

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допущено до захисту
“ ” _____ 2025 р.
Зав. кафедри, д.т.н., професор
_____ Дідур В.В.

Кваліфікаційна робота (дипломна робота)
_____ **другий (магістерський)** _____
(освітній рівень)

на тему **«ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПАРАМЕТРІВ**
ПРИСТРОЮ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ГІЛОК В МІЖРЯДДЯХ САДУ»

Виконав: студент 2 курсу,
групи 22м-ім
Спеціальність _____ 208 _____
«Агроінженерія» _____
_____ **Максим СЕКРЕТАРЕНКО** _____
(прізвище та ініціали)

Керівник _____ **Андрій ВОЙТІК** _____
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____ **Андрій ЧЕРНЕГА** _____
(прізвище та ініціали)

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Освітній рівень _____ магістр _____

Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія» _____
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
 _____ Дідур В.В.
 “ ____ ” _____ 2025р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Секретаренку Максиму Олександровичу _____
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження технології та параметрів пристрою для подрібнення гілок в міжряддях саду»

керівник роботи _____ Войтік А.В., к.т.н., доцент _____
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“ ____ ” _____ 20 17 р. № _____

2. Строк подання студентом роботи _____ 20.11.2025 _____

3. Вихідні дані до роботи: фізико-механічні властивості гілок яблуні; існуючі технологічні процеси та технічні засоби у виробничому процесі утилізації подрібнених гілок.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

аналіз існуючих способів та засобів утилізації зрізаних гілок, огляд попередніх досліджень з даного питання; вибір оптимального способу утилізації зрізаних гілок; обґрунтування технологічної схеми розроблюваної машини; обґрунтування оптимальних параметрів робочих органів досліджуваної машини; дослідження кінематики та динаміки процесу подрібнення гілок; визначення необхідних фізико-механічних властивостей зрізаних гілок; розробка заходів з охорони праці при роботі з напірними машинами; визначення економічної ефективності впровадження розробленої машини.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 20 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломної роботи.

РЕФЕРАТ

Секретаренко М.О. Дослідження технології та параметрів пристрою для подрібнення гілок в міжряддях саду (Дипломна робота. Умань, Уманський національний університет, 2025. – 51 с. 16 рис., 6 табл., 28 джерел).

Об'єкт дослідження – процес та технічні засоби подрібнення зрізаних гілок плодових дерев в міжряддях саду.

Мета роботи – підвищення ефективності процесу подрібнення гілок плодових дерев в міжряддях саду шляхом обґрунтування технологічної схеми та параметрів робочих органів подрібнювача гілок.

В роботі написано вступ, де висвітлено актуальність досліджень. В першому розділі наведено огляд технологій, технічних засобів і результатів попередніх наукових досліджень з теми та сформульовано задачі досліджень.

В другому розділі обґрунтовано технологічну схему машини для подрібнення гілок в міжряддях саду; визначено конструктивні параметри робочої камери та роторів з молотками з умови стійкості їх руху та зрівноваження на удар; досліджено кінематику та динаміку процесу подрібнення гілок; визначено руйнівну швидкість молотка.

В третьому розділі викладена програма експериментальних досліджень по визначенню фізико-механічних властивостей зрізаних гілок, описані прилади і методи проведення експериментальних досліджень. Наведено результати експериментальних досліджень.

Також, запропоновані заходи з покращення умов охорони праці при роботі з напіпними знаряддями. Наведено розрахункову економічну ефективність від впровадження розробленої машини.

Зроблено висновки і пропозиції, складено список використаної літератури, оформлено додатки.

УТИЛІЗАЦІЯ ГІЛОК, ПОДРІБНЕННЯ, ГІЛКА, МОЛОТОК, УДАР.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	6
1.1. Технології утилізації зрізаних в саду гілок.....	6
1.2. Характеристика засобів механізації для подрібнення гілок.....	9
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПОДРІБНЕННЯ ГІЛОК ПЛОДОВИХ ДЕРЕВ.....	15
2.1. Характеристика технологічного процесу.....	15
2.2. Обґрунтування конструктивних параметрів робочої камери подрібнювача.....	18
2.3. Обґрунтування конструктивних параметрів ротора подрібнювача.....	21
2.4. Висновки	27
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	29
3.1. Методика проведення експериментів.....	29
3.2. Обробка експериментальних даних.....	32
3.3. Результати експериментальних досліджень.....	33
3.4. Висновки.....	37
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	38
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ МАШИНИ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ЗРІЗАНИХ ГІЛОК В МІЖРЯДДЯХ САДУ.....	45
ВИСНОВКИ.....	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	50

ВСТУП

Механізація садівництва зараз переживає етап глибокої трансформації: поряд із відпрацьованими машинами для оранки, обрізки, внесення добрив і збирання врожаю зростає інтеграція інноваційних технологій — робототехніки, безпілотних літальних апаратів, автоматизованих збиральних комплексів і рішень точного землеробства. Прагнення підвищити продуктивність, знизити трудовитрати та покращити стандарти якості плодів стимулює інвестиції в модернізацію, натомість впровадженню часто перешкоджають висока вартість обладнання, недосконала інфраструктура та роздрібнений характер багатьох садівничих господарств.

Потрібно проаналізувати поточний технічний рівень підприємств садівничого сектору, визначено основні фактори, що прискорюють або гальмують механізацію, — від економічної до кадрової складової. Особлива увага приділяється екологічним аспектам: як технології зменшують агрохімічне навантаження, зберігають ґрунтові ресурси й оптимізують водокористування, а також яким чином цифрові платформи та датчики сприяють більш точному й екологічно орієнтованому менеджменту саду.

Прогнозні тренди: поширення автономних і напіваавтономних роботів для обрізки й збору, поширення IoT-інфраструктури, використання штучного інтелекту для прийняття агрономічних рішень, і розвиток компактних післязбиральних ліній на місці. Окремий розділ присвячено економічній доцільності — моделі фінансування, агрономічні й технічні бар'єри входу, потенціал кооперації між господарствами для спільного використання техніки.

Актуальною є задача не лише зобразити нинішній стан механізації в садівництві, але й окреслити практичні шляхи прискорення її впровадження: від підвищення кваліфікації працівників і стандартизації технічних рішень до створення сервісних моделей та державної підтримки, що дозволять адаптувати інновації під різномасштабні реалії галузі.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

У комплексі агротехнічних заходів по догляду за садом обрізування крони плодових дерев – один із найбільш ефективних заходів впливу на їх ріст і плодоношення. Обрізка дає можливість регулювати ріст та плодоношення дерев і проводиться, як правило, взимку або ранньою весною.

Після обрізування крони плодових дерев в міжряддях інтенсивного саду з ущільненою схемою посадки, залежно від його виду, сорту та віку дерев, кожен рік на гектарі нагромаджується від 2,5 до 6,5 тон зрізаних гілок. Ці гілки до весняно-польових робіт вивозять з міжрядь. В залежності від прийнятої технології та засобів механізації в садівничих господарствах використовують різні варіанти утилізації зрізаних гілок. Витрати праці на обрізування гілок й послідууючу їх утилізацію складають від 15 до 26 % від загальних трудовитрат на вирощування плодів і сягають 220 люд.-год/га [1].

1.1. Технології утилізації зрізаних в саду гілок

Технології, які передбачають утилізацію гілок після обрізування крони плодових дерев, мають найрізноманітніші напрямки використання продукту обрізки та широкий перелік технологічних операцій. Кожна з них по-своєму цікава, має переваги та недоліки, і тому потребує більш детального висвітлення.

