0^2 - 0{,}442 \cdot 11{,}0 \cdot 0{,}49 + 4{,}75 \cdot 0{,}49^2 = \\ = 7{,}85 \text{ кВт·год/т.}$$

Загальна потужність двигуна визначається за такою формулою:

$$N = E \cdot Q + N_{x.д.}, \quad (2.10)$$

Де $N_{x.д.}$ - позначає потужність холостого ходу, значення якої знаходиться в діапазоні від 3,15 до 3,9 кВт.

Наприклад, розрахункове значення потужності становить:

$$N = 7{,}85 \cdot 3 + 3{,}7 = 27{,}25 \text{ кВт.}$$

Далі виконується розрахунок потужності, необхідної для транспортування зерна та подальшого завантаження готових пластівців. Потужність завантажувального конвеєра визначається згідно з наступною залежністю:

$$N_З = N_{p1} \cdot L_1 \quad (2.11)$$

Де N_{p1} - представляє питому потужність на одиницю довжини шнека за умов частоти обертання 190 об/с та кута нахилу шнека $\beta = 45°$;

Відповідно до табличних даних (стандартів), значення - $N_{p1} = 0{,}065$ кВт/м.

Таким чином, потужність завантажувального конвеєра дорівнює:

$$N_З = 0{,}065 \cdot 7 = 0{,}455 \text{ кВт.}$$

$$N_2 = N_{p2} \cdot L_2, \quad (2.12)$$

$$N_{p2} = 0{,}025 \text{ кВт/м;}$$

Розрахунок потужності горизонтального транспортера здійснюється за формулою:

$$N_2 = 0{,}025 \cdot 1{,}5 = 0{,}037 \text{ кВт.}$$

Потужність вертикального транспортера визначається наступним чином:

$$N_в = N_{p3} \cdot L_3, \quad (2.13)$$

Де N_{p3} - є питомою потужністю на метр довжини шнека, при частоті обертання 150 об/хв та куті нахилу шнека $\beta = 90°$;

$$N_{p3} = 0{,}163 \text{ кВт/м;}$$

$$N_в = 0{,}163 \cdot 5 = 0{,}815 \text{ кВт.}$$

Для розрахунку потужності розвантажувального скребкового

транспортера застосовується наступний вираз:

$$N_p = K_м \cdot N_к, \quad (2.14)$$

Де $N_К$ - потужність приводу горизонтального транспортера, виміряна у кіловатах.

$K_м$ - є коефіцієнтом, який враховує кут нахилу транспортера; для кута нахилу β, що становить 45°, його значення дорівнює 1,35.

Потужність приводу горизонтального транспортера визначається за формулою:

$$N_К = N_{р4} \cdot L_4, \quad (2.15)$$

Де $N_{р4}$ - представляє питому потужність скребкового транспортера на одиницю довжини, яка складає 0,041 кВт/м;

L_4 довжину транспортування матеріалу, що дорівнює 3,5 м.

На основі наданих даних, розрахунок показників потужності здійснюється наступним чином:

$$N_К = 0{,}041 \cdot 3{,}5 = 0{,}144 \text{ кВт},$$

$$N_р = 1{,}35 \cdot 0{,}144 = 0{,}194 \text{ кВт}.$$

Розподіл силового впливу в активній зоні деформації плющильної машини може бути визначений за допомогою наступної формули:

$$P = \frac{2}{3} \cdot P \cdot M \cdot L \cdot \frac{D}{2} \cdot \alpha_{max}, \quad (2.16)$$

Де α_{max} максимальний кут захоплення зернової маси, що дорівнює 4;

P - усереднене значення нормального зусилля, що виникає під час плющення однієї зернини, і становить 2,18 кН;

M - кількість зерен, що припадає на одиницю площі плющильної поверхні вальців (м²).

$$M = \frac{k}{\omega \cdot \sigma} \cdot 10^3, \text{ (шт/м}^2\text{)} \quad (2.17)$$

Зазначимо, що коефіцієнт k, який ілюструє або визначає пропорційне співвідношення між діаметрами відповідних циліндричних елементів (вальців), у даному контексті приймає значення, що точно дорівнює одиниці.

$$M = \frac{1}{0{,}0186 \cdot 1{,}58} \cdot 10^3 = 34027 \text{ шт/м}^2.$$

$$P = \frac{2}{3} \cdot 2{,}18 \cdot 34027 \cdot 1{,}2 \cdot \frac{0{,}45}{2} \cdot 0{,}19 = 2480{,}5 \text{кН}$$

Підхід до розрахунку бандажа ґрунтується на припущенні, що максимальне навантаження виникає в ситуації проходження між валками твердого, не підданого подрібненню об'єкта. З метою забезпечення необхідного запасу міцності, це навантаження моделюється як зосереджена сила, що діє в центральній точці вала. Для виробництва бандажів застосовується зносостійкий сталевий сплав марки 110Г13Л.

