Луцький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет аграрних технологій та екології
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
Кафедра аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

на тему: «Удосконалення процесу видалення рослин під час окультурення земель з обґрунтуванням параметрів подрібнювача»

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

Назаркевич Н. О.
(прізвище та ініціали)

Керівник Цизь І.Є.
(прізвище та ініціали)

Гарант ОП Хомич С.М.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Дацюк Л.М.
(прізвище та ініціали)

Луцьк 2024

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедри аграрної інженерії
ім. проф. Г.А.Хайліса
доцент, к.т.н. _ С.М.Хомич
«30» грудня 2023 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ

Назаркевичу Назару Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи — Удосконалення процесу видалення рослин під час окультурення земель з обґрунтуванням параметрів подрібнювача

керівник роботи — Цизь Ігор Євгенович, доцент, к.т.н.

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

затверджена наказом ЛНТУ від «30» грудня 2023 р. № 445/01-02

2. Термін здачі студентом роботи

3. Вихідні дані до роботи

Тип машини - начіпна, мобільна;
Привід - від ВВП трактора
Призначення - подрібнення гілок d_{max} = 20 мм
Зона застосування - Полісся, Лісостеп.

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	1 лист
3.	Апаратура та обладнання для експериментальних досліджень	1 лист
4.	Результати експериментальних досліджень	1 лист
5.	Планування та результати експерименту з використанням математичного методу планування	1 лист
6.	Схема експериментальної установки чи досліджуваної машини (функціональна або принципова)	1 лист
7.	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 30 грудня 2023

К А Л Е Н Д А Р Н И Й П Л А Н

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою, формування завдань досліджень	17.06. – 01.07.2024 р.	
2	Обґрунтування конструкції і теоретичні дослідження	20.08 – 31.08.2024 р.	
3	Розробка схеми експериментальної установки чи досліджуваної машини	01.09 – 30.09.2024 р.	
4	Розробка програми і методики експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2024 р.	
5	Реалізація та обробка результатів експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2024 р.	
6	Експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування	15.10 – 01.11.2024 р.	
7	Розробка креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	01.11 – 15.11.2024 р.	
8	Узагальнення результатів та оформлення пояснювальної записки	15.11 – 25.11.2024 р.	
9	Оформлення ілюстративного матеріалу для захисту магістерської роботи	15.11 – 25.11.2024 р.	
10	Нормоконтроль	до 04.12.2024 р.	
11	Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат	04.12.– 14.12.2024 р.	

Студент Назаркевич Н.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи Цизь І.Є.
(прізвище та ініціали)

Гарант ОПП Хомич С.М.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Назаркевич Н.О. Удосконалення процесу видалення рослин під час окультурення земель з обґрунтуванням параметрів подрібнювача. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Агроінженерія» спеціальності 208 Агроінженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2024.

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків і пропозицій, списку використаних джерел, додатків (згідно структури кваліфікаційної роботи, затвердженої кафедрою).

У роботі наведено результати комплексних теоретичних та експериментальних досліджень, які дозволили розробити конструкцію мобільного подрібнювача гілок верби та інших дерев і кущів, які отримуються у процесі окультурення земель сільськогосподарського призначення.

Ключові слова:

Диск, ніж, гілка, верба, діаметр, розподіл, вологість, зусилля різання, окультурення земель.

ABSTRACT

Nazarkevych N.O. Process improving of plant removal during land cultivation with justification of shredder parameters. Manuscript.

Master's qualification work of EP "Agricultural engineering" specialty 208 Agricultural engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2024.

The master's qualification work consists of an introduction, four sections, conclusions and proposals, a list of used sources, appendices (according to the structure of the qualification work approved by the department).

The work presents the results of comprehensive theoretical and experimental research, which allowed to develop the design of a mobile shredder of willow branches and other trees and bushes obtained in the process of cultivating agricultural land.

Keywords:

Disk, knife, branch, willow, diameter, distribution, humidity, cutting effort, land cultivation.

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ..... 2
АНОТАЦІЯ..... 3
ABSTRACT..... 4
ЗМІСТ..... 5
ВСТУП..... 7
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ..... 10
1.1. 1.1. Загальна характеристика культуртехнічної меліорації та машини для її реалізації..... 10
1.2. Аналіз робочого процесу та конструкцій машин для подрібнення деревини..... 15
1.3. Аналіз процесу різання деревини..... 27
1.4. Постановка проблеми, мета та завдання дослідження..... 31
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПОДРІБНЮВАЧА ДЕРЕВИНИ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ..... 33
2.1. Обґрунтування конструкції пристрою для подрібнення гілок..... 33
2.2. Аналіз геометричних параметрів процесу різання дисковою рубальною машиною..... 36
2.3. Визначення оптимальної висоти горловини..... 38
2.4. Визначення показників, що впливають на продуктивність і силу різання подрібнювача..... 41
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ..... 49
3.1. Програма експериментальних досліджень..... 49
3.2. Прилади, обладнання та апаратура..... 49
3.3. Методика визначення вологості гілок верби..... 51
3.4. Методика визначення розподілу середнього діаметра гілок..... 52

3.5. Методика дослідження процесу різання гілок верби..... 57

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ…..... 61

4.1. Результати дослідження вологості гілок верби..... 61

4.2. Розподіл середнього діаметра гілок верби..... 61

4.3. Результати дослідження процесу різання гілок верби..... 65

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ…… 69

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ..... 71

ДОДАТКИ…….. 73

ВСТУП

Актуальність дослідження. Сучасна цінова політика на ринку сільськогосподарської продукції сприяє активному розвитку аграрного сектору. У той же час агресія рф призвела до значних втрат нашою країною земель сільськогосподарського призначення і особливо ріллі. Тому на територіях вільних від військових дій виникає постійна потреба до повернення у використання земель які з тих чи інших причин в останні роки не використовувались в якості ріллі. Основним видом робіт під час повернення цих земель до обробітку є видалення дерев та кущів, які самовільно засіваються на таких полях. Прибрана за допомогою відповідної техніки деревина може бути використана на паливні цілі.

Аналіз конструкцій машин які використовуються для подрібнення деревних відходів у лісопереробній промисловості показує, що для ефективного їх використання під час розліснення орних земель доцільним є їх удосконалення. Так удосконалення потребують подрібнючий диск та механізм завантаження з урахуванням особливостей деревних решток які потрібно подрібнювати. Адже аналіз порід деревини, яка найбільш інтенсивно самовільно засівається по ріллі, яка тимчасово не використовується, є верба.

Наведені факти вказують на доцільність дослідження особливостей різання гілок верби з метою оптимізації процесу їх подрібнення.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є обґрунтування схеми машини для подрібнення гілок верби та інших дерев і кущів, а також встановлення закономірностей впливу параметрів ножа на затрати енергії.

Для реалізації поставленої мети були сформульовані завдання досліджень:

1. Обґрунтувати схему машини для подрібнення гілля та стовбурів деревини, що отримується у результаті розліснення орних земель.

2. Теоретично обґрунтувати параметри машини подрібнення гілля та стовбурів верби.

3. Розробити методику та провести дослідження впливу параметрів подрібнювального диска на енергетику процесу подрібнення гілля верби.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес подрібнення гілок верби.

Предмет дослідження. Залежність енергетичних показників різання від параметрів подрібнювального диска.

Методи та способи вирішення поставлених завдань. У роботі були застосовані методи теоретичних та експериментальних досліджень. Так теоретичне обґрунтування форми завантажувального пристрою (патрона) проведено на основі силового аналізу. Реалізація експериментальних досліджень базувалась на використанні математичного методу планування експерименту та регресійного та статистичного аналізу.

Науково-технічна новизна одержаних результатів:

1. Теоретично обґрунтувати форму завантажувального пристрою (патрона) та геометричні параметри подрібнюючого диска;

2. Теоретично обґрунтувати вплив конструктивних та технологічних параметрів подрібнювача на його продуктивність;

3. Проведено експериментальне дослідження розподілу діаметра стебел верби, що підлягають подрібненню.

4. Досліджено зміну зусилля рубання гілок верби від параметрів ножа та отримано рівняння регресії, що описує зміну цього зусилля.

Практичне значення одержаних результатів. Комплекс теоретичних та експериментальних досліджень дозволив розробити конструкцію мобільного подрібнювача гілок верби та інших дерев і кущів.

Апробація роботи. Основні положення наукових досліджень, що містяться в роботі, доповідались й обговорювались на IV студентській науково-технічній конференції факультету АТЕ „Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні" (Луцьк, 2024 р.)

Публікації. Основні дослідження магістерської роботи опубліковано у тезах студентської наукової конференції.

Положення що виносяться на захист. Конструкція подрібнювача гілок верби та теоретично і експериментально обґрунтовані конструкційні та технологічні його параметри.

Структура і обсяг магістерської роботи. Необхідність розв'язання поставлених задач зумовила наступну структурно-логічну будову роботи: вступ, чотири розділів, висновки, список джерел посилання з 14 назв та 1 додатка. Основна частина магістерської роботи розміщена на 68 сторінках.

РОЗДІЛ 1
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Загальна характеристика культуртехнічної меліорації та машини для її реалізації

Культуртехнічна меліорація передбачає здійснення робіт, пов'язані із наданням грунту стану придатного для механізованого обробітку шляхом очищенням його поверхні від дерев та кущів, каміння, вирівнювання його поверхні з метою збереження і підвищення родючості ґрунтів. Культуртехнічні роботи можуть виконуватись, як на осушуваних місцевостях, так і на ґрунтах, що не потребують осушення, поверхня яких вкрита рідколіссям, пеньками і нерівностями, а також на ґрунтах забруднених камінням, будівельним сміттям залишками деревини тощо.

Машини, які використовують під час культуртехнічної меліорації земель, поділяють на засоби для підготовчих робіт та для первинного обробітку ґрунту. Під час підготовки нових полів до освоєння або повернення до використання старих, виконують такі роботи: очищення від чагарників та самосіву; викорчовування пеньків та їх збирання; подрібнення і логістика рослинності; виймання та збирання каміння і кореневих залишків; планування полів; первинний обробіток; планування обробленої поверхні; ущільнення болотно-торф'яних ґрунтів.

Для очищення земель від чагарників і дерев використовуються такі машини: кущорізи (зрізування кущів і рідколісся); корчувачі, корчувачі-збирачі, корчувальні агрегати і борони, кущові граблі (корчування та збирання рослинності); фрези ґрунтові та фрезерні машини (фрезерування грунтів); корчувачі-подрібнювачі, рубальні машини (подрібнення і утилізації рослинності); обприскувачі (знищення рослинності хімічним способом); чагарниково-болотні плуги (заорювання кущової рослинності); підбирачі-

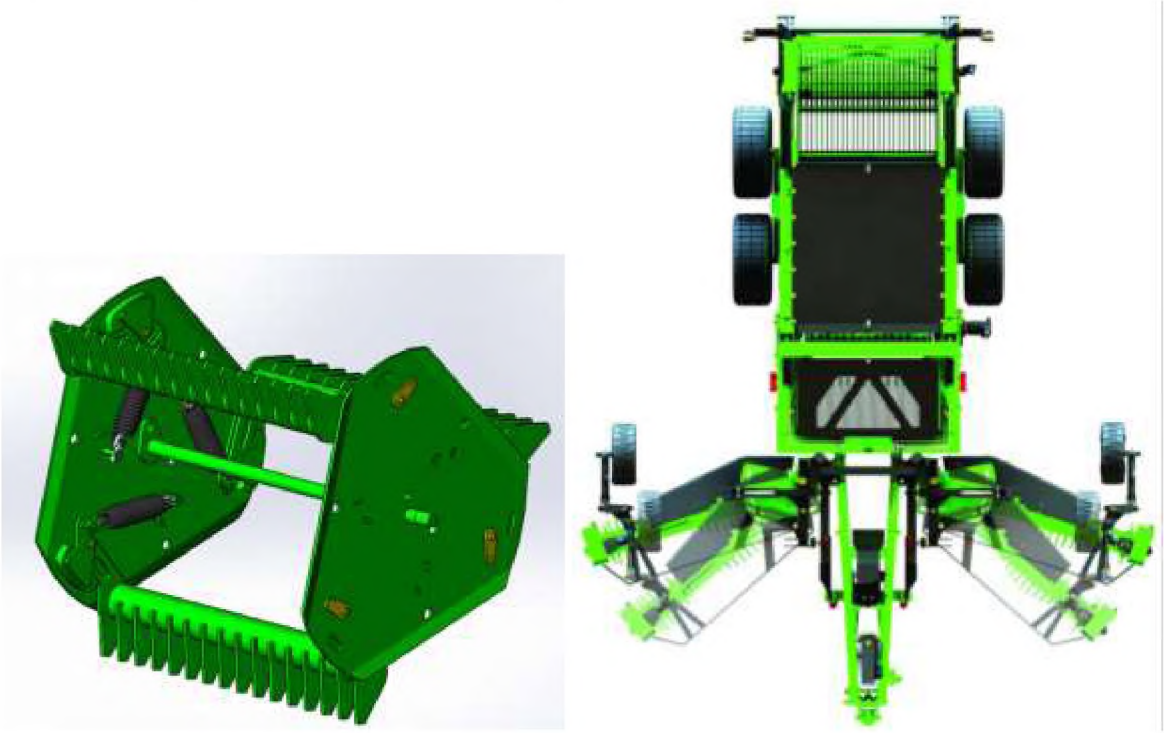
навантажувачі, каменезбиральні машини, причепи (збирання каміння); бульдозери, скрепери, грейдери (вирівнювання і планування меліораційних земель).

Одним із найбільш поширених на сьогоднішній день видів культуртехнічних робіт є усунення результатів людської будівельної діяльності, а саме видалення з ґрунту залишків будівельних матеріалів та каміння. Для таких цілей фірма Schulte виготовляє відповідні машини. Так причіпний підбирач-накопичувач каміння RWP-1935 Spartan Rock Windrower здатний виймати з ґрунту та підбирати і накопичувати у бункері каміння за шириною захвату у межах 4,8-5,8 м (рис. 1.1). Глибина ходу зубів роторів досягає 11 см. При цьому місткість бункера для каміння рівна 2,68 м^3.

Рисунок 1.1 Фото роботи підбирача-накопичувача каміння RWP-1935 Spartan Rock Windrower

Основним робочим органом Spartan Rock Windrower є два обертових ротори із закріпленими по гвинтовій лінії зубами. Дані зуби виймають із ґрунту каміння, а завдяки куту між напрямком руху машини та нормаллю до осі ротора (аналого кута атаки для дискової борони) відбувається поступовий зсув каміння до середини машини де встановлено підбираючий барабан (рис. 1.2, а).

Збільшенням кута між нормаллю до осі ротора та напрямком руху змінюється інтенсивність транспортування каміння до підбираючого барабану але зменшується ширина захвату машини (рис. 1.2, б).



а б

Рисунок 1.2 Комп'ютерна модель підбираючого барабана та зміна кута між напрямком руху машини та нормаллю до осі ротора підбирача-накопичувача каміння RWP-1935 Spartan Rock Windrower

Через певний період занепаду сільськогосподарського виробництва в Україні деякі угіддя відповідно призначення підпали під вплив природнього заліснення. Тому саме роботи із видалення рослинності є дуже затребувані під час повернення таких угідь у сільськогосподарське виробництво.

Корчування дерев, садів та розліснення полів - це невід'ємна частина культуртехнічної меліорації. Вибір правильного обладнання для цих завдань має вирішальне значення для ефективного виконання робіт та досягнення оптимальних результатів. Для корчування великих за розмірами дерев може використовуватись як бульдозер з корчувачем так і екскаватор з гідравлічними ножицями та корчувальним ковшем.

Бульдозери є дуже поширеними та потужними машинами для земляних робіт, які можуть за відповідного дообладнання успішно використовуватись і для корчування дерев . Для корчуванні дерев та кущів вони оснащуються спеціальною лопатою – корчувачем (рис. 1.3, а). Особливістю цієї лопати є розташований у нижній її частині ряд зубів завдяки яким і відбувається руйнування зв'язку між корінням дерев і ґрунтом (рис. 1.3, б). Завдяки потужності двигуна та значній ширині лопати такі машина здатні розчистити значну площу від дерев та кущів, разом із їх корінням, за короткий проміжок часу та переміщувати їх на відстань від 50 – 100 метрів створюючи бурти а кучі із викорчуваних дерев. Завдяки гусеничному рушію дані машини можуть працювати на різних типах ґрунтів, включаючи м'які, болотисті та нерівні поверхні.

а б

Рисунок 1.3 Фото головного робочого орану (а) та робота бульдозера-корчувача

Для корчування дерев в діаметрі від 25-40 см без видалення пеньків використовують екскаватор із гідравлічними ножицями (рис. 1.4, а). У цьому випадку також використовується універсальний екскаватор де на стрілу навішуються гідравлічний секатор (рис. 1.4, б). Завдяки цим ножицям відбувається зрізання дерева, його захоплення та транспортування до необхідного місця складування. У подальшому, як правило, стовбури та гілля подрібнюють на щепу. У нижній частині робочого органу розташовано ріжучий

ніж із двома протиріжучими кігтям, а у верхній частині захват. Кожна складова має для приводу свій гідроциліндр.

а б

Рисунок 1.4 Робота екскаватора із гідравлічними ножицями (а) та комп'ютерна модель гідравлічного секатора із захватом (б)

Для подрібнення кущів, дерев діаметром до 50 мм, пеньків та мульчування ґрунту на глибину до 30 см підприємство «Завод Кобзаренка» розробила навісний мульчер-фрезу (рис. 1.5). Дана машина агрегатується із тракторами потужністю двигуна у межах 350-400 к.с. має ширину захвату 2,5 м і робочу швидкість 2 км/год.

Рисунок. 1.5 Фото мульчера-фрези виробництва ТОВ «Завод Кобзаренка»

Основним робочим органом даної машини є обертовий ротор із закріпленим по гвинтовій лінії зубами (молотками). Окрім цього над ротором встановлено барабан для пригинання кущів та дерез до поверхні ґрунту. Положення цього барабану змінюється залежно від висоти дерев та кущів завдяки двом гідроциліндрам.

Для подрібнення зібраної деревини можуть бути використані існуючі машини рубальні та подрібнюючі машини, але їх конструкція має бути адаптовані до роботи саме із деревиною, яка отримується в результаті культуртехнічної меліорації. Тому у наступному пункті наведено аналіз конструкцій таких машин.

1.2. Аналіз робочого процесу та конструкцій машин для подрібнення деревини

Для подрібнення відходів деревини та деревообробки найчастіше використовують рубальні машини.

Робочим органом дискових рубальних машин є масивний диск із радіально розташованими ножами. Диск із горизонтальною віссю обертання (рис. 1.6) закріплений на обертовому валу і закритий кожухом 4. На диску 2 за периферією з малим проміжком закріплено від 3 до 16 ножів 1 з кутом загострення 30...45°. Швидкість обертання диска 150...500 $хв^{-1}$. Для виходу тирси в диску наявні підножові щілини 6. Матеріал у рубальну машину подається через патрон 5, на дні якого є ножі 7. Патрон встановлюють під кутом нахилу до горизонту α_1=45…50°, а відносно осі валу - під кутом α_2=15...20°. Такі кути забезпечують режим повздовжньо-торцево-поперечного різання. Гілка 3, сковзаючи по патроні, упирається в диск, і ножі зрізують шар деревини, що дорівнює випуску ножів h_c (рис. 1.6), що у процесі різання проходить через підножеву щілину і розпадається на стружку. Пройшовши підножеву щілину, стружка потрапляє на інший бік диска і по трубопроводу несеться в циклон.