Одна з найстаріших та найпримітивніших технологій передбачає ручне завантаження зрізаної деревини на транспортні засоби, що рухаються по сусідньому міжряддю, відвезення гілок до місць накопичення, де їх спалюють [1]. За несприятливих погодних умов замість саморозвантажуючих причепів використовують транспортні сани. В цьому випадку розвантаження

проходить також вручну. Ця технологія мало механізована і потребує широкого використання малопродуктивної ручної праці. Коефіцієнт використання вантажопідйомності транспортних засобів дуже низький, так як при навантаженні зібрану деревину неможливо щільно вкласти. В даний час вона використовується в невеликих фермерських господарствах.

Оригінальну потокову технологію було запропоновано співробітниками „Краснокутської” дослідної станції садівництва Харківської області. За допомогою навісної платформи для обрізування дерев на базі трактора МТЗ-80 та причіпного агрегату для спалювання гілок, було об'єднано декілька технологічних операцій та виключено збирання і відвезення деревини з міжрядь саду. Обслуговує такий комплексний агрегат ланка в складі 11...13 робітників, з яких 8...10 обрізають дерева, а 2...3 збирають та спалюють гілки [2]. Поряд з рядом переваг дана технологія має недоліки: забруднення навколишнього середовища (один з найвагоміших), можливість травмування дерев гарячим повітрям (агрегат рухається по міжряддю), додаткові затрати ручної праці при збиранні та спалюванні гілок, втрати органічної речовини.

Заслуговує на увагу технологія з використанням комбайна для одночасної контурної обрізки та подрібнення деревини, що розроблена у двох варіантах в Інституті садівництва УААН [4]. В першому варіанті гілки, зрізані дисковими пилами машини, потрапляють на транспортер, який подає їх до подрібнюючого барабану. За допомогою вентилятора, подрібнена щепка подається в бункер, який, після заповнення, вивантажується в транспортні засоби, останні відвозять цю деревину за межі саду. В другому варіанті щепка розкидається по міжряддю. Використання комбайна дає змогу об'єднати декілька технологічних операцій та виключити вивезення цілих гілок із саду. Але ж обрізка дерев за допомогою даного комбайна не є остаточною, а лише контурною, тобто після неї слідує ще і детальна обрізка гілок всередині крони. Ці гілки також потребують утилізації. Крім цього, замість транспортування цілих гілок до місць утилізації, потрібно транспортувати

щепу. В зв'язку з тим, що обрізка, як правило, проводиться за тяжких погодних умов – по перезволоженому ґрунті, агрегування даного комбайна з тракторами класу 3 [3] приводитиме до переущільнення ґрунту, утворення колій і, як наслідок – погіршення рельєфу міжряддя саду.

Відомі й більш розповсюджені технології, що застосовуються в садівництві:

1) подрібнення зрізаних гілок безпосередньо в міжряддях саду мобільними подрібнювачами з завантаженням щепи в бункер, вивезення її з саду, використання деревини для виготовлення компосту з наступним розкиданням його в саду;

2) збирання гілок волокушами, навантаження їх на транспортні засоби, вивезення до стаціонарних подрібнювачів, завантаження гілок в подрібнювачі грейферними навантажувачами та подрібнення з наступними технологічними операціями: приготування органічних компостів і розкидання їх в саду;

3) збирання гілок волокушами, вивезення їх за межі саду й спалювання;

4) подрібнення деревини мобільними подрібнювачами безпосередньо в міжряддях саду з одночасним розкиданням маси по поверхні ґрунту.

По-своєму цікаві технології, за якими зрізані гілки використовують для приготування компостів. Перша схема по цій технології передбачає подрібнення зрізаних гілок мобільними подрібнювачами безпосередньо в міжряддях саду зі збором щепи в тару. Потім транспортними засобами ця деревина відвозиться до місць зберігання, де і проходить її компостування. За другою схемою, цілі зрізані гілки вивозять за межі саду до місць переробки. Подрібнення відбувається на стаціонарі з подальшим компостуванням. Для інтенсивнішого перегнивання решток деревину змішують з рядом інших органічних речовин та каталізаторів. Суміш закладають в ями або траншеї. Після повної готовності компосту його вносять в саду як органічне добриво [5].

Аналізуючи стан вирішуємої науково-технічної проблеми можна сказати, що найбільш поширеною в господарствах України є технологія, яка передбачає формування вручну валка зі зрізаних гілок посередині міжряддя. В подальшому ця деревина збирається садовими волокушами СВ-1 та відвозиться до місць спалювання. На місцях збору, гілки спалюють, використовуючи для їх підгортання бульдозерний агрегат (ДТ-75+ДЗ-29), а для активізації процесу горіння витрачають додатково по 5 л/га дизельного палива. Все це призводить до забруднення навколишнього середовища, додаткових матеріальних і трудових затрат. Крім того відомо, що для накопичення і спалювання зібраних гілок зі 100 га саду потрібно відвести 1,5...2 га земляних угідь [5] і затратити значну кількість рідкого палива для активування процесу горіння. В місцях спалювання гілок знищується корисна мікрофлора ґрунту та рослинність. Ґрунт, на довгий час, стає непридатним до використання і може підлягати вітровій або водній ерозії.

При видаленні деревини з міжрядь за допомогою садових волокуш, гілки часто виходять за її габарити і частково пошкоджують дерева. Як результат цього, відмічено зниження врожайності яблук на 250 і більше кг плодів з кожного гектара саду [3].

1.2. Характеристика засобів механізації для подрібнення гілок

Утилізація зрізаної плодової деревини — наука й виробництво. Проблемою утилізації зрізаної плодової деревини (особливо виноградної лози) займаються як наукові установи (вітчизняні та зарубіжні НДІ садівництва і механізації), так і промислові виробники. Ряд наукових інститутів розробив дослідні зразки подрібнювачів і технологічних ліній, проте масове серійне виробництво таких розробок у нашій країні досі обмежене. Натомість на світовому ринку проблему вирішують комплексно:

представлена широка номенклатура мобільних і стаціонарних подрібнювачів від великих і малих виробників, а також інтегровані рішення з урахуванням цифрових сервісів, телеметрії та енергоефективності. Серед відомих брендів раннього й сучасного періоду (приклади): LOFTNESS, VRISIMO, HEINRICHS, RHINO (США); ряд італійських виробників (AGRICOM, NOBILI тощо); французькі, нідерландські, іспанські та британські фірми. Сьогодні виробники пропонують також електрифіковані та гібридні моделі, машини з автоматичними системами подачі й діагностики, модульні рішення для кооперації господарств.

Функціональні призначення і технічні підходи Переважна більшість сучасних садових подрібнювачів спроектовані так, щоб отриману щепу можна було використовувати як мульчу, органічну підстилку або біомасу для компостування і енергетичних цілей. Для подрібнення гілок у полі застосовують мобільні машини різних конструктивних схем. Класифікація сучасних подрібнювачів включає такі ознаки:

- за принципом руйнування матеріалу: різання (ножові системи), удар-подрібнення (молоткові ротори), пиляння/фрезерування, розрив/дроблення, комбіновані схеми;
- за способом підбору матеріалу: без підбирача, з пасивними греблями, з активними (роторними) підбирачами, з комбінованими подачами або з рулонними/шнековими подавачами;
- за подачею матеріалу: пряма подача у зону подрібнення, проміжні вузли подачі, автоматизований подаючий конвеєр;
- за типом робочого органа: молоткові ротори, ножові барабани, дискові пилки, фрезерні робочі головки, лопатеві системи, комбінації нож-молоток;
- за кратністю подрібнення: одноступінчасті, двоступінчасті та багатоступінчасті системи із додатковим розсівом;

- за способом агрегування: начіпні (РТО), причіпні, самохідні (тракторні, автомобільні або спецмашини), стаціонарні лінії;
- за розташуванням осі ротора: вертикальні, горизонтальні, нахилені виконання.