Оскільки точне аналітичне обчислення бандажа є значно складним і практично недоцільним, використовується спрощена методика. При цьому приймається, що довжина бандажа (осьовий розмір) завжди менша за його діаметр (поперечний розмір) у співвідношенні L/D від 0,4 до 1,0. Крім того, напруження, спричинені крутильним моментом у стінці бандажа, вважаються настільки незначними, що ними можна знехтувати. Отже, домінуючим чинником, який визначає міцнісні характеристики елемента, є згинальне напруження у векторі, представленому на рис. 3.4.

$$\sigma_в = \frac{M_{max}}{W_э} \leq [\sigma_в], \qquad (2.18)$$

$[\sigma_в]$ - відповідає гранично допустимому напруженню на вигин, (МПа). Для сталі марки 110Г13Л це значення становить 90 МПа.

Для обчислення величини екваторіального моменту опору поперечного перерізу бандажа застосовується формула (3.19):

$$W_э = 0{,}1\frac{D^4 - D^4}{D_1}, \qquad (2.19)$$

Де D_2 - внутрішній діаметр бандажа, вимірюваний у метрах (м). Вибір значення дозволяє визначити мінімально допустиму товщину стінки даного конструктивного елемента

$W_э$ - екваторіальний момент опору поперечного перерізу бандажа, м;

D_1 - зовнішній діаметр бандажа, м.

Приклад обчислення екваторіального моменту опору:

$$W_e = 0,1 \cdot (0,424 - 0,344) / 0,42 = 0,0442 \text{ м}^4.$$

Максимальний згинальний момент обчислюється за виразом:

$$M_{max} = (P \cdot L) / 2 = (2480500 \cdot 1,2) / 2 = 1488300 \text{ Н·м} \quad (2.20)$$

$$\sigma = \frac{1488300}{0,0442} = 33825000\text{Па} = 33,8\text{МПа} \le [\sigma],$$

Отримане напруження становить 33825000 Па, що еквівалентно 33,8 МПа. Це значення є меншим допустимому напруженню [σ].

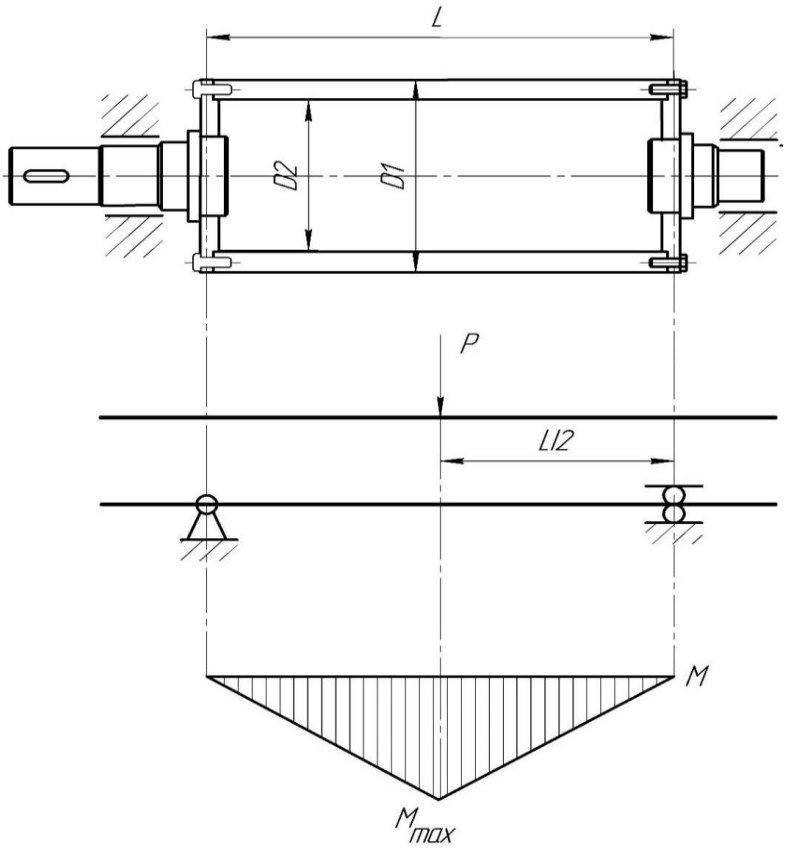


Рис. 2.4. Загальна конфігурація валка у зборі (а) та схематичне представлення для обчислення параметрів міцності стінки бандажа при згинанні (б)

Отримана таким чином розрахункова товщина стінки бандажа характеризується завищеним значенням. Отже, подальші детальні обчислення втрачають актуальність.