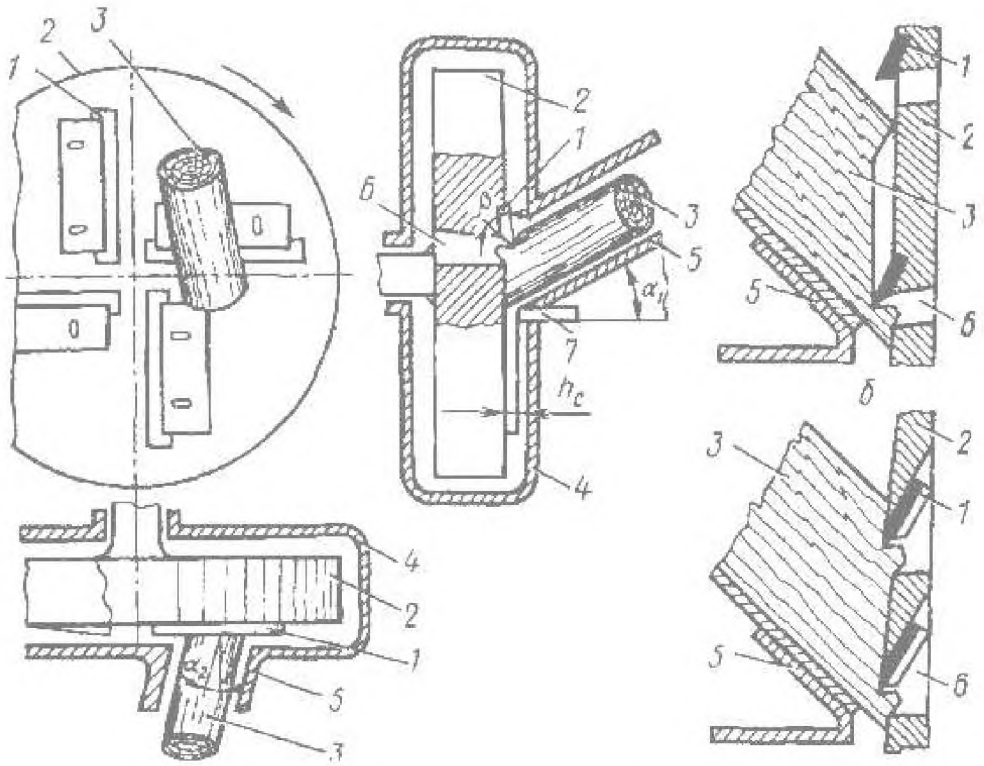


Рисунок 1.6 Схема дискової рубальної машин

Якість стружки залежить від стабільності положення поліна в патроні в процесі різання. Стабільність досягається формою патрона, числом ножів і формою поверхні диска, розміром зазору між лезом ножів та опорних ножів 7. Величина зазору становить 0,25...3 мм.

При незначній кількості ножів (до 5...6) у різанні бере участь фактично один ніж, що викликає зсув поліна в патроні у процесі різання, порушуючи його стабільність. При більшій кількості ножів у різанні беруть участь водночас два ножі і більше, що стабілізує процес різання. При плоскому диску контактна поверхня між деревиною і диском різання порушується, що викликає її зминання.

При гелікоїдальному диску, у якого поверхня збігається з напрямком задньої грані ножа і при більшій кількості ножів поверхня контакту досить велика, тому зминання деревини не відбувається; процес різання йде при стабільному положенні матеріалу, що подрібнюється. Гвинтові поверхні між ножами в гелікоїдальному диску забезпечують велику площу контакту диска з матеріалом. Подача матеріалу в патроні до диска здійснюється завдяки

затягуванню його ножами. До недоліків таких машин є штучна подача гілок деоевини.

Пересувні рубальні машини (самохідні установки) призначені для здрібнювання на стружку тонкомірних дерев і лісосічних відходів. Установка змонтована на базі трелювального трактора з гідроманіпулятором. Робочий орган, що ріже, являє собою плоский диск діаметром 1,27 м із трьома радіальними ножами. Горизонтальний завантажувальний механізм має переріз 420х220 мм та обладнаний вальцевим механізмом для примусового подавання сировини. Вихід стружки в машині верхній - безпосередньо в причіп через випускну трубу. Подавання сировини до подріднювача здійснюється маніпулятором трактора. Потужність привода установки 61 кВт, а продуктивність до 11 $м^3$/год.

Барабанні рубальні машини (рис.1.7) застосовують для перероблення гілок, верхівок дерев, чагарників на технологічну стружку, яка йде на виготовлення деревинностружкових (ДСП) і деревинноволокнистих (ДВП) плит, а також може бути використана в енергетичних цілях.

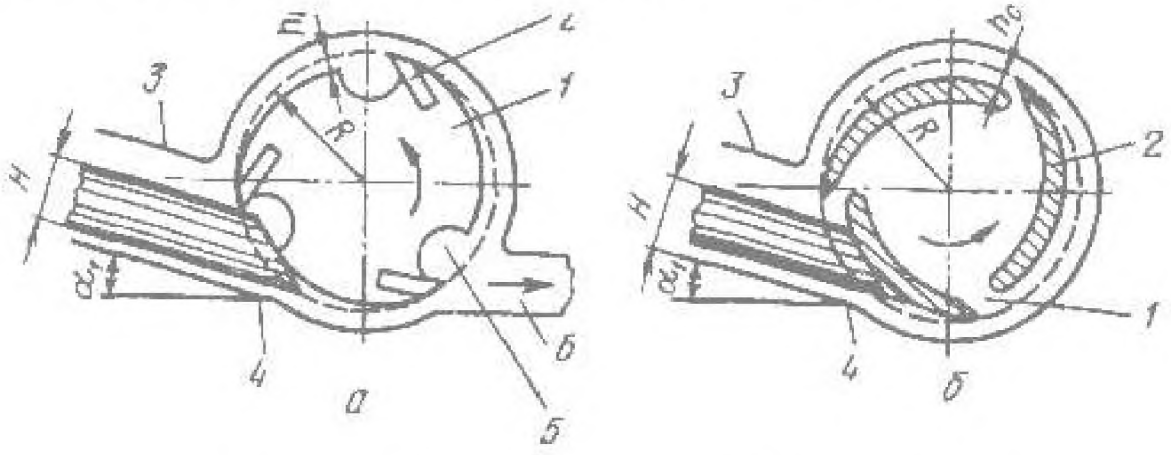


Рисунок 1.7 Схеми барабанних рубальних машин:
а - з надходженням стружки в западини під ножами; б - з надходженням стружки у середину барабану

Барабанна рубальна машина (рис. 1.7, а) має барабан 1 діаметром від 0,3 до 1 м, з частотою обертання 600…900 $хв^{-1}$ від електродвигуна за допомогою клинопасової передачі. Уздовж твірної барабана розміщені ножі 2. Отримана

стружка надходить у западини 5 і за рахунок відцентрових сил викидається в патрубок 6.

Базова система пересувних машин для виробництва технологічної стружки містить: вантажно-транспортну машину, рубальну установку, контейнерний напівпричіп.

Для переробки деревних відходів використовують причіпні, самохідні та навісні рубальні машини (табл. 1.3 та рис. 1.8).

Таблиця 1.1-Технічна характеристика рубальних машин

Назва показника	Причіпні				
	МРП-1	УРП-1	ТТ-1000 ТУ; ТТ-1000 ТС	“Кархула 312 ЦС”	“Кархула 1200/2”
Потужність привода, кВт	55…110	84…100	70…110	55…90	30…70
Максимальний діаметр сировини, см	23	30	25	30	30
Продуктивність $м^3$/год	10	15	25…60	10…25	20…25
	Самохідні				
	ЛО-63Б	ТТ-10Р	СК-Р-2800	СКНН-175-5000	ТТ-54Р
Потужність привода, кВт	110	235	9	220	33…60
Максимальний діаметр сировини, см	24	45	45	47	20
Продуктивність $м^3$/год	15	30…100	70…80	70…120	5…12

Причіпні рубальні установки (табл. 1) ТТ-1000 і "Кархула" (Фінляндія) - це колісний півпричіп, на якому змонтовано рубальну машину дискового чи барабанного типу, із засобами для завантаження та подавання відходів в приймальний патрон машини (рис. 1.8, а). Привід рубальної машини здійснюється від трактора, оснащеного валом відбору потужності. Рубальні машини УРП-1 і МРП-1 працюють відповідно з колісними тракторами Т-150К і Т-157 (МТЗ-80).

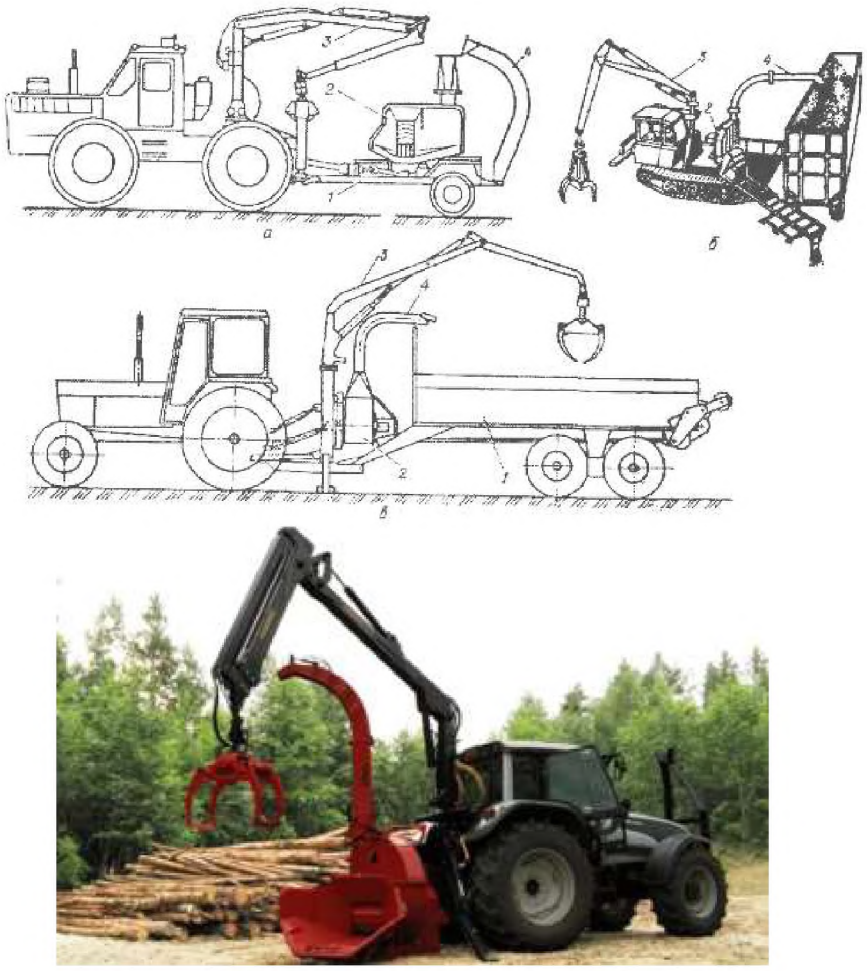


Рисунок 1.8 Рубальні машини для переробки залишків деревини:
а - причіпна; б - самохідна; в - навісна; 1 - причіп; 2 - рубальний механізм; 3 - маніпулятор; 4 – транспортер тріски

Самохідні рубальні установки СК-Р-2000 і ТТ-54 (Фінляндія) та СКНН-175-500 (Японія) здійснюють перероблення деревних відходів на дрібну тріску в умовах лісосіки. Вони включають трактор (ЛО-63А – трактор ТБ-1, ЛО-63Б - трактор ТТ-4), зі змонтованими гідроманіпуляторами (від трелювальної

машини), оснащений захоплювачем для механізованого завантаження гілок та стовбурів в подавальний механізм, дискова рубальна машина і тріскопровід для відведення подрібненої деревини у вигляді тріски.

Завантаження транспортного засобу здійснюють у процесі рубання деревини безпосередньо через тріскопровід. Комплект машин містить дві навантажувально-транспортних машини, машину для збирання лісосічних відходів, рубальної машину для подрібнення відходів на тріску і контейнерний автопоїзд.

Пересувна рубальна машина УРП-1 (рис. 1.9) призначена для переробки попередньо вкладених у штабель тонкомірних дерев. Подрібнення здійснюється з одночасним подаванням стружки безпосередньо в знімний контейнер автопоїзда.

Рисунок 1.8 Пересувна рубальна установка УРП-1: 1 - базовий трактор Т-150ДО; 2 - гідроманіпулятор; 3 - відвідний трубопровід; 4 - механізм подачі; 5 - ножовий диск; б - причіпна платформа; 7 - опори; 8 - грейферний завантажувач

Рубальна машина з електроприводом МРНП-10 призначена для переробки переважно відходів пилорам (рейок і обаполів) на технологічну стружку для целюлозно-паперової промисловості. Вона також може бути використана для переробки низькоякісної деревини малого діаметру у круглому або розколеному вигляді. Максимальний прохідний переріз гілок, що можуть

перероблятися складає 22 см. Але за такого діаметру деревини довжина колод не повинна бути більш 1 м. Поряд з лісопильно-деревообробними підприємствами дана машина може використовуватися і безпосередньо в умовах лісозаготівель або у місцях утилізації деревних відходів отриманих за робіт із розліснення територій.

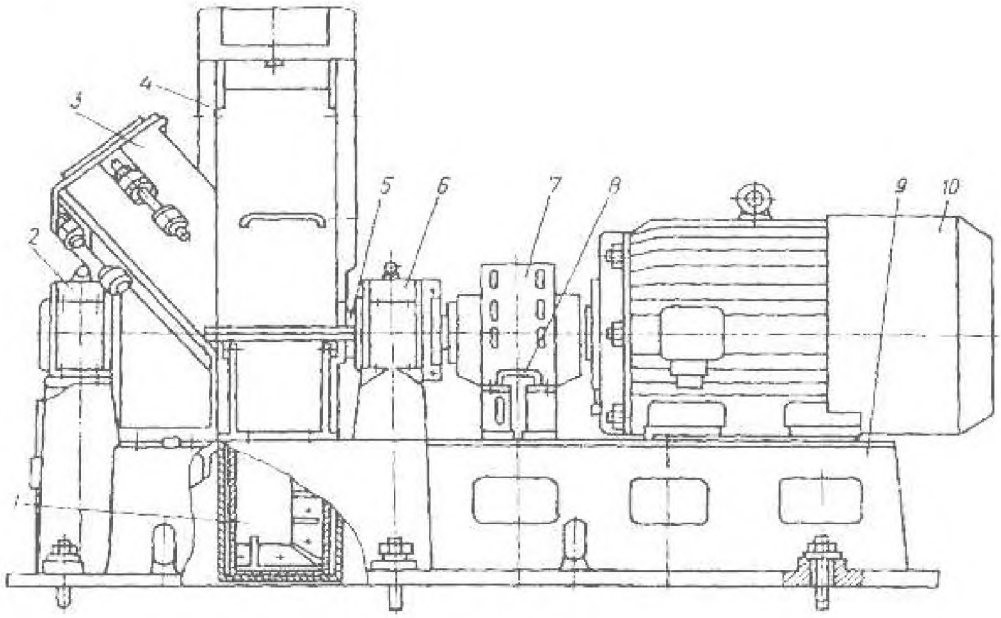


Рисунок 1.9 Рубальна машина з електроприводом МРНП-10

Машина змонтована на рамі 9 (рис. 1.9) та містить ножовий диска 1, закріплений на валу 5 з підшипниковими опорами 2, кожух 4, патрон 3, і 6, муфти 7, гальмівний пристрій 8 і електродвигуна 10.

У зоні примикання до ножового диска патрона має гнізда для установки контрножів. Конструкцією передбачено можливість наплавлення робочих (різальних) кромок контрножів електродами Т-590 чи Т-620. Контр ножі мають дві ідентичні робочі кромки. У випадку затуплення однієї кромки ніж повертається та використовується інша кромка.

Передача крутного моменту від електродвигуна до валу ножового диска рубальної машини встановлена муфта 7. Вона складається з двох напівмуфт, пальців і десятка пружних втулок. Муфта призначена для зм'якшування ударів при розгоні, гальмуванні, короткочасному перевантаженні. Муфта розрахована на передавання крутного моменту до 3,92 кН*м.

Машина також обладнана стрічковим гальмом 8 для гальмування ножового диска. Гальмо містить важіль ручний, положення якого фіксується підпружиненою собачкою на рейці. Завдяки цьому відбувається регулювання зусилля гальмування.

Рубальні машини МРЗ-40ГБ і МРЗ-50ГБ (рис. 1.10) на відміну від раніше описаних мають горизонтальну подачу деревини, що переробляються, і бічне відведення тирси. Вони призначаються для переробки відходів значної довжини. Перевагою горизонтальної подачі сировини і бічним викидоанням є їхня краща сумісність з горизонтальними рухами потоків сировини.

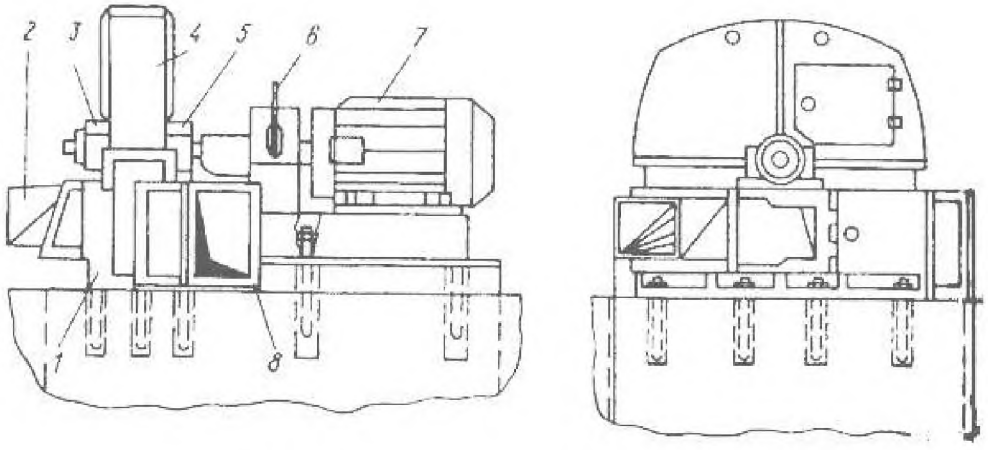


Рисунок 1.10 Рубальна машина МРЗ-40ГБ: 1 - станина; 2 - патрон подачі сировини; 3 - передня підшипникова опора; 4 - кожух ротора;5 - задня підшипникова опора; 6 - рукоять гальма; 7 - електродвигун привода ротора;8 - патрубок викиду стружки

До рубальних машин різцевого типу належить дискова рубальна машина МРР8-50ГН із горизонтальною подачею сировини. Вона призначена для переробки цілих стовбурів і довгих гілок діаметром до 80 см. Дана машина (рис. 1.11) складається з механізму різання, електроприводу, механізму подачі і транспортера для відведення тирси.

Основою механізму різання є сталевий обертовий диск 4, розташований під кутом до напрямку подачі деревини. Диск має наскрізні отвори, які

призначені для монтування у них різців, які також забезпечують прохід крізь диск на протилежну його сторону часток стружки деревини.