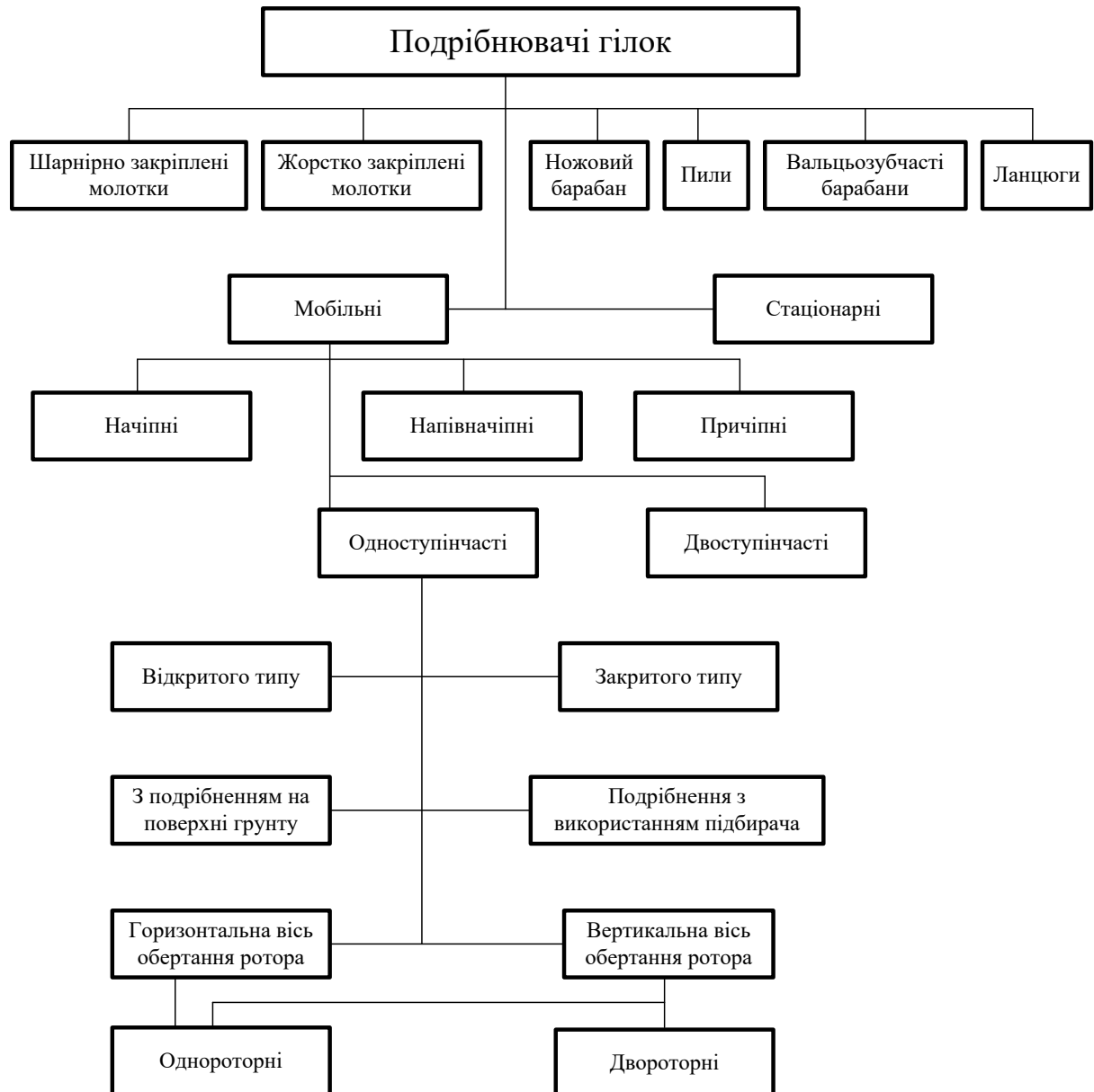


Рисунок 1.1. - Класифікація подрібнювачів гілок по конструктивно-технологічним ознакам.

Вплив факторів на конструкцію подрібнювачів. Проектування подрібнювачів визначається набором технологічних і експлуатаційних вимог: прийнята агротехнологія, тип і щільність насаджень, фізико-механічні

властивості деревини (вологість, твердість), рельєф міжрядь, бажаний розмір та призначення щепи, а також економічні цілі виробників (проста конструкція, надійність, мінімальна матеріаломісткість та енергоємність). Сучасні конструкторські підходи додають ще: модульність, можливість швидкої заміни робочих органів, застосування високоміцних сплавів, збір телеметричних даних про навантаження і стан вузлів — усе це призводить до широкого різноманіття типів і виконань подрібнювачів.

Робочі органи: типи, принципи та сучасні матеріали Кожний тип подрібнювача використовує велику групу робочих органів із власними технологічними особливостями та конструктивними варіантами. До основних робочих органів належать молотки (ударні елементи) або різці/ножі, які забезпечують розділення і подрібнення гілок, а до допоміжних — підбирачі, живильні транспортери, автоматичні подаючі механізми та системи зрівнювання розміру щепи.

Для подрібнення зазвичай застосовують комбінацію способів: удар, різання, пиляння та плющення. У реальних агрегатах ці способи інтегровані, але в конкретних конструкціях домінує один із методів: молоткові машини — переважно ударне роздроблення; ножові барабани — різання. Сучасні тренди — гібридні ротори, де поєднані ножові вставки і молотки, що підвищує універсальність та зменшує енерговитрати.

Молоткові робочі органи Молоткові елементи досі широко використовуються; їх кріплення на роторі виконується шарнірно (для захисту від сторонніх предметів і зниження ударних навантажень) або ж жорстко (бичі) там, де це виправдано конструктивно. Через ризик попадання каміння, дроту чи металевих включень, шарнірне кріплення залишається переважним, оскільки дозволяє уникати серйозних пошкоджень ротора і трансмісії.

Щоб знизити енергоємність і підвищити ефективність різання, молотки мають загострені робочі кромки під заданим кутом (типові кути експлуатаційної заточки в сучасних конструкціях знаходяться в межах, оптимальних для даного типу деревини). Молотки поділяють на:

пластинчасті (плоскі) — прості у виготовленні, застосовуються часто у вертикальних роторах; товщина 8–14 мм або більше в залежності від навантаження;

об'ємні (L- або T-подібні) — більш складні у виготовленні, застосовуються в горизонтальних роторах для підвищеної інерційності удару й стійкості до ушкоджень.

Для зменшення енергоємності процесу подрібнення деревини, шарнірно закріплені молотки, що використовуються в подрібнювачах, як правило, мають загострені робочі кромки під кутом $15...30^{\circ}$ і поділяються на пластинчасті (плоскі) (рис. 1.2 (а)) та об'ємні (рис. 1.2 (б)).