2.5. Висновки за розділом

У результаті проведених досліджень та виконаних конструкторських розробок було здійснено удосконалення плющилки ПЗ-3,0, призначеної для підготовки вологого зернофуражу. Запропоновані технічні рішення спрямовані на підвищення ефективності роботи агрегату, покращення якості готового корму та зниження експлуатаційних витрат. У процесі модернізації було вдосконалено конструкцію робочих органів — плющильних вальців. Використання високоміцних матеріалів і оптимізація конструктивних параметрів дозволили підвищити зносостійкість вузлів та зменшити металоємність машини, що позитивно впливає на її довговічність і спрощує технічне обслуговування.

Проведені технологічні та енергетичні розрахунки підтвердили ефективність запропонованої конструкції. Завдяки оптимізації режимів роботи та впровадженню частотного регулювання приводу забезпечується зниження питомих витрат електроенергії при збереженні необхідної продуктивності агрегату. Удосконалена плющилка забезпечує стабільний ступінь деформації зерна та формування однорідних пластівців, що сприяє підвищенню засвоюваності корму тваринами та покращенню його поживної цінності. Крім того, отриманий продукт придатний для подальшої ефективної консервації та зберігання у полімерних рукавах.

Особливу увагу приділено підвищенню експлуатаційної надійності агрегату. Використання захисних елементів від потрапляння сторонніх предметів, а також застосування зносостійких матеріалів для робочих поверхонь дозволяє збільшити міжремонтний ресурс машини та скоротити витрати на її обслуговування.

Отже, результати проведеної модернізації свідчать про технічну та економічну доцільність впровадження удосконаленої плющилки ПЗ-3,0 у технологічний процес заготівлі вологого зернофуражу в умовах сучасних тваринницьких господарств.

РОЗДІЛ 3
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

3.1. Нормативно-правові та виробничі аспекти охорони праці

Створення безпечних умов праці під час заготівлі вологого зернофуражу та експлуатації модернізованої плющилки ПЗ-3,0 є одним із ключових завдань організації виробничого процесу. Забезпечення належного рівня охорони праці спрямоване на збереження життя і здоров'я працівників, попередження виробничого травматизму та професійних захворювань, а також підтримання стабільної та безперебійної роботи технологічного обладнання.

Нормативно-правове регулювання охорони праці здійснюється відповідно до Конституції України, Закону України «Про охорону праці», Закону України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», а також галузевих нормативних документів, зокрема НПАОП 01.0-1.02-18 «Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві». У зв'язку з орієнтацією на сучасні технічні стандарти та інтеграцією європейських вимог, під час модернізації плющилки також враховано положення Директиви 2006/42/ЄС щодо безпеки машин та Директиви 89/391/ЄЕС, яка визначає загальні принципи захисту працівників на робочих місцях. До роботи з плющилкою допускаються особи віком від 18 років, які пройшли попередній медичний огляд, вступний та первинний інструктажі з охорони праці, ознайомлені з особливостями технологічного процесу та мають відповідну професійну підготовку. Працівники повинні знати будову агрегату, правила його експлуатації, порядок запуску та зупинки обладнання, а також дії у разі виникнення аварійної ситуації.

Важливою складовою безпечної роботи є застосування засобів індивідуального захисту. Працівники забезпечуються спеціальним одягом, захисними рукавицями, окулярами та респіраторами типу FFP2 або FFP3 для захисту органів дихання від пилу та випарів консервантів, які

використовуються під час обробки зерна. Використання засобів індивідуального захисту є обов’язковою умовою допуску до виконання робіт.

Оскільки модернізована плющилка оснащується електроприводом із частотним регулюванням, особлива увага приділяється питанням електробезпеки. Усі електродвигуни та елементи системи керування повинні бути надійно заземлені відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок. Ступінь захисту електрообладнання має бути не нижче IP54, що забезпечує стійкість до потрапляння пилу та вологи в умовах сільськогосподарського виробництва. Для попередження травмування працівників усі рухомі елементи плющилки — вальці, пасові передачі, шнеки та інші механізми — закриваються захисними кожухами. Удосконалена система пружинних амортизаторів робочих вальців виконує функцію захисту механізму від руйнування у випадку потрапляння сторонніх твердих предметів в зону плющення.

Значна увага приділяється санітарно-гігієнічним умовам праці. Робоче приміщення повинно бути обладнане припливно-витяжною вентиляцією для видалення пилу та випарів консервантів. При роботі з органічними кислотами та іншими консервуючими речовинами необхідно запобігати їх потраплянню на шкіру та слизові оболонки працівників. Технічне обслуговування та очищення обладнання дозволяється проводити лише після повної зупинки агрегату та його відключення від електромережі. Під час виконання ремонтних або регулювальних робіт на пускових пристроях повинні бути вивішені попереджувальні таблички «Не вмикати! Працюють люди». Забороняється проводити очищення вальців, регулювання зазору чи усунення несправностей під час роботи механізмів.

Дотримання встановлених вимог охорони праці забезпечує безпечну експлуатацію модернізованої плющилки ПЗ-3,0, сприяє зниженню ризику виробничого травматизму та створює належні умови для ефективного виконання технологічних операцій із заготівлі вологого зернофуражу.

3.2. Система безпеки праці при роботі з вальцевою плющилкою

Безпечна експлуатація вдосконаленої вальцевої плющилки ПЗ-3,0 забезпечується шляхом поєднання конструктивних рішень, автоматизованих систем захисту та організаційно-технічних заходів. Реалізована система охорони праці спрямована на попередження виробничого травматизму, зниження впливу шкідливих факторів виробничого середовища та забезпечення стабільної роботи обладнання в умовах фермерського господарства.

Перший рівень безпеки становлять технічні та конструктивні засоби захисту. Усі відкриті рухомі елементи агрегату, зокрема пасові передачі, привідні механізми та шнекові транспортери, закриті металевими захисними кожухами. Конструкція огороджень виключає можливість випадкового контакту працівника з рухомими деталями під час роботи обладнання. Демонтаж кожухів можливий лише із застосуванням спеціального інструменту, що додатково підвищує рівень безпеки. Особливе значення має модернізована система захисту вальців від перевантажень. Пружинні амортизатори, встановлені на опорах веденого валка, виконують функцію механічного запобіжника. У разі потрапляння сторонніх твердих предметів у робочу зону вальці автоматично зміщуються, що запобігає руйнуванню бандажів, пошкодженню підшипникових вузлів та перевантаженню електродвигуна. Для попередження механічних пошкоджень і виникнення аварійних ситуацій у технологічній схемі передбачено очищення зернової маси від сторонніх домішок. На завантажувальній ділянці встановлені магнітні сепаратори та захисні решітки, які забезпечують вилучення металевих включень, каміння та інших небезпечних предметів. Це не лише підвищує надійність роботи машини, а й зменшує ризик виникнення іскор та пожежонебезпечних ситуацій у запиленому середовищі.

Другим рівнем захисту є система електробезпеки та автоматичного контролю роботи обладнання. Використання частотних перетворювачів дозволяє реалізувати режим плавного пуску електродвигунів, що знижує

величину пускових струмів та динамічні навантаження на елементи трансмісії. Це позитивно впливає як на довговічність механізмів, так і на безпеку експлуатації електрообладнання. Електрична схема плющилки обладнана системою автоматичного відключення приводу при виникненні перевантажень або заклинювання вальців. Для оперативного припинення роботи агрегату на корпусі машини встановлено кнопку аварійної зупинки грибоподібного типу, доступну оператору з будь-якого боку робочої зони. Усі металеві неструмопровідні частини агрегату приєднані до контуру захисного заземлення відповідно до вимог ПУЕ. Опір заземлювального пристрою не перевищує нормативного значення 4 Ом.

Окрему увагу приділено санітарно-гігієнічним умовам праці та безпечній роботі з консервантами. Оскільки технологія передбачає внесення органічних кислот для консервування зерна, система подачі рідини виконана герметичною. Застосування зворотних клапанів унеможливлює підтікання консервантів після зупинки обладнання та знижує ризик контакту працівників із хімічними речовинами. Для підтримання нормативного мікроклімату робоча зона обладнана припливно-витяжною вентиляцією. Над ділянкою виходу готових пластівців передбачено локальний витяжний пристрій, який забезпечує видалення пилу та аерозольних частинок консерванту. Освітлення робочої зони здійснюється світильниками у пило- та вологозахищеному виконанні класу IP65. Освітленість робочого місця відповідає нормативному значенню не менше 150 лк, що забезпечує належний контроль технологічного процесу та регулювання зазору між вальцями.

Організаційні заходи безпеки включають проведення щозмінного технічного огляду обладнання відповідно до затвердженого чек-листа. Перед початком роботи оператор зобов’язаний перевірити стан захисних кожухів, наявність заземлення, роботу системи аварійної зупинки та справність магнітних сепараторів. Робоча зона обладнання позначена попереджувальними знаками безпеки згідно з вимогами ДСТУ EN ISO 7010, зокрема: «Обережно! Можливе затягування рук».

Комплексне впровадження наведених технічних, електротехнічних, санітарно-гігієнічних та організаційних заходів забезпечує високий рівень безпеки праці під час експлуатації модернізованої плющилки ПЗ-3,0, сприяє зниженню ризику аварійних ситуацій та створює належні умови для ефективної роботи персоналу.

3.3. Висновки за розділом

На основі проведеного аналізу умов праці та специфіки експлуатації модернізованого обладнання у даному розділі сформульовано наступні висновки:

1. нормативна відповідність: визначено та систематизовано ключові вимоги безпеки праці під час заготівлі вологого зернофуражу. Встановлено, що розроблені технічні рішення повністю відповідають чинному законодавству України (Закон «Про охорону праці», НПАОП 01.0-1.02-18) та гармонізовані з європейськими стандартами безпеки машин і механізмів (Директива 2006/42/ЄС);

2. інженерний захист: обґрунтовано систему технічних заходів безпеки, що включає використання захисних кожухів, систем магнітної сепарації та автоматичних засобів аварійної зупинки. Впровадження пружинних амортизаторів на вальцях визначено як ефективний механізм запобігання аварійним ситуаціям при потраплянні недробимих предметів;

3. електробезпека: встановлено вимоги до електротехнічного виконання агрегату (клас захисту IP54/IP65) та системи заземлення, що мінімізує ризики ураження персоналу електричним струмом в умовах підвищеної вологості та запиленості виробничого середовища;

4. організаційне забезпечення: розроблено комплексну систему безпечної експлуатації, що охоплює всі етапи роботи — від підготовки обладнання до дій в аварійних ситуаціях. Визначено необхідний перелік засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), специфікованих для роботи з вологим зерном та хімічними консервантами.

РОЗДІЛ 4
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЗАГОТІВЛІ ЗЕРНОФУРАЖУ

4.1. Формування вихідних даних для економічного аналізу

Для обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої вальцевої плющилки у виробничий процес проведено порівняльний аналіз двох альтернативних технологій заготівлі кукурудзяного зернофуражу. Порівняльна характеристика досліджуваних технологій наведена у таблиці 5.1.

Таблиця 4.1

Концептуальне порівняння технологій заготівлі фуражного зерна

Критерій	Інноваційна технологія (плющене зерно)	Додаткові відомості	Традиційна технологія (сухе зерно)
Обладнання для пакування	УСМ-1, з потужністю 95,68 кВт	Продуктивність до 30 т/год.	Не вимагає
Вологість зернової маси, %	Має підвищену вологість (35-40%)	Типова для стадії воскової стиглості культури	Вимагає низької вологості зерна (близько 15%)
Дробарка для подрібнення	Не потрібна	Не потребує додат. обробки	ДКУ-2 з потужністю 22 кВт
Продуктивність сушильного комплексу	–	–	25 т/год.
Зерноплющильна установка	Машина моделі ПЗ-3,0 з потужністю 38,65 кВт	Максимальна продуктивність до 6 т. зерна на год.	–
Потреба в сушінні	Не потребує	Відсутні витрати	ЗАВ-15 з потужністю 81 кВт
Продуктивність дробарки	–	–	2 т/год.
Тип сховища	Герметичні умови (поліетиленові мішки або рукави)	Анаеробне середовище	Вимагає спец. обладнаних сховищ
Енергетичні витрати на сушіння	Етап відсутній	Виключає витрати палива на сушіння	Значні витрати палива 21-25 кг/т

Базова технологія передбачає традиційну схему заготівлі сухого зерна з доведенням вологості до нормативного рівня 15 %. Для цього використовується зерноочисно-сушильний комплекс ЗАВ-15, який забезпечує сушіння зернової маси, проте характеризується значними витратами енергоресурсів та пального. Питомі витрати дизельного палива на сушіння становлять 21–25 кг на 1 т зерна. Після сушіння зерно зберігається у спеціалізованих зерносховищах насипним способом. Перед згодовуванням тваринам корм додатково подрібнюється дробаркою ДКУ-2, що потребує окремих витрат електроенергії та збільшує загальну енергоємність технологічного процесу.

Проєктна технологія ґрунтується на заготівлі зерна у плющеному вологому стані з вологістю 35–40 %. Технологічний процес включає плющення зернової маси модернізованою вальцевою плющилкою ПЗ-3,0 з подальшим герметичним пакуванням у поліетиленові рукави за допомогою пакувальника УСМ-1. Основною перевагою даного способу є повне виключення операції термічного сушіння, що дозволяє суттєво скоротити витрати палива та електроенергії. Крім того, плющене зерно не потребує додаткової механічної підготовки перед згодовуванням, оскільки структура пластівців забезпечує оптимальну перетравність корму та високий рівень засвоєння поживних речовин тваринами.

На основі виробничих показників господарства та річного обсягу заготівлі зернофуражу сформовано вихідні дані для проведення економічних розрахунків, які наведено у таблиці 4.2.

Ретельний аналіз наявних вихідних параметрів однозначно свідчить про значні переваги: запровадження інноваційної технології заготівлі плющеного вологого зернофуражу не лише дозволяє суттєво оптимізувати виробничі процеси шляхом мінімізації кількості технологічних операцій, але й забезпечує помітне зниження енергетичних витрат та значне підвищення ефективності використання кормової бази. Цінні дані, отримані в ході дослідження, слугують надійним фундаментом для подальшого, більш детального економічного обґрунтування, включаючи точний розрахунок всіх експлуатаційних видатків,

Таблиця 4.2

Основні вихідні дані для визначення економічної ефективності

Показник	Вдосконалений варіант	Класичний варіант
Добовий вихід молока, кг	24,6	22,5
Вартість основного обладнання, грн.	756500	348900
Кількість задіяного персоналу, осіб		
- для підготовки корму	-	1
- для процесів заготівлі	2	1
Тип приводного механізму / потужність, кВт		
- підготовки до згодовування	-	Е/21
- для процесів заготівлі	Е/38,65 ДВЗ/95,68	Е/93
Операційний час, год.		
- для фази підготовки корму	-	389,5
- для процесів заготівлі	129,83	31,16
Питомі витрати палива на сушіння, кг/т	-	21
Виробнича потужність, т/год		
- на етапі підготовки корму	-	2
- для процесів заготівлі	6	25
Загальний обсяг заготівлі, т	779,4	779,4
Річний обсяг виробництва молока, т	2957	2700

визначення потенційного економічного прибутку та прогнозування терміну окупності запропонованого проєктного рішення.

4.2. Техніко-економічна оцінка проєктного рішення

Для об’єктивного порівняння базового та вдосконаленого варіантів технологічного процесу заготівлі зернофуражу ключовим показником обрано питомі експлуатаційні витрати. Такий підхід дозволяє оцінити реальну економічну доцільність модернізації, оскільки він враховує всі складові собівартості: від оплати праці до амортизації та енергоспоживання.

Аналіз структури витрат показує, що попри зростання капітальних вкладень у проєктному варіанті, загальна ефективність значно підвищується за рахунок ліквідації найбільш витратних операцій (сушіння та дроблення).

Таблиця 4.3

Метрики фінансової результативності процесу заготівлі зернових культур кормового призначення

Показник	Модернізований варіант	Класичний варіант
Щорічна економія операційних витрат, грн.	240165,00	-
Річний обсяг заготівлі фуражного зерна, т	779,4	779,4
Загальна вартість основного обладнання, грн.	756500	348900
Питомі витрати пального на досушування, кг/т	-	21
Річний обсяг виробництва молока, т	2957	2700
Удільні експлуатаційні витрати, грн./т	66,51	155,46
в т. ч.:		
енергоресурси (електроенергія, дизпаливо)	6,14	123,01
амортизаційні відрахування	28,14	14,21
оплата праці	1,53	2,73
технічне обслуговування та ремонт	30,70	15,51
Сукупна потужність обладнання, кВт	134,33	114
Додаткові капіталовкладення, грн	407600	-
Чисельність обслуговуючого персоналу, осіб	2	2
Термін окупності інвестицій, роки	1,7	-

Проведена порівняльна оцінка базової та удосконаленої технологій заготівлі зернофуражу підтвердила високу економічну ефективність впровадження модернізованої вальцевої плющилки ПЗ-3,0 у виробничі умови. Результати розрахунків свідчать, що перехід на технологію заготівлі вологого плющеного зерна дозволив суттєво знизити собівартість процесу. Питомі експлуатаційні витрати скоротилися з 155,46 грн/т у базовому варіанті до 66,51 грн/т у проєктному, тобто більш ніж у 2,3 раза. Основним фактором економії стало повне виключення операції термічного сушіння зерна та відмова від додаткового подрібнення перед згодовуванням.

Найбільше скорочення витрат спостерігається за статтею енергоресурсів. Витрати на електроенергію та дизельне паливо зменшилися з 123,01 грн/т до 6,14 грн/т, що пояснюється відсутністю необхідності використання зерносушильного комплексу ЗАВ-15. Таким чином, енергоємність технологічного процесу значно знизилась, що особливо важливо в умовах постійного зростання вартості енергоносіїв. Водночас впровадження

удосконаленої технології потребувало додаткових капітальних вкладень у сумі 407600 грн, пов’язаних із придбанням модернізованої плющилки ПЗ-3,0 та пакувального обладнання УСМ-1. Проте завдяки річній економії експлуатаційних витрат у розмірі 240165 грн строк окупності інвестицій становить лише 1,7 року, що є високим показником економічної ефективності для підприємств аграрного сектору. Окрім прямих економічних переваг, впровадження технології плющення забезпечує додатковий зоотехнічний ефект. Використання плющеного вологого зерна у раціонах тварин сприяє підвищенню перетравності корму та кращому засвоєнню поживних речовин, що позитивно вплинуло на продуктивність стада. Річний вихід молока збільшився з 2700 т до 2957 т, тобто на 257 т за рік, що додатково підвищує рентабельність виробництва молока.

Отже, результати економічного аналізу підтверджують, що впровадження модернізованої вальцевої плющилки ПЗ-3,0 та технології заготівлі вологого плющеного зернофуражу є технічно доцільним, економічно вигідним та перспективним напрямом удосконалення кормовиробництва у господарстві.

4.3. Висновки за розділом

У результаті проведеного техніко-економічного аналізу встановлено, що впровадження модернізованої вальцевої плющилки ПЗ-3,0 у поєднанні з технологією герметичного зберігання плющеного зернофуражу в полімерних рукавах є економічно доцільним та виробничо ефективним рішенням. Використання удосконаленої технології дозволило суттєво скоротити питомі експлуатаційні витрати — з 155,46 грн/т до 66,51 грн/т. Основним чинником зниження собівартості стало виключення енергоємних операцій сушіння та подрібнення зерна, що забезпечило значне скорочення витрат на електроенергію та паливно-мастильні матеріали.

У процесі дослідження встановлено, що найбільший економічний ефект

формується за рахунок ліквідації витрат на досушування зернової маси. Питомі витрати на енергоресурси у проєктному варіанті зменшилися на 116,87 грн/т порівняно з базовою технологією, що підтверджує високу енергоефективність запропонованого рішення. Незважаючи на необхідність додаткових капітальних вкладень у сумі 407,6 тис. грн, пов’язаних із модернізацією плющилки та придбанням пакувального обладнання, проєкт характеризується високою інвестиційною привабливістю. Річний економічний ефект становить 240165 грн, а строк окупності капітальних вкладень — 1,7 року, що є економічно вигідним показником для агропромислового виробництва. Додатковою перевагою впровадження технології є підвищення кормової цінності зернофуражу та покращення його засвоюваності тваринами. Це позитивно вплинуло на продуктивність молочного стада та забезпечило збільшення річного виходу молока на 257 т, що додатково підвищує рентабельність виробництва.

Отже, результати проведених розрахунків підтверджують, що запропонована технологія заготівлі плющеного вологого зернофуражу та модернізація плющилки ПЗ-3,0 є технічно обґрунтованими, енергозберігаючими та економічно ефективними, а їх впровадження сприятиме підвищенню конкурентоспроможності підприємства.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання підвищення ефективності заготівлі зернофуражу шляхом удосконалення технології плющення вологого зерна та модернізації конструкції вальцевої плющилки ПЗ-3,0. За результатами проведених досліджень, інженерних розрахунків та техніко-економічного аналізу встановлено, що традиційна технологія заготівлі сухого зерна є надмірно енергоємною, а основні втрати ресурсів виникають на етапах сушіння та подрібнення, що суттєво підвищує собівартість кормів і знижує загальну ефективність виробництва.

Доведено, що впровадження технології заготівлі вологого плющеного зерна з герметичним консервуванням у полімерні рукави є більш ефективним рішенням, оскільки дозволяє скоротити питомі енерговитрати у 1,5–2 рази, повністю виключити витрати на термічне сушіння та забезпечити кращу збереженість поживних речовин корму. У межах роботи запропоновано модернізацію вальцевої плющилки ПЗ-3,0, яка передбачає вдосконалення конструкції робочих органів, системи регулювання зазору між вальцями та впровадження захисних елементів від сторонніх предметів, що дозволило підвищити зносостійкість вузлів, зменшити масу конструкції та підвищити надійність роботи агрегату.

Розроблена технологічна схема забезпечує комплексне виконання операцій очищення, дозування, плющення та консервування зерна з продуктивністю 6 т/год, що відповідає потребам господарства. Обґрунтовано комплекс заходів з охорони праці, який включає технічні, організаційні та санітарно-гігієнічні рішення, спрямовані на мінімізацію виробничих ризиків та забезпечення безпечної експлуатації обладнання.

Економічні розрахунки показали, що впровадження модернізованої технології дозволяє знизити питомі експлуатаційні витрати з 155,46 грн/т до 66,51 грн/т, отримати річний економічний ефект понад 240 тис. грн та забезпечити термін окупності капітальних вкладень на рівні 1,7 року, що

свідчить про високу ефективність та інвестиційну привабливість проєкту. Додатково встановлено, що покращення якості кормів сприяє підвищенню продуктивності тваринництва та збільшенню річного виходу молока, що підвищує загальну рентабельність виробництва.

Таким чином, запропоноване технічне рішення є економічно обґрунтованим, технологічно ефективним та рекомендованим до впровадження на підприємствах агропромислового комплексу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

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

2. Машини для заготівлі та приготування кормів// За редакцією В.І. Крав-чука, Дослідницьке, УкрНДІВПТ ім. Погорілого – 2009, -136 с.

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

4. Романюха І.О., Дудін В.Ю. Курсове і дипломне проектування тваринни-цьких підприємств: навч. посібн. [для студ. вищ. навч. закл.] /І.О. Романюха, В.Ю. Дудін; за ред. І. Романюхи. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2014. – 418 с.

5. Масло І. Молочному тваринництву – надійну техніку і енергозберігаючі технології / І. Масло, А. Фененко // Техніка АПК. – 2000. − № 4. – С. 2−5.

6. Кудревич О. Шлях до високих надоїв / О. Кудревич, М Геймор // Пропо-зиція. – 2023. − № 3. – С. 84–85.

7. Шкурко Т. Шляхи підвищення ефективності виробництва молока / Т. Шкурко // Тваринництво України – 2023. − № 8. – С. 5–7. 5

8. Адмін Є. Перехід на енергозберігаючі технології виробництва молока та реконструкція молочних ферм / Є. Адмін, О. Борщ // Тваринництво України. – 2002. − № 11. – С. 5–7.

9. В. Кравчук, М. Луценко, М. Мечта. Прогресивні технології заготівлі, приготування і роздавання кормів. - К: Фенікс, 2008 – 104 с.

10. Ібатуллін І., Єрмакова Л. Якісний сінаж - початок ваших прибутків/ І. Ібатуллін, Л. Єрмакова// Пропозиція, № 6, 2022, с. 36-47.

11. Ібатуллін І., Єрмакова Л. Вчимося правильно готувати силос/ Пропо-зиція, № 8, 2001, с. 43-51.

12. Сайт фірми Bernard Krone Holding GmbH. Катлог продукції [Електрон-ний ресурс]/ Режим доступу: http://landmaschinen.krone.de /русский/katalog-

produkcii/krupnopakujushchie-press-podborshchiki/big-pack/, вільний. - Загл. з екрана. – мова укр., англ.

13. Сайт фірми RomiLL. Каталог продукції [Електронний ресурс]/ Режим доступу: http://www.romill.cz, вільний. - Загл. з екрана. – мова укр., англ.

14. ДСТУ 4397: 2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економіч-ного оцінювання техніки на етапі випробування. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 15 с.

15. Дудін В.Ю. Експериментальні дослідження малогабаритного подріб-нювача 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

16. Дудін В.Ю. Формування якості годівлі повнораціонними комбікор-мами / 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.

17. Дудін В.Ю. Дослідження енергетичних характеристик процесу змішу-вання сипких кормів/ В.Ю. Дудін, Я.О. Муха, О.Ю. Лук'яненко // Materials of the XIII International scientific and practical ConferenceConduct of modern science - 2018, November 30 - December 7, 2018. Construction and architecture. Agriculture. Modern information technology.: Sheffield. Science and education LTD – 41-45 p.

18. Дудін В.Ю. Дослідження процесу різання коренеплодів / В.Ю. Дудін, І.А. Бородавка//Materialy XV Miedzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji, «Strategiczne pytania światowej nauki - 2019» , Volume 10 Przemyśl: Nauka i studia– 36-39 s.

19. 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.

20. Нова сільськогосподарська техніка/ В.А. Ясенецький, В.С. Куліш, М.П. Мечта та ін.; За ред. В.А. Ясенецького. – К.: Урожай, 1991. – 320 с.

21. Сайт фірми ТОВ „АГ-БАГ-Україна” [Електронний ресурс]/ Каталог продукції Режим доступу: http://ag-bag.net.ua, вільний. - Загл. з екрана. – мова укр., англ.
22. Сайт фірми RomiLL [Електронний ресурс]/ Каталог продукції Режим доступу: http://www.romill.cz, вільний. - Загл. з екрана. – мова укр., англ.