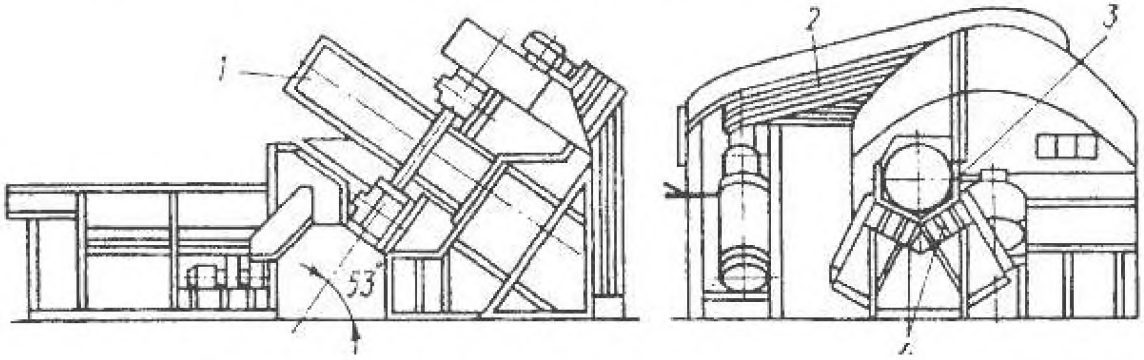


Рисунок 1.11 Різцева рубальна машина МРР8-50ГН

Різцевий диск розташований у кожуху 3 і приводиться в обертовий рух від електродвигуна 1 через клинопасову передачу 2.

Подача деревини, що подрібнюється здійснюється через патрон, нижня частина якого має V-подібну форму, чим забезпечено необхідну стійкість деревини в процесі переробки.

У якості подавальних органів в рубальній машині використані два блоки багаторядних втулково-роликових ланцюгів. Вони встановлені на V подібній нижній частині патрона. Правий і лівий блоки зазначених ланцюгів приводять в дію від відповідних електродвигунів.

Зусилля просування деревини в процесі подрібнення забезпечується за рахунок тієї частини сили взаємодії різців з деревиною, що діє в напрямку подачі. Блоки подавальних ланцюгів забезпечують зниженню опору руху деревини патрона. За занчного діаметра деревини, що переробляється, зусилля опору руху лісоматеріалу дном патрона можуть бути значними. Подрібена деревина, викидається з кожуха 3 різцевого диска вниз на конвеєр, котрий подає її безпосередньо в проміжну транспортну ємність.

Вказана рубальна машина може використовуватися як у складі комплектних ліній для виробництва технологічної стружки для целюлозно-паперових підприємств, але й в окремих технологічних потоках

лісозаготівельних підприємств і цехів підприємств деревинностружкових і деревинноволокнистих плит.

Рубальна машина ДУ-2АМ належить машин барабанного типу. Вона призначена для переробки на технологічну і паливну стружку відходів лісозаготівель (гілок, галузей і верхівок), що утворюються при очищенні стовбурів на стаціонарних сучкорізних машинах і площадках ручної обрізки гілок, а також може бутивикористана для подрібнення чагарників, гілок та стовбурів дерев.

Спеціально для подрібнення гілок машина комплектується канатним транспортером ТТ-2. Різальний механізм рубальної машини ДУ-2АМ виконаний у вигляді порожистого циліндричного барабана із чотирма ножами. Вісь барабана відхилена на кут 35° від напрямку подачі матеріалу, що переробляється.

Видалення стружки з порожнини ножового барабана забезпечує встановлений всередині барабана похилий лоток, що спрямовує потік стружки, до приймального вікно відцентрового вентилятора. Останній подає стружку в збірний бункер. Привід барабану здійснюється електродвигуном потужністю 55 кВт.

Подача сировини здійснюється механізмом із групи вертикальних і горизонтальних привідних вальців. Бічні і нижні вальці встановлені нерухомо. Завдяки вертикальному переміщенню верхніх вальців є можливість захоплення і подачі шару гілок різної товщини.

Особливістю ножів даної машини є їх комбінована конструкція: ріжуча частина має вигляд тонкої пластинки (2…3 мм), що виготовляється з легованої, а полотно з низьковуглецевої конструкційної сталі. На машині встановлено пристосування для загострення ножів без їх демонтажуНа заготсренн яножів при нормальному спрацюванні (без вищерблень) затрачається 20...25 хв. Дане пристосування має конструкцію вигляді відкидного супорта (каретки), змонтованого на станині машини.

Для створення необхідних умов переробки відходів стовбурів деревини із довжиною, меншою від їх діаметра, завантажувальний пристрій розділений перегородкою 7 на дві суміжні камери. Перегородка має можливість переміщатися по напрямних уздовж барабана і тим самим змінює розмір камер. Це забезпечує стійке захоплення шматка деревини малої довжини в процесі переробки. Коли подрібнюються відрізки довжиною 650...750 мм перегородка відсовується до стінки патрона і подача здійснюється на усю ширину камери.

Процес переробки відходів деревини на рубальній машині МРБР8-15Н здійснюється шляхом подавання відрізків деревини для переробки в завантажувальну камеру шахтного патрона 7 (рис. 1.12), яка розміщається між передньою частиною завантажувального патрона й твірною поверхнею ножового різцевого барабана. Але поздовжня вісь відрізка повинна бути рівнобіжна із віссю обертання різцевого барабана. Різці барабану, під час обертання зрізують впоперек волокон тирсу завширшки довжини головного леза.

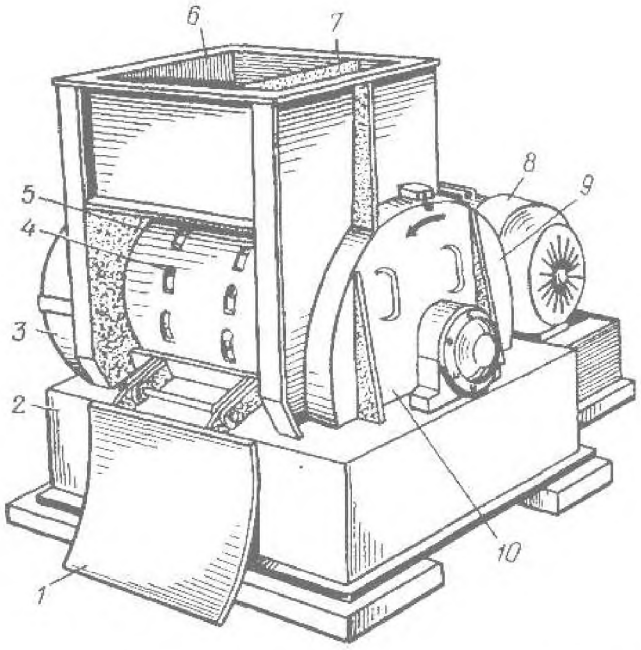


Рисунок 1.12 Різцева рубальна машина МРБР8-15Н

Стружка, що утвориться в процесі різання, через підрізцеві щілини надходить у порожнину барабана, звідкіля нерухомим лотком (плужком), встановленим усередині барабана, віддаляється на виносний конвеєр. В міру

зменшення відрізка деревини, що переробляється він опускається по стінці патрона вниз, наближаючи до контр ножа. Рубальна машина МРБР8-15Н формує елементи стружки з регламентованими розмірами по довжині і товщині. Величина виступу головного леза різця над твірною барабана визначає товщину елементів стружки, а довжина леза різця формує довжину елемента стружки. Конструктивні можливості різцевого барабана рубальної машини забезпечують одержання часток стружки довжиною 22 мм і товщиною 5 мм.

Рубальна машина ДО-51 призначена для переробки на технологічну і паливну стружку гілок, верхівок, відземків деревини (відходів лісозаготівель) і дров'яної деревини діаметром до 20 см (при довжині до 3 м).

Машина містить механізм різання та подач, а також привід. Механізм різання (рис. 1.13) має конструкцію обертового ножового барабана 4 пазушного типу, який змонтований у кожусі 3. Під ножовим барабаном розміщена сепарувальна решітка 8.

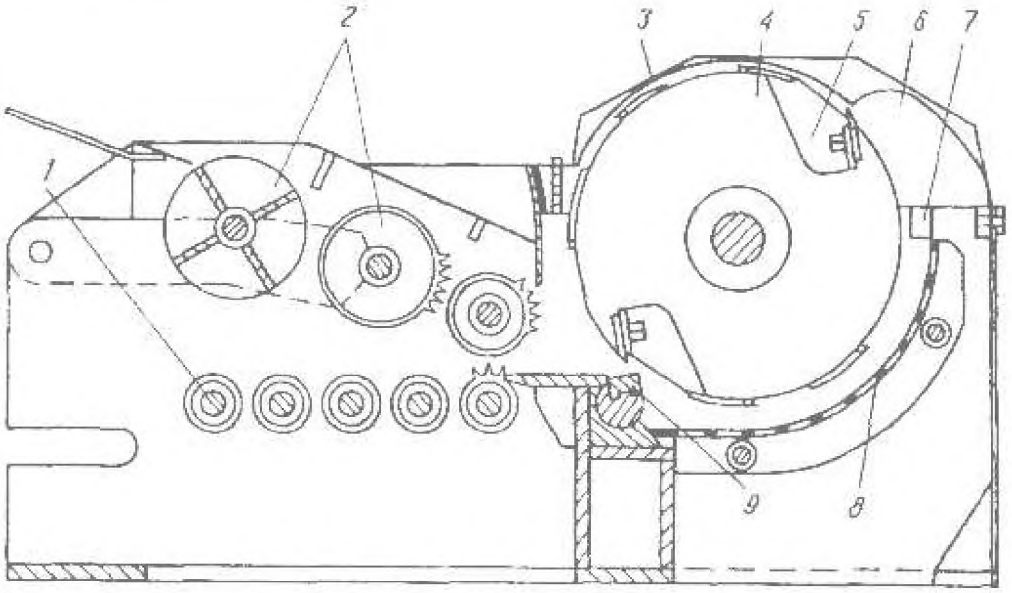


Рисунок 1.13 Барабанна рубальна машина ДО-51: 1 та 2 - відповідно нижні привідні вальці та верхні притискні (привідні) вальці; 3 - кожух ножового (різцевого) барабана; 4 - різцевий барабан; 5 - підножова пазуха; 6 - захисний елемент кожуха; 7 - додатковий контрніж; 8 - сепарувальна решітка; 9 - нижній (основний) контрніж

У кожусі ножового барабана встановлений нижній контріж 9, а наприкінці сепарувальної решітки додатковий контріж 7 (траверсу), за допомогою якого забезпечується подрібнення великих шматків деревини, що не пройшли через отвори решітки 8.

Механізм подачі виготовлений у вигляді трьох верхніх притискних вальців 2, які встановлені на коливній рамці. Вісь обертання рамки є одночасно і віссю першого вальця. А знизу розташовані п'ять привідних нижніх вальців 1.

Машина виконує свої функції таким чином. Відходи деревини, що підлягають переробці, надходять до подаючого механізму додатковим конвеєром та потрапляють на нижні подавальні вальці. При подальшому переміщенні відходів на їх шар "накочуються" верхні вальці, завдяки чому відходи притискаються до нижнього привідного вальцевого конвеєра. Завдяки цьому здійснюється подачу відходів у зону різання. Щепа, що утвориться в процесі рубання, попадає в підножові пазуху 5 барабана, далі під дією відцентрової сил викидання надходить до сепаруючої решітки. Частинки деревини, що не пройшли крізь сепарувальну решітку, захоплюються різальними ножами, та утвореним повітряним потоком подаються до додаткового контрножа 7, який і здійснює їх остаточне подрібнення. При повторному подрібнюванні щепа також надходить до подножевих пазкх і викидається у захисний елемент б кожуха, що розташований за додатковим контрножем. А далі щепа спрямовується вниз під машину. Винос щепи з-під машини здійснює похилий скребковий чи стрічковий транспортер.

Серед усіх, вище перерахованих видів русальних машин найбільшого поширення і застосування набули дискові рубальні машини які добре зарекомендовані на українському ринку.

1.3. Аналіз процесу різання деревини

Різанням деревини за ДСТУ 2249:2021 (Обробляння різанням. Терміни, визначення понять та познаки) називається механічна обробка деревини, за якої відбувається порушення зв'язку між частинками деревини згідно із заданим

напрямком з утворенням стружки або без неї. Різання здійснюють для одержання виробу необхідної форми і розмірів шляхом впливу на деревину твердого тіла - різця.

У різних за конструкцією різальних інструментах виділяють типові елементи: ріжуча частина, за допомогою якої інструмент розрізає деревину; приєднувальна частину, з допомогою якої інструмент зв'язується з верстатом: основу, що зв'язує між собою ріжучу і приєднувальну частину.

Процес різання деревини істотно відрізняється від різання ізотропних матеріалів, наприклад металів, через складність її фізико-механічних властивостей. Деревина – матеріал анізотропної (неоднакової) будови в трьох взаємоперпендикулярних площинах. Відповідно до площини в якій здійснюється різання отримуємо три головні види різання: торцеве, подовжнє і поперечне. Ці види наведені на рис. 1.14.

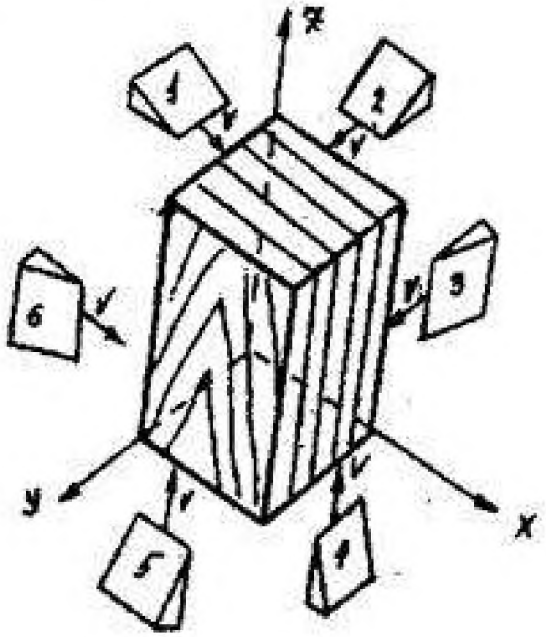


Рисунок 1.14 Схема головних видів різання деревини: 1,2 - торцеве різання 3,4 - поперечне різання 5,6 - поздовжнє різання

Торцеве різання, або різання у торець, це різання, за якого площина різання напрямок різання перпендикулярні до волокон деревини.

Поперечне різання, або різання поперек волокон, це різання за якого площина різання паралельна волокнам, а напрямок різання перпендикулярний до них.

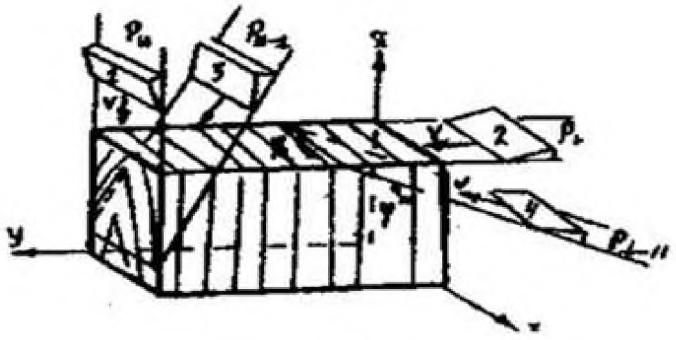
Подовжнє різання, або різання вздовж волокон, це різання за якого площина різання і напрямок різання паралельні волокнам деревини.

Якщо площина різання займає проміжне положення між положенням у двох головних видах то таке різання називають перехідними. У такому випадку можливі такі види перехідного різання: поздовжньо-торцеве, торцево-поперечне, поздовжньо-поперечне, поперечно-поздовжнє.

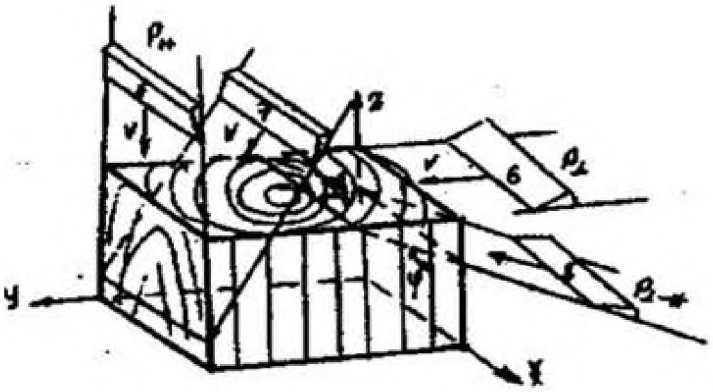
Схеми перехідних видів різання зображені на рис. 1.15. Повздовжно-торцеве різання показано на рис. 1.15, а. Характеристикою положення площини різання є кут φ між нормаллю до леза інструменту та волокнами деревини. Це також кут між вектором швидкості різання і напрямом волокон. Як випливає з малюнка, значення кута $\varphi=0°$ і $\varphi=180°$ відповідає торцевому різанню. Коли $0°<\varphi<90°$ - торцевому-поздовжньому різанню по волокнах. Коли $\varphi=90°$ - поздовжньому різанню. У випадку $90°<\varphi<180°$ - поздовжньо-торцевому різанню по волокнах.

Подовжньо-поперечне різання (рис. 1.15, б) характеризує кут φ між лезом інструменту і напрямком волокон. При $\varphi=0°$ і $\varphi=180°$ відповідає поздовжньому різанню. Коли $0°<\varphi<90°$ - маємо поздовжньо-поперечне різання. Коли $\varphi=90°$ - поперечне різання, а у випадку $90°<\varphi<180°$ поперечно-поздовжнє різання.

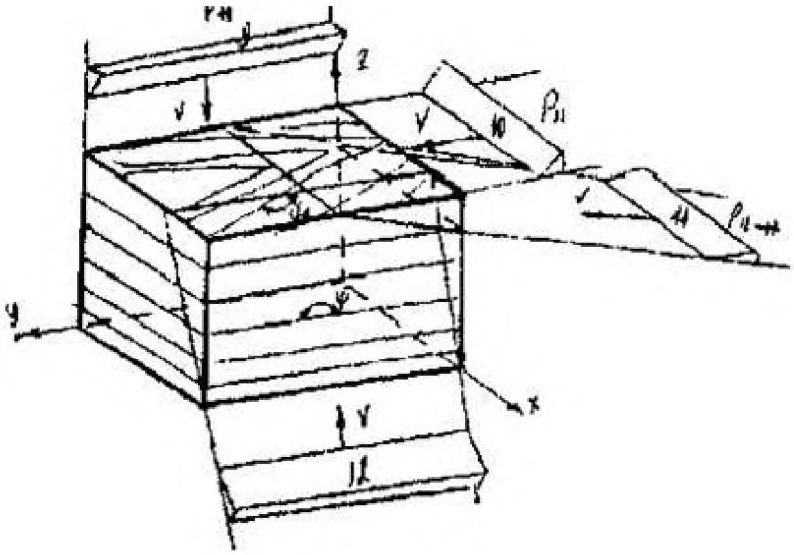
Торцева-поперечне різання (рис. 1.15, в) характеризується також кутом φ. Коли $\varphi=0°$ і $\varphi=180°$ маємо торцеве різання. Коли $0°<\varphi<90°$ - торцево-поперечне різання. Коли $\varphi=90°$ - поперечне різання. У випадку $90°<\varphi<180°$ - поперечно-поздовжнє різання. Для більш повної характеристики різання вводиться кут φ між вектором швидкості різання і напрямом волокон.



а



б



г

Рисунок 1.15 Перехідні види різання а) поздовжньо-торцеве, б) торцевої-поперечне, в) поздовжньо-поперечний, 1 - поздовжня, 2 - торцеве, 3 - поздовжньо-торцеве, 4 - торцевої-поздовжнє. 5 - поперечне, 6-торцеве. 7-полеречно-торцеве, 8-торцевої-поперечне, 9-поперечне. 10 - поздовжнє, 11 - поздовжньо-поперечне. 12 - поперечно-поздовжнє

1.4. Постановка проблеми, мета та завдання дослідження

Постановка проблеми. Сучасна цінова політика на ринку сільськогосподарської продукції сприяє активному розвитку аграрного сектору. У той же час агресія рф призвела до значної втрати нашої країною земель сільськогосподарського призначення і особливо ріллі. Тому на територіях вільних від військових дій виникає постійна потреба до повернення у використання земель які з тих чи інших причин в останні роки не використовувались в якості рілля. Основним видом робіт під час повернення цих земель до ріллі є видалення дерев та кущів, які самовільно засіваються на таких полях. Прибрана за допомогою відповідної техніки деревина може бутти використана на паливні цілі.