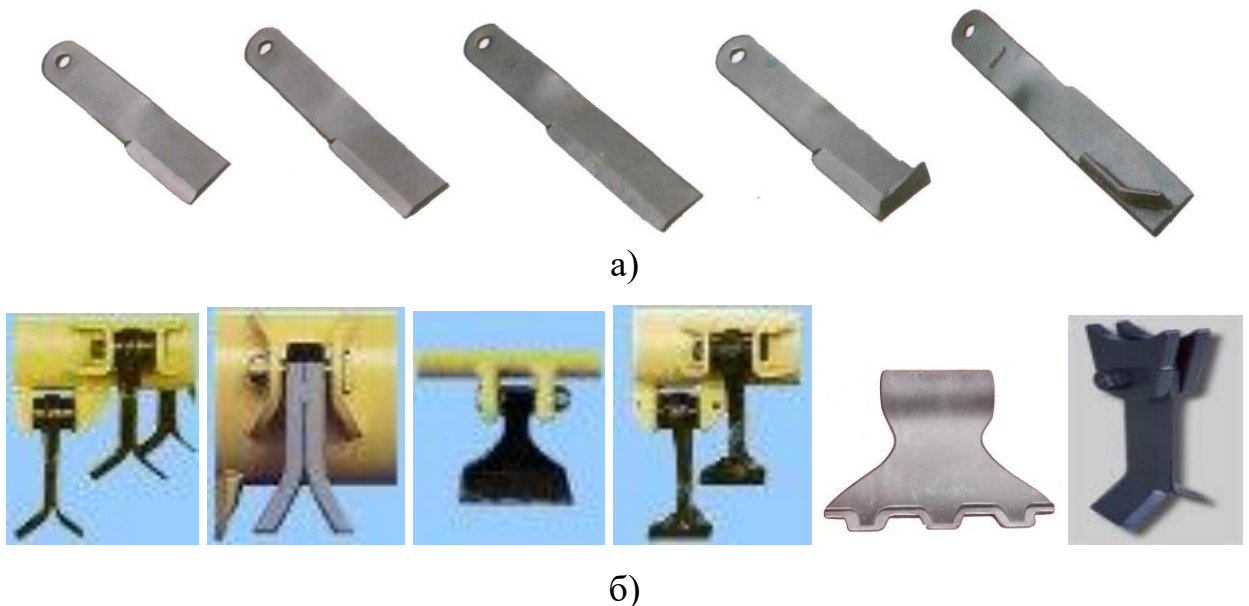


Рисунок 1.2 - Шарнірно закріплені робочі органи подрібнювачів деревини:

а) пластинчасті; б) об'ємні.

Сучасні матеріали й технології виготовлення. Виготовлення робочих органів еволюціонувало: замість звичайної вуглецевої сталі марки 65G дедалі ширше застосовують леговані та удароміцні сталі, багат шарові або наплавлені із застосуванням зносостійких сплавів, а також твердосплавні (НМ) вставки для ножів. Застосовуються методи термічної обробки, вакуумного загартування, лазерного різання, ЧПУ-обробки та інші сучасні технології для підвищення довговічності і точності балансування ротора.

Конструкторське вирішення включає модульні кронштейни для швидкої заміни ножів/молотків, системи автоматичного балансування і датчики вібрації для діагностики перед виходом з ладу.

Конструктивні заходи безпеки та енергоефективності Через часті випадки потрапляння сторонніх предметів у робочу камеру, сучасні розробки обладнують ротори елементами відсікаючого захисту, зворотними заслінками, автоматичними муфтами зриву навантаження, системами зворотного ходу при заклинюванні та дистанційними засобами очищення подаючих отворів. Для зменшення питомої енергоємності впроваджуються оптимізовані профілі молотків і ножів, електрифікація приводів, варіанти з перетворювачами частоти та системами рекуперації (для стаціонарних ліній). У самохідних моделях застосовують телематичні платформи для моніторингу витрат палива, навантажень і планового ТО.

Висновок Сучасне машинобудування у сфері подрібнення плодової деревини переходить від простих механічних рішень до комплексних систем: модульність, використання високолегованих матеріалів, інтеграція ножово-молоткових схем, автоматизація подачі та безпеки, електрифікація приводів і впровадження сервісних платформ. У поєднанні з раціональними агротехнологіями це дозволяє ефективно вирішувати завдання утилізації рослинної біомаси в садах, зменшувати енерговитрати та підвищувати надійність обладнання.

РОЗДІЛ 2.

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПОДРІБНЕННЯ ГІЛОК ПЛОДОВИХ ДЕРЕВ

2.1. Характеристика технологічного процесу

На підставі аналізу особливостей машин для подрібнення гілок нами запропонована раціональна конструктивно-технологічна схема мобільного подрібнювача, яка подана на рис. 2.1.

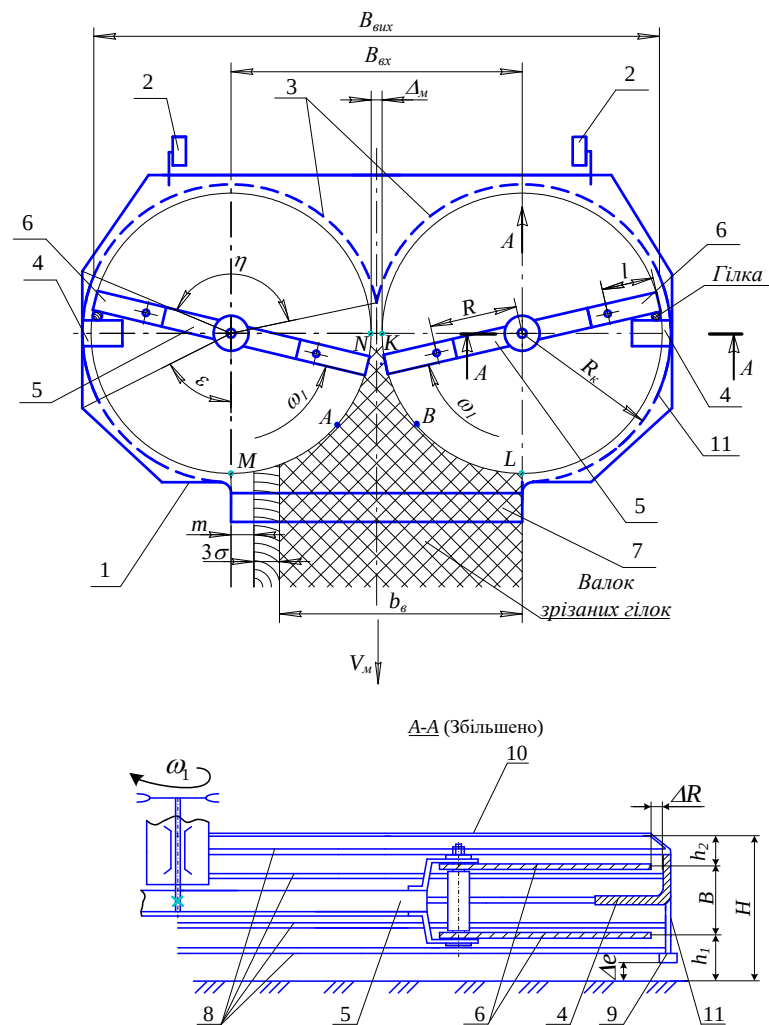


Рисунок 2.1 - Конструктивно-технологічна схема мобільного подрібнювача гілок: 1 – рама; 2 – опорні колеса; 3 – рекаттери; 4 – контрмолоток; 5 – штанга ротора; 6 – молоток; 7 – обтікач; 8 – прутки рекаттера; 9 – опорна лижа; 10 – кришка; 11 – боковина.

Подрібнювач має два ротори, які розміщені в робочій камері симетрично відносно його поздовжньої вісі. Ротори з вертикальними осями обертання приводяться в дію від вала відбору потужності трактора, з яким в агрегаті працює подрібнювач. Кожний ротор містить штангу 5, на консольних кінцях якої шарнірно і попарно підвішені молотки 6 паралельно до поверхні ґрунту.

Робоча камера для подрібнення гілок, обмежена рекаттерами 3, боковинами 11, кришкою 10 та поверхнею ґрунту. Рекаттери складені з горизонтально розташованих прутків 8, зазори між якими створюють щілини для проходу подрібнених частинок деревини. Для інтенсифікації технологічного процесу в камері подрібнення встановлені контрмолотки 4.

Під час роботи подрібнювач рухається так, що його поздовжня вісь співпадає з віссю валка гілок, сформованих в міжряддях саду, а ротори 5 обертаються назустріч один одному. Це забезпечує ефект “затягування” гілок в робочу камеру і зменшує їх втрати. Молотки, які мають загострену фаску (грань), ударяють по гілках в точках, сукупність яких створює лінії MN та KL, наприклад в точках А та В. При цьому, в залежності від розмірів гілок та їх положення, здійснюється:

а) відокремлення частинок гілок та їх рух по дотичним до траєкторій молотків в зазначених точках в робочу камеру;

б) перенесення гілок в робочу камеру за рахунок ударної дії молотків. Частинки подрібненої деревини вільно потрапляють із камери на поверхню ґрунту, якщо їх розмір менший зазору між прутками рекаттера та вони мають відповідну орієнтацію в просторі. В іншому випадку гілки, або їх частинки потрапляють до отвору між гранню молотків і контрмолотків (рис. 2.1), де виконується їх підпорне подрібнення. Подальше транспортування деревини здійснюється під дією молотків до виходу через зазори між прутками рекаттера. Крім цього, недостатньо подрібнені частинки деревини здійснюють кругову циркуляцію в робочій камері, розщеплюючись при цьому між поверхнею рекаттерів і гранню молотків та знову і знову

потрапляючи під удари робочих органів, до того часу поки їх довжина не досягне відповідних розмірів, щоб вільно пройти між прутками решітки. За такої технологічної схеми пристрою основне подрібнення гілок відбувається переважно при вході їх в камеру (наприклад в точках А і В) та в самій камері – випадки безпідпорного подрібнення деревини, і подрібнення з використанням контрмолотків – підпорне подрібнення, а також в наслідок гальмування маси під час переміщення її по поверхні рекаттерів.

Основні геометричні та кінематичні параметри подрібнювача:

1. Параметри ротора:

- діаметр D по кінцях молотків;
- радіус підвісу молотків R (відстань від осі ротора до осі підвісу молотка);
- довжина молотка від осі пальця шарніра до зовнішнього l кінця та його загальна довжина a ;
- радіус інерції ρ молотка відносно його осі обертання, маса m_1 та кількість Z молотків;
- моменти інерції молотка відповідно навколо його точки обертання I_e і осі обертання ротора I_0 , момент інерції ротора I_p ;
- кутова швидкість обертання ω_1 роторів.

2. Параметри рекаттера (рис. 2.2):

- діаметр прутків d_{np} та їх кількість K_{np} ;
- зазор між суміжними прутками Δ_{np} ;
- передній ε , задній η та загальний ψ кути обхвату роторів ($\psi = \varepsilon + \eta$).

3. Параметри робочої камери (рис. 2.1):

- ширина вхідного вікна $B_{вх}$;
- ширина вихідного вікна $B_{вих}$;
- висота камери H ;
- радіус камери R_k .

2.2. Обґрунтування конструктивних параметрів робочої камери подрібнювача

Як бачимо з конструктивно-технологічної схеми (див. рис. 2.1), для створення ефекту „затягування” та для забезпечення повноти підбору валка гілок робочими органами роторів, необхідно щоб останні оберталися назустріч один одному в зоні вхідного вікна робочої камери. Ширина вхідного вікна $B_{\text{вх}}$ повинна бути більше ширини (або дорівнювати ширині) валка гілок $b_{\text{в}}$, яка визначається експериментально, та враховувати відхилення від прямолінійності руху подрібнювача m . Звідси можна записати таку залежність:

$$B_{\text{вх}} \geq b_{\text{в}} + 3\sigma_{\text{в}} + m, \quad (2.1)$$

де $\sigma_{\text{в}}$ – середньоквадратичне відхилення розміру валка по ширині, м;

m – поперечне відхилення траєкторії руху агрегату від повздовжньої вісі валка, м ($m=\pm 0,1$ м [32]).

З іншого боку, ширина вхідного вікна $B_{\text{вх}}$, для забезпечення затягування відділених частинок гілок після удару, повинна бути менше від відстані між центрами роторів. На підставі припущення, яке не враховує рух частинки матеріалу по поверхні молотка в період їх взаємодії (тривалість удару дуже мала), виходячи з конструктивних міркувань, можна записати $B_{\text{вх}} = D + \Delta_{\text{м}}$ (див. рис. 2.1). Звідси маємо:

$$D \geq b_{\text{в}} + 3\sigma_{\text{в}} + m - \Delta, \quad (2.2)$$

де D – діаметр ротора по кінцям молотків, м;

Δ – мінімальний зазор між траєкторіями кінців молотків суміжних роторів. Величина зазору повинна виключати співударяння молотків суміжних роторів і одночасно забезпечувати розщеплення гілок діаметром понад 10 мм – тому $\Delta=0,01$ м). Для $b_{\text{в}}=1,15$ м, $\sigma_{\text{в}}=0,07$ м. – $D=1,45$ м.

Висота робочої камери H (рис. 2.2) складається з двох величин: 1) конструктивної висоти H_k , яка дорівнює відстані між кришкою і опорною поверхнею лижі, закріпленої на нижньому зрізі камери; 2) експлуатаційного зазору Δe між опорною лижною поверхнею і поверхнею ґрунту, який встановлюється регулюванням опорних коліс по висоті і дорівнює $\Delta e = 0,025$ м.

Висота робочої камери H подрібнювача визначається з урахуванням проходу без затору всієї маси гілок валка по його висоті. Для цього ж, над входом в робочу камеру встановлено щиток – обтікач 7: для напрямлення окремих гілок, верхні кінці яких виступають за середнє значення висоти валка h_e . Звідси, приймаємо:

$$H \geq h_e,$$

де h_e – середня висота валка гілок, м ($h_e = 0,27$ м – середньостатистичне значення). Висоту робочої камери H приймаємо – $H = 0,3$ м, тоді $H_k = 0,275$ м (рис. 2.2).

Радіус внутрішньої поверхні робочої камери R_k , визначається за формулою:

$$R_k = 0,5D + \Delta R, \quad (2.3)$$

де ΔR – зазор між внутрішньою поверхнею камери та кінцями молотків.

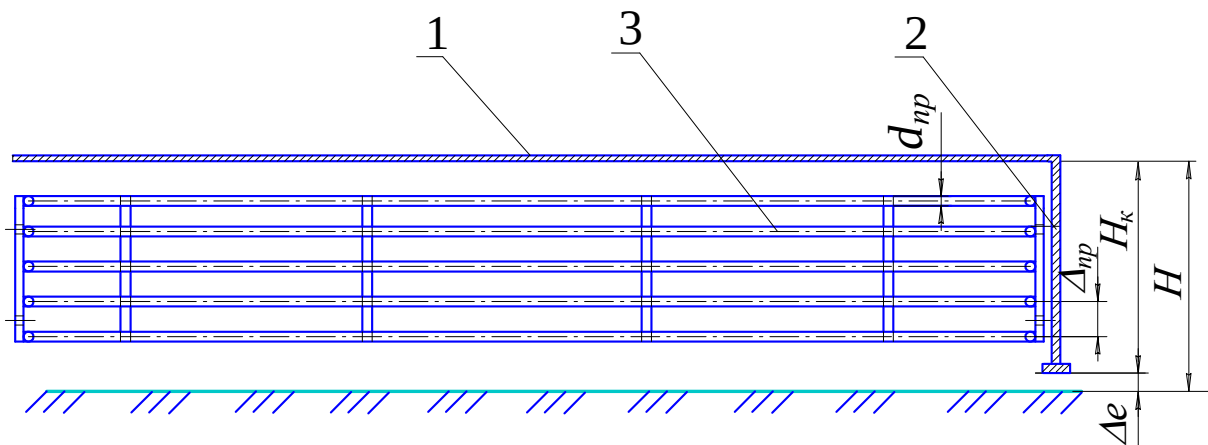


Рисунок 2.2. - Схема рекаттера подрібнювача гілок (вид по А на рис. 2.1):
1 – кришка; 2 – боковина; 3 – рекаттер.

Величина зазору ΔR має значний вплив на енергетичні та якісні показники процесу роботи подрібнювача. Так, якщо ΔR буде значно більшим порівняно з величиною вихідного продукту (середнього діаметра гілок d), то на периферії камери подрібнення з'явиться значний шар маси, який амортизуватиме дію удару, тобто подрібнення буде крупним при значній продуктивності. Якщо ж ΔR буде значно меншим порівняно з величиною вихідного продукту, то збільшаться затрати енергії та впаде ефективність подрібнення. Тому рекомендується дотримуватися наступної умови [46]:

$$d < \Delta R < 2d \quad (2.4)$$

Так для наших умов: $14 < \Delta R < 28$, приймаємо $\Delta R = 20$ мм. Дане значення також відповідає мінімально необхідному зазору ΔR_{min} , який визначається з умови безпечної роботи подрібнювача [35]:

$$\Delta R_{min} = \left[\sqrt{l^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2} - l \right] + c_p, \quad (2.5)$$

де c_p – допуск на неточність розмірів ($c_p = 1 \dots 2$ мм);

b – ширина молотка.

Для покращення рівномірності розподілу подрібнених гілок по ширині міжряддя дерев та якісних показників подрібнення деревини рекаттер для кожного із роторів виконано із двох складових відповідно з кутами ε і η , тобто: $\psi = \varepsilon + \eta$ (див. рис. 2.1.).

Діаметр прутків рекаттерів вибрано з умови забезпечення жорсткості конструкції камери подрібнення ($d_n = 12$ мм). Їх кількість визначається з формули:

$$K_{np} = \frac{H}{\Delta_{np}} - 1. \quad (2.6)$$

При виборі відстані B між двома суміжними молотками ротора і висоти розміщення молотків в камері враховано такі фактори: 1) величина вказаної відстані не повинна бути більше допустимої за агротехнічними вимогами довжини подрібненої гілки (150 мм); 2) фактор ваги, що діє на гілки обумовлює тенденцію їх більш щільного розміщення в нижній частині камери. Тому приймаємо $B = 150$ мм. З рис. 2.1, маємо: $H - B = h_1 + h_2$, де $h_1 : h_2 = 1 : 2$.

Із прийнятої конструктивно-технологічної схеми подрібнювача (див. рис. 2.1) кількість молотків на роторі, які йдуть по одному сліду Z розраховується за формулою:

$$Z = \frac{H}{B}, \quad (2.7)$$

2.3. Обґрунтування конструктивних параметрів ротора подрібнювача

З метою підвищення експлуатаційної надійності роботи подрібнювача гілок шляхом забезпечення стійкості руху молотків для виключення передач ударних імпульсів від молотків через пальці і штанги на підшипники валу ротора виконується врівноваження молотків на удар [37, 38].

Розглянемо зрівноваження ротора подрібнювача на удар. Згідно третього закону Ньютона дії двох матеріальних точок одна на одну їх сили дорівнюють за величиною і спрямовані в протилежні боки. Тому удар отримує не лише матеріал, що подрібнюється (гілка), але і робочий орган (молоток). Під час удару по гілці з її боку на молоток буде діяти імпульс сили S_2 (рис. 2.3).

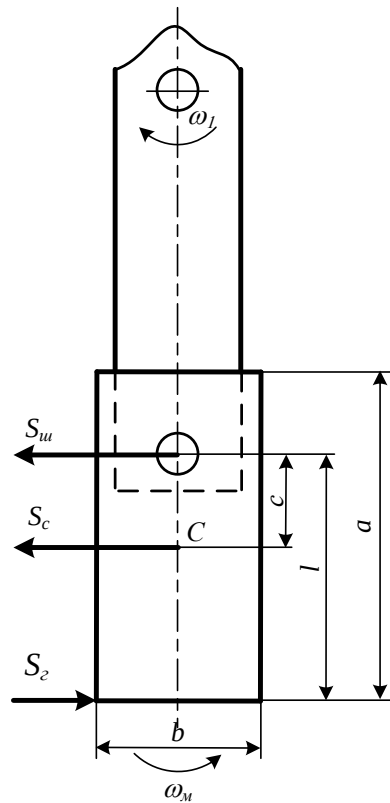


Рисунок 2.3 - Схема дії імпульсів на молоток подрібнювача під час удару по гілці.

В зв'язку з цим, молоток буде відхилятися у бік протилежний напрямку обертання ротора з деякою кутовою швидкістю ω_M . При цьому, імпульс центра ваги молотка S_c та імпульс у шарнірі $S_{ш}$ протидіють ударному імпульсу з боку гілки. Диференціальне рівняння обертання молотка відносно шарніра має наступний вигляд:

$$I_{ш} \frac{d\omega_M}{dt} = \sum_{i=1}^n M_i, \quad (2.8)$$

де $I_{ш}$ – момент інерції молотка відносно шарніра;

$\sum_{i=1}^n M_i$ – сума моментів усіх зовнішніх сил, що діють на молоток

відносно шарніра;

$\frac{d\omega_i}{dt}$ – відносне кутове прискорення молотка при ударі об гілку.

При переході до середнього прискорення вираз (2.8) запишеться:

$$I_{\text{ш}} \frac{\Delta \omega_{\text{м}}}{\Delta t} = M, \quad (2.9)$$

де $M = \sum_{i=1}^n M_i$ – головний момент усіх зовнішніх сил відносно шарніра;

$$\Delta \omega_{\text{м}} = \omega_{\text{м}} - \omega_{0\text{м}};$$

$\omega_{0\text{м}}$ – початкова кутова швидкість обертання молотка відносно шарніра. До удару $\Delta \omega_{\text{м}} = 0$, тобто $\Delta \omega_{\text{м}} = \omega_{\text{м}}$.

Отже:

$$I_{\text{ш}} \omega_{\text{м}} = M \Delta t \quad (2.10)$$

Добуток сили P , яка діє на кінець молотка під час удару його об гілку, на плече l (довжину молотка до осі шарніра) з невеликою похибкою дорівнює моменту M :

$$M = Pl \quad (2.11)$$

Тобто:

$$I_{\text{ш}} \omega_{\text{м}} = Pl \Delta t = Sl \quad (2.12)$$

З рис. 2.3 імпульс $S_{\text{ш}}$ реакції шарніра молотка становить:

$$S_{\text{ш}} = S_{\text{з}} - S_{\text{с}}, \quad (2.13)$$

де $S_{\text{с}}$ – імпульс сили, приведений до центра ваги молотка.

Як відомо імпульс $S_{\text{с}}$ сили, приведений до центра ваги молотка дорівнює кількості руху:

$$S_{\text{с}} = m_1 V_{\text{с1}} = m_1 c \omega_{\text{м}}, \quad (2.14)$$

де m_1 – маса молотка;

V_{c1} – лінійна швидкість центра ваги молотка;

c – відстань від осі підвісу молотка до його центра ваги.

З рівнянь (2.12), (2.13) та (2.14) маємо:

$$S_u = \frac{I_u \omega_m}{l} - m_1 c \omega_m \quad (2.15)$$

Для того, щоб вісь підвісу молотка, а відповідно і сам ротор з валом та підшипниками не сприймали ударний імпульс необхідно щоб: $S_u = 0$, тобто:

$$\frac{I_u}{l} = m_1 c \quad (2.16)$$

Оскільки $I_u = m_1 \rho^2$, то вираз (2.16) запишеться:

$$\rho^2 = cl, \quad (2.17)$$

де ρ – радіус інерції молотка відносно осі його підвісу.

Таким чином, для усунення ударних реакцій на осі підвісу молотків роторного подрібнювача потрібно так сконструювати робочі органи, щоб квадрат радіусу інерції молотка відносно осі підвісу був рівний добутку відстані c від осі підвісу до центру ваги молотка на відстань l від осі підвісу до лінії дії удару.

Попередньо нами прийнята форма молотка у вигляді прямокутника з одним отвором. Такі робочі органи мають просту конструкцію та технологію виготовлення. Як відомо, квадрат центрального радіуса інерції такого молотка визначається по формулі:

$$\rho_c^2 = \frac{a^2 + b^2}{12}, \quad (2.18)$$

де a, b – відповідно загальна довжина та ширина молотка.

Відносно вісі підвісу квадрат радіуса інерції молотка визначається згідно теореми Гюйгенса-Штейнера (паралельних осей) [43]:

$$\rho^2 = \rho_c^2 + c^2 \quad (2.19)$$

В зв'язку з тим, що точка прикладання удару знаходиться на кінці молотка, то:

$$l = c + 0,5a \quad (2.20)$$

Підставляючи значення ρ^2 і l в формулу (2.17) маємо рівняння, вирішуючи яке відносно c , знайдемо:

$$c = \frac{a^2 + b^2}{6a} \quad (2.21)$$

Для молотків прямокутної форми, які мають два отвори діаметром d , відстань c можна знайти з формули [38]:

$$c = -\frac{A}{2} + \sqrt{\frac{A^2}{4} + B}, \quad (2.22)$$

$$\text{де } A = \left(\frac{a^2 b}{\pi d^2} - \frac{a}{2} \right); \quad B = \left[\frac{ab(a^2 + b^2)}{6\pi d^2} - \frac{d^2}{8} \right].$$

З рис. 2.1 бачимо, що:

$$R = 0,5D - l \quad (2.23)$$

Для того щоб забезпечити стійкість руху молотка, параметри R та l рекомендується вибирати із залежності [38]:

$$R = 2,25l \quad (2.24)$$

Підставляючи (2.23) в (2.24) одержимо:

$$l = 0,154D \quad (2.25)$$

Використовуючи одержану залежність (2.25) із (2.23) маємо:

$$R = 0,346D \quad (2.26)$$

Довжину a та ширину b молотка, зрівноваженого на удар, приблизно вибираємо по співвідношенням [38]: $a = 0,23D$; $b = 0,1D$.

Згідно теорії ексцентричного удару, яка забезпечує відсутність передачі реакції удару на вісь підвісу молотка, його розміри повинні становити: довжина до осі підвісу $l=0,223$ м, загальна довжина $a=0,334$ м, ширина $b=0,145$ м при $D=1,45$ м та $R=0,502$ м.

Як показав огляд літературних джерел, з умов міцності робочих органів при подрібненні грубих матеріалів, товщина молотків переважно змінюється від 10 до 14 мм. В зв'язку з цим, товщину молотка δ_l орієнтовно приймаємо – 10...14 мм. Згідно раніше визначених геометричних параметрів молотка його маса m_l може змінюватись від 3,8 до 5,3 кг.

За аналізом даних літературних джерел, при подрібненні деревини, доцільно використовувати молотки з кутом загострення робочої грані – 30° [44].

З конструктивних міркувань, штангу ротора (див. рис. 2.1. позиція 5) виконуємо у вигляді зварної конструкції зі швелера №10 та полоси шириною 100 і товщиною 10 мм. З рис. 2.1 радіус штанги ротора r_u можна визначити за формулою:

$$r_u = R - (a - l) - 0,5b. \quad (2.27)$$

Товщина штанги $\delta_{ш}$ (див. рис. 2.1) відповідно дорівнює:

$$\delta_{ш} = b_{ш} + \delta_{пол}, \quad (2.28)$$

де $b_{ш}$ – ширина полки швелера;

$\delta_{пол}$ – товщина полоси.

Момент інерції одного ротора навколо його осі обертання визначається за формулою:

$$I_p = I_{ш} + 4I_o, \quad (2.29)$$

де I_o – момент інерції молотка відносно осі обертання ротора;

$I_{ш}$ – момент інерції штанги ротора відносно його осі обертання [47]:

$$I_{ш} = \frac{1}{3} M_{ш} \left((0,5r_{ш})^2 + (0,5\delta_{ш})^2 \right), \quad (2.30)$$

де $M_{ш}$ – маса штанги ротора.

При вибраних параметрах – $M_{ш}=10,5$ кг, тоді $I_{ш}=0,367$ кг·м².

2.4. Висновки

1. Аналітично встановлено функціональний зв'язок між діаметром ротора, параметрами робочої камери мобільного подрібнювача, статистичними характеристиками валка зрізаних гілок та поперечним відхиленням траєкторії руху агрегату відносно повздовжньої вісі вкладеного валка. Визначеним експериментально характеристикам валка зрізаних гілок відповідають ротори діаметром 1,45 м з шарнірно встановленими молотками,

кожен з яких має загальну довжину і ширину відповідно 0,334 та 0,145 м, а радіус їх підвісу на роторі становить 0,502 м.

2. На підставі теорії удару аналітично визначені математичні залежності швидкостей молотка і гілки після співударяння від їхніх мас, початкових швидкостей та зміщення точки удару відносно центра маси гілки з врахуванням коефіцієнта відновлення у випадку центрального безпідпорного поперечного удару.

3. Аналітичними дослідженнями встановлено закономірність впливу маси гілки і молотка на втрати його кутової швидкості під час зустрічі з гілкою. При подрібненні гілок з максимальною масою $m_2 = 0,5$ кг допустима нерівномірність по зміні моменту інерції ротора $\delta_z = 0,005$, що обертається з кутовою швидкістю $\omega_1 = 110$ рад/с, забезпечується із збільшенням маси молотка до 4,5 кг, яка відповідає його товщині – 0,012 м.

4. З врахуванням місцевих і загальних деформацій, що виникають при ударі, фізико-механічних властивостей гілок та молотка, їх швидкостей на підставі застосування енергетичного методу отримана математична модель вище перерахованих параметрів та контактного зусилля, яке виникає при безпідпорному співударянні молотка об гілку у випадку центрального поперечного удару. Аналіз моделі дозволяє обґрунтувати значення руйнівної швидкості руху молотків.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Методика проведення експериментів

3.1.1. Характеристика зрізаних гілок плодових дерев.

Статистичні характеристики розподілу геометричних розмірів та маси гілок, зрізаних під час догляду в садах ущільненого типу визначали на дослідному полі Уманського національного університету садівництва.

Статистичні характеристики визначали для зрізаних гілок яблуні сортів: Флоріна, Аскольда та Ліберті. Ширина міжрядь саду становила 4...5 м, а відстань між деревами в ряду – 1...2 м. В окремій клітці саду по її діагоналі було виділено по 10 погонних метрів з кожного валка зрізаних гілок. Для вимірювань вибиралися 3 валки з кожної клітки (два крайні та один по середині). Тобто три ділянки по 10 метрів для кожної із схем посадки саду.

Основними параметрами валка зрізаних гілок являлися його ширина b_6 ; висота h_6 ; кут ψ_1 між проекцією гілки на горизонтальну площину, спрямованої в бік її росту, та віссю міжряддя; кут θ_1 між проекцією гілки на вертикальну площину, спрямованої в бік її росту, та горизонтальною площиною (рис. 3.1); маса одного погонного метра валка q , кг/м; та маса гілок в перерахунку на 1 га саду U , т/га. Маса гілок визначалась шляхом зважування за допомогою пружинного динамометра ДПУ-0,02-2 ГОСТ 9409-60.

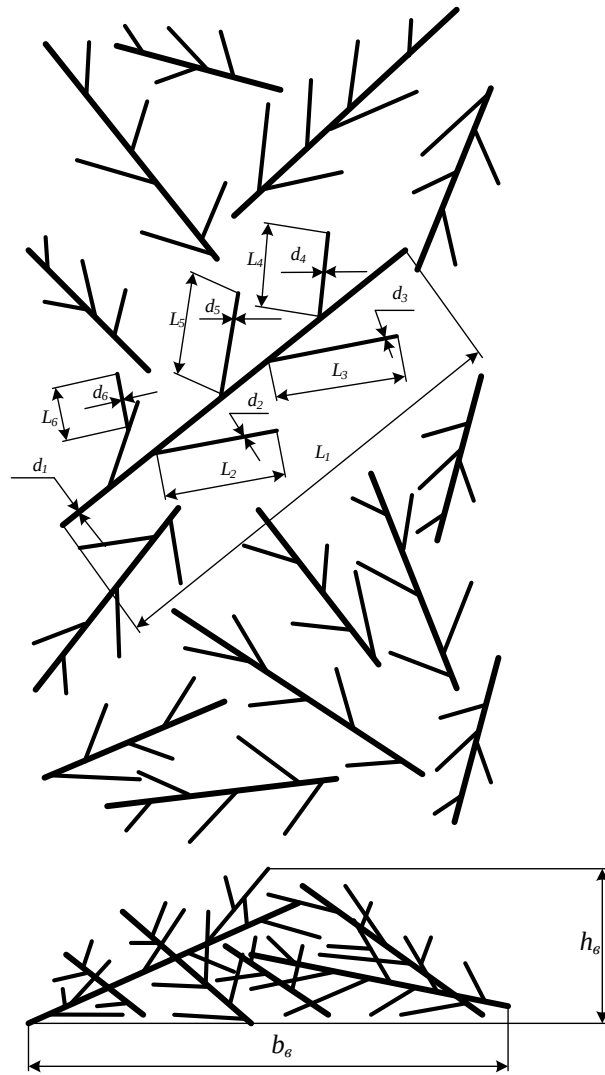


Рисунок 3.1 - Валок зрізаних гілок.

Геометричними характеристиками гілок були їх довжина і діаметр (окремо для кожного розгалуження). Кожне розгалуження гілки рахувалося як одна окрема гілка з діаметром d_i (максимальним для кожної гілки) та довжиною L_i (рис. 3.1). Розміри діаметрів і довжин гілок розбивалися на групи та визначалась їх кількість в групі (середня по всім дослідом) [52]. Інтервал для групи діаметрів становив – 5 мм, а для довжини – 200 мм.

На основі цих статистичних даних за допомогою програми STATISTICA-6 [53], було побудовано гістограму та визначено найближчі закони розподілу яким підлягають ці величини (рис. 3.2-3.3).

3.1.2. Вологість і об'ємна маса деревини.

З огляду літературних джерел відомо, що фізико-механічні властивості деревини в значній мірі залежать від її вологості та об'ємної маси. Тому в програму лабораторних досліджень входило визначення вологості та об'ємної маси свіжозрізаної деревини. Для цього під час весняної обрізки ущільненого саду, зі зрізаних гілок яблуні нарізалися однолітні і багатолітні черенки діаметром 5...30 мм та довжиною 40 мм. Зразки відбирались із зрізаних гілок яблуні сортів: Флоріна, Аскольда та Ліберті.

Вологість деревини – це подана у відсотках кількість води, що знаходиться в ній. Абсолютна вологість ($W_{абс}$) матеріалу, визначалася за формулою:

$$W_{абс} = \frac{G_1 - G_2}{G_2} 100, \% \quad (3.1)$$

де: G_1 та G_2 – маса деревини, відповідно до початку та після її висушування.

Для виключення підсихання, дослідні зразки накладалися в бюкси, які перед цим були зважені. Взяті гілки зважувались разом з бюксами на технічних вагах ВЛКТ-500г-М з точністю до 0,01 г, після чого вони поміщалися в сушильну шафу (кришки бюкс при цьому знімалися). В сушильній шафі СНОЛ-3,5/3М при температурі $100 \pm 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ зразки висушувались протягом 6 годин, а потім ще по 2 години до повного їх висихання. Після цього, зразки знову зважували і по вищенаведеній формулі визначали вологість деревини.

Об'ємна маса визначалась за відомою формулою [54]:

$$\gamma_w = \frac{G_1}{V_1}, \quad (3.2)$$

де V_1 – об'єм зразка деревини до висушування, см^3 .

В зв'язку з тим, що гілки плодкових дерев мають неправильну геометричну форму, її об'єм визначався за принципом вимірювання об'єму рідини, витісненої в результаті занурювання зразка в скляну проградуйовану пробірку з водою (точність до $0,5 \text{ см}^3$).

Для одержання співставляємих значень об'ємну масу приводять до 15 % вологості по формулі [54]:

$$\gamma_{15} = \gamma_w [1 + 0.01(1 - K_o)(15 - W_{abc})], \quad (3.3)$$

де K_o – коефіцієнт об'ємного всихання [54]:

$$K_o = \frac{V_1 - V_2}{V_1 W_{abc}} \quad (3.4)$$

V_2 – об'єм висушеного зразка, см^3 .

Вимірювання об'ємної маси та вологості деревини проводились у 12-разовій повторності для кожного з сортів і оброблялися статистичними методами.

3.2. Обробка експериментальних даних

При обробці експериментальних даних було використано методи математичної статистики.

Одними з основних числових характеристик випадкових величин є середнє значення, середнє квадратичне, або стандартне відхилення та коефіцієнт варіації.

Середнє значення є характеристикою положення випадкової величини на числовій осі, тобто вказує деяке середнє, орієнтоване значення, навколо якого групуються всі можливі значення випадкової величини.

Воно обчислюється як:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3.5)$$

де $x_1, \dots, x_n$ – значення випадкової величини;

n – кількість значень випадкової величини.

Середнє квадратичне відхилення є характеристикою ступеня розсіювання значень випадкової величини навколо її середнього значення.

Воно обчислюється як:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}, \quad (3.6)$$

де x_i – поточні значення випадкової величини.

Середнє значення і середнє квадратичне мають розмірність відповідної випадкової величини.

Безрозмірною характеристикою ступеня розсіювання значень випадкової величини навколо її середнього значення є коефіцієнт варіації. Він обчислюється як:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\%. \quad (3.7)$$

3.3. Результати експериментальних досліджень

3.3.1. Статистичні характеристики розмірів та маси гілок, зрізаних під час догляду за садом ущільненого типу.

В результаті обробки статистичних характеристик розподілу розмірів та маси гілок, зрізаних під час догляду за кроною саду ущільненого типу, одержані наступні результати (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 - Розмірно-вагові характеристики валка зрізаних гілок
ущільненого яблуневого саду

Статистичні характеристики	Ширина валка b_e , м	Висота валка h_e , м	Діаметр гілок d , мм	Довжина гілок L , мм	Кут θ_1 , °	Маса на 1 пог. м q , кг	Кількість гілок на 1 пог. м, шт.	Маса однієї гілки m_e , кг
Середнє значення	1,15	0,27	13	740	40	2,20	11	0,222
Середньоквадратичне відхилення, σ	0,07	0,025	5,5	33	11,7	0,2	2	0,058
Коефіцієнт варіації, ν , %	6	9,2	42	4,4	27,1	9	18	26

На основі даних таблиці 3.1, висота валка зрізаних гілок, величина якої має нормальний закон розподілу, коливається в межах від 0,250 м до 0,345 м (середня $h_e=0,27$ м) і залежить, переважно, від геометричних параметрів зрізаних гілок. Ширина валка залежить, як від об'єктивних факторів (розмір гілок, вид обрізки), так і від суб'єктивних (розміщення деревини в міжрядді робітниками). Вона змінюється від 0,87 м до 1,36 м (середня $b_e=1,15$ м). Аналізуючи кут θ_1 , під якими розміщені гілки по вертикалі відносно горизонтальної площини, можна відмітити, що він змінюється від 20 до 60° і в середньому становить 40°. Аналізуючи кут ψ_1 , під якими розміщені гілки в горизонтальній площині по відношенню до осі міжрядь, можна відмітити їх випадкове розташування (таблиця 3.2). За нашими дослідженнями, погонна маса валка зрізаних гілок коливається від 1,6 до 2,8 кг/м (середня $q=2,2$ кг/м). В перерахунку на 1 га, в залежності від схеми посадки, маса зрізаної деревини складає 2550...5625 кг/га (середня $U=4765$ кг/га). Максимальна маса гілок m_e не перевищує 0,5 кг. При відомій середній висоті h_e , ширині b_e валка та погонній масі 10 метрів орієнтовна питома маса валка свіжозрізаної деