

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

на тему: «Удосконалення енергоощадної технології заготівлі сінажу фуражних культур із обґрунтуванням параметрів плющильного ротора косарки-плющилки»

Виконав: студент 2 курсу, групи АІм - 21
спеціальності 208 Агроінженерія
за освітньо-професійною
програмою «Агроінженерія»

Левчук А.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник Сацюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОП Сацюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Пуць В.С.

(прізвище та ініціали)

Луцьк 2023

**ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет	<i>аграрних технологій та екології</i>
Кафедра	<i>аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса</i>
Галузь знань	<i>20 Аграрні науки та продовольство</i>
Освітній ступінь	<i>магістр</i>
Спеціальність	<i>208 Агроінженерія</i>
Освітньо-професійна програма	<i>Агроінженерія</i>

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедри аграрної інженерії
ім. проф. Г.А.Хайліса
доцент, к.т.н. _____ В.В. Сацюк
«10» січня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ**

Левчуку Андрію Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення енергоощадної технології заготівлі сінажу фуражних культур із обґрунтуванням параметрів плющильного ротора косарки-плющилки

керівник роботи Сацюк Василь Васильович, доцент, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом ЛНТУ від «10» січня 2023 р. № 11/01-02

2. Термін здачі студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Титульний аркуш .
2. Завдання на роботу магістра.
3. Реферат.
4. Зміст.
5. Вступ.
6. Основну частину.
7. Загальні висновки.
8. Перелік джерел посилань.
9. Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

	к-сть листів
1. Вихідні дані	1 лист
2. Теоретичні положення	2 лист
3. Апаратура та обладнання для експериментальних досліджень	1 лист
4. Результати експериментальних досліджень	1 лист
5. Схема експериментальної установки чи досліджуваної машини (функціональна або принципова)	1 лист
6. Складальне креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	1 лист

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Юхимчук С.Ф., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою, формування завдань досліджень	15.06. – 01.07.2023 р.	
2	Обґрунтування конструкції і теоретичні дослідження	22.08 – 31.08.2023 р.	
3	Розробка схеми експериментальної установки чи досліджуваної машини	01.09 – 30.09.2023 р.	
4	Розробка програми і методики експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2023 р.	
5	Реалізація та обробка результатів експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2023 р.	
6	Експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування	15.10 – 01.11.2023 р.	
7	Розробка креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	01.11 – 15.11.2023 р.	
8	Узагальнення результатів та оформлення пояснювальної записки	15.11 – 25.11.2023 р.	
9	Оформлення ілюстративного матеріалу для захисту магістерської роботи	15.11 – 25.11.2023 р.	
10	Нормоконтроль	до 09.12.2023 р.	
11	Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат	09.12.– 19.12.2023 р.	

Студент

_____ (підпис) _____ Левчук А.А. (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис) _____ Сацюк В.В. (прізвище та ініціали)

Гарант ОПП

_____ (підпис) _____ Сацюк В.В. (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Левчук А. - Удосконалення енергоощадної технології заготівлі сінажу фуражних культур із обґрунтуванням параметрів плуощильного ротора косарки-плющилки. Рукопис

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Агроінженерія» спеціальності 208 Агроінженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2023

Кваліфікаційна робота магістра складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи складає 59 сторінок, включає 13 рисунків, 2 таблиці, список використаних джерел з 15 назв та 1 додаток.

В кваліфікаційній роботі магістра удосконалено технологію заготівлі сінажу фуражних рослин та досліджено процес плющення рослин плуощильним ротором динамічної дії.

Розроблена функціональна схема косарки-плющилки та складальне креслення плуощильного ротора динамічної дії, наведено агровимоги, як і пред'являються до машин для заготівлі сінажу, обґрунтовано параметри плуощильного ротора активної дії (кондиціонера), та параметри направляючого кожуха кондиціонера. Проведені експериментальні дослідження, залежності швидкості сушіння фуражної маси від типу плуощильного ротора.

Мета дослідження – підвищення ефективності процесу заготівлі сінажу фуражних культур шляхом застосування косарки-плющилки із плуощильним ротором динамічної дії.

Об'єкт досліджень – технологічний процес плющення фуражних рослин.

Предмет дослідження – закономірності зміни показників якості плющення фуражної маси від параметрів плуощильного ротора.

КОСАРКА-ПЛУОЩИЛКА, РОТОР, КОНДИЦІОНЕР, БІТЕР, КОЖУШ, МАСА, ШВИДКІСТЬ, ФУРАЖНА МАСА

ABSTRACT

Levchuk A. - Improvement of the energy-saving technology of forage hay harvesting with justification of the parameters of the flail rotor of the flail mower. Manuscript

Qualification work of the master of educational program "Agroengineering" specialty 208 Agroengineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2023

Qualification work of the master consists of an introduction, four sections, conclusions, list of sources used, appendices. The total volume of the work is 59 pages, includes 13 figures, 2 tables, a list of sources used with 15 titles and 1 appendices.

In the master's qualification work, the technology of hay harvesting of fodder plants was improved and the process of flattening plants with a dynamic flattening rotor was investigated.

The functional scheme of the mower-tender and the assembly drawing of the dynamic action flattening rotor are developed, the agricultural requirements are given, as they are for hay harvesting machines, the parameters of the active action flattening rotor (conditioner) and the parameters of the air conditioner guide casing are substantiated. Experimental studies were conducted on the dependence of the drying speed of the fodder mass on the type of flattening rotor.

The purpose of the research is to improve the efficiency of the haymaking process of fodder crops by using a flail mower with a flail rotor of dynamic action.

The object of research is the technological process of flattening forage plants.

The subject of the study is the patterns of changes in the quality indicators of the flattening of the fodder mass depending on the parameters of the flattening rotor.

MOWER-FLYER, ROTOR, AIR CONDITIONER, BEATER, SHELL, MASS, SPEED, FORAGE MASS

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ, ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	9
1.1. Технологія вирощування та характеристика люцерни посівної та конюшини	9
1.2. Технології заготовки сінажу	12
1.3. Огляд конструкцій кондиціонерів.....	13
1.4. Постановка питання, мета та завдання дослідження	17
2. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЛЮЩЕННЯ СТЕБЕЛ ФУРАЖНИХ РОСЛИН	18
2.1. Агротехнічні вимоги до машин для заготівлі кормів.....	18
2.2. Обґрунтування до побудови функціональної схеми.....	19
2.3. Обґрунтування параметрів кондиціонера косарки-плющилки.....	22
2.4. Обґрунтування параметрів направляючого кожуха кондиціонера ...	28
2.5. Висновки.....	36
3 МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	32
3.1. Лабораторне обладнання, прилади та апаратура для проведення досліджень.....	37
3.2. Методика визначення вологості властивостей стебел фуражних рослин	39
3.3. Методика визначення повноти травмування стебел фуражних рослин.....	40
3.4. Результати дослідження швидкості прив'ялювання фуражної маси..	40
3.5. Результати дослідження повноти травмування стебел фуражних рослин.....	42
3.6. Висновки.....	43
4 ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЛЮЩЕННЯ	44

4.1. Розрахунок режимів роботи агрегату.....	44
4.2. Розрахунок кінематичних характеристик агрегату.....	50
4.3. Визначення витрати палива.....	52
4.3 Висновки.....	55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57
ДОДАТКИ	59

ВСТУП

Кормо виробництво являється однією із найважливіших галузей агропромислового комплексу України, темпи та науково-технічний рівень розвитку якого багато в чому визначають вирішення продовольчих проблем України та світу в цілому.

Актуальність теми дослідження.

Однією із прогресивних технологій являється заготівля сінажу із інтенсивно прив'ялених фуражних рослин. Ця технологія дозволяє здійснювати комплексну механізацію всіх технологічних операцій та отримувати сінаж високої якості. Частка сінажу в загальному обсязі кормів в зимових раціонах великої рогатої худоби становить до 25%.

Відповідно удосконалення технології заготівлі сінажної маси та розробка комплексу машин сучасного технічного рівня для забезпечення доної заготівлі являється надзвичайно актуальним питанням.

Мета проведення дослідження – підвищення ефективності процесу заготівлі сінажу фуражних культур шляхом застосування косарки-плющилки із плющильним ротором динамічної дії.

Завдання дослідження. розробити функціональну схему косарки-плющилки; розробити складальне креслення плющильного ротора динамічної дії; обґрунтувати параметри плющильного ротора динамічної дії; обґрунтувати параметри направляючого кожуха плющильного ротора. дослідити вологовіддачі фуражною масою в процесі сушіння; розробити операційну технологію плющення фуражної маси.

Об'єкт досліджень – технологічний процес плющення фуражних рослин.

Предмет дослідження – закономірності зміни показників якості плющення фуражної маси від параметрів плющильного ротора.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проведені із застосуванням методів класичної механіки. Лабораторні дослідження проводились за розробленими методиками.

Науково новизна одержаних досліджень. Теоретично обґрунтовано

параметри плющильного ротора динамічної дії та його кожуха.

Практичне значення одержаних результатів. Досліджено вплив процесу плющення фуражної маси на швидкість її сушіння. Розроблена операційна технологія плющення фуражної маси.

Апробація результатів дослідження. Основні положення досліджень, які містяться кваліфікаційній роботі магістра, доповідались та обговорювались на: IX Міжнародній науково-практичній конференції “Інноваційні технології в АПК”, 7-8 червня 2023 року м. Луцьк.

За темою кваліфікаційної роботи автором опубліковано наукова стаття у студентському науковому віснику та тези доповідей IX Міжнародної науково-практичної конференції “Інноваційні технології в АПК”, 7-8 червня 2023 року м. Луцьк.

Структура роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, 4 розділів, загальних висновків, список використаних джерел з 22 найменувань та 2 додатків. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи 56 сторінок.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ, ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Технологія вирощування та характеристика люцерни посівної та конюшини

Люцерна посівна це прямостояча рослина сімейства бобових. Зараз люцерну посівну вирощують по всьому світу, а особливо на зрошуваних землях. Це провідна кормова культура на заході США, яка згідно літературних джерел займає одне з перших місць на півночі центральної частини країни [12].



Рисунок 1.1 Загальний вигляд люцерни посівної

Використовують люцерну на зелений корм, сіно, трав'яне борошно, сінаж, силос та випас. У 100 кг зеленої маси люцерни міститься 21,7 к. од. та 4,1 кг перетравного білка, а у 100 кг сіна відповідно 50,2 і 13,7 к. од.

Конюшина – давня культура (рисунок 1.2), в Україні відома ще із середини XVIII століття. Конюшина лучна двохукісна є багаторічною перехреснозапильною бобовою рослиною. В Україні посіви конюшини становить 30-35% від посівів багаторічних трав. За даними сортодільниці, при належній агротехніці та достатній вологості ґрунту врожай зеленої маси конюшини сягає 500-900 ц/га на рік [5].



Рисунок 1.2 Загальний вигляд конюшини лучної

Конюшина лучна за поширенням поступається лише люцерні, однак краще за неї росте на кислих ґрунтах, і у багатьох регіонах являється є основним джерелом білка та основою кормової бази для ВРХ [4]. Коренева система конюшини є стрижнева та має м'ясистий, дуже розгалужений головний корінь, який що проникає у ґрунт на глибину 2-2,5 м. При цьому маса коренів рівна 70% надземної маси. Потовщена верхівка кореня називається голівкою таї є зимуючим органом рослини. Навесні на ній із бруньок відростають стебла. Через два місяці коренева шийка центрального кореня конюшини знаходиться приблизно на глибині 1 см від поверхні ґрунту, а у рослин конюшини третього року життя шийка знаходиться на глибині 3-4 см. у ґрунт. Заглиблення кореневої шийки у ґрунт запобігає поїданню бруньок тваринами та вимерзанні у зимовий період [5].

Конюшина є вологолюбна слабопосухостійка рослина. Конюшина добре росте при вологості ґрунту 70-80%. При ґрунтовій посуші різко зростає загибель рослин протягом вегетаційного періоду [2]. Слід відмітити, що

конюшина не дуже вибаглива до ґрунту, у той же час погано переносить підвищену кислотність. Оптимальна величина кислотності ґрунту рН 5,5-7. Причина є те, що кисла реакція негативно діє на азотфіксуючі бактерії, з рахунок цього порушується живлення рослин азотом [1]. Максимальну морозостійкість конюшина спостерігається після поступового замерзання ґрунту. При відсутності снігового покриву посіви конюшини першого року життя добре витримують у зоні кореневої шийки температуру -15°C , а другого та третього років витримують гірше, і при температурі мінус 11-13 $^{\circ}\text{C}$ зріджуються до 50%, а при температурі мінус 15°C – гинуть. Конюшина є рослиною довгого дня і переважно дворічного використання. Конюшина добре розвивається та дає високі врожаї фуражної маси за достатньої кількості світла, тепла, води та поживних речовин у ґрунті. Усі ці фактори оточуючого середовища однаково важливі для розвитку рослини [1, 2]. Багаторічні трави відіграють дуже важливу агротехнічну роль у землеробстві. Зокрема, після збирання врожаю конюшини та люцерни із кореневими та поживними рештками у ґрунті залишається 150-200 кг/га азоту. За врожайності фуражної маси сіна 40-60 ц/га у орному шарі ґрунту накопичується близько 80-90 ц/га повітряносухих корневих решток із вмістом 1,6-1,8 ц азоту. У сівозмінах які насичені понад 50% багаторічними травами поліпшується структура та підвищується родючість ґрунту [8].

Конюшина це основна бобова культура кормовиробництва у західних регіонах України. Собівартість її 1 к. од. зеленої маси удвічі нижча, ніж однорічних трав. [5]. Конюшина покращує фізичні та хімічні властивості ґрунту, збагачує його азотом та створює сприятливі умови для вирощування озимих сільськогосподарських культур.

Переваги конюшини над злаковими травами, в тому, що до 80% білка в конюшині утворюється за рахунок атмосферного азоту, що засвоюється бульбочковими бактеріями [4]. В середньому за 5 років вирощування конюшини при урожайності зеленої маси 307- 321 ц/га ув орному шарі ґрунту залишається 75,9-77,7 ц/га післяжнивних та корневих решток, у яких

міститься 153-155 кг азоту, 37,1-39,1 – фосфору та 77,7-78,9 кг калію. [16]. Використовуючи ефективно весняні запаси вологи та азот із повітря, конюшина, зазвичай, дає вищий урожай від однорічних трав [4].

1.2. Технології заготовки сінажу

Сінаж це корм, який приготований із трав, що скошені у ранній фази вегетації, пров'ялених до вологості 45...55% і зберігається анаеробних умовах. Без доступу повітря припиняється дихання рослинних клітин і усувається можливість нагрівання рослинної маси. У пров'яленій до зазначеної вологості фуражній масі слабо розвиваються гнильні і маслянокислі бактерії, що сприяє її зберігання. У сінажі утворюється переважно молочна кислота - 79...96% від суми всіх кислот [6].

Технологія приготування сінажу вперше були розроблені А. М. Міхіним в 1935... 1937 р.р., який встановив, що збереження рослинної маси при сінажуванні забезпечується переважно надлишком вологи для розвитку шкідливих аеробних бактеріальних процесів. Відповідно таке зберігання, на відміну від звичайного силосування, слід називати самоконсервування.

Сінаж та силос за якістю відрізняються один від одного, що обумовлено специфічно різними біохімічними процесами. Найважливішим фактором, який визначає напрямок біохімічного процесу при консервуванні, являється вологість рослинної маси. За вологості 55% та нижче внаслідок нестачі вологи загальмовуються біологічні процеси та , насамперед, шкідливі бактеріальні процеси, які забезпечує збереження корму [6].

За вологості маси понад 58% протікає процес силосування, при якому основним фактором, що забезпечує збереження корму, є органічні кислоти, які утворюються у результаті життєдіяльності бактерій із цукру.

Велику увагу цього методу консервування фуражних трав почали приділяти у США, Англії і Канаді. Дослідженнями в Белтовіллі (США) було встановлено, що за своєю поживною цінністю сінаж поступається лише свіжим

рослинам та кормам, які висушені штучним способом. Крім повнішого збереження поживної цінності заготівля сінажу дозволяє знизити витрати, оскільки процеси від скошування зеленої маси до роздачі отриманого корму тваринам можна повністю механізувати. Пров'ялена подрібнена зелена маса більш транспортабельна.

Для заготівлі сінажу застосовували різноманітні кормозбиральні машини. Деякі фермери пров'ялювали траву в прокосах без плющення та ворошення, інші проводили плющення або зворушення трав після скошування. Слід зазначити, що не на всіх обстежених фермах заготівля сінажу виявилася ефективною. На ряді ферм було отримано сінаж низької якості, та значно знижено продуктивність худоби. Основними причинами заготівлі сінажу низької якості є: недотримання технології, несприятливі метеорологічні умови, за яких було неможливим швидке пров'ялення скошеної маси до необхідної вологості, повітропроникність сховищ [5].

Дослідження професора У.О. Брауна (Ірландія), підтвердили високу ефективність корму внаслідок збереження поживних речовин і високої молоковіддачі тварин.

У зв'язку із доцільністю широкого впровадження у сільськогосподарське виробництво заготівлі сінажу на Заході спостерігається інтенсивне створення та розвиток виробництва кормозбиральної техніки: косарок-плющилок, граблів-ворошилок, кормозбиральних комбайнів.

1.3. Огляд конструкцій кондиціонерів

Плющильні вальці, які встановлюються на косарках-плющилках, які пропускають між собою скошену масу, роздавлюють стебла, що прискорює їхню вологовіддачу. На якість процесу плющення впливає товщина шару скошеної маси, яка подається між вальцями. Товщина шару залежить від урожайності трав а також від співвідношення робочої ширини захоплення косарки до ширини вальців. Чим це співвідношення більше, тим шар фуражної

маси, що подається, товщіший. При протягуванні товстого шару добре плющуються рослини, які мають безпосередній контакт з вальцями. У то же час стебла, які знаходяться всередині шару, сплющуються слабше. У зв'язку із цим плющильні вальці якісно здійснюють плющення маси за врожайності до 200 ц/га.

Ряд провідних зарубіжних фірм встановлюють на ротаційних косарках, для інтенсифікації сушіння скошеної маси, кондиціонери, принцип роботи яких полягає у динамічному впливі на рослини, яка скошуються [9, 10, 11]. Кондиціонер динамічної дії складається із двох основних елементів: ротора, із закріпленим на ньому білами та напрямного кожуха, який охоплює передню частину ротора. Технологічний процес обробки скошених рослин відбувається так (рисунок 1,3). Рослини, які зрізані ножами ротаційного апарату, вносяться дисками роторів у зону дії бітерів кондиціонера, які рухаються назустріч скошеній масі, захоплюються ними та протягуються через зазор, який утворений внутрішньою поверхнею напрямного кожуха та поверхнею, яка утворюється траєкторіями, які описують крайні точки бітерів. Під час удару бітерів по фуражній масі, а також протягування її через зазор, відбувається пошкодження рослин завдяки високій швидкості. Рослини укладаються на поле у спушений валок, який легко продувається. Основними перевагами конструкцій кондиціонерів динамічної дії являється компактність та значно менша, у порівнянні із вальцьовими плющильними апаратами, матеріаломісткість. Вологовіддача скошених рослин та оброблених кондиціонером інтенсифікується за рахунок пошкодження стебел, а також порушення їх зовнішнього воскового шару.

Повідні фірми сільгоспмашинобудування світу Casse, JonnDeere, Claas, Krone, PÖTTINGER та інші, виробляють близько 100 моделей ротаційних косарок, які обладнанні кондиціонерами динамічної дії [9, 10, 11].

Можна виділити два основних напрямки у розвитку кондиціонерів динамічної дії. До першого напрямку відносяться кондиціонери, які мають біла V - образної форми та циліндричний напрямний кожух, який для регулювання

інтенсивності обробки. скошеної маси може встановлюватись в кількох положеннях (рисунок 1.3). Використовують два способи кріплення бітерів до валу ротора: шарнірний (рисунок 1.4) та з допомогою пружних елементів (рисунок 1.5).

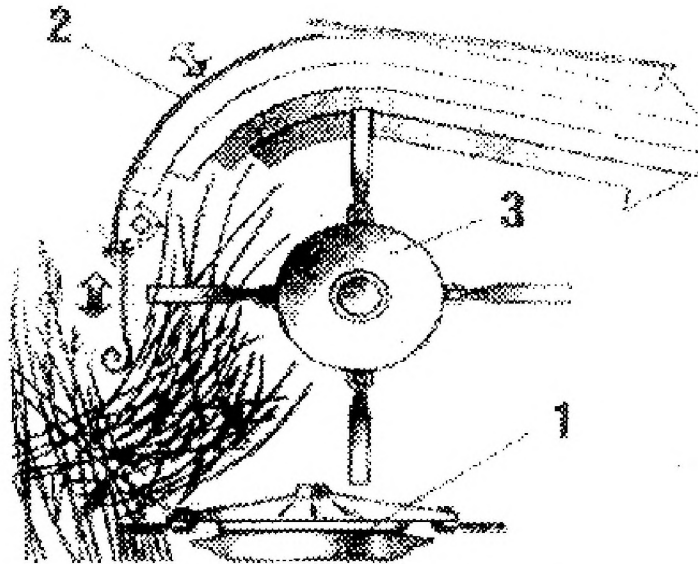


Рисунок 1.4. Технологічний процес кондиціонера динамічної дії
 1 - ротаційний ріжучий апарат; 2 – кожух кондиціонера;
 3 - ротор кондиціонера



Рисунок 1.5 Шарнірне кріплення V-подібних бітерів кондиціонерів фірми PÖTTINGER

Шарнірний спосіб кріплення бітерів є найбільш поширеним, оскільки має ряд переваг: простота конструкції бітера, висока надійність та хороша ремонтно придатність бітерного ротора при пошкодженні його камінням або іншими металевими предметами. Апарати із шарнірним кріпленням бітерів мають кращі енергетичні показники, ніж конструкції із пружним кріпленням робочих органів. Але маса бітерів та швидкість обертання роторів повинна бути більшою, ніж в конструкцій із пружним кріпленням бітерів.

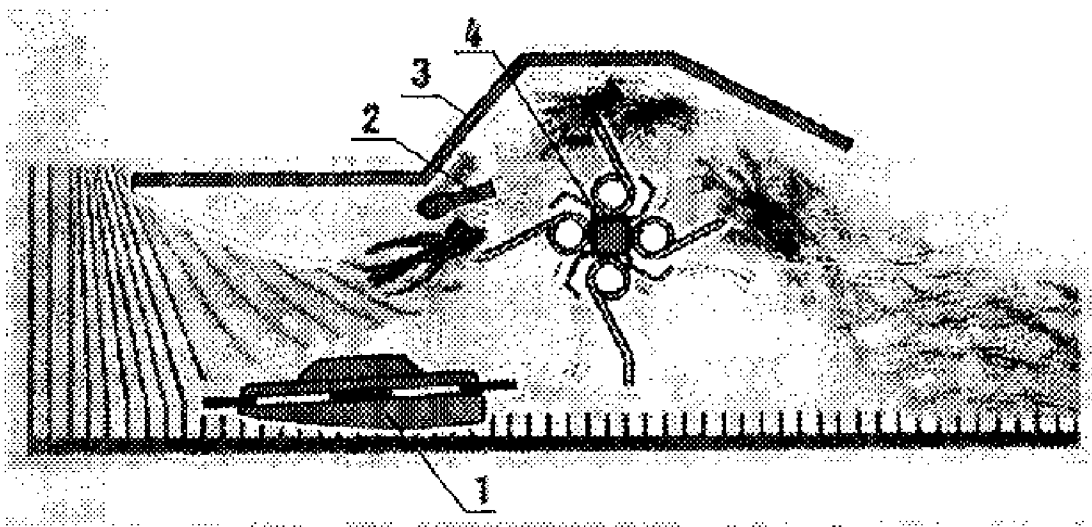


Рисунок 1.5 Динамічний кондиціонер із пружними бітерами фірми «Fella»

1 - ротор косарки; 2 - гребінка; 3 - кожух; 4 - ротор

До переваг кріплення бітерів за допомогою пружних елементів (рисунок 1.5) є дещо швидкість обробки та маса бітерів.

Другий тип кондиціонерів динамічної дії має гребінь, який розташований на внутрішній поверхні напрямного кожуха (рисунок 1,5). Принцип роботи таких кондиціонерів полягає в наступному: біли ротора захоплюють скошені рослини і протягують через нерухомий гребінь. Під час протягування здійснюється злам стебел і руйнування їх поверхневого шару, яке забезпечує прискорення сушіння скошеної фуражної маси.

Швидкість обробки рослин, які скошуються знаходиться в межах 15...25 м/с. Ряд моделей мають косарок -плющилок мають дві швидкості обробки скошеної маси: підвищену - 27 м/с для обробки злакових трав та знижену - 22 м/с для обробки бобових трав. Регулювання швидкості обробки відбувається

шляхом перестановки шківів або зірочок передачі обертового руху ротору кондиціонера.

1.4. Постановка питання, мета та завдання дослідження

Однією із прогресивних технологій являється заготівля сінажу із інтенсивно прив'ялених фуражних рослин. Ця технологія дозволяє здійснювати комплексну механізацію всіх технологічних операцій та отримувати сінаж високої якості. Частка сінажу в загальному обсязі кормів в зимових раціонах великої рогатої худоби становить до 25%.

Відповідно удосконалення технології заготівлі сінажної маси та розробка комплексу машин сучасного технічного рівня для забезпечення доної заготівлі являється надзвичайно актуальним питанням.

Мета проведення дослідження – підвищення ефективності процесу заготівлі сінажу фуражних культур шляхом застосування косарки-плющилки із плющильним ротором динамічної дії.

Завдання дослідження:

розробити функціональну схему косарки-плющилки;

розробити складальне креслення плющильного ротора динамічної дії;

обґрунтувати параметри плющильного ротора динамічної дії;

обґрунтувати параметри направляючого кожуха плющильного ротора;

дослідити вологовіддачі фуражною масою в процесі сушіння;

розробити операційну технологію плющення фуражної маси;

РОЗДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЛЮЩЕННЯ СТЕБЕЛ ФУРАЖНИХ РОСЛИН

2.1. Агротехнічні вимоги до машин для заготівлі кормів

З метою забезпечення отримання кормів високої якості процес збирання слід проводити у оптимальні агротехнічні строки при правильному виборі режимів скошування, транспортування та переробки рослин. Злакові фуражні трави слід збирати у період викидання колоса, бобові культури необхідно – під час бутонізації. Скошування фуражних культур необхідно без огривів та пропусків на висоті: сіяні трави – 5-7 см, природні трави – 4-5 см, [5]. Косарки-плющилки повинні забезпечити задану висоту зрізу стебел рослин, а процес зрізування необхідно здійснювати без розривів, зминання та виривання рослин, добре копіювати рельєф місцевості, вкладати скошену масу у прокоси або валки так, щоб вона не приминалася колесами трактора.

Згрібати і підбирати траву слід без огривів і пропусків; валки складати прямолінійно шириною не більше 1,3 м і рівномірно по щільності. При створенні і обертанні валків трава не повинна скручуватися в джгути і скупчуватися. В процесі заготівлі фуражних культур слід забезпечити швидке та рівномірне сушіння всіх скошених рослин. Для цього раціональним є застосування плющенням стебел під час скошування рослин.

Якість заготовлених кормів в кінцевому випадку залежить від якості роботи кожної машини, яка використовується при заготівлі фуражних культур. Відповідно під час модернізації машини необхідно, щоб вона забезпечувала вищу якість роботи у порівнянні із базовою машиною.

2.2. Обґрунтування до побудови функціональної схеми

Базовою машиною є косарка-плющилка КПРН-3.0, на якій встановлений плющильний апарат барабанного типу.

Ця косарка-плющилка є причіпною машиною, привід робочих органів якої здійснюється від валу ВВП трактора. Агрегаткування косарки-плющилки здійснюється так, щоб робоча різальна частина знаходилася справа від положення трактора. Технологічний процес роботи косарки-плющилки здійснюється таким чином. Різання стебел відбувається за допомогою пластинчатих ножів, які шарнірно закріплені на роторах, та обертаються назустріч один одному. Ножі зрізають фуражні культури принципом безпідпорного зрізу, підхоплюють масу та виносять її із зони різання, переміщаючи над різальним брусом. Траєкторії руху ножів сусідніх роторів перекриваються, відповідно забезпечується якісний прокіс травостою.

Скошена маса фуражних культур, захоплюється бітерами плющильного ротора динамічної та відкидається у щиток. Кожне стебло скошеної рослини піддається дії V- подібних бітери ротора динамічної дії. Бітери закріплено шарнірно та завдяки чому відхиляються від сторонніх предметів. Плющильний кондиціонер працюю по всій ширині скошування травостою. Привід робочих органів косарки-плющилки здійснюється вал відбору потужності трактора, із частота обертання ВВП 540 об/хв.

Косарка-плющилка із плющильним ротором (кондиціонером) складається із наступних вузлів: зварна рами, механізм врівноваження, ріжучий апарат, плющильний апарат, механізм приводу робочих органів.

Функціональна схема косарки-плющилки із плющильним ротором динамічної дії (кондиціонером) наведена на рисунку 2.1.

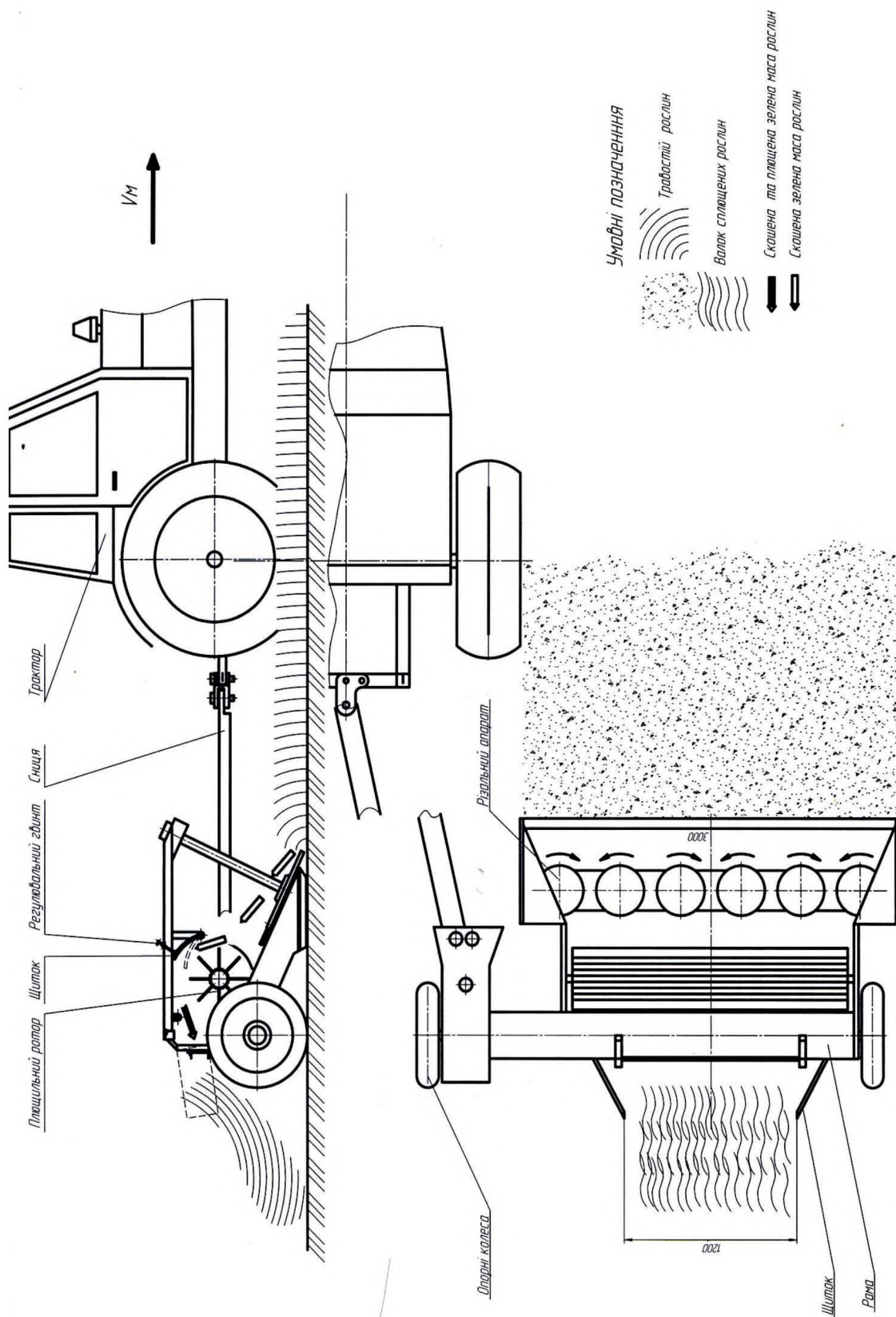


Рисунок 2.1 – Функціональна схема косарки-плющилки із кондиціонером

За сприятливих погодних умов технологія приготування сінажу складається із таких основних технологічних операцій: скошування трав із одночасним плющенням та укладанням у валок, підбір маси із валків з одночасним її подрібненням та навантаженням в транспортні засоби, транспортування і вивантаження подрібненої маси у сховище, ущільнення фуражної маси у сховищі.

У нестійку погоду прив'ялення фуражної маси прискорюють обертанням валків. За несприятливих погодних умов, коли пров'ялювання маси у валку утруднено, можна застосувати іншу технологію: траву скошують косаркою та укладають у прокосі, а потім після пров'ялювання згрібають масу у валки. Прискорити процес пров'ялювання скошених рослин можна шляхом її ворущіння у прокосі.

Сінаж високої якості із багаторічних трав можна отримати лише при скошуванні їх у ранні фази вегетації, збирання злакових трав першого укосу слід закінчувати у фазі повного колосіння, бобових – у фазі цвітіння. За таких умов перетравність сухої речовини підвищується.

Багаторічні трави другого та третього укосів необхідно скошувати для заготівлі сінажу у пізніші терміни: бобові - на початку або у період повного цвітіння, а злакові - у фазі колосіння.

Підбір валків починають за вологості маси 50...55%, яка являється оптимальною для приготування сінажу. Пров'ялювати трави, особливо бобові до вологості нижче 45% не рекомендується. Тому що це призводить до збільшення втрат при пров'ялюванні, сприяє підвищенню механічних втрат при підбиранні, подрібненні та навантаженні подрібненої маси. Якісне подрібнення фуражної маси при закладці сінажу вкрай необхідне для більш щільного її укладання, при якій витісняється повітря, що міститься між подрібненими частинками рослин, а також для уповільнення доступу повітря при зберіганні і вийманні сінажу. Високоякісне подрібнення сінажу підвищує продуктивність тварин.

2.3. Обґрунтування параметрів кондиціонера косарки-плющилки

Основними конструктивними параметрами кондиціонера плющильного апарату являються:

- відстань від осі обертання ротора до точки підвісу бітера;
- діаметр по крайніх точках бітерів;
- маса бітера;
- кінематичними режимами роботи плющильного апарату;
- частота обертання ротора і лінійна швидкість бітера.

Для визначення лінійної швидкості руху бітера проведемо аналіз кінематики ротора. При цьому вважаємо, що машинно-тракторний агрегат рухається рівномірно, кутова швидкість обертання ротора ω постійна у часі t . При абсолютному русі крайні точки бітера описують циклоїди (рисунок 2.2).

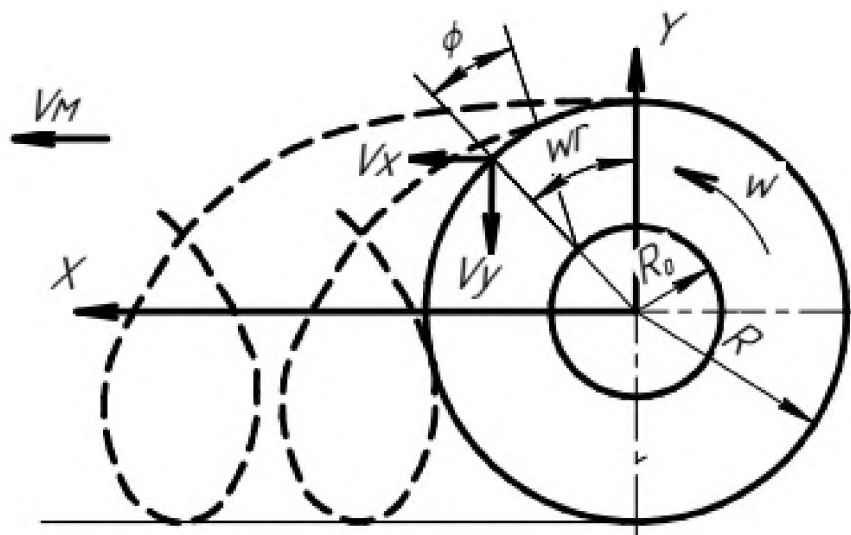


Рисунок 2.2 - Схема руху бітера плющильного кондиціонера

За один оборот ротора плющильного бітера його вісь під час руху машино-тракторного агрегату переміститься на таку відстань:

$$x = \frac{2\pi\vartheta_m}{\omega} \quad (2.1)$$

де ϑ_m - швидкість руху машинно-тракторного агрегату, м/с;

ω - кутова швидкість плуощильного ротора, 1/с;

Лінійна швидкість будь-якої точки бітера плуощильного ротора становить:

$$\vartheta = \omega r_i \quad (2.2)$$

де r_i – радіус від миттєвого центру швидкостей до точки бітера плуощильного ротора.

При обробці скошеної маси бітер здійснює коливальний рух, та відхиляється при цьому від радіального положення на кут φ .

Напишемо рівняння переміщення будь-якої точки бітера у параметричній формі:

$$x_i = R_0 \sin \omega t + r \omega t + l_i \sin(\omega t - \varphi) \quad (2.3)$$

$$y_i = R_0 \cos \omega t + r \omega t + l_i \cos(\omega t - \varphi) \quad (2.4)$$

де R_0 - радіус ротора (точка підвісу бітера), м.м.

l_i - відстань від шарніра кріплення бітера до точки, м;

Продиференціювавши рівняння (2.3) та (2.4) за часом одержимо вирази складових абсолютної швидкості руху бітера:

$$\vartheta_x = \frac{dx}{dt} = R_0 \cos \omega t + l_i \cos(\omega t - \varphi) \quad (2.5)$$

$$\vartheta_y = \frac{dy}{dt} = R_0 \sin \omega t - l_i \sin(\omega t - \varphi) \quad (2.6)$$

Абсолютна швидкість руху будь-якої точки бітера плющильного ротора становить:

$$g_i = \sqrt{g_x^2 + g_y^2} \quad (2.7)$$

Під час роботи бітери здійснюють коливання, тобто плющильгий ротор являється фізичним маятником. Для таких коливань рух бітера описується такими рівнянням механіки [14].

$$\ddot{\varphi} + \frac{R_0}{l_6} \omega^2 \varphi = 0 \quad (2.8)$$

де l_6 - довжина бітера.

Розв'язок рівняння (6) має такий вигляд:

$$\varphi = \alpha \cos(vt + \theta) \quad (2.9)$$

де v - частота коливань бітера;

θ - початкова фаза;

α - амплітуда коливань.

Продиференціюємо рівняння (9), отримаємо вираз для визначення швидкості відносного руху бітера:

$$\dot{\varphi} = -av \sin(vt + \theta) \quad (2.10)$$

Максимальне значення швидкості відносного руху $\dot{\phi}$ матиме при $\sin = -1$:

$$\dot{\phi}_{\max} = v\alpha$$

За умови, що удар бітера по матеріалу, який обробляється, миттєвий та початкове відхилення бітера дорівнювало нулю, отримаємо вираз для амплітуди коливань:

$$\alpha = \dot{\phi}_0 / v_1 \quad (2.11)$$

де $\dot{\phi}_0$ - початкова швидкість відносного руху бітера.

Закон збереження кількості руху для непружного удару має наступний вигляд:

$$m_{\phi} \vartheta_0 = (m_{\phi} + m_m) \vartheta_i \quad (2.12)$$

де ϑ_0 - лінійна швидкість руху бітера до удару, м / с;

m_m - маса порції матеріалу, що захоплюється бітером, кг;

m_{ϕ} - маса бітера, кг;

Швидкість бітера до удару по матеріалу визначається таким рівнянням:

$$\vartheta_0 = \omega R + \alpha v l_{\phi} \quad (2.13)$$

де l_{ϕ} - довжина бітера, м.

R - відстань від осі обертання барабана до кінця бітера, м;

Підставляючи значення виразу з (2.13) в (2.12) отримаємо залежність для визначення швидкості руху бітера після удару по матеріалу:

$$\vartheta_i = \frac{m_\sigma}{m_\sigma + m_M} \vartheta_0 = \frac{m_\sigma}{m_\sigma + m_M} (\omega R + \alpha v l_\sigma) \quad (2.14)$$

Частота коливань бітера від відцентрової сили рівна:

$$v = \omega \sqrt{\frac{R_0}{l_\sigma}} = \omega k \quad (2.15)$$

де $k = \sqrt{\frac{R_0}{l_\sigma}}$ - коефіцієнт крайності.

Амплітуда коливання бітера після виконання роботи становить:

$$\alpha = \frac{m_M \omega R}{v l_\sigma m_M} \quad (2.16)$$

Вважатимемо, що маса бітера рівномірно розподілена за його довжиною. Для визначення відстані від осі обертання ротора до осі підвісу бітера із формули (14) отримаємо вираз:

$$R_0 = l_\sigma K^2 \quad (2.17)$$

Для покращення енергетичних та якісних показників роботи плющильного ротора доцільно, щоб швидкість відносного руху була направлена у бік обертання плющильного ротора. Дана умова забезпечується при значеннях $k = 0,5; 1,5; 2,5$. Найкращим являється значення $k = 0,5$.

Діаметр плющильного ротора по кінцях бітерів визначається за наступною формулою:

$$D_p = 2R_0(1 + 1/K^2) \quad (2.18)$$

Частота обертання плющильного ротора рівна:

$$n = \frac{60\vartheta}{\pi D_p} \quad (2.19)$$

де ϑ - швидкість плющення скошеної маси, м / с.

Масу бітера визначаємо виходячи із закону збереження кількості руху:

$$m_{\vartheta} = \frac{m_M(\omega R - \alpha v l_{\vartheta})}{z \alpha v l_{\vartheta}} \quad (2.20)$$

де m_M - маса матеріалу, яка захоплюється бітером, кг.

Зробимо допущення, що скошена маса, яка потрапляє на плющильний ротор, розподіляється між усіма бітерами рівномірно, та отримаємо вираз визначення маси матеріалу у вигляді залежності:

$$m_M = \frac{\Pi}{zn} \quad (2.21)$$

де z - кількість бітерів, шт

Π – подача матеріалу, кг/с;

n – частота обертання плющильного ротора, с⁻¹.

Величину подачі матеріалу на плющильний ротор знайдемо використовуючи залежність:

$$\Pi = 0,01QB\vartheta_M \quad (2.22)$$

де B - робоча ширина захвату ріжучого апарату косарки, м;

Q - врожайність зеленої маси, ц/га;

ϑ_M - швидкість руху косарки, м/с.

В остаточному вигляді залежність для визначення маси матеріалу, що захоплюється бітером, матиме вигляд:

$$m_M = \frac{0,01QB\vartheta_M}{zn} \quad (2.23)$$

2.4. Обґрунтування параметрів направляючого кожуха кондиціонера

Для визначення параметрів поверхні напрямного кожуха необхідно визначити значення та напрямки абсолютної та швидкості відносної сходу фуражної маси з бітера.

Абсолютна швидкість сходу фуражної маси становить:

$$\vartheta = \sqrt{\vartheta_{\text{пер}}^2 + \vartheta_{\text{від}}^2} \quad (2.24)$$

де $\vartheta_{\text{пер}}$ - переносна швидкість, м/с (колова швидкість).

Колова швидкість становить:

$$\vartheta_{\text{пер}} = \omega R_1 \quad (2.25)$$

де R_1 - відстань від центру ротора до центру ваги маси, яка знаходиться на бітері, м);

$\vartheta_{\text{від}}$ - відносна швидкість фуражної маси по бітеру, м/с.

Для визначення відносної швидкості руху матеріалу, складемо рівняння цього руху. При цьому приймемо, що швидкість повітряного потоку збігається з напрямом руху матеріалу, а центр ваги маси знаходиться на середині бітера.

Для цього введемо такі позначення (рисунок 2.3).

R_0 - радіус ротора, м;

R - радіус кола, яке описується бітерами, м;

l – довжина бітера, м.

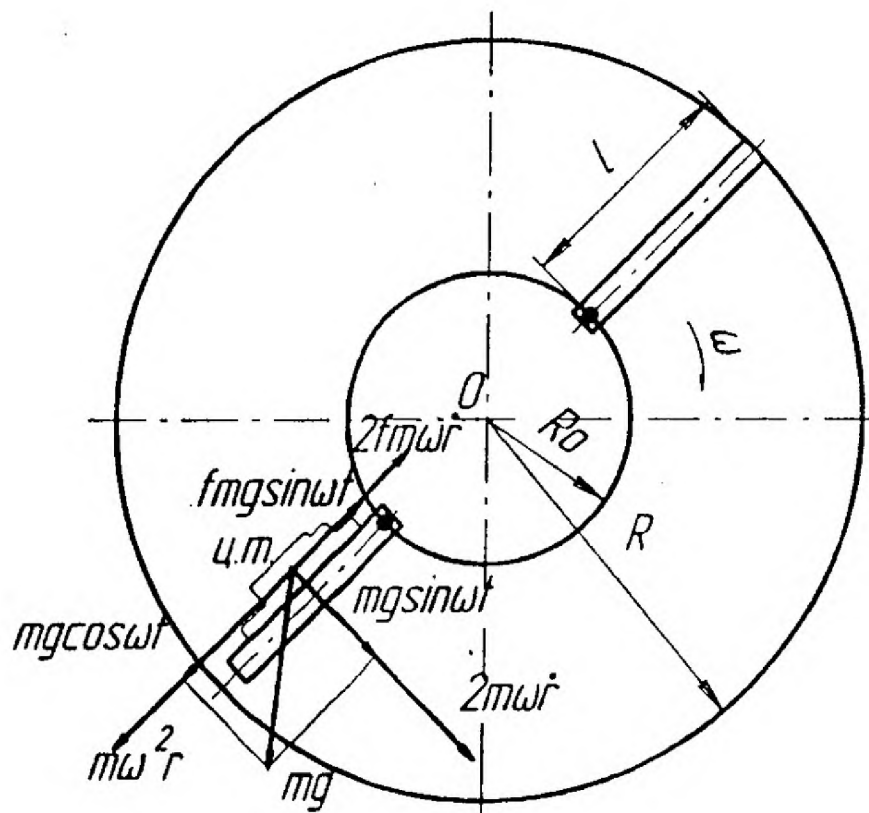


Рисунок 2.3 – Схема сил які діють на порцію фуражного матеріалу, який знаходиться на бітері кондиціонера

На порцію фуражного матеріалу, яка знаходиться на бітері в момент часу t , діють такі сили:

$mg \sin \omega t$ - складова сили тяжіння, яка спрямована нормально до бітера;

$mg \cos \omega t$ - складова сили тяжіння, спрямована вздовж бітера, кгс;

$fmg \sin \omega t$ – сила тертя, спрямована проти швидкості відносного руху фуражного матеріалу;

$2m\omega \dot{r}$ - Коріолісова сила;

$m\omega^2 r$ - відцентрова сила інерції,;

$2fm\omega \dot{r}$ - сила тертя від Коріолісової сили інерції.

Диференціальне рівняння руху порції фуражного матеріалу по бітеру матиме вигляд:

$$m\ddot{r} = m\omega^2 r + mg \cos \omega t - fmg \sin \omega t - 2fm\omega \dot{r} \quad (2.26)$$

Поділимо праву та ліву частини рівняння (2.26) на m , отримаємо рівність:

$$\ddot{r} - \omega^2 r + 2f\omega \dot{r} = g(\cos \omega t - f \sin \omega t) \quad (2.27)$$

Вище неведене рівняння (2.27) є лінійне диференціальне рівняння другого порядку із постійними коефіцієнтами і правою частиною. Його загальним розв'язком r є сума розв'язків однорідного рівняння та однієї із його часткових рішень, r_2 тобто:

$$r = r_1 + r_2. \quad (2.27)$$

Для того щоб знайти складемо однорідне диференціальне рівняння, замінюючи праву частину в рівнянні (2.27) нулем, отримаємо:

$$\ddot{r} + 2f\omega \dot{r} - 2\omega^2 r = 0 \quad (2.28)$$

Розв'язком цього рівняння буде:

$$r_1 = c_1 e^{k_1 t} + c_2 e^{k_2 t} \quad (2.28)$$

де c_1 і c_2 - сталі інтегрування, які знаходяться з початкових умов;
 k_1, k_2 - корені характеристичного рівняння.

$$k_2 + 2f\omega k_1 - \omega^2 = 0$$

Розв'язавши це рівняння, отримаємо:

$$k_1 = \alpha_1\omega \quad k_2 = \alpha_2\omega \quad (2.29)$$

$$\text{де } \alpha_1 = \sqrt{f^2 + 1} - f \quad \alpha_2 = -\sqrt{f^2 + 1} - f$$

Часткове рішення рівняння має вигляд такий вигляд:

$$r_2 = A \sin \omega t + B \cos \omega t \quad (2.30)$$

де A і B – коефіцієнти, які необхідно визначити.

Продиференціювавши рівняння (2.30) двічі, отримаємо рівність:

$$\dot{r}_2 = A\omega \cos \omega t - B \sin \omega t \quad (2.30)$$

$$\ddot{r}_2 = -A\omega^2 \sin \omega t - B\omega^2 \cos \omega t \quad (2.31)$$

Підставляючи значення \dot{r} та \ddot{r} з рівняння (2.30) та (2.31) у рівняння (2.28) і прирівнявши в отриманому рівнянні значення коефіцієнтів при $\cos \omega t$ та $\sin \omega t$ знайдемо вираз для A і B .

$$A = 0, \quad B = \frac{g}{\omega^2} \quad (2.32)$$

Розв'язок рівняння (2.27) запишеться у наступному вигляді:

$$r = r_1 + r_2 = c_1 e^{k_1 t} + c_2 e^{k_2 t} + B \cos \omega t, \quad (2.33)$$

Швидкість переміщення захопленої фуражної маси по бітеру становить:

$$\dot{r} = c_1 k_1 e^{k_1 t} + c_2 k_2 e^{k_2 t} - B \sin \omega t \quad (2.34)$$

$$\text{де } k_1 = \omega(\sqrt{f^2 + 1} - f) \quad k_2 = \omega(-\sqrt{f^2 + 1} - f)$$

Сталі інтегрування c_1 і c_2 знаходимо із наступних початкових умов, при $t = t_0$, що відповідає моменту захоплення порції скошеної фуражної маси бітером, маса на бітері нерухома, тобто $r = r_0$ $\dot{r} = 0$:

$$C_1 = \frac{r_0 k_2 - B \sin \omega t_0 - k_2 B \cos \omega t_0}{(k_2 - k_1) e^{k_1 t_0}}$$

$$C_2 = \frac{B \omega \sin \omega t_0 + k_1 B \cos \omega t_0 - r_0 k_1}{(k_2 - k_1) e^{k_2 t_0}}$$

$$B = \frac{g}{\omega^2}$$

Обчисливши значення k_1, k_2, C_1 і C_2 , та підставивши отримані значення величини у рівняння (2.34), отримаємо розрахункове рівняння визначення швидкості матеріалу по бітеру $\mathfrak{V}_{\text{від}}$. Абсолютну швидкість порції визначимо за рівнянням (2.27), а кут між вектором абсолютної швидкості та бітером за таким виразом:

$$\text{tg} Q = \mathfrak{V}_{\text{пер}} / \mathfrak{V}_{\text{від}} = \omega R / r \quad Q = \text{arctg} \frac{\omega R}{r}$$

Час t_n переміщення маси по бітеру буде:

$$t_n = \frac{1}{g_{\text{від}}} \quad (2.35)$$

За цей час ротор обернеться на кут

Очевидно, що кут охоплення кожуха φ має бути $\alpha \leq \varphi$

Визначимо радіус кривизни направляючого кожуха. Для цього скористаємося схемою (рисунок 2.4). Вважаємо, що рух фуражного матеріалу після сходу із біла прямолінійний та спрямований у напрямку абсолютної швидкості.

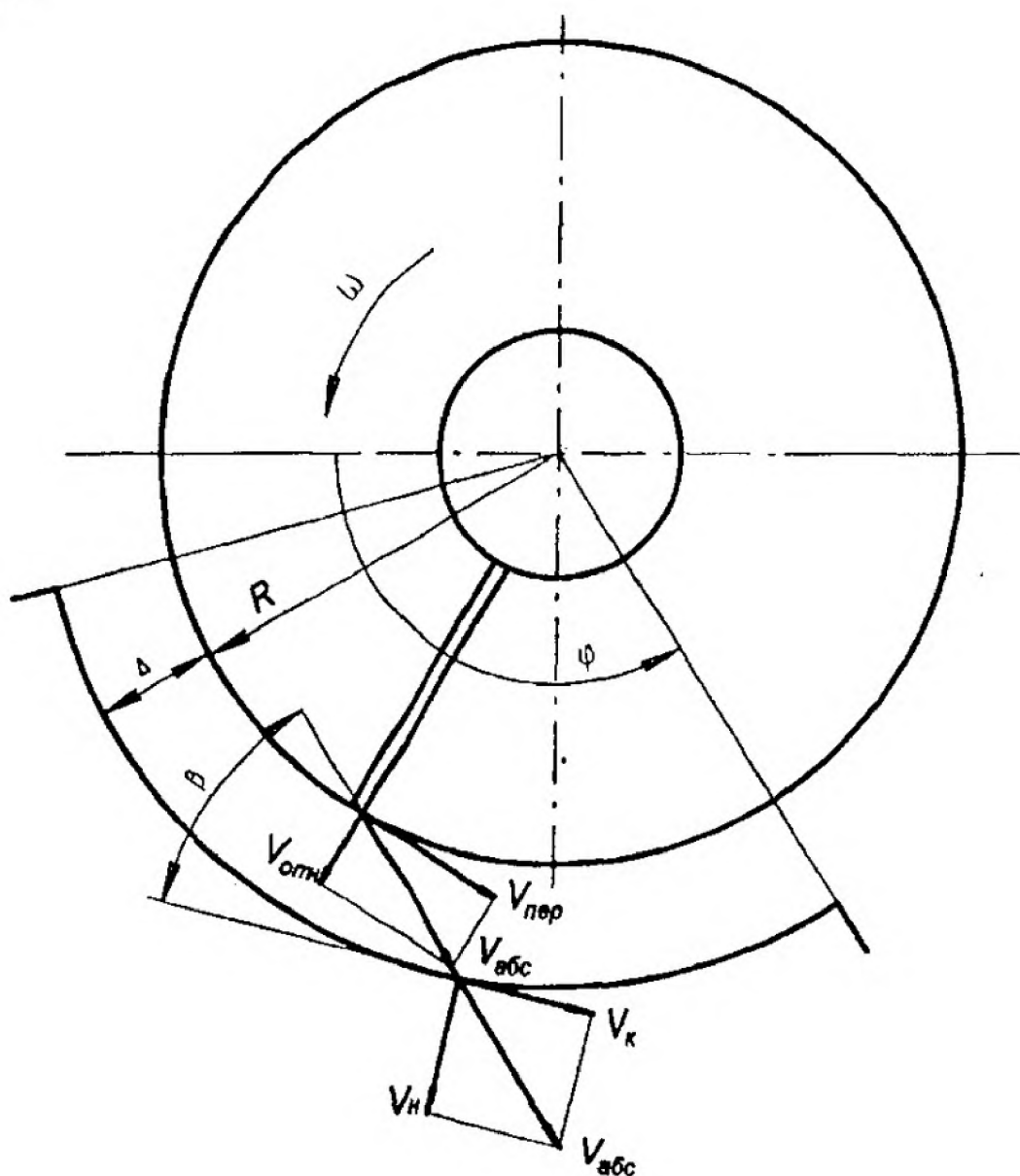


Рисунок 2.4 - Схема до визначення параметрів поверхні направляючого кожуха

Розкладемо абсолютну швидкість на дотичну V_d та нормальну V_n складові поверхні напрямного кожуха. Приймаючи, що матеріал є непружним, нормальна складова поглинається кожухом, і рух матеріалу по кожуху залежить від дотичної складової:

$$V_{\text{кас}} = \vartheta_{\text{абс}} \cos \beta \quad (2.36)$$

де β – кут зустрічі маси з кожухом, радіан.

Очевидно, що рух маси відбуватиметься безперешкодно за умови, що кут β менший за кут тертя φ , $\beta \leq \varphi$. При цьому повинна виконуватися умова, що кут сталий на всьому протязі кожуха. Цій умові задовольняє циліндрична поверхня.

На основі аналізу конструкцій кондиціонерів косарок який викладений у першому розділі кваліфікаційної роботи магістра для удосконаленої косарки плющилки застосуємо металеві V-подібні бітери із гладкою робочою поверхнею поверхня напрямного кожуха.

Значення параметрів кондиціонера фуражної маси було обгрунтовано на основі результатів теоретичних досліджень, які викладені у розділах 2.3 і 2.4.

Діаметр ротора по зовнішніх кромках бітерів знаходимо використавши залежність (2.18):

$$D_p = 2R_0 \left(1 + 1/K^2\right) = 2R_0 \left(1 + 1/0,5^2\right) = 0,55\text{м} = 550\text{мм} \quad (2.37)$$

Частоту обертання ротора визначаємо згідно залежністю (2.19):

$$n = \frac{60\vartheta}{\pi D_p} = \frac{\vartheta \cdot 60}{\pi \cdot 0,55} = 695 \text{хв}^{-1} \quad (2.38)$$

Швидкість обробки скошеної фуражної маси $\vartheta = 20$ м/с приймаємо на основі аналізу технічних характеристик косарок.

Довжина бітера становить:

$$l = D / 2 - R_0 = 0.55 / 2 - 0.055 = 0.22\text{м} = 220\text{мм} \quad (2.39)$$

Секундна подача фуражного матеріалу до кондиціонера за врожайності фуражних трав $Q = 250$ ц/га, робоча ширина захоплення косарки становить 3 м, швидкості руху агрегату $v_M = 2,5$ м/с визначається згідно залежності (2.22):

$$\Pi = 0,01Q \cdot B \cdot v_M = 0.01 \cdot 200 \cdot 3.0 \cdot 2.5 = 15\text{кг} / \text{с} \quad (2.40)$$

Маса, що обробляється одним бітером кондиціонера, визначається згідно формули (2.23):

$$m = \frac{\Pi \cdot 60}{Z \cdot n} = \frac{15 \cdot 60}{48 \cdot 695} = 0.027\text{кг} \quad (2.41)$$

Масу бітера визначаємо за амплітуди коливань $\alpha = 4^\circ = 0,070$ рад використовуючи залежність (2.20):

$$m_\delta = \frac{m_m (\omega R - \alpha v l_\delta)}{z \alpha v l_\delta} = \frac{0,027 \cdot (72,7 \cdot 0,275 - 0,070 \cdot 36,35 \cdot 0,22)}{2 \cdot 0,070 \cdot 36,35 \cdot 0,22} = 0,464\text{кг} = 464\text{г} \quad (2.42)$$

Відстань між кромками бітера та декою на вході у кондиціонер забезпечую проходження усієї скошеної маси у кондиціонер без його забивання.

Враховуючи, що секундна подача фуражної маси до кондиціонера становить $Q = 15$ кг/с, ширина кондиціонера $B = 2,25$ м, а швидкість подачі маси швидкості руху агрегату $v = 2.5$ м / с :

Визначимо висоту шару матеріалу, що подається у кондиціонер:

$$h = \frac{Q}{\gamma v B} = \frac{15}{40 \cdot 2.5 \cdot 2.25} = 0.066 \text{ м} = 66 \text{ мм} \quad (2.43)$$

де $\gamma = 40$ кг/м³ - щільність скошеної фуражної маси, що подається на кондиціонер.

Визначаємо кут охоплення деки $\varphi \geq \beta$, де $\beta = \omega l / v_{\text{відл}}$

$$\beta = \frac{72.7 \cdot 0.22}{20} = 0.8 \text{ рад}$$

Приймаємо кут охоплення деки кондиціонера $\varphi = 75^\circ$.

На повноту травмування стебел фуражних культур на величину втрат скошеної маси найбільше впливає швидкість дії бітерів на скошену фуражну масу та відстань між зовнішньою кромкою бітера та робочою поверхнею кожуха на вході та виході із кондиціонера косарки плющилки.

Слід відмітити, що у ротаційних косарках маса, яка зійшла із роторів косарок, рухається назустріч бітерам кондиціонера із великою швидкістю.

2.4 Висновки

Розроблені математичні моделі, які описують рух бітера плющильного ротора динамічної дії та рух скошеної фуражної маси по бітеру, дозволили визначити: абсолютну швидкість будь-якої точки бітера плющильного ротора, діаметр та частоту обертання ротора, форму направляючого кожуха та кут його охоплення ротора. Оптимальний кут охоплення кожухом плющильного ротора становить $\varphi = 75^\circ$.

3 ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Лабораторне обладнання, прилади та апаратура для проведення досліджень

У кваліфікаційній роботі досліджували швидкість прив'ялювання фуражної маси. Для цього у роботі визначали вологість рослинної маси. Для визначення вологості рослинної маси використовували наступне обладнання. сушильна шафа СНОЛ 3,5. 3,5. 3,5 (рисунок 3.1, а);

- електронні ваги ТВЛ-0,5 (рисунок 3.1, б).



а)



б)

Дослідження процесу плющення проводили із використанням лабораторних установок із плющильними вальцями (рисунок 3.2) та плющильний ротор динамічної дії (рисунок 3.3).



Рисунок 3.2 Лабораторна установка із плющильними вальцями

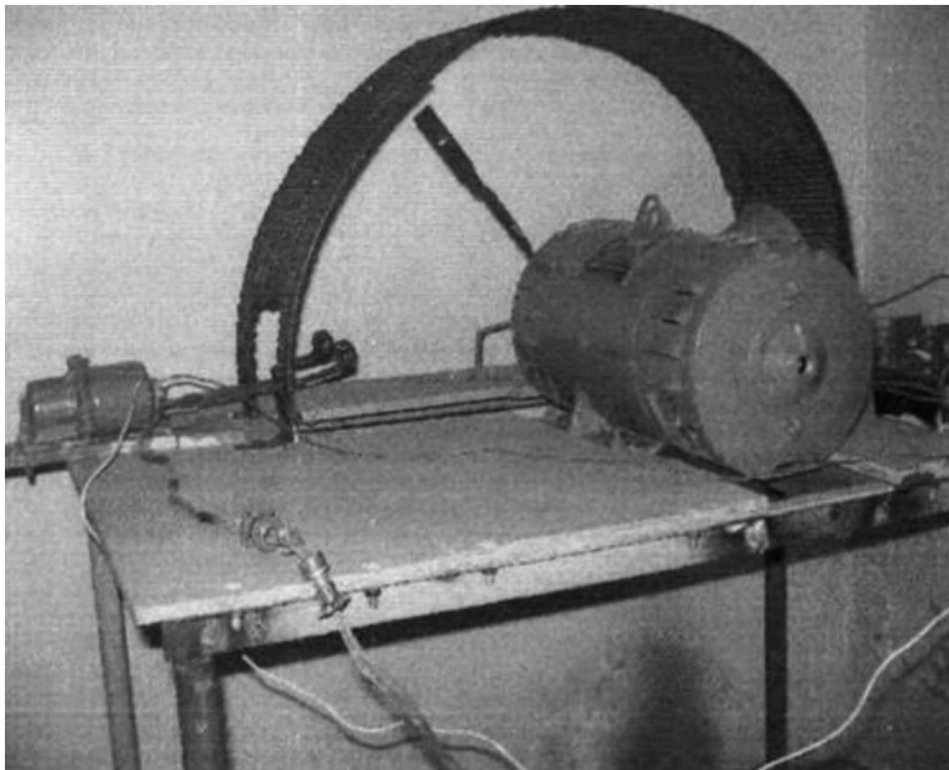


Рисунок 3.3 Лабораторна установка із плющильними ротором динамічної дії

Лабораторна установка із плющильними вальцями містить станину, направляючу, два рифлених вальці, рукоятка приводу вальців та механізм регулювання зазору між вальцями.

Для дослідження процесу руйнування стебел фуражних рослин використовували лабораторну установку, яка містить бітер, що закріплений на маховику, який надітий на вал ротора електродвигуна. Над бітером встановлений кожух. Стебла рослин подавали на плющильний ротор. Стебла рослин після плющення діагностували на предмет їх пошкодження.

3.2. Методика визначення вологості властивостей стебел фуражних рослин

Для досліджень брали стебла фуражних рослин (конюшини, люцерни, фуражних культур). Вологість матеріалу визначали шляхом висушування зразків стебел у сушильній шафі. Вологість досліджуваного стебел матеріалу визначали із залежності:

$$W = \frac{m - m_1}{m} \quad (3.1)$$

де m - маса стебел до сушіння;

m_1 - маса стебел після сушіння.

Середня проба для аналізу вологості відбиралась так, що вона характеризувала усю партію досліджувального фуражного матеріалу.

3.3. Методика визначення повноти травмування стебел фуражних рослин

Для досліджень брали наступні фуражні рослини: конюшина, люцерна, овес. Після цього стебла фуражних рослин плющили за допомогою лабораторної установки - плющильних вальців (рисунок 3.2). Після цього визначали степінь подрібнення стебел рослин. Визначали рослин, як мали травмоване (розплющене) все стебло, кількість рослин у яких було травмоване лише половину стебла та кількість рослин у яких не було травмоване стебло.

Відсоток травмування стебел визначали згідно залежності:

$$k = \frac{n_i}{n} 100, \% \quad (3.2)$$

n - загальна кількість рослин, яка подається

n_i - кількість травмованих рослин

За формулою 3.2 визначали кількість рослин які мають травмоване стебло на 50% та кількість рослин із нетравмованими стеблами.

Аналогічні дослідження проводили при випробування лабораторної установки із плющильним ротором динамічної дії (рисунок 3.3). Результати досліджень заносили в таблицю 3.2.

3.4. Результати дослідження швидкості прив'ялювання фуражної маси

Швидкість прив'ялювання фуражної маси залежить від метеорологічних умов. Досліди по прив'ялюванню фуражної маси проводились протягом світлового дня за наступних метеорологічних умов: температура повітря оточуючого середовища на початку сушіння 21,3°C, в середині сушіння 19,1°C, і в кінці сушіння 15,2°C; відносна вологість повітря рівна 65%,

швидкість вітру на початку сушіння 4,5 м/с, в середині сушіння - 2,0 м/с, і в кінці сушіння - 1,0 м/с.

За результатами проведення дослідження швидкості прив'ялювання фуражної маси конюшини необробленої, обробленої плющильними вальцями та плющильним ротором динамічної дії побудована графічна залежність яка наведена на рисунку 3.2

Таблиця 3.1- Швидкість віддачі вологи фуражною масою конюшини в процесі прив'ялювання

Стан фуражної маси	Швидкість віддачі вологи фуражною масою , % в годину			
	На початку сушіння	В середині сушіння	В кінці сушіння	Середнє значення
Оброблена плющильним ротором динамічної дії	9.0	4.7	3.4	5.7
Оброблена вальцями	7.2	2.1	2.25	3.85
Необроблена маса	7	0.65	0.4	2.7

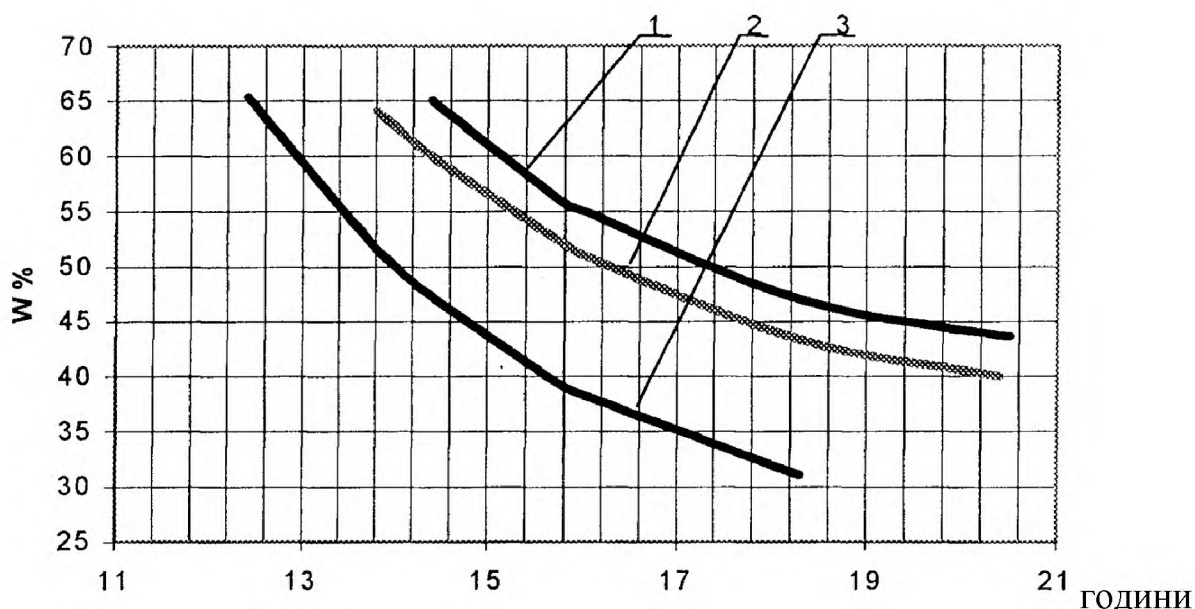


Рисунок 3.4 Графічна залежність волого віддачі фуражною масою конюшини в процесі сушіння:

- 1 – фуражна маса, яка не оброблена.
- 2– фуражна маса, яка оброблена плющильними вальцями
- 3 – фуражна маса яка оброблена бітером динамічної дії

Аналіз результатів досліджень (таблиця 3.2) показує, що швидкість віддачі вологи масою конюшини яка оброблена плющильним ротором динамічної дії у 1,5 рази вища від швидкості вологовіддачі фуражною масою яка оброблена плющильними вальцями. Таке явище можна пояснити більшою повнотою травмування стебел рослин та характером пошкодження покривних тканин стебел рослин.

Слід враховувати, що збільшення швидкості вологовіддачі зменшує терміни прив'ялювання рослинної маси, і відповідно підвищується поживна цінність корму.

3.5. Результати дослідження повноти травмування стебел фуражних рослин

Результати дослідження травмування фуражних рослин в процесі плющення занесені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 - Травмування фуражних рослин в процесі плющення

Вид фуражної маси	Плющильний ротор динамічної дії	Плющильні вальці
Конюшина		
плющення повністю	93,2	80,7
плющення ½ довжини стела	5,6	13,1
неплющені	1,2	6,2
Люцерна		
плющення повністю	95,1	81
плющення ½ довжини стела	3,9	13,5
неплющені	1	5,5
Злакові трави		
плющення повністю	67	46,6
плющення ½ довжини стела	18,5	27,5
неплющені	14,5	25,9

Аналіз отриманих результатів дослідження показує що травмування конюшини сягає 98,8 %(93.2+5,6), люцерни 99% (95,1+3,9), злакових культур 85,5% (67,0 + 18,5). Для вальцьового плющильного апарату травмування є наступне: конюшина 93,8 %(80,7+13.1), люцерни 94,5% (81+13,5), злакових культур 74,2 % (46,7 +27,5).

Ступіть травмування рослин під час плющення впливає на інтенсивність процесу прив'ялювання рослин. Таким чином, за ступенем травмування і відповідно якістю обробки плющильний ротор динамічної діє є кращим від плющильних вальців.

3.6. Висновки

Ступіть травмування рослин під час плющення впливає на інтенсивність процесу прив'ялювання рослин. Таким чином, за ступенем травмування і відповідно якістю обробки плющильний ротор динамічної діє є кращим від плющильних вальців.

Відповідно для інтенсифікації процесу сушіння скошених фуражних трав необхідно використовувати бітерні плющильні ротори динамічної дії.

РОЗДІЛ 4

ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЛЮЩЕННЯ

Для подальших розрахунків технологічної операції плющення приймаємо такі вихідні дані для розрахунку : площа поля яке обробляється -50 га , довжина гону - 800 м, фон - стерня багаторічних трав рельєф, поля -схил 2 %. Повнота плющення - 98 %.

4.1. Розрахунок режимів роботи машино-тракторного агрегату

Знаходимо діапазон допустимих швидкостей виконання технологічної операції. Згідно агрономог швидкість руху машино-тракторного агрегату повинна становить 5 - 7 км/год. Для агрегування косарки плющили вибираємо трактор МТЗ-82 для якого зазначена швидкість забезпечується на III передачі підвищеного і IV пониженого діапазону. На цих передачах теоретична швидкість руху становить машино-тракторного агрегату становить: III підв.= 7,24 км/год., Vпон. = 6,73 км/год. Визначаємо дотичну силу тяги трактора на даних передачах:

$$P_d = \frac{9,954 \cdot N_e \cdot i_{пер}}{n_a \cdot r_k} \quad (4.1)$$

де r_k – радіус колеса трактора., м

$i_{тр}$ – передаточне число трансмісії на передачах;

N_e – ефективна потужність двигуна, кВт.;

n_a – номінальна частота обертання колінчастого валу двигуна.

Для вибраного трактора МТЗ-82 ефективна потужність двигуна становить $N_e = 58,9$ кВт , передаточне число трансмісії на передачах трактора

$i_{трIII} = 83,5$ $i_{трIV} = 90$, номінальна частота обертання колінчастого валу двигуна
 $n_{дв} = 2200 \text{ об / хв}$

Радіус колеса трактора становить:

$$r_k = r_0 + \lambda \cdot h \quad (4.2)$$

де λ – коефіцієнт деформації шини, $\lambda = 0,75$;

r_0 – радіус сталевого ободка колеса трактора, $r_0 = 0.483 \text{ м}$

h – ширина шини, $h = 0.305 \text{ м}$,

Підставивши числові данні у формулу отримаємо (4.2):

$$r_k = 0.483 + 0.305 \cdot 0.75 = 0.71 \text{ м}$$

Тоді дотична сила на третій передачі рівна:

$$P_{\text{дот}} = \frac{9.954 \cdot 58.9 \cdot 83.5 \cdot 0.9}{2200} = 28.2 \text{ кН}$$

Дотична сила на четвертій передачі рівна:

$$P_{\text{дот}} = \frac{9.954 \cdot 58.9 \cdot 90 \cdot 0.9}{2200} = 30.4 \text{ кН}$$

Визначаємо силу зчеплення рушіїв трактора із ґрунтом за виразом:

$$F_{\text{гр}} = \mu G \phi \quad (4.3)$$

де G - вага трактора, $G = 33.5 \text{ кН}$;

де μ – коефіцієнт зчеплення рушіїв трактора із ґрунтом, $\mu = 0.65$

ϕ –коефіцієнт який показує яка частина ваги трактора припадає рушії, $\phi = 1$.
Відповідно, сила зчеплення рушіїв трактора із ґрунтом становить:
 $F_{зч} = 0,85 \cdot 33,5 \cdot 1 = 21,8 \text{кН}$

Визначаємо рушійну силу тяги на вибраних передачах.

Згідно проведеного розрахунку дотична сила тяги на III передачі рівна 28,2 кН, на IV – 30,4 кН, а сила зчеплення рушіїв із ґрунтом становить 28,1 кН.

Тому, за рушійну силу тяги на обох передачах приймаємо силу зчеплення рушіїв із ґрунтом, яка становить 21,8 кН.

Знаходимо силу тяги трактора на вибраних передачах за формулою:

$$P_{\text{гак}} = P_p - (P_f - P_i) \quad (4.4)$$

P_f - сила опору на перекочування, кН;

P_p - рушійна сила, кН

P_i - сила опору на подолання підйому, кН.

Сила опору на перекочування становить:

$$P_f = G \cdot f \quad (4.5)$$

f - коефіцієнт опору перекочування. $f = 0.07$

Підставимо числові данні у формулу (4.5), отримаємо:

$$P_f = 33.5 \cdot 0.07 = 2.35 \text{кН}$$

Сила опору на подолання підйому рівна:

$$P_i = G \cdot \frac{i}{100} \quad (4.6)$$

де i – схил місцевості, % .

$$P_i = 33,5 \cdot \frac{2}{100} = 0,67$$

Тоді, сила тяги на III передачі становить:

$$P_{\text{гак}} = 28,2 - (2,35 + 0,67) = 18,8 \text{кН}$$

Визначаємо робочу швидкість руху машино-тракторного агрегату на вибраних передачах за формулою:

$$V_p = V_t \cdot (1 - \delta) \quad (4.7)$$

де δ – коефіцієнт буксування.

V_t – теоретична швидкість руху машино-тракторного агрегату, км/год.;

Коефіцієнт буксування можна визначити із залежності :

$$P = \frac{P_{\text{гак}} \cdot K_b}{F_{\text{зч}}} \quad (4.8)$$

де P – безрозмірний параметр ;

K_b - коефіцієнт використання тягового зусилля трактора, $K_b = 0,8$;

$$P = \frac{18,8 \cdot 0,8}{21,8} = 0,67$$

За показником p знаходимо δ , $\delta = 12,5\%$,

Відповідно, робоча швидкість руху машино-тракторного агрегату становитиме:

$$\text{На III підв. } V_p = 7.24 \cdot (1 - 0.125) = 6.3 \text{ км / год.}$$

$$IV_{\text{пон.}} V_{\text{роб}} = 6,73 \cdot (1 - 0,125) = 5,9 \text{ км / год}$$

Визначаємо тяговий опір машинно-тракторного агрегату . Так як машино-тракторний агрегат є тягово-привідним, то опір цього агрегату визначаємо згідно формулою:

$$R = R_m + R_{\text{пр}} \quad (4.9)$$

де: R_m –опір перекочування косарки-плющилки;

$R_{\text{пр}}$ - тягове зусилля, що витрачається на приведення у дію робочих органів кондиціонера від ВВП трактора:

Опір на перекочування косарки плющили становить:

$$R_m = f_m G_m \quad (4.10)$$

де G_m –вага плющилки, $G_m = 7 \text{ кН}$.

f_m –опір перекочування косарки, $f_m = 0.07$

Тягове зусилля, яке витрачається на приведення у дію робочих органів від ВВП трактора становить:

$$R_{\text{пр}} = \frac{3.6 \cdot N_{\text{ВВП}} \cdot \eta_{\text{пр}}}{V_p \cdot \eta_{\text{ВВП}}} \quad (4.11)$$

де $N_{\text{ВВП}}$ -потужність, яка витрачається на приведення робочих косарки плющилки від ВВП трактора, кВт., $N_{\text{ВВП}} = 15 \text{ кВт}$.

$\eta_{\text{ВВП}}$ –коефіцієнт корисної дії ВВП трактора, $\eta_{\text{ВВП}} = 0,95$.

Підставивши числові данні у формулу (4.11), отримаємо:
на III передачі

$$R_{\text{пр}} = \frac{3,6 \cdot 15 \cdot 0,9}{6,3 \cdot 0,95} = 8,1 \text{ кН}$$

на IV передачі

$$R_{\text{пр}} = \frac{3,6 \cdot 15 \cdot 0,9}{5,9 \cdot 0,95} = 8,9 \text{ кН}$$

Тоді, опір на перекочування косарки-плющили на передачах становить:

на III передачі $R = 0,49 + 8,1 = 8,59 \text{ кН}$

на IV передачі $R = 0,49 + 8,6 = 9,09 \text{ кН}$

Визначаємо коефіцієнт використання тягового зусилля трактора на заданих передачах:

$$\eta = \frac{R_a}{P_{\text{гак}}} \quad (4.12)$$

де $P_{\text{гак}}$ - тягове зусилля на гаку трактора;

R_a -тяговий опір машино-тракторного агрегату.

Підставимо числові значення у вираз (4.12), отримаємо:

$$\eta_{\text{III}} = \frac{8,85}{18,8} = 0,46$$

$$\eta_{\text{IV}} = \frac{9,09}{18,8} = 0,48$$

Оскільки коефіцієнт використання тягового зусилля для четвертої передачі максимально наближений до допустимого то за робочу вибираємо IV передачу трактора.

4.2. Розрахунок кінематичних характеристик агрегату

Для виконання операції плющення фуражної маси вибираємо човниковий спосіб руху машинно-тракторного агрегату.

Визначаємо ширину поворотної смуги за формулою:

$$E = 3R + e, \quad (4.13)$$

де R - радіус повороту, $R = 5$ м.

e – довжина виїзду машино-тракторного агрегату.

Для причіпного машино-тракторного агрегату довжина виїзду становить:

$$e = 0.1 \cdot l_a \quad (4.14)$$

де l_a – кінематична довжина агрегату.

Кінематична довжина машино-тракторного агрегату визначається із залежності:

$$l_a = l_m + l_t$$

де l_m - кінематична довжина сільськогосподарської машини $l_m = 2,1$ м

l_t – кінематична довжина трактора $l_t = 1,2$ м (МТЗ–82).

Тоді кінематична довжина машино-тракторного агрегату становить:

$$l_a = 1,2 + 2,1 = 3,3 \text{ м.}$$

Довжина виїзду агрегату становить:

$$e = 0,1 \cdot 3,3 = 0,33 \text{ м}$$

Отже, ширина поворотної смуги буде для вибраного машинно-тракторного агрегату становить:

$$E = 3 \cdot 5 + 0,33 = 15,33 \text{ м}$$

Фактична ширина поворотної смуги становить:

$$E_{\phi} = n \cdot B_p \quad (4.13)$$

де n - число проходів машино-тракторного агрегату:

$$n = \frac{E}{B_p} \quad (4.14)$$

Тоді,

$$n = \frac{15,33}{3} = 5,11$$

Заокруглюємо число проходів агрегату до більшого цілого числа, отримаємо: $n = 6$

Фактична ширина поворотної смуги становить:

$$E_{\phi} = 6 \cdot 3 = 18 \text{ м}$$

Визначаємо коефіцієнт робочих ходів агрегату за формулою:

$$\varphi = \frac{L_p}{L_p + L_x} \quad (4.15)$$

де L_x - довжина холостого ходу;

L_p - робоча довжина заїмки;

Робоча ширина заїмки становить:

$$L_p = L - 2E_\phi \quad (4.16)$$

де L - довжина поля, $L = 800$ м

Тоді,

$$L_p = 800 - 36 = 764 \text{ м}$$

При човниковому способі руху машинно-тракторного агрегату довжина холостого ходу становить:

$$L_x = 6R + 2e \quad (4.17)$$

Підставивши число данні, отримаємо:

$$L_x = 6 \cdot 5 + 2 \cdot 0,33 = 30,66 \text{ м}$$

Тоді коефіцієнт робочих ходів рівний:

$$\phi = \frac{764}{764 + 30,66} = 0,96$$

4.3. Визначення витрати палива машино-тракторним агрегатом

Норма виробітку становить:

$$H = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau \cdot T_{зм} \quad (4.18)$$

$T_{зм}$ –тривалість зміни; год, $T_{зм} = 7$ год;

де τ –коефіцієнт використання часу:

$$\tau = T_p / T_{зм}$$

T_p - тривалість чистої роботи агрегату, год;

$$T_p = T_{зм} \cdot \frac{(T_1 + T_2 + T_3 + T_4)}{1 + \tau_{пов} + \tau_{мо}} \quad (4.19)$$

T_1 –тривалість підготовчо-заклучних робіт для агрегату, $T_1 = 5$ хв ;

T_2 –норматив часу на проведення ЩТО, $T_2 = 50$ хв ;

T_3 –норматив часу на фізіологічні потреби механізатора $T_3 = 25$

T_4 - тривалість часу на переїзди, $T_4 = 25$ хв

Коефіцієнт поворотів визначаємо становить:

$$\tau_{пов} = \frac{1 - \varphi}{\varphi} \quad (4.20)$$

Підставивши числові данні, отримаємо:

$$\tau_{пов} = \frac{1 - 0,96}{0,96} = 0,04$$

Тоді після підстановки числових значень, отримаємо:

$$T_p = 420 - \frac{(5 + 50 + 35 + 10)}{14 + 0,4} = 298 \text{хв} \approx 5 \text{год}$$

Тоді коефіцієнт використання часу зміни:

$$\tau = 5 / 7 = 0,71$$

Підставивши всі отримані значення у формулу отримаємо значення норми виробітку за зміну:

$$H = 0,1 \cdot 5 \cdot 6,3 \cdot 0,71 \cdot 7 = 15,5 \text{ га / зміну.}$$

Визначимо норму витрати палива машино-тракторним агрегатом за формулою:

$$q = \frac{G_p \cdot T_p \cdot G_z \cdot T_z \cdot G_{\text{пер}} \cdot T_{\text{пер}} \cdot G_{\text{пов}} \cdot T_{\text{пов}}}{H} \quad (4.21)$$

де G_p , G_z , $G_{\text{пер}}$, $G_{\text{пов}}$ - відповідно, витрата палива під час виконання основної операції, на зупинках, переїздах та поворотах, кг/год.

$$T_{\text{пов}} = T_p \cdot \tau_{\text{пов}} \quad (4.22)$$

Час що затрачається на повороти.

$$T_{\text{пов}} = 5 \cdot 0,04 = 0,2.$$

Тривалість зупинок $T_{\text{зуп}} = 10 \text{ хв}$

Тривалість переїздів $T_{\text{пер}} = 25 \text{ хв}$

Приймаємо для розрахунків $G_{\text{зуп}} = 1,7 \text{ кг / год ,}$

$G_{\text{пер}} = 6 \text{ кг / год; } G_{\text{пов}} = 7 \text{ кг / год; } G_p = 10 \text{ кг / год}$

Підставивши всі значення у формулу (4.21) отримаємо:

$$q = \frac{10 \cdot 5 \cdot 1.7 \cdot 0.17 \cdot 6 \cdot 0.42 \cdot 7 \cdot 0.2}{15.5} = 3,5 \text{ кг / га}$$

4.4. Висновки

Розроблена операційна технологія плющення скошеної маси фуражних культур. Підібрано склад агрегату (трактор МТЗ-80 + ротаційна косарка - пюцилка) Оптимальна швидкість руху машино-тракторного агрегату забезпечується на IV передачі трактора. Коефіцієнт використання часу зміни при роботі рівний $\tau = 0,71$. Продуктивність агрегату становить 15,5 га / зм.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблено функціональну схему косарки плющили та складальне креслення плющильного ротора динамічної дії.

Теоретично досліджено процес плющення стебел фуражних культур плющильним ротором динамічної дії. Отримано математичні моделі, які описують рух бітера плющильного ротора та рух стебел скошеної фуражної маси по бітеру, що дозволили визначити такі параметри: абсолютну швидкість будь-якої точки бітера плющильного ротора динамічної дії, частоту обертання та діаметр, форму направляючого кожуха та кут охоплення кожухом ротора. Оптимальний кут охоплення кожухом плющильного ротора динамічної дії становить $\varphi = 75^\circ$.

Експериментальними дослідження встановлено, що повнота травмування стебел вальцевим плющильним апаратом становить: конюшини 98,8 %, люцерни 99% , злакових культур 85,5%. Повнота травмування стебел, які оброблені плющильним ротором динамічної дії рівна: конюшина 93,8 %, люцерни, злакових культур 74,2 %.

Експериментально досліджено, що швидкість віддачі вологи стеблами конюшини що оброблена плющильним ротором динамічної дії (кондиціонером) у 1,5 рази вища від швидкості вологовіддачі стебел конюшини плющильними вальцями.

У кваліфікаційні роботі магістра розроблена операційна технологія плющення стебел фуражних культур. Розраховано склад машино-тракторного агрегату та визначено оптимальні експлуатаційні показники його роботи: передача швидкості руху трактора – IV, коефіцієнт використання часу зміни $\tau = 0,71$., продуктивність агрегату 15,5 га / зм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Анішин Л. А. Основні результати і перспективи досліджень ефективності регуляторів росту в рослинництві / Регулятори росту рослин у землеробстві. Під ред. А. О. Шевченка. – К., 1998. – С. 26 – 32.
2. Антипова Л. К. Конюшина– універсальна рослина для агроценозів.// Корми і кормовиробництво. – Вінниця.: 2008.– Вип. – 62. – С. 139–143 5. Бабич А. О. Кормові і білкові ресурси світу. – Київ, 1985. – 289 с.– с. 22-24.
3. Багаторічні бобові трави / За ред. Б. С. Зінченка. – 2-е вид., перероб. і доп. – К.: Урожай, 1985. – 136 с.
4. Багаторічні бобові трави як основа природної інтенсифікації кормовиробництва / Г. І. Демидась, Г. П. Квітко, О. П. Ткачук, Н. Я. Гетманта ін.//; за ред. проф. Г. І. Демидася, Г. П. Квітка. – К. : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2013. – 322 с.
5. Багаторічні трави в інтенсивному кормовиробництві: / [Б. С. Зінченко, П. Т. Дробець, Й. І. Мацьків та інші]; за ред. Б. С. Зінченка. – К.: Урожай. – 1991. – 192 с.
6. Даниленко Й. А. Силосування та консервування кормів. / Й. А . Даниленко, К. О. Перевозіна, М. В. Польщикова. –К.: Урожай, 1982. –184 с. 24
7. Кваліфікаційна робота магістра [Текст] : методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого (магістерського) рівня освітньо-професійної програми «Агроінженерія» галузь знань 20 Аграрні науки та продовольство спеціальності 208 Агроінженерія денної та заочної форм навчання / уклад. В.В. Сацюк, Р.В. Кірчук, Л.Ю. Забродоцька. – Луцьк : Луцький НТУ, 2020. - 60 с.
8. Левчук А.А. Сацюк В.В. Планетарний механізм приводу тукорозсівних апаратів дискового типу: Студентський науковий вісник. Серія – природничі та технічні науки. Науковий збірник. Випуск 48 – Луцьк: ЛНТУ, 2022 – С. 46-51.

9. Офіційний сайт компанії Pöttinger. Режим доступу: https://www.poettinger.at/uk_ua
10. Офіційний сайт компанії Deere & Company: [Електронний ресурс] – Режим доступу <https://www.deere.ua/uk/>
11. Офіційний сайт компанії KRONE SCANBALРежим доступу: http://krone.ua/sertifikatsiya_krone
12. Петриченко В. Ф. Люцерна з новими якостями для культурних пасовищ / В. Ф. Петриченко, Г. П. Квітко // – К.: Аграрна наука. – 2010. – 96 с.
13. Сацюк В. В., Левчук А.А. Теоретичні дослідження точності позиціонування машино-тракторних агрегатів на схилах. Інноваційні технології в АПК: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції., м. Луцьк 7-8 берез. 2023 р. Луцьк: ЛНТУ, 2023 - С. 145-147.
14. Технологічний регламент використання машин у рослинництві. // Гарькавий А.Д., Калетнік Г.М., Мельник І.І., Лихочвор В.В., Кондратюк Д.Г. – Навчальний посібник: Вінниця, ВДАУ, 2009. – 160 с.
15. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навчальний посібник. – К.: НМК ВО, 1992. - 320 с.

ДОДАТКИ