Аналіз конструкцій машин які використовуються для подрібнення деревних відходів у лісопереробній промисловості показує, що для ефективного їх використання під час розліснення орних земель доцільним є їх удосконалення. Так удосконалення потребують подрібнючий диск та механізм завантаження з урахуванням особливостей деревних решток які потрібно подрібнювати. Адже аналіз порід деревини, яка найбільш інтенсивно самовільно засівається по ріллі яка тимчасово не використовується є верба.

Наведені факти вказують на доцільність дослідження особливостей різання гілок верби з метою оптимізації процесу їх подрібнення.

Метою даного дослідження є обґрунтування схеми машини, для подрібнення гілок верби та інших дерев і кущів, а також встановлення закономірностей впливу параметрів ножа на затрати енергії. Об'єкт досліджень – технологічний процес подрібнення гілок верби. Предмет досліджень – залежність енергетичних показників різання від параметрів подрібнювального диска.

Для реалізації поставленої мети були сформульовані *завдання* досліджень:

4. Обґрунтувати схему машини для подрібнення гілля та стовбурів

деревини, що отримується у результаті розліснення орних земель.

5. Теоретично обґрунтувати параметри машини подрібнення гілля та стовбурів верби.

6. Розробити методику та провести дослідження впливу параметрів подрібнювального диска на енергетику процесу подрібнення гілля верби.

РОЗДІЛ 2
ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПОДРІБНЮВАЧА ДЕРЕВИНИ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ

2.1. Обґрунтування конструкції пристрою для подрібнення гілок

Необхідно розробити машину для подрібнення гілок на тріску для подальшої її переробки у гранули чи брикети які будуть використовуватись як тверде паливо. Технологічна тріска характеризується рядом показників, які визначають якість целюлози.

Найбільш важливими розмірами тріски є її довжина і товщина. Довжина тріски вимірюється в напрямку вздовж волокон. Товщина і ширина в радіальному і тангенціальному напрямках поперек волокон. Для підвищення якості гранул чи брикетів отриманих бажано отримати тріску якомога менших розмірів. Однак при цьому помітне вкорочення волокна деревини, яке впливає на зниженні якості гранул чи брикетів. Залежність між довжиною тріски $\lambda_{тр}$ і середнім значенням довжини волокна $\lambda_{в}$, для різної природного довжини волокна M в деревині, визначається за формулою (заснованої на теорії ймовірності)

$$l_B = \frac{M \cdot l_{Щ}}{M + l_{Щ}} \quad . \tag{2.1}$$

Зріз тріски повинен бути чистим під кутом 30-60° без зім'ятих і ламаних крайок. Зіминання веде до закриття капілярів, погіршує скріплення часток гранулі (брикеті). Геометричні розміри тріски варіюються в широких межах: довжина 5 -50 мм , товщина 1 - 12 мм і ширина 0,5 - 60 мм. Аналіз відомих досліджень, показав, що оптимальні розміри тріски наступні: довжина уздовж волокна 15-20 мм, товщина 3-5 мм, ширина тріски не грає суттєвої ролі, але встановлюється в межах 2 -20 мм по умовами сортування.

Для забезпечення виконання висунутих вимог пропонується конструкція подрібнювача зображена на рис. 2.1. де показана принципова схема утворення

тріски на рубальній машині. Рубальна машина містить основу, привід (на рисунку не вказані), рубальний диск 1, на якому встановлені ножі 2 і транспортні лопатки 3. В зоні ножів диска 1 виконані ножеві отвори 4 . Диск розміщений всередині кожуха 5, до якого входити завантажувальна горловина (патрон) 6 і тріско вивідна горловина 7 . Задня стінка 8 кожуха 5 знаходиться на відстані від задньої поверхні 9 ножового диска, що дозволяє встановити криволінійні пластини10 . Пластина встановлена на задній по верхні ножового диска в зоні під ножового отвору. Накладна пластина 10 утворює із задньою площиною ножового диска кут α, що забезпечує вивід тріски 11 після взємодії (рух тріски показано стрілкою) з пластиною в зоні 12 захоплення тріски лопаткою 3 .

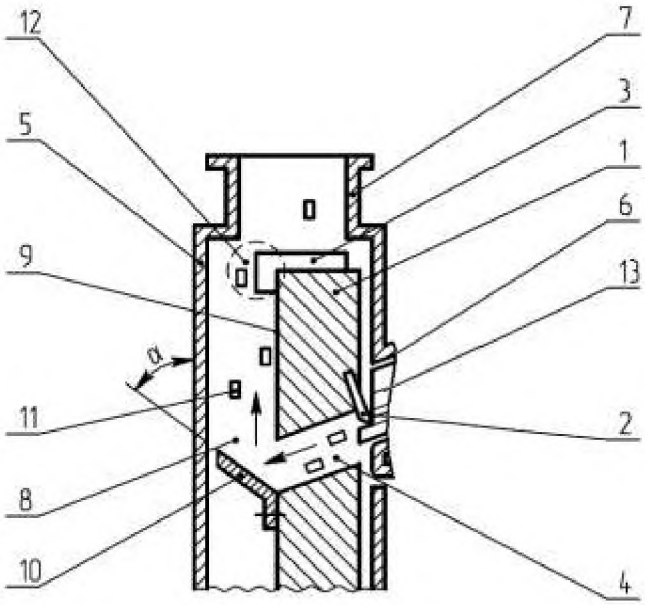


Рисунок 2.1 Принципова схема утворення тріски в розроблюваному дисковому подрібнювачі: 1-диск; 2- ніж; 3- лопатка; 4- ножовий отвір; 5- кожух;6- завантажувальна камера(патрон); 7- вивідна горловина; 8- задня стінка ;9- задня площина 10- криволінійна пластина; 11- тріска; 12- зона захоплення; 13- деревина

Рубальна машина працює наступним чином. Деревина 13 завантажується в патрон 6 звідки надходить до диска 1, який обертається . Ножі 2 зрізають товсту стружку, з якої при зсуві передньою гранню ріжучого ножа

утворюється одиночний тонкий елемент, який називається - технологічна тріска. Тріска 11 пролітає крізь ножовий отвір 4 і взаємодіє з накладною пластиною 10. Відбивається в зону 12 захоплення її лопаткою 3 відбивається у вивідну горловину 7 .

Формою контактної поверхні накладної пластини 10 можна знизити ступінь пошкоджень тріски і більш точно спрямувати потік тріски з підножевого отвору в зону захоплення її лопаткою. Поверхня накладної пластини, взаємодіє з тріскою , повинна перетворити енергію удару тріски в пластину в рух ковзання тріски в зони 12 захоплення тріски лопаткою. Це можливо при виконанні пластини параболічної форми. При взаємодії деревини з пластиною в підножевій щілині виникає крайовий ефект , який виражається в утворенні відколів . Сколи сприяють підвищенню сил тертя на бічних ділянках підножової щілини , що призводить до інтенсивного зносу диска і можливим його пошкоджень.

Подрібнювач приводиться в рух від ВВП трактора і використовуються як пересувний подрібнювач. Для його приводу необхідний трактор із потужністю двигуна від 50 кВт.

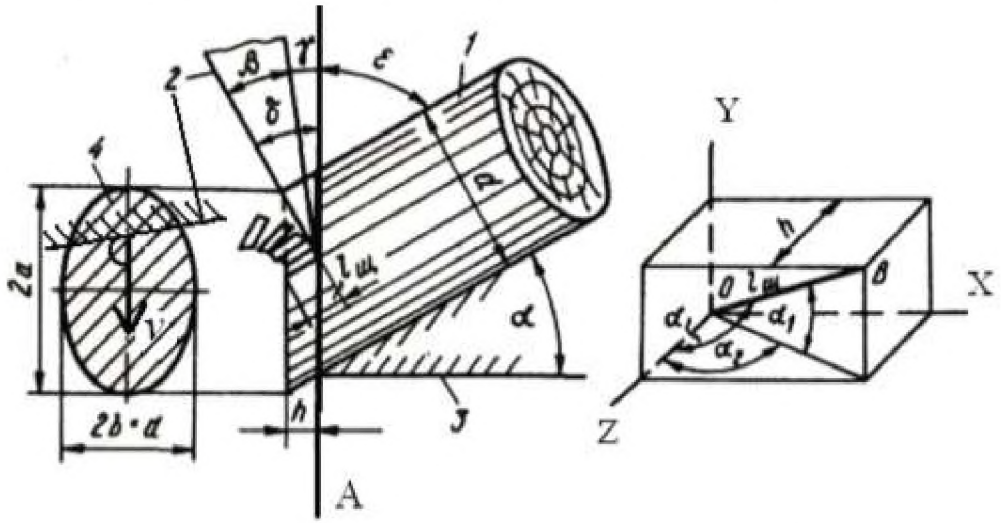
У разі необхідності подрібнювач може оснащуватись пристроїм для подачі гілок до горловини пристрою.

Подрібнювач може також використовуватись комунальними службами та під час очищення різноманітних посадок та лісів від гілок, які після подрібнення значно легше транспортуються і підходять для подальшої переробки їх у тверде паливо, що в свою чергу може використовуватись тими ж службами для опалювання приміщень у холодні пори року, чим значно скоротять свої витрати.

Таким чином для визначення раціональних конструктивних параметрів та режимів роботи подрібнювача необхідно теоретично обґрунтувати конструктивні параметри подрібнювача для зменшення сили, а отже і потужності яка затрачається на подрібнення щоб зменшити собівартість робіт.

2.2 Аналіз геометричних параметрів процесу різання дисковою рубальною машиною

Основні кути які визначають процес різання наведені на рис. 2.2 та визначаються розташуванням ножів і патрона відносно до диска.



а б

Рисунок 2.2 Кутові параметри рубки деревини (а) і схема для визначення довжини тріски (б): 1 - гілка, 2 - ніж, 3 – контрніж; 4 - площа зрізу

На рис.2.2, а показані основні кутові параметри заточування і установки ножа. Кут β - кут заточування або загострення ножа, утворений передньої і задньої гранями ; γ - задній кут , між задньою гранню ножа і площиною різання (кут затягування); δ – кут різання між передньою гранню і площиною різання ($\delta = \beta + \gamma$) , ε - кут зустрічі. Величина кута заточування β вибирається в діапазоні 30…40°. Менше значення кута β призводить до отримання більш товстої тріски і обмежується стійкістю ріжучих ножів.

Положення гілки (відповідно, патрона) прийнято характеризувати кутами α_1 і α_2 в системі координат XYZ , в якій вісь OZ паралельна осі обертання диска, а площина YOX паралельна площині диска. Кут α_1 характеризує нахил патрона до горизонтальної площини, α_2 - кут розвороту патрона в

горизонтальній площині; α - кут між віссю гілки і віссю обертання диска. Існує залежність $cos\alpha = cos\ \alpha_1 \cdot cos\alpha_2$.

Застосовуються різні варіанти орієнтації патрона (рис. 2.2, б) :

1 . З одним кутом нахилу α_1 до горизонтальної площини; кут $\alpha_2=0$. У цьому випадку $\alpha_1 = \alpha_2$;

2 . З кутом нахилу α_1 і з додатковим кутом розвороту α_2 ;

3. З одним кутом розвороту α_2 в горизонтальній площині. У цьому випадку $\alpha_1 = 0$ і $\alpha_2 = \alpha$.

Перші два варіанти - машини з похилою подачею. Кут α_1 призначається з умови самоподачі балансів до диску під дією сили тяжіння і приймається в діапазоні $\alpha_1 = 45\ldots55°$. Кут повороту приймається рівним $\alpha_2=10\ldots30°$, в деяких конструкціях $\alpha_2=0$ (варіант торцевого - поздовжнього різання). Третій варіант - машина з горизонтальною подачею, що має кут розвороту $\alpha_2=48\ldots55°$. Відносно до умов роботи дискових русальних машин основні параметри різання деревини показані на рис.2.2, а. Для спрощення зображення показаний випадок , коли кут розвороту патрона $\alpha_2 = 0$ і $\alpha_1 = \alpha$ (рис.2.2, б) .

При рубці гілки, нахиленої до площини диска, в перетині відрубу утворюється еліпс (рис.2.2, а), що характеризує великою (*2а*) і малою (*2в*) осями, які визначаються співвідношенням

$$2в = d; 2a = d / \cos\alpha = d / (\cos\alpha_1 \cdot \cos\alpha_2) \qquad (2.2)$$

де d - діаметр гілки .

Довжина тріски визначається кутами нахилу живильного патрона і випуском ножів h. З рисунка 2.2, б , який пояснює процес формування тріски , випливає, що довжина тріски

$$l_{щ} = h / \cos\alpha = h / (\cos\alpha_1 \cdot \cos\alpha_2) \qquad (2.3)$$

На неперервність різання деревини впливає декілька факторів: діаметр гілки *d,* кути нахилу патрона, число ріжучих ножів z і радіус різання R_p (рис. 2.3). Безперервність різання з достатньою для практичних розрахунків точністю

забезпечується за умови, що велика вісь еліпса відруби *2a* (при $\alpha_2 = 0$) повинна бути рівна або більша відстані АВ між сусідніми ножами на колі різання.

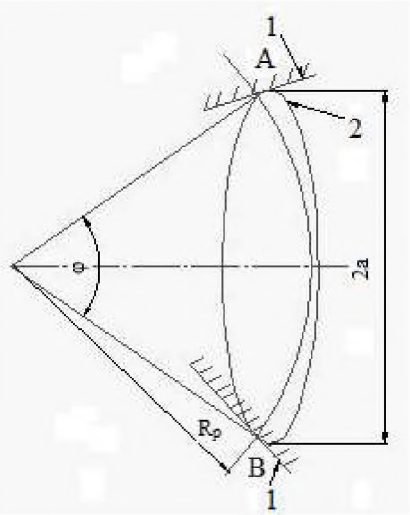


Рисунок 2.3 Схема для визначення безперервності різання: 1 - ножі, 2 – еліпс відрубу

$$2a \geq AB;\ \ 2a = d / \cos\alpha_1 \geq 2R_p \cdot \sin(\varphi / 2) \qquad (2.4)$$

де φ = 2π / z - кут між сусідніми ножами;

z - число ножів.

Діаметр гілки, при якому здійснюється безперервне різання , визначається зі співвідношення

$$d \geq 2Rp \bullet cos\alpha 1 \bullet sin(\pi / z). \qquad (2.5)$$

2.3. Визначення оптимальної висоти горловини

Для зменшення собівартості машини можливе розглянемо можливість виконання конструкції без втягуючих барабанів, замість яких виконується виготовлення горловини під кутом, що забезпечить надходження гілок під дією сили тяжіння.

Геометрична схема взаємодії завантажувального пристрою рубальної машини і подрібнювального елемента показана на рис. 2.4 . Як модель вихідної форми прийнятий прямий круговий циліндр.

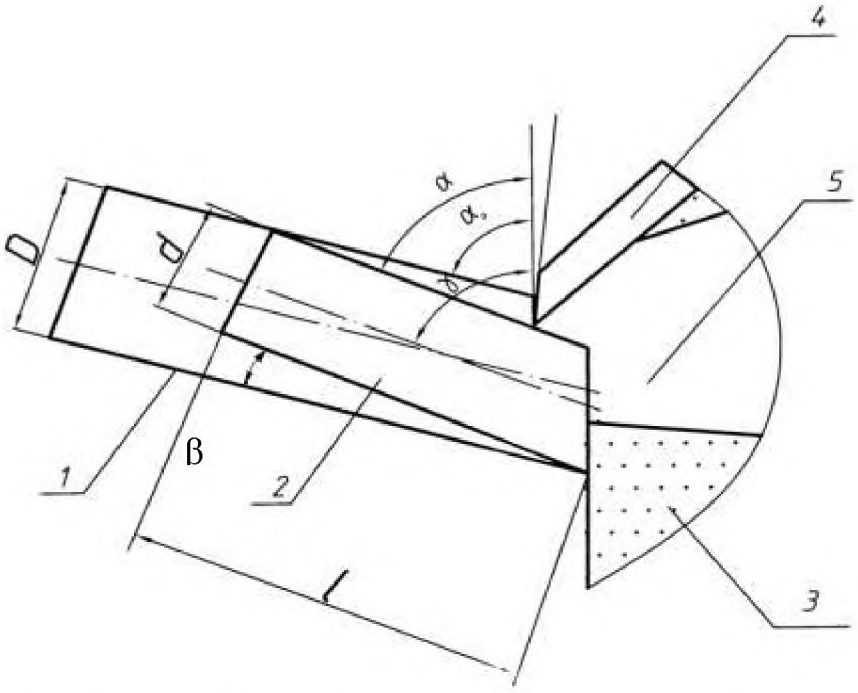


Рисунок 2.4 Геометрична схема завантажувального пристрою (патрона) рубальної машини: 1 – завантажувальний патрон, 2 – деревина, 3 – диск, 4– ніж, 5 – підножева щілина

Прийнято до уваги, що стандартна форма частинок тріски визначається значенням кута скосу, який в процесі зменшення довжини елемента також зменшується від α_0 і практично до 0.

$$\alpha = \alpha_0 - \beta \tag{2.6}$$

Нехай l_0 - довжина подрібнюваного елемента (після повного заходження елемента в патрон), l - поточне значення довжини подрібнювального елемента. Прийняті параметри повинні відповідати нерівності:

$$0 < l < l_0$$

За аналізом схеми на рисунку 2.4 отримана розрахункова формула для визначення допустимого співвідношення між висотою D внутрішнього простору завантажувального патрона рубальної машини, діаметром d і поточної довжиною подрібнювального елемента l:

$$\alpha = \alpha_0 + \beta = \alpha_0 - arctg\beta = \alpha_0 - arctg\frac{D-d}{l} \tag{2.7}$$

За формулою (2.7) було побудовано графік залежності кута сколу тріски від висоти патрона D, діаметра подрібнюваного елемента d і його довжини l.

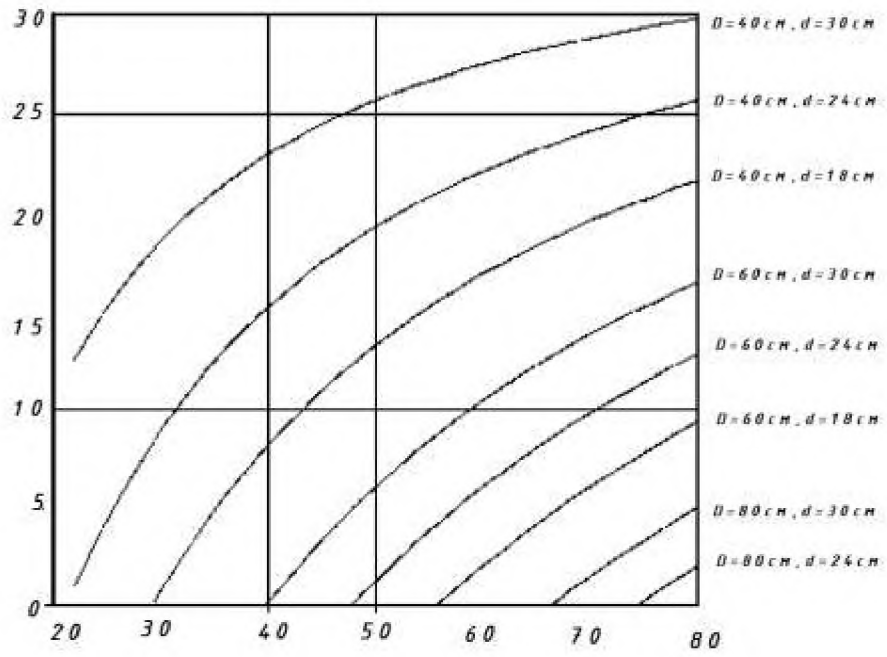


Рисунок 2.5 Графік залежності кута скосу площині зрізу частки тріски від висоти патрона, діаметра і довжини подрібнюваного елемента

Співвідношення

$$x = \frac{D - d}{l} \tag{2.8}$$

може бути використано як безрозмірний параметра для прогнозування якості тріски. При наближче значення параметра x до нуля і тим менше форма частинок тріски менше відрізняється від стандартної. Ці обрахунки показують, що існують дві можливості зменшення значення параметра x :

- зменшити різницю D-d;

- збільшити довжину елемента l чи зменшити довжину вхідної горловини.

Проте коли $D\text{-}d=0$ то ліквідується зазор між зовнішньою подрібнювального елемента і внутрішньою поверхнею завантажувальної горловини. З цієї причини виникнуть сили тертя, які перешкоджатимуть

процесу переміщення елемента в завантажувальному пристрої. Тому необхідно зберегти мінімальний зазор.

2.4. Визначення показників, що впливають на продуктивність і силу різання подрібнювача

Продуктивність дискових рубальних машин залежить від розмірів деревини яка переробляється, довжини тріски, числа ріжучих ножів і частоти обертання диска. Оскільки подрібнювач розробляється для подріблення гілок та стовбурів верби, а також можливе завантаження інших гілок і сільськогосподарських рослин які використовуються для виробництва твердого палива, в яких діаметри подрібнюваних елементів змінюються від 10…12 мм і до 30..33 мм. Тому для розрахунку продуктивності машини вводиться поняття еквівалентного діаметра деревини, який визначається як середня квадратична величина діаметрів елементів.

$$d_{сер} = \frac{d_1 + d_2 + d_i + ... + d_n}{n} \tag{2.9}$$

де $d_1, d_2, d_i ... d_m$, - діаметри гілок ;

n- кількість зразків.

Також приймемо, що діаметр елемента буда стали й на всій довжині, а отже

$$d_{сер} = D_p$$

де D_p - діаметр елемента в момент різання.

Теоретичну продуктивність Q_T, м^3/год, машини можна визначити за формулою

$$Q_T = \frac{3600\pi d_{сер}^2}{4} \cdot k_l \cdot l_{щ} \cdot n_H \cdot z = 900 \frac{\pi d_{сер}^2 \cdot h \cdot k_l \cdot n_H \cdot z}{\cos\alpha_1 \cdot \cos\alpha_2} \tag{2.10}$$

де k_l - коефіцієнт нерівномірності довжини тріски. Для малоножевих машин k_l = 0,80…0,85, для багатоножові машин k_l = 0,93…1,0;

$n_н$ - номінальна частота обертання ротора, с$^{-1}$.

Фактична продуктивність менша за теоретичну, адже елементи надходять в машину не безперервно, а з деяким інтервалом. Це враховується введенням коефіцієнта використання робочого часу машини або коефіцієнта завантаження

$$k_n = t_p / (t_p + t_{xx}) \tag{2.11}$$

де t_p - час рубки;

t_{xx} - середній час холостого ходу машини між рубкою.

Фактична продуктивність Q, м^3/год, пов'язана з теоретичною залежністю

$$Q = k \cdot Q_T = 900\pi d_{сер}^2 \cdot k_n \cdot k_l \cdot l_{щ} \cdot n_H \cdot z \tag{2.12}$$

Коефіцієнт завантаження k_n на основі практичних даних приймається: для тихохідних малоножевих машин 0,7…1,0, для швидкохідних багатоножевих машин з хвилястою поверхнею 0,4…0,7.

Звідси:

$$Q = k \cdot Q_T = 900 \cdot 3{,}14 \cdot D_p^{\,2} \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}8 \cdot l_{щ} \cdot n_H \cdot z = 1582.7 D_p^{\,2} \cdot l_{щ} \cdot n_H \cdot z\,. \tag{2.13}$$

Продуктивність також безпосередньо залежить від надходження елементу подрібнюваного диска необхідно розглянути процес надходження елемента до диска.

У загальному випадку рух елемента в патроні рубальної машини складається з двох стадій: підведення елемента до диску до початку відруби і подачі елемента в період відруби.

При горизонтальному розташуванні патрона подача здійснюється примусово за допомогою стрічкового транспортера або спеціальним механізмом, що подає. При похилому патроні елемент направляється до диску під дією сили тяжіння. Умова мимовільного ковзання гілки по похилій поверхні патрона має вигляд

$$tg\alpha > f_Д \tag{2.14}$$

Прийнявши максимальне значення коефіцієнта тертя між гілкою (поліном) і дном патрона $f_Д = 0{,}6$ отримаємо, що мінімальне значення кута нахилу патрона для самовільного ковзання елемента складе $\alpha_1 = arctg\,0{,}6 = 31°$.

В машинах аналогах $\alpha_1 = 45…55$ °, що забезпечує підведення деревини до диску з деяким прискоренням.

У період відруби конструкція машини повинна забезпечувати таку швидкість подачі, щоб кожен ніж відрубував від гілки (поліна) тріску заданої довжини. Гілка (поліно) рухатися в період відруби під дією сили тяжіння в машинах з похилою подачею і сили самозатягування, що виникає при взаємодії ножа з деревиною (рис. 2.6). Ця сила змушує гілку (поліно) постійно притискатися своїм торцем до задньої грані ножа. Для визначення сили затягування $P_{зат}$ розглянемо схему взаємодії ножа з деревиною показаної на рисунку 2.7.

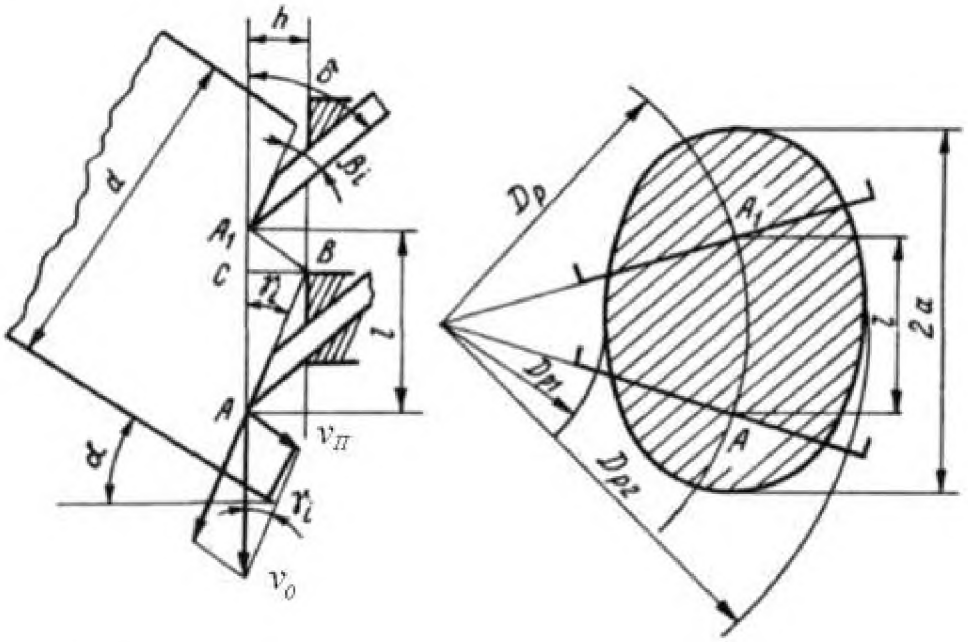


Рисунок 2.6 Схема подачі гілки (поліна) в період різання

Елемент (гілка чи поліно) знаходиться в рівновазі під дією рівнодіючих сил. Сили R_1 і R_2 є рівнодійними сил, прикладених зі сторони передньої і задньої граней ножа до деревини; крім цього на елемент діє сила тяжіння G і опорна реакція R. Шукана сила $P_{зат}$ діє вздовж напрямку руху елемента А-А, забезпечуючи притискуванню деревини до задньої грані різця. Це зусилля може бути визначено побудовою плану сил на основі векторного рівняння

$$\overline{G} + R_1 + R_2 + R = 0 \qquad (2.15)$$

Сили G і $R_1 = \sqrt{F_{T1}^2 + F_1^2}$ і відомі за величиною.

Відомими є також напрями сил R_2 і R.

$$R_2 = \sqrt{F_{T2}^2 + F_2^2}; \; R = \sqrt{F_T^2 + F^2}$$

де $F_{T2} = f_Д \cdot F_2$ та $F_T = f_Д \cdot F$

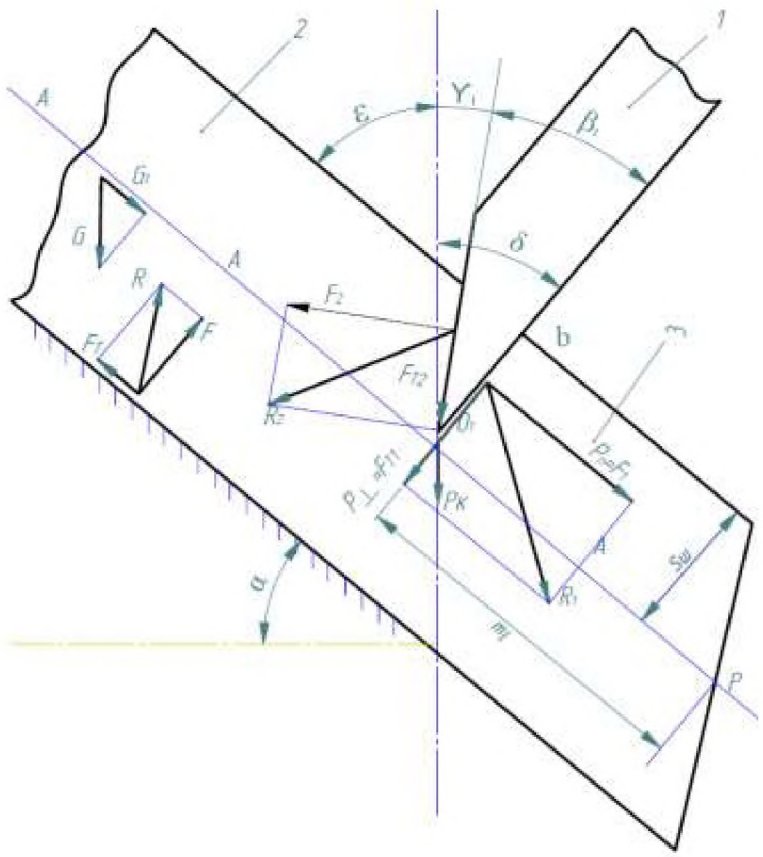


Рисунок 2.7 -Схема сил при взаємодії різця з деревиною :1 - ріжучий ніж , 2 -стебло , 3 - елемент тріски

При побудові плану сил (рис.2.8) спочатку відкладаємо в масштабі силу тяжіння балансу G, потім величину сили R_1, яка визначається з умови утворення елемента тріски. Проводячи з кінця вектора R_1 лінію дії сили R_2 і з точки О лінію дії вектора R, замкнемо багатокутник сил.

Величина сили затягування $P_{зат}$ визначається проекцією сил G і R_1 на напрямок руху елементу А-А. Сила $P_{зат}$ врівноважується силою $F_Ò$ тертя балансів по опорній поверхні складової реакції R_2 задньої грані ножа на напрям А-А. Розглянутий план сил дозволяє зробити висновок, що в процесі рубки

виникає сила затягування, що забезпечує постійний притиск торця елементу до задньої грані ножа.

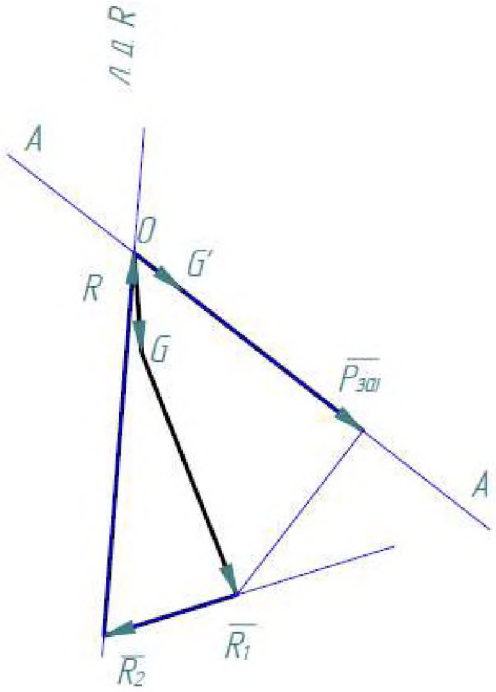


Рисунок 2.8 Векторний планс сил

Швидкість подачі елементу υ (або швидкість самозатягування) буде визначатися величиною кута затягування γ_i, утвореного задньої гранню ножа і площиною диска. Застосовуючи теорему синусів, з трикутника швидкостей $A\upsilon_0\upsilon_П$ на рисунку 2.7 отримаємо

$$\frac{v_n}{\sin\gamma_i} = \frac{v_0}{\sin(90° + \alpha - \lambda_i)} \tag{2.16}$$

Звідки:

$$v_П = \frac{v_0 \cdot \sin\gamma_i}{\cos(\alpha - \gamma_i)} \tag{2.17}$$

де υ_0 - колова швидкість ножів на даному діаметрі різання D_p,

$$\upsilon_0 = \pi Dp \bullet n.$$

$$v_n = \frac{\pi D_p \cdot n \cdot \sin\gamma_i}{\cos(\alpha - \gamma_i)} \tag{2.18}$$

Враховуючи, що $cos(\alpha-\gamma_i) = cos\alpha \bullet cos\gamma_i - sin\alpha \bullet sin\gamma_i$, отримаємо

$$v_n = \frac{\pi D_p \cdot n}{(\cos\alpha \cdot ctg\gamma_i + \sin\alpha)} \qquad (2.19)$$

Враховуючи те, що швидкість подачі v_n повинна бути такою, щоб елемент просовувалась на відстань, рівну довжині тріски l_{mp} за час t_1, протягом якого диск повернеться на кутовий крок між сусідніми ножами, отримаємо

$$v_n = \frac{l_щ}{t_1} = l_щ \cdot n \cdot z \qquad (2.20)$$

де $t_1 = \frac{1}{n \cdot z}$ - час, протягом якого диск пройде відстань, рівну дузі АА1 (рис.2.3).

Підставляючи вираз (2.20) в рівняння (2.19) і вирішуючи його відносно $l_{тр}$, отримаємо

$$l_{mp} = \frac{\pi D_p}{z} \cdot \frac{1}{\cos\alpha \cdot ctg\gamma_i + \sin\alpha} \qquad (2.21)$$

Вирази (2.20) і (2.19) показують, що при однаковому значенні кута затягування γ_i швидкість подачі і довжина тріски залежать від діаметра D_p, на якому відбувається різання.

Кут затягування γ_i на підставі формули (2.21) буде обраховуватись за такою формулою:

$$\gamma_i = arctg\left(\frac{l_щ \cdot \cos\alpha}{\frac{\pi D_p}{z} - l_щ \cdot \sin\alpha}\right) \qquad (2.22)$$

а кут заточування

$$\beta_i = \delta - \gamma_i = \delta - arctg\left(\frac{l_щ \cdot \cos\alpha}{\frac{\pi D_p}{z} - l_щ \cdot \sin\alpha}\right) \qquad (2.23)$$

Виходячи з (2.20) і (2.17) визначимо продуктивність:

$$Q = 69{,}12 \cdot v_n \qquad (2.24)$$

Підставимо (2.19) в (2.24) і визначимо як залежить продуктивність подрібнювача від кута затягування γ_i і кута α який є кутом нахилу осі елемента до осі диска русальної машини:

$$Q = 1582,7 D_p^2 \cdot \frac{\pi D_p \cdot n}{\cos\alpha \cdot ctg\gamma_i + \sin\alpha} = \frac{15,6 \cdot 10^3 \cdot D_p^3 \cdot n}{\cos\alpha \cdot ctg\gamma_i + \sin\alpha} \qquad (2.25)$$

Виходячи з (2.25) можна зробити висновки, що при визначеному діаметрі елемента і підібраній частоті обертання диска подрібнювача продуктивність дробарки залежить лише від кутів затягування γ_i і кута α який є кутом нахилу осі елемента до осі диска русальної машини.

За формулою (2.25) побудуємо графіки залежності продуктивності подрібнювача відносно кута α осі елемента до осі диска (рис. 2.9) та кута затягування γ_i (рис. 2.10), і частоти обертання n (рис. 2.11).

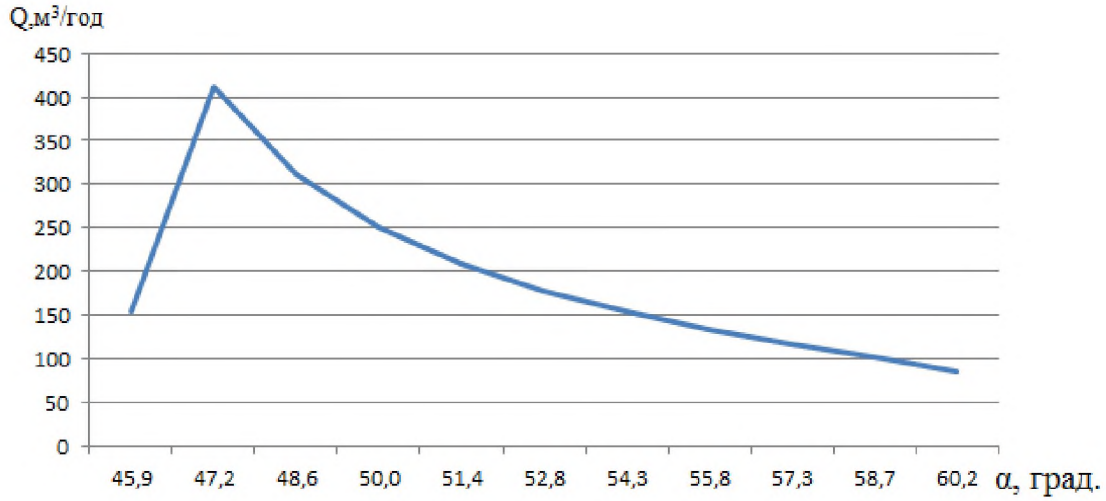


Рисунок 2.9 Залежність продуктивності подрібнювача від кута нахилу осі елемента до осі диска

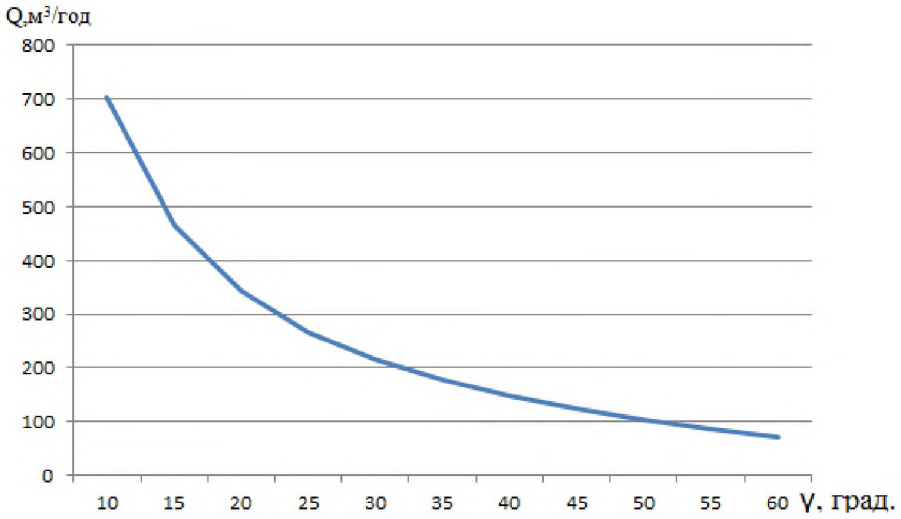
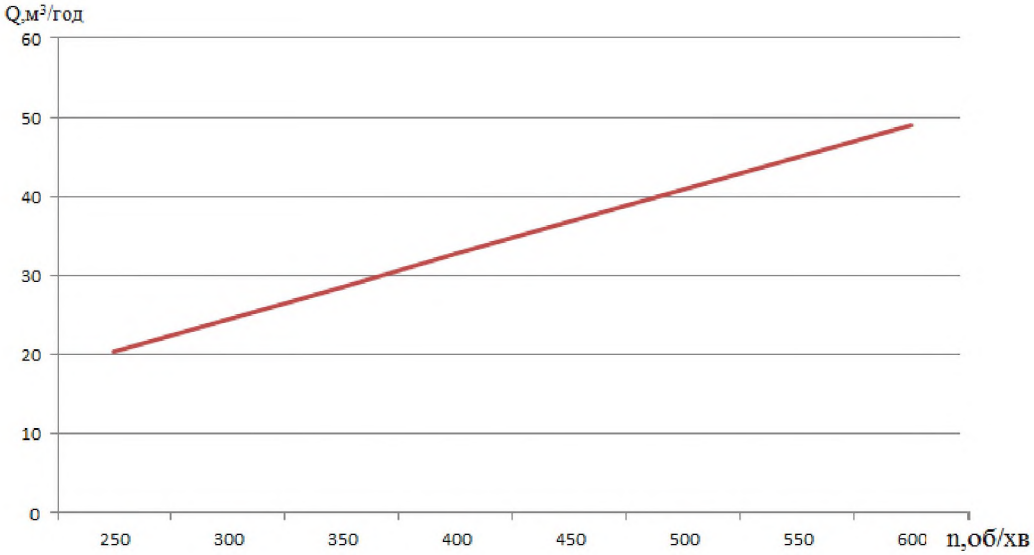


Рисунок 2.10 Залежність продуктивності подрібнювача від кута затягування елемента



Графік 2.11 Залежність продуктивності подрібнювача від числа обертів подрібнюючого диска

Таким чином теоретичне дослідження процесу подрібнення показує, що найбільша продуктивність подрібнювача досягається за таких параметрів: кута встановлення косої площини ножа $\gamma=0^0$, кута подачі елемента $\alpha=0^0$, але при цих параметрах якість утвореної тріски була низькою. Тому були вибрані такі мінімальні параметри при яких якість тріски відповідала поставленим вимогам: $\gamma=1...2^\circ$, $\alpha=5^\circ$ при середньому діаметрі стебел 19 мм.

РОЗДІЛ 3
ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма експериментальних досліджень

Під час теоретичного обґрунтуванні параметрів та режимів роботи рубальної машини для визначення оптимального кута нахилу ножа подрібнюючого диска було виділено декілька параметрів енергетичної лози які впливають на процес різання. Відповідно до цього була складена програма експериментальних досліджень, якою передбачено:

- дослідити зміну вологості гілок верби з часом після зрізу;
- встановити розподіл середніх діаметрів гілок верби;
- дослідити вплив кута α встановлення леза і кута подачі гілок γ та середнього їх діаметра на процес різання.

3.2. Прилади, обладнання та апаратура

Для проведення дослідів з було розроблено і виготовлено лабораторну установку (рис. 3.1) для дослідження оптимального кута нахилу ножа рубального диска. Установка складається з основи 1 на якій встановлено направляючу 2 з фіксувальним механізмом 3, який фіксує штангу 4 у верхньому положенні на якій встановлено ніж 5, що може обертатись навколо вісіки 6, штанга з'єднана з основою за допомогою вуха 7. На штангу встановлюється вантаж 8, який створює зусилля різання яке змінюється відповідно до кута нахилу ножа. Також на основі встановлено контрніж 9 з притискачем 10. Звільнення штани здійснюється поворотом ручки 11, після чого штанга падає і відбувається процес рубки. На основі встановлено резиновий обмежувач 12 для зупинки штанги після того як пройшов процес рубки.

Для визначення початкової вологості гілок верби використовувалось наступне лабораторне обладнання: сушильна електрошафа СНОЛ – 3,5.3,5.3,5/3

ИЗ з діапазоном автоматичного регулювання температури в робочому просторі від +50 до +350 ^{0}С ± 2 ^{0}С; іссикатор; бюкси; різні за об'ємом ємкості; лабораторні ваги ТВЛ 0,5 (рис.3.2, а, б).

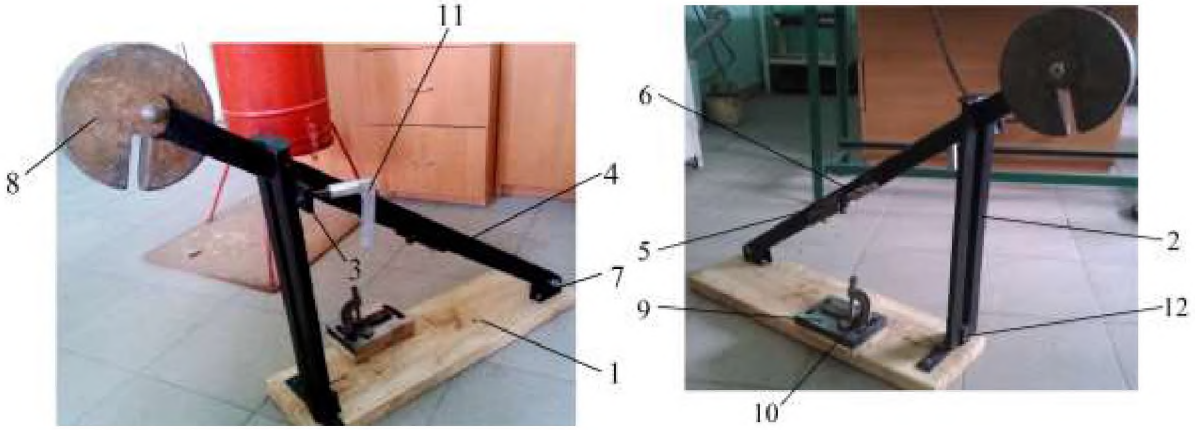
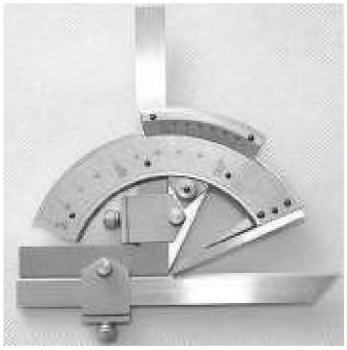


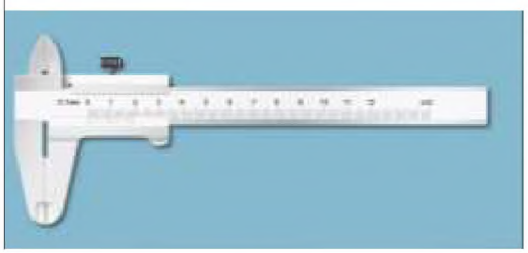
Рисунок 3.1 Лабораторна установка: 1 – основа; 2- направляюча; 3- фіксу вальний механізм; 4- штанга; 5- ніж; 6- вісь;7- вухо; 8- вантаж: 9-контрніж; 10-притискач; 11- ручка; 12- обмежувач

а

б



в



г

д

Рисунок.3.2 Обладнання, яке використовувалось у дослідженнях: а - сушильна електрошафа СНОЛ – 3,5.3,5.3,5/3 ИЗ; б - іссикатор, бюкси; в - кутомір; г - штангенциркуль ШЦ-1; д - лабораторні ваги ТВЛ 0,5

Для визначення кута встановлення нахилу ножа і кута закріплення стебла був використаний кутомір УН 127 (рис. 3.2, в), а для визначення середнього діаметра гілок був використаний штангенциркуль ШЦ-1 (рис. 3.2, г). Зважування зразків здійснювали вагою ТВЛ-0,5 (рис. 3.2, д)

3.3. Методика визначення вологості гілок верби

Визначення вологості гілок проводили з використанням обладнання описаного у п. 3.2 (рис. 3.2, а, б, г)

Для визначення вологості брали наважки матеріалу масою 14-16 г. та поміщали в алюмінієві бюкси. Бюкси були попередньо просушені і таровані. Зважування бюксів із зразком проводили з точністю до 0,01г.

Після цього відкривали кришки бюксів і поміщали їх разом із досліджуваним матеріалом у нагріту сушильну шафу. Сушильну шафу нагрівали до 100±5 ^{0}C; підтримували цю температуру протягом усього періоду дослідження. Після 100 хв сушіння бюкси з матеріалом виймали з шафи, закривали кришками і охолоджували в ексикаторі до кімнатної температури. Охолоджені бюкси зважували і знову повертали у сушильну шафу. Наступні зважування проводили через 30 хв. Якщо різниця в масі не перевищувала 1 % від початкової маси проби, дослід припиняли. При збільшенні маси наважки для розрахунків приймали її мінімальне значення.

Вміст вологи розраховували по наступній залежності:

$$W = \frac{(m - m_1) \cdot 100}{m}, \qquad (3.2)$$

де W – вологість матеріалу, %;

m – маса наважки до сушіння, г;

m_1 – маса наважки після сушіння, г.

3.4. Методика визначення розподілу середнього діаметра гілок

Визначення середнього діаметра гілок проводилось з використанням обладнання описаного у п. 3.2 (рис. 3.2, г)

Для визначення середнього діаметра було відібрано 100 типових гілок, для яких проводили 300 замірів (рис.3.3) діаметрів. По 3 заміри на одній гілці: на обох кінцях та посередині. Далі встановлювали середнє значення за формулою (3.3) і

$$d_{сер.} = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3} \tag{3.3}$$

де d_1, d_2, d_3 - відповідно нижній, середній і верхній діаметри.

Рисунок 3.2 Заміри діаметрів гілок

Отримані заміри представляли у вигляді інтервального статистичного ряду. При виборі кількості інтервалів користувались даними наведеними у табл. 3.1.

Попередню величину інтервалу h можна визначали за формулою

$$h = \frac{m_{\max} - m_{\min}}{k}, \tag{3.4}$$

де m_{max} і m_{min} - відповідно максимальне та мінімальне значення з масиву даних.

Отриманий результат заокруглюють так, щоб середня величина інтервалу була не дуже роздрібненою. Далі уточнюють кількість інтервалів з урахуванням прийнятої їх величини.

Таблиця 3.1 - Кількість інтервалів розбиття дослідних даних

Кількість вимірів, n	Кількість інтервалів, k
10-30	5-6
31-80	6-9
більше 80	9-12

Для полегшення визначення належності і-го виміру j-му інтервалу доцільно кінцеву межу інтервалу призначали меншою від розрахункової на одиницю точності, з якою проводили вимірювання, тобто на 0,1 мм.

Інтервальний статистичний ряд включає чотири параметри: перший – границі кожного інтервалу; другий – частоту m_i в кожному інтервалі (це кількість статистичних даних, що відповідають кожному з інтервалів; третій – дослідну ймовірність в кожному інтервалі; четвертий – накопичену (інтегральну дослідну ймовірність).

Дослідна ймовірність (частота):

$$P_i = \frac{m_i}{N}, \tag{3.5}$$

де N - загальна кількість статистичних даних.

Середнє значення показника визначається за формулою:

$$\overline{t} = \sum_{i=1}^{n} \left(t_{ic} \cdot P_i \right), \tag{3.6}$$

де n - кількість інтервалів статистичного ряду;

t_{ic}, P_i - відповідно значення середини i-го інтервалу і його дослідна ймовірність.

Середньоквадратичне відхилення:

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left[\left(t_{ic} - \overline{t}\right)^2 \cdot P_i\right]}. \qquad (3.7)$$

У дослідній інформації можуть бути помилкові точки, котрі випадають із загального закону розподілу. Тому перед кінцевою аналітичною обробкою інтервальний статистичний ряд перевіряють на випадаючі точки за правилом $\overline{t} \pm 3 \cdot S$. Якщо крайні точки дослідних даних не виходять за межі $\overline{t} \pm 3 \cdot S$, то всі точки дійсні, а якщо деякі точки виходять – то необхідно знову будувати інтервальний статистичний ряд, виключивши з нього випадаючі точки, а також перерахувати середнє значення і середньоквадратичне відхилення.

На основі отриманих параметрів емпіричного розподілу можна будували гістограму, полігон і криву накопичених дослідних ймовірностей, які дають уяву про дослідний розподіл випадкової величини і дають можливість у першому наближенні розв'язати ряд інженерних задач, пов'язаних з оцінкою надійності.

Для побудови експериментальних графічних залежностей на осі абсцис відкладали у вибраному масштабі значення показника P_i (для гістограми та полігона) і накопичену дослідну ймовірність $\sum P_i$ (для кривої накопичених дослідних ймовірностей).

Точки полігона утворюються перетином ординати, рівної ймовірності інтервалу, і абсциси, рівної середині цього інтервалу. Точки кривої накопичених дослідних ймовірностей утворюють перетином ординати, рівної сумі ймовірностей попередніх інтервалів, і абсциси кінця даного інтервалу.

Для підвищення точності розрахунків показників дослідний розподіл вирівнювали теоретичним законом розподілу. Для цього визначали коефіцієнт варіації – безрозмірну характеристику розсіювання статистичних даних:

$$V = S \diagup \overline{t}\ . \qquad (3.8)$$

Для вирівнювання отриманих розподілів рекомендується використовувати закон нормального розподілу (ЗНР) або закон розподілу

Вейбула (ЗРВ), як такі, що найчастіше застосовуються стосовно розмірних характеристик природних обєктів.

У першому наближенні теоретичну функцію розподілу вибирають за значенням коефіцієнта варіації. Якщо коефіцієнт варіації знаходиться у межах $0 \le V \le 0{,}3$, то дані отримані у результаті експерименту відповідають ЗНР. Коли $0{,}3 \le V \le 0{,}8$, то розподіл випадкової величини може відбуватись як за ЗНР так і за ЗРВ.

У такому випадку, коли можливий ЗРВ і ЗНР ($0{,}3 \le V \le 0{,}8$), додатково використовують критерій злагоди Колмогорова, щоб остаточно визначити відповідність розподілу дослідних даних теоретичному закону. Для реалізації даного критерію необхідно визначити декілька параметрів, зокрема:

$$L = D_{\max} \cdot \sqrt{N}\,, \tag{3.9}$$

де

$$D_{\max} = \left(\left| \sum_{i=1}^{n} m_i - \sum_{i=1}^{n} m_i' \right|_{\max} \right) \Big/ N\,. \tag{3.10}$$

У формулі (3.11) $\sum_{i=1}^{n} m_i$ - накопичена дослідна частота, а $\sum_{i=1}^{n} m_i'$ - накопичена теоретична частота.

Теоретична частота визначається за формулою:

$$m_i' = N \cdot \left[F\left(t_{i+1}\right) - F\left(t_i\right) \right], \tag{3.11}$$

де $F\left(t_{i+1}\right)$ і $F\left(t_i\right)$ - значення інтегральних функцій відповідно в кінці і на початку кожного інтервалу.

За розрахованим значенням L знаходимо значення функції ймовірності $P(L)$ з довідкової літератури. Якщо виявиться, що ймовірність згоди $P(L) \le 0{,}05$, то вважають, що емпіричний розподіл не відповідає пропонованому теоретичному розподілу. У випадку коли $P(L) > 0{,}05$, то вважатимемо, що теоретичний розподіл може бути прийнятий у якості

характеристики випадкової величини. Якщо порівнювались ЗНР і ЗРВ, то вибирається той закон, ймовірність якого більша.

Для вирівнювання емпіричного розподілу у випадку ЗНР точки кривої ймовірностей інтервалів визначають за виразом:

$$f^*(t_{ic}) = (A/S) f_0\left[(t_{ic} - \overline{t})/S\right], \tag{3.12}$$

де $f_0\left[(t_{ic} - \overline{t})/S\right]$ - центрована диференціальна функція, яка визначається за формулою (3.13) з урахуванням заміни $t = (t_{ic} - \overline{t})/S$;

A - величина інтервалу статистичного ряду;

t_{ic} - значення середини i-го інтервалу.

$$f_0(t) = \frac{e^{-t^2/2}}{\sqrt{2 \cdot \pi}}. \tag{3.13}$$

Значення інтегральної функції $F(t)$ для ЗНР визначають із довідкової літератури.

$$F(t^*_{iк}) = F_0\left[(t_{iк} - \overline{t})/S\right], \tag{3.14}$$

де $t^*_{iк}$ значення кінці i-го інтервалу статистичного ряду.

У випадку ЗРВ значення диференціальної функції визначають за формулою:

$$f^*(t_{ic}) = b/a \cdot \left(t_{ic}/a\right)^{b-1} \cdot e^{-\left(t_{ic}/a\right)^b}, \tag{3.15}$$

а інтегральну функцію із виразу:

$$F(t_{iк}) = 1 - e^{-\left(t_{iк}/a\right)^b}, \tag{3.16}$$

де a і b - параметри розподілу Вейбула.

Функцію ймовірності інтервалів, у випадку ЗРВ, визначають, як різницю інтегральних функцій в кінці і на початку кожного інтервалу:

$$f^*(t_{ic}) = F(t_{iк}) - F(t_{in}). \tag{3.17}$$

Визначивши закон розподілу випадкової величини, далі апроксимували полігон функцією ймовірностей інтервалів, а криву накопичених дослідних ймовірностей – інтегральною функцією.

3.5. Методика дослідження процесу різання гілок верби

За результатами аналізу відомих попередніх досліджень було встановлено, що сила різання залежить від таких параметрів, як діаметр стебла, кута нахилу ножа і кута встановлення стебла на контрножі. Для кількісної оцінки впливу зазначених факторів та отримання математичної моделі цього процесу у вигляді рівняння регресії, було проведено дослідження із застосуванням математичного методу планування експерименту.

Дослідження проведено на установці описаній у п. 3.2 (рис. 3.1). Під час досліджень змінювали кут встановлення ножа, що виставлявся з допомогою кутоміра і змінювалась вага яка за рахунок плеча була у 2 рази більшою за встановлену на штанзі, після чого штанга була закріплена у верхньому положенні. Кут встановлення ножа вимірювався кутоміром (рис. 3.2, в). З допомогою притискача на контрножі закріплювали гілку верби, яку також з допомогою кутоміра встановлювалось під змінним кутом. Зазор між ножем і контрножем встановлювали в межах 0,5…1,5мм. Після здійснення процесу різання утворена тріска перевірялась на якість відповідно до вимог. Якщо процес різання не відбувався то маса вантажу збільшувалась.

Після того як процес різання проходив вдало фіксувався раніше встановлений кут під яким знаходиться ніж, кут встановлення стебла і маса вантажу яка була встановлена, для отримання значення зусилля яке прикладалось.

Для зменшення трудомісткості було використано план реалізації експерименту Бокса-Бенкіна другого порядку (Додаток А табл.А.1).

Зв’язок між закодованими і натуральними величинами факторів встановлювався так:

$$x_1 = \frac{d - d_0}{\varepsilon_1}\ x_2 = \frac{\alpha - \alpha_0}{\varepsilon_2}\ ;;\ x_3 = \frac{\gamma - \gamma_0}{\varepsilon_3}, \tag{3.18}$$

де α_0, d_0, γ_0 - значення факторів на основному рівні, кут подачі стебла, середній діаметр і кут встановлення ножа.

ε_1, ε_2, ε_3 - інтервал варіювання факторів.

Для трифакторного досліду повне квадратне рівняння має вид:

$$\begin{gathered}\overline{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 + \\ + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3\end{gathered}. \tag{3.19}$$

Коефіцієнти рівняння регресії визначали так:

$$b_0 = \frac{1}{n_0} \sum_{u=1}^{n_0} y_{0_u}, \tag{3.20}$$

$$b_j = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^{n} x_{ji} y_i, \tag{3.21}$$

$$b_{jr} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^{n} x_{ji} x_{ri} y_i, \tag{3.22}$$

$$b_{jj} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^{n} x_{ji}^2 y_i - \frac{1}{16} \sum_{j=1}^{p} \sum_{i=1}^{n} x_{ji}^2 y_i + \frac{1}{2n_0} \sum_{u=1}^{n_0} y_{0_u}, \tag{3.23}$$

де u – номер досліду в центрі плану;

n_0 – кількість дослідів в центрі плану;

r, j – номери фактору досліду;

p – кількість факторів;

i – номер досліду;

n – кількість дослідів;

y_i – значення функції відгуку в і-му досліді;

x_{ji}, x_{ri} – кодовані значення j-го чи r-го фактору в і-му досліді;

y_{0_u} – значення функції відгуку в u-му досліді в центрі плану.

Однорідність ряду дисперсій перевіряли за критерієм Кохрена. Розрахункова величина даного критерію:

$$G^{розр.} = \frac{S^2_{y_i \max}}{\sum_{i=1}^{n} S^2_{y_i}}, \tag{3.24}$$

де $S^2_{y_i \max}$ - найбільша із дисперсій.

$\sum_{i=1}^{n} S^2_{y_i}$ - дисперсія результатів в і-му досліді.

$$S^2_{y_i} = \frac{1}{m-1} \sum_{g=1}^{m} \left(y_{ig} - \overline{y}_i \right)^2, \tag{3.25}$$

де m – число повторностей в досліді;

g – номер повторності;

y_{ig} – результат g-ї повторності і-го досліду;

$\overline{y}_i$ – середнє арифметичне значення усіх повторностей і-го досліду.

Ряд дисперсій рахували однорідним коли

$$G^{розр.} < G^{табл.}\left(0.05; n; f\right), \tag{3.26}$$

де $G^{табл.}\left(0.05; n; f\right)$ – табличне значення критерію Кохрена за 5%-го рівня значущості, n-ї кількості дослідів та f=m-1 – числа ступенів вільності.

Дисперсію відтворюваності експерименту визначали за формулою:

$$S^2_y = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} \left(y_{0_u} - \overline{y}_0 \right)^2}{f_1}, \tag{3.27}$$

де $\overline{y}_0$ – середнє арифметичне значення функції відгуку отримане за результатами n_0 дослідів в центрі плану;

$f_1 = n_0 - 1$- число ступенів вільності дисперсії відтворюваності.

Дисперсії коефіцієнтів регресії визначали за формулами:

$$S^2_{b_0} = \frac{1}{n_0} S^2_y; \tag{3.28}$$

$$S^2_{b_j} = 0.125 S^2_y; \tag{3.29}$$

$$S^2_{b_{jr}} = 0.25 S^2_y; \tag{3.30}$$

$$S_{b_{jj}}^2 = 0.27083 S_y^2; \quad (3.31)$$

Довірчі інтервали коефіцієнтів регресії знаходили використовуючи табличне значення критерію Ст'юдента t(0.05;f) за 5%-го рівня значущості та f = n_0-1 – числа ступенів вільності в центрі плану:

$$\Delta b_0 = \mathrm{t}(0.05;\mathrm{f}) S_{b_0}; \quad (3.32)$$

$$\Delta b_j = \mathrm{t}(0.05;\mathrm{f}) S_{b_j}; \quad (3.33)$$

$$\Delta b_{jr} = \mathrm{t}(0.05;\mathrm{f}) S_{b_{jr}}; \quad (3.34)$$

$$\Delta b_{jj} = \mathrm{t}(0.05;\mathrm{f}) S_{b_{jj}}. \quad (3.35)$$

Якщо коефіцієнт регресії виявлявсь меншим довірчого інтервалу, то його вважали статично не значним.

Гіпотезу адекватності отриманої моделі перевіряли за допомогою F-критерію (критерію Фішера). Його розрахункове значення визначали так:

$$F^{розр.} = \frac{S_{неад.}^2}{S_y^2}. \quad (3.36)$$

Дисперсію неадекватності $S_{неад.}^2$ становить:

$$S_{неад.}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (\overline{y}_i - y_i)^2}{i_2}, \quad (3.37)$$

де $y_i, \overline{y}_i$- значення функції відгуку і-го досліду, визначене відповідно експериментально та за рівнянням регресії;

$i_2 = n - k'$- число ступенів вільності дисперсії неадекватності з врахуванням числа k' залишених коефіцієнтів регресії (у тому числі і b_0).

Рівняння вважали адекватним у тому випадку, коли розраховане значення F-критерію не перевищувало табличне:

$$F^{розр.} \le F^{табл.}(0.05; f_2 f_1), \quad (3.38)$$

де $F^{табл.}(0.05; f_2 f_1)$ – табличне значення критерію Фішера за 5%-го рівня значущості.

РОЗДІЛ 4.
РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Результати дослідження вологості гілок верби

Дослідження вологості гілок верби проводилось з метою встановлення вологості яка повинна бути при подрібненні їх у тріску.

Визначення вологості лози проводили з використанням обладнання описаного у п. 3.2 на основі методики описаної у п. 3.3. Результати реалізації експерименту для середньої вологості, що здійснювавсь у трикратній повторності наведені у табл. 4.1

Таблиця 4.1. - Значення вологості гілок верби

Час Т, год.	Значення вологості за повторюваністю, %			Середнє значення, %
	1	2	3	
Одразу після зрізання	75	74,3	75,5	74,93
Через 48 год.	53,8	54	55	54,27
Через 120 год.	38,4	39,2	38,9	38,83

4.2. Розподіл середнього діаметра гілок верби

Після проведення ста замірів гілок верби і визначення середнього діаметра гілки отримані наступні значення діаметрів в мм.:

18,3; 19; 18,7; 18,9; 18,5; 18,2; 18,9 ;18,3;18,5;18,7;18,8;20,7;18,7;18,4; 18,9; 18,7; 20,6; 18,7; 18,6; 18,8; 19; 20,1; 18,5; 19;20,2; 18,4; 18,9; 19,6; 18,5; 18,6; 18,8; 18,4; 18,8; 19,5; 18,3; 19,4; 18,3; 20,5; 18,4; 18,6; 18,8; 19,2; 18,7; 19,7; 18,9; 18,2; 18,5; 19,5; 19,8; 18,6; 19,1; 20,6; 20,8; 18,1; 19; 20,3; 19,2;19,1; 18,6; 18,9; 18,7; 18,4; 20,9; 18,6; 18,1; 19,1; 20; 18,1; 19,6; 18,7; 18,7; 18,8; 18,1; 19,8; 19,1; 19,3; 18,2; 19; 19,2; 18,7; 18,9; 18,6; 18,2; 20,4; 18,1; 19,2; 21; 18,2; 18,6; 18,8; 18,6; 18,3; 18,6; 18,5; 21,5; 18,4; 20,4; 18,8; 19,1; 18,7.

Визначені такі границі інтервалів, мм. :

18,1…18,4; 18,5…18,8; 18,9…19,2; 19,3…19,6; 19,7…20; 20,1…20,4; 20,5…20,8; 20,9…21,2; 21,3…21,6.

За даними будуємо інтервальний статистичний ряд у вигляді таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. - Інтервальний статистичний ряд

Границі інтервалів, мм	m_i	$P_i = \frac{m_i}{N}$	$\sum P_i$
18,1…18,4	21	0,21	0,06
18,5…18,8	35	0,35	0,14
18,9…19,2	22	0,22	0,24
19,3…19,6	5	0,05	0,38
19,7…20	4	0,04	0,54
20,1…20,4	5	0,05	0,73
20,5…20,8	5	0,05	0,9
20,9…21,2	2	0,02	0,97
21,3…21,6	1	0,01	1

В таблиці 4.3: m_i - частота значень статистичного ряду в кожному інтервалі; P_i - дослідна ймовірність (частість); $\sum P_i$ - накопичена дослідна ймовірність . Для заданого статистичного ряду N - загальна кількість статистичних даних; n - кількість інтервалів.

Середнє значення діаметрів становить:

$$\overline{t} = \sum_{i=1}^{n} \left(t_{ic} \cdot P_i \right) = 18,998 мм$$

де t_{ic} - значення середини i-го інтервалу;

$t_{1c} = 18,25$ мм.; $t_{2c} = 18,65$ мм.;

$t_{3c} = 19,05$ мм.; $t_{4c} = 19,45$ мм.;

$t_{5c} = 19,85$ мм.; $t_{6c} = 20,25$ мм.

$t_{7c} = 20,65$ мм.; $t_{8c} = 21,05$ мм.;

$t_{9c} = 21,45$ мм.;.

Середнє квадратичне відхилення:

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left[\left(t_{ic} - \overline{t}\right)^2 \cdot P_i\right]} = 0.748мм$$

Проводимо перевірку на випадаючі точки за правилом

$$\overline{t} \pm 3 \cdot S:$$

$$\overline{t} + 3 \cdot S = 22.242мм;$$

$$\overline{t} - 3 \cdot S = 16,745мм$$

Всі статистичні дані відповідають умові:

$$16.745мм < t_i < 22.242мм.$$

Перевірка виконується.

Використовуючи результати розрахунків наведені у табл.4.3, будуємо гістограму, полігон, криву накопичених дослідних ймовірностей.

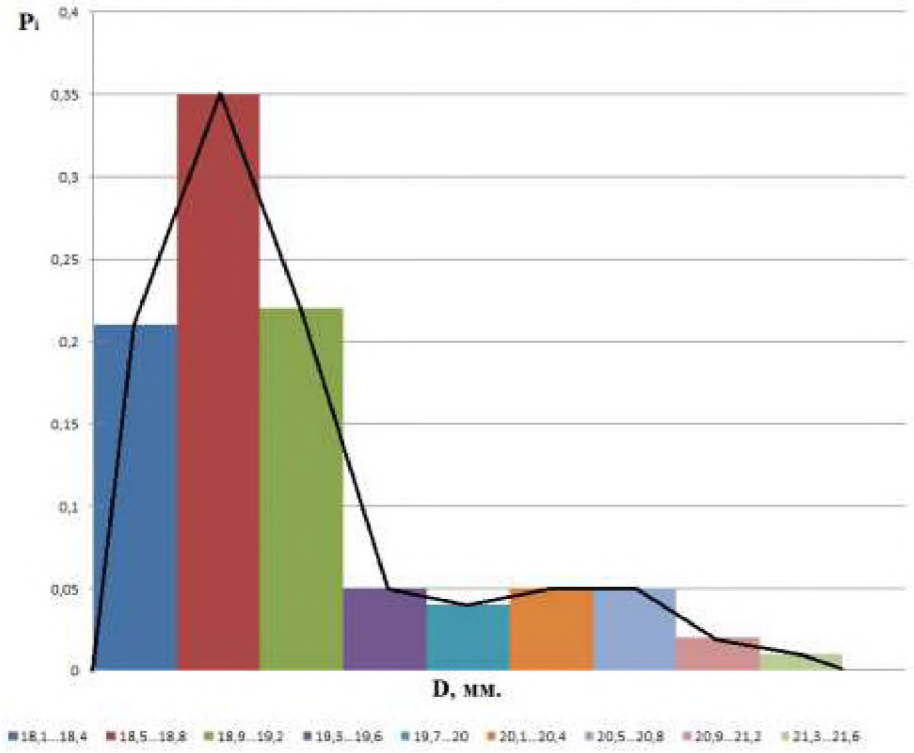


Рисунок 4.1 - Гістограма і полігон даних побудованих за табл.4.3.

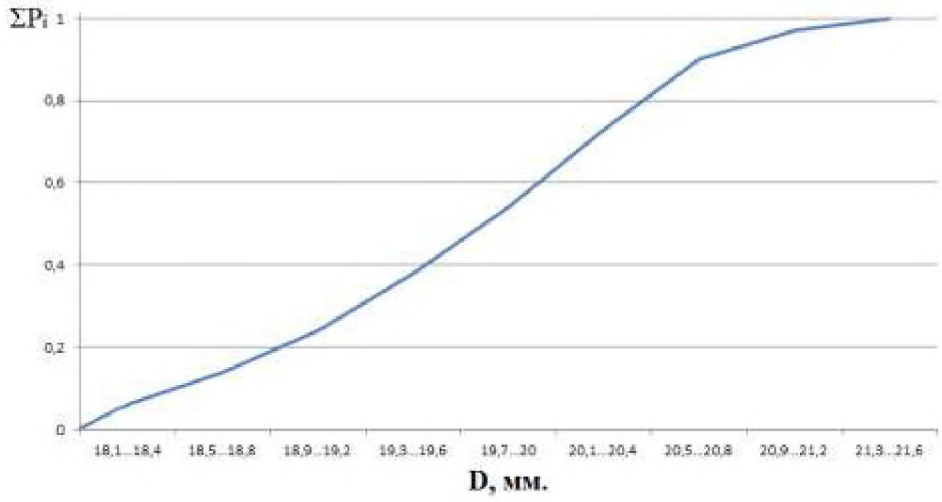


Рисунок 4.2 - Крива накопичених дослідних ймовірностей

Коефіцієнт варіації становить:

$$V = S/t = 0.039.$$

Оскільки $0 \le V \le 0,3$, то дані отримані у результаті експерименту відповідають ЗНР.

Значення апроксимуючих теоретичних функцій представлено у вигляді таблиці 4.4.

Таблиця 4.4. - Теоретичні функції ЗНР

Функція ймовірностей інтервалів	Інтегральна функція	Диференціальна функція
0,097076723	0,212	0,24204463
0,14362943	0,382	0,358116045
0,159657933	0,606	0,398080447
0,133338728	0,788	0,332457896
0,083664429	0,908	0,20860331
0,039440657	0,969	0,098338704
0,013969027	0,992	0,034829441
0,003717123	0,999	0,009268026
0,000743133	0,999	0,001852878

Використовуючи значення функцій, що наведені у табл. 4.4, апроксимуємо дослідну криву полігон – функцією ймовірностей інтервалів, а криву накопичених дослідних ймовірностей – інтегральною функцією.

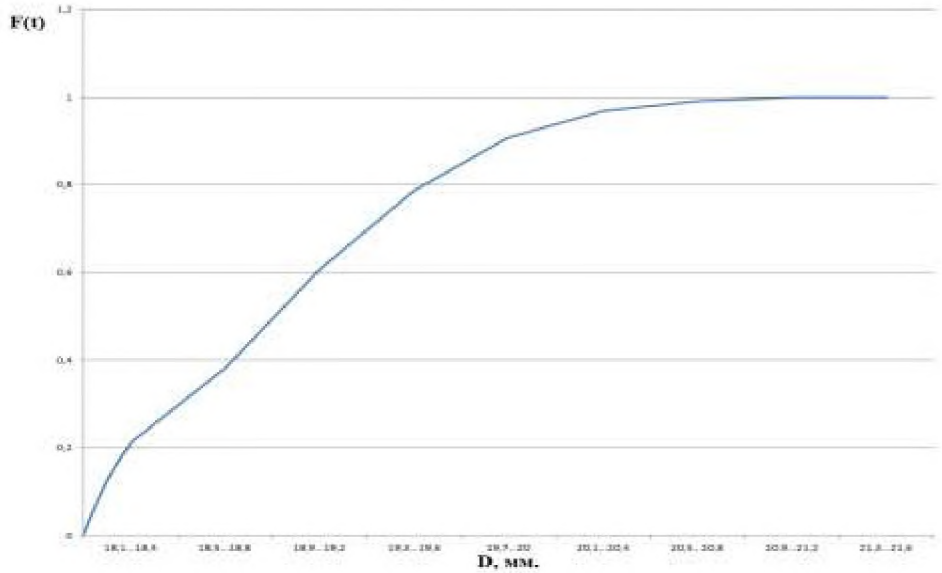


Рисунок 4.3 - Інтегральна функція

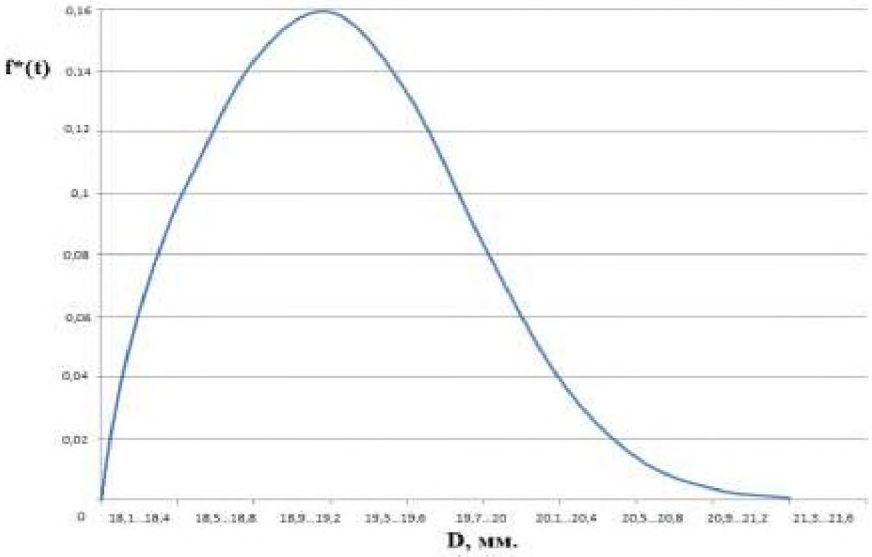


Рисунок 4.4 - Функція ймовірностей інтервалів

4.3. Результати дослідження процесу різання гілок верби

Для отримання математичної моделі процесу різання гілок верби у вигляді рівняння регресії було проведено трифакторний експеримент згідно методики, що описана у п. 3.5 (рис. 4.5). Функцією відгуку є мінімальна сила яка затрачається на перерізання гілок верби за зміни таких факторів: діаметр гілки, кут встановлення ножа і кут встановлення гілки.

а

б

в

Рисунок. 4.5 - Процес здійснення експерименту (а) та види отриманої тріски (б) та (в)

Під час обробки дослідних даних однорідність ряду дисперсій перевіряли за критерієм Кохрена. Оскільки, $G^{розр.}=0,21<G^{табл.}(0.05;15;2)=0.335$ то процес відтворюється.

При визначення довірчих інтервалів коефіцієнтів регресії використовували критерій Ст'юдента, табличне значення якого при 5-% рівні значущості та числі ступенів вільності дисперсії відтворюваності досліду $f_1=2$ становило $t=4.3$.

Перевірку значущості коефіцієнтів регресі проводили за встановленими їх довірчими інтервалами та коваріаціями. У результаті рівняння регресії

набуло вигляду:

$$\overline{y} = 208 + 13.208x_1^2 - 11.542x_2^2 - 3.375x_3^2 \qquad (4.1)$$

Перевірку адекватності отриманого рівняння регресії (4.1) проводили за критерієм Фішера. Розрахункове значення критерію Фішера при дисперсії неадекватності $S^2_{\text{неад.}}=3{,}025\times10^3$ і дисперсії відтворюваності досліду $S^2_y=3{,}025\times10^3$ склало $F^{\text{розр.}}=0{,}596$. Табличне значення критерію Фішера за прийнятого 5-% значущості склало:

$$F^{\text{табл.}}\left(0.05; f_2; f_1\right) = 19{,}30,$$

де $f_2 = 6$ - число ступенів вільності дисперсії неадекватності;

$f_1 = 2$ - число ступенів вільності дисперсії відтворюваності досліду.

Оскільки, $F^{\text{розр.}}=0{,}596 < F^{\text{табл.}}\left(0.05; f_2; f_1\right) = 19{,}30$, то гіпотеза адекватності рівняння регресії підтверджується.

Остаточно рівняння регресії із факторами у натуральному вигляді запишеться:

$$c = 4926.545 + 13.208 \cdot d^2 - 501.904 \cdot d - 46168 \cdot \alpha^2 + $$
$$+9.2336 \cdot \alpha - 135 \cdot \gamma^2 + 1.35 \cdot \gamma \qquad (4.2)$$

де d - діаметр стебла, мм.;

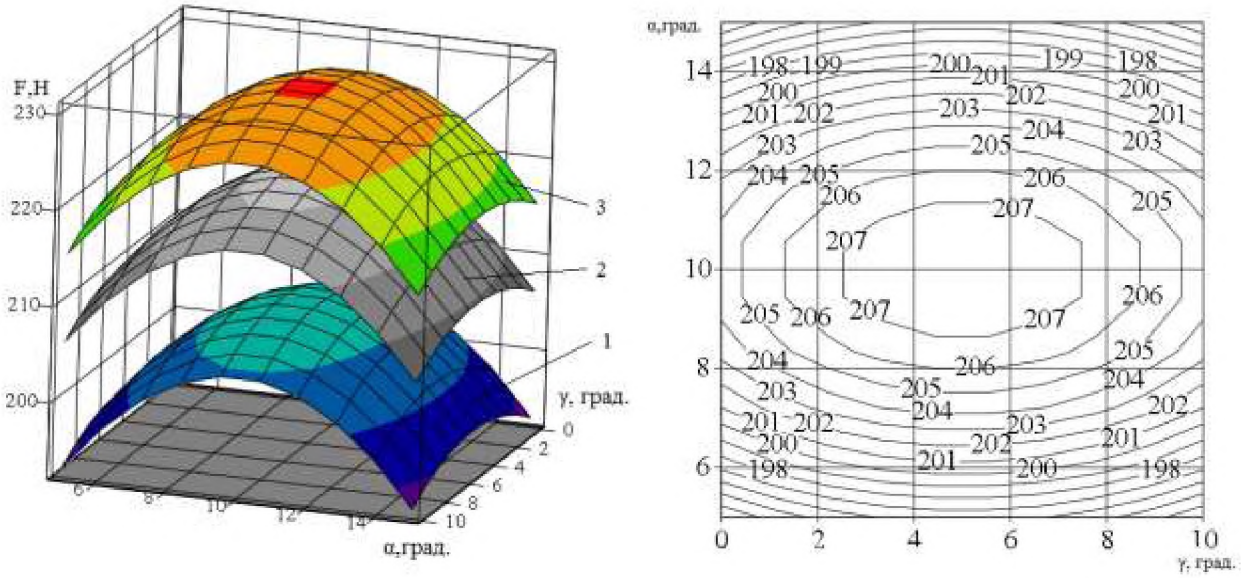
α – кут встановлення стебла лози, град.;

γ - кут встановлення ножа, град.

За отриманим рівнянням (4.2) побудовані поверхні відгуку (рис.4.3, а) та графіки ліній рівня (рис. 4.3, б).

4.3 Висновок

Результати дослідження розподілу діаметрів гілок верби показали, що їх їх значення розподіляються за нормальним законом розподілу, а середнє значення діаметрів становити 18,9 мм.



а б

Рисунок. 4.6 - Дані про силу різання у Н для: а) 1 – d=18 мм, 2 – d=19 мм, 3 – d=20 мм; б) 2 – d=19мм

Також встановлено, що щойно викорчувані гілки верби не дуже підходить для подрібнення у стаціонарних подрібнювачах, але можуть успішно подрібнюватись відразу під час корчування, адже ця тріска іде далі на подрібнення і сушку. Гілки верби, які протягом двох днів досягли вологості 54,27% оптимально підходять для подрібнення на подрібнювачах. Гілки за вилежування після зрізання протягом п’яти днів досягали вологість менше 38,83 % та потребували додаткових затрат енергії на подрібнення. Також було встановлено, що найкращою є вологість деревини яка становити 54,27% і з точки зору якості отриманої тріски. На (рис.4.5, а) показана тріска, що утворена з лози вологість якої 74,93%, а на (рис.4.5, б) W= 54,27 %.

Дослідження параметрів, які впливають на процес різання показали, що при зміні кута встановлення леза від 0^0 до 10^0 сила яка витрачалась на процес різання спочатку збільшилась, а потім зменшилась. Дослідження впливу кута затягування показали, що чим більший кут різання тим більша площина різання, а отже і затрачена сила є більшою, але слід пам’ятати, що при прямій подачі якість тріски гірша ніж при подачі її під кутом 5^0 отже кут під яким слід подавати стебла енергетичної лози повинен становити $3\text{-}5^0$.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Сучасна цінова політика на ринку сільськогосподарської продукції сприяє активному розвитку аграрного сектору. У той же час агресія рф призвела до значної втрати нашої країною земель сільськогосподарського призначення і особливо ріллі. Тому на територіях вільних від військових дій виникає постійна потреба до повернення у використання земель які з тих чи інших причин в останні роки не використовувались в якості рілля. Основним видом робіт під час повернення цих земель до ріллі є видалення дерев та кущів, які самовільно засіваються на таких полях. Прибрана за допомогою відповідної техніки деревина може бутти використана на паливні цілі.

Аналіз конструкцій машин які використовуються для подрібнення деревних відходів у лісопереробній промисловості показує, що для ефективного їх використання під час розліснення орних земель доцільним є їх удосконалення. Так удосконалення потребують подрібнючий диск та механізм завантаження з урахуванням особливостей деревних решток які потрібно подрібнювати. Адже аналіз порід деревини, яка найбільш інтенсивно самовільно засівається по ріллі яка тимчасово не використовується є верба.

Теоретичне дослідження процесу подрібнення показує, що найбільша продуктивність подрібнювача досягається за таких параметрів: кута встановлення косої площини ножа $\gamma=0^0$, кута подачі елемента $\alpha=0^0$, але при цих параметрах якість утвореної тріски була низькою. Тому були вибрані такі мінімальні параметри при яких якість тріски відповідала поставленим вимогам: $\gamma=1...2^\circ$, $\alpha=5^\circ$ при середньому діаметрі стебел 19 мм.

Результати дослідження розподілу діаметрів гілок верби показали, що їх значення розподіляються за нормальним законом розподілу, а середнє значення діаметрів становити 18,9 мм.

Також встановлено, що щойно викорчувані гілки верби не дуже підходить для подрібнення у стаціонарних подрібнювачах, але можуть успішно подрібнюватись відразу під час корчування, адже ця тріска іде далі на подрібнення і сушку. Гілки верби, які протягом двох днів досягли вологості

54,27% оптимально підходять для подрібнення на подрібнювачах. Гілки за вилежування після зрізання протягом п'яти днів досягали вологість менше 38,83 % та потребували додаткових затрат енергії на подрібнення. Також було встановлено, що найкращою є вологість деревини яка становити 54,27% і з точки зору якості отриманої тріски.

Розроблена методика експериментального дослідження процесу подрібнення гілок верби, заснована на використанні плану реалізації експерименту Бокса-Бенкіна другого порядку, забезпечила отримати математичної моделі даного процесу у вигляді рівняння регресії. Функцією відгуку цього рівняння є зусилля необхідне для перерізання гілок досліджуваної деревини.

Аналіз отриманих рівнянь регресії у кодованих факторах та поверхонь відгуку виявив, що вплив кута встановлення ножа та закріплення гілки, а також діаметр гілки, що перерізається, є значущим.

Дослідження параметрів, які впливають на процес різання показали, що при зміні кута встановлення леза від 0^0 до 10^0 сила яка витрачалась на процес різання спочатку збільшилась, а потім зменшилась. Дослідження впливу кута затягування показали, що чим більший кут різання тим більша площина різання, а отже і затрачена сила є більшою, але слід пам'ятати, що при прямій подачі якість тріски гірша ніж при подачі її під кутом 5^0 отже кут під яким слід подавати стебла енергетичної лози повинен становити $3\text{-}5^0$.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Офіційний сайт. [Электронный ресурс] – Режим доступу: http://www.salix-energy.com

2. Schulte [Електронний ресурс] : офіційний сайт. – URL: http://schulte.ca.

3. Сільськогосподарські машини: підручник / [Д. Г. Вой¬тюк, Л. В. Аніскевич, В. В. Іщенко та ін.]; за ред. Д. Г. Войтюка. — Київ : Агроосвіта, 2015. — 679 с.

4. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва : підруч. у 2 т : Т 1 / [Рудь А. В., Бендера І. М., Войтюк Д. Г. та ін.] ; за ред. А. В. Рудя. – Київ : Агроосвіта, 2012. – 584 с.

5. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навчальний посібник. – К.: НМК ВО, 1992. –320 с.

6. Виговський А. Ю., Білоус М. М. Лісогосподарські машини та знаряддя : підручник. Київ : ЦП Компринт, 2021. 605 с.

7. Виговський А. Ю., Білоус М. М. Механізація лісогосподарських робіт : навч. посіб. Київ : НУБіП України, 2019. 510 с.

8. Зима І. М., Малюгін Т. Т. Механізація лісогосподарських робіт: підруч. Вид. 4-е, перероб. і доп. Київ : Фірма «ІНКОС», 2006. 488 с.

9. Кірик М.Д. Різання деревини та деревних матеріалів: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Львів: УкрДЛТУ – 2000.– 218 с.

10. Машини і обладнання для лісового господарства : навч. посіб. / за ред. В. І. Кравчука. Дослідницьке : УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2011. 192 с

11. Цизь І.Є., Вржещ М.В. Динаміка і надійність сільськогосподарських машин//Методичні вказівки до виконання практичних занять для студентів спеціальності «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва» машинобудівного факультету денної форми навчання.- Луцьк: Ред.-вид.-відділ Луцького НТУ, 2009.

12. Цизь І.Є., Задорожний В.І. Дослідження процесу подрібнення стебел енергетичної лози // Сільськогосподарські машини зб. наук. ст. Вип28.- Луцьк:Ред.-вид. відділ Луцького НТУ, 2014.

13. Задорожний В.І., Цизь І.Є. Особливості вирощування та переробки енергетичної / Наукове видання збірник тез доповідей всеукраїнської студентської науково-практичної конференції “досягнення та перспективи галузі сільськогосподарського виробництва”. – Кіровоград – 2014. с.34 – 37.

14. Назаркевич Н. Аналіз конструкції машини для видалення кущів і дерев під час культур-технічних робіт// Тези IV студентської науково-технічної конференції «Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні». Луцьк: Факультет аграрних технологій та екології, Луцький НТУ. С. 55-58.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А.1. Матриця планування трифакторного експерименту

№ досліду	Черговість проведення дослідів	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	x_1^2	x_2^2	x_3^2
1	6	+1	+1	0	+1	0	0	+1	+1	0
2	1	-1	+1	0	-1	0	0	+1	+1	0
3	12	+1	-1	0	-1	0	0	+1	+1	0
4	3	-1	-1	0	+1	0	0	+1	+1	0
5	4	+1	0	+1	0	+1	0	+1	0	+1
6	7	-1	0	+1	0	-1	0	+1	0	+1
7	2	+1	0	-1	0	-1	0	+1	0	+1
8	10	-1	0	-1	0	+1	0	+1	0	+1
9	15	0	+1	+1	0	0	+1	0	+1	+1
10	8	0	-1	+1	0	0	-1	0	+1	+1
11	4	0	+1	-1	0	0	-1	0	+1	+1
12	13	0	-1	-1	0	0	+1	0	+1	+1
13	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблиця А.2. Фактори і рівні варіювання

Рівні варіювання	Фактори		
	Середній діаметр, d, мм.	Кут подачі гілки,α, град.	Кут встановлення ножа,γ, град.
	x_1	x_2	x_3
Верхній (+1)	20	15	10
Основний (0)	19	10	5
Нижній (-1)	18	5	0
Інтервал варіювання, ε	1	5	5

Таблиця А.3. Планування експерименту та середні значення сили різання

Черговість проведення досліду	**Фактори**			
	Середній діаметр, d, мм.	Кут подачі гілки,α, град..	Кут встановлення ножа,γ, град.	Сила різання F,Н
6	20	15	5	290
1	18	15	5	234
12	20	5	5	220
3	18	5	5	125
4	20	10	10	263
7	18	10	10	183
2	20	10	0	218
10	18	10	0	130
15	19	15	10	285
8	19	5	10	200
11	19	15	0	225
13	19	5	0	145
9	19	10	5	195
5	19	10	5	195
14	19	10	5	195

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Назва	К-ть	Примітка
				Документація		
			КАІ.НПД.01.00.0000. СК	Складальне креслення		
				Складальні одиниці		
		6	КАІ.НПД.01.01.0000	Упор ножа	3	
				Деталі		
		1	КАІ.НПД.01.00.0001	Диск	1	
		2	КАІ.НПД.01.00.0002	Корпус розпірної втулки	1	
		3	КАІ.НПД.01.00.0003	Кільце зовнішнє	1	
		4	КАІ.НПД.01.00.0004	Кільце внутрішнє	1	
		5	КАІ.НПД.01.00.0005	Вал диска	1	
		7	КАІ.НПД.01.00.0006	Притискна пластина	3	
		8	КАІ.НПД.01.00.0007	Шайба пружна	9	
		9	КАІ.НПД.01.00.0008	Ніж	3	
		10	КАІ.НПД.01.00.0009	Лопатка відкидаюча	3	
		11	КАІ.НПД.01.00.0010	Лопатка дугова	3	
				Стандартні вироби		
		12		Болт М12х50 ГОСТ 7798-70	6	
		13		Болт М16х50 ГОСТ 7798-70	9	
		14		Гвинт М10х50 ГОСТ 11738-84	13	

					КАІ.НПД.01.00.0000	
Зм	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		
Розробив		Назаркевич			Диск подрібнюючий Складальне креслення	Літера: К; Аркуш: 1; Аркушів: 2
Перевірив		Цизь				ЛНТУ, каф. АІ ім. проф. Г.А. Хайліса гр. АІм-21
Н. контр.		Юхимчук				
Затверд.		Хомич				

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Назва	К-ть	Примітка
		15		Гайка М12 ГОСТ 5915-70	6	
		16		Кільце А50 ГОСТ 13942-86	1	

Звіт подібності

метадані

Заголовок
Назаркевич_28_2024

Автор
Назаркевич Н.О. Науковий керівник / Експерт

підрозділ
Lutsk National Technical University

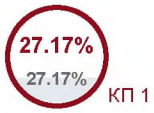
Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

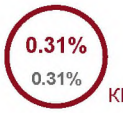
Заміна букв	ß	26
Інтервали	A→	0
Мікропробіли	·	3
Білі знаки	ß	0
Парафрази (SmartMarks)	a	213

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



КП 1



КЦ

25
Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2

10124
Кількість слів

78920
Кількість символів

Подібності за списком джерел

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз — Колір тексту

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)	
1	http://alive-inter.net/ukr/referat-48763zsnpt?download	123	1.21 %
2	http://alive-inter.net/ukr/referat-48763zsnpt?download	116	1.15 %
3	http://alive-inter.net/ukr/referat-48763zsnpt?download	116	1.15 %
4	http://alive-inter.net/ukr/referat-48763zsnpt?download	71	0.70 %
5	http://alive-inter.net/ukr/referat-48763zsnpt?download	60	0.59 %
6	http://alive-inter.net/ukr/referat-48763zsnpt?download	53	0.52 %

7	http://dspace.pdaa.edu.ua:8080/bitstream/123456789/9684/1/%D0%92%D1%96%D1%81%D0%BD%D0%B8%D0%BA_4_2020.pdf	52	0.51 %
8	https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal32/article/download/184/157/	51	0.50 %
9	http://alive-inter.net/ukr/referat-48763zsnpt?download	49	0.48 %
10	http://alive-inter.net/ukr/referat-48763zsnpt?download	48	0.47 %

з домашньої бази даних (0.00 %)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)

з програми обміну базами даних (3.00 %)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)	
1	YFCNU/2012/itef/itef_2012_053.pdf [redacted] 10/28/2019 **Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University(CNU) (Deanery)**	**256 (13)**	**2.53 %**
2	Визначення оптимальних режимів роботи малогабаритної машини для виготовлення деревної тріски» [redacted] 11/21/2018 Poltava State Agrarian Academy (PSAA) (Інженерно технологічний факультет)	29 (3)	0.29 %
3	Дослідження технологічного процесу подрібнення відходів деревини в механізованому виробництві паливного матеріалу в умовах ПП «Вітряк» Драбівського району Черкаської області [redacted] 10/16/2020 Poltava State Agrarian Academy (PSAA) (Інженерно технологічний факультет)	14 (1)	0.14 %
4	Обгрунтування конструкції дозуючого пристрою машин для внесення органо-мінеральних добрив [redacted] 5/8/2019 Lviv National Agrarian University (LNAU) ((MEX) Кафедра Машинобудування)	5 (1)	0.05 %

з Інтернету (24.17 %)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ДЖЕРЕЛО URL	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)	
1	**http://alive-inter.net/ukr/referat-48763zsnpt?download**	**1425 (58)**	**14.08 %**
2	**https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal32/article/download/184/157/**	**351 (23)**	**3.47 %**
3	**http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/5435/11/dis_Homych.pdf**	**241 (17)**	**2.38 %**
4	**https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2020/04/33.pdf**	**108 (7)**	**1.07 %**
5	**http://dspace.pdaa.edu.ua:8080/bitstream/123456789/9684/1/%D0%92%D1%96%D1%81%D0%BD%D0%B8%D0%BA_4_2020.pdf**	**86 (5)**	**0.85 %**
6	**https://studfile.net/preview/8845015/page:2/**	**81 (4)**	**0.80 %**
7	http://internal.khntusg.com.ua/fulltext/PAZK/UCHEBNIKI/Byopalyvo_Otkhody.pdf	60 (6)	0.59 %
8	http://erm.kntu.kr.ua/files/%D0%95%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%BB%D1%83%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B0%20%D0%BD%D0%B0%D0%B4%D1%96%D0%B9%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C%20%D1%80%D1%83%D1%85%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D1%81%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D1%83%20(%D0%9A%D0%9F).pdf	37 (3)	0.37 %
9	http://inmad.vntu.edu.ua/portal/static/6806458D-D42F-42F5-A7FF-A03A6975BFD7.pdf	25 (2)	0.25 %

10	http://www.lnau.edu.ua/lnau/attachments/3664_Dis.pdf	21 (3)	0.21 %
11	https://khntusg.com.ua/wp-content/uploads/2020/09/rozsoha-i.v..pdf	6 (1)	0.06 %
12	http://www.lnau.edu.ua/lnau/attachments/3734_Dis.pdf	6 (1)	0.06 %

Список прийнятих фрагментів (немає прийнятих фрагментів)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗМІСТ	КІЛЬКІСТЬ ОДНАКОВИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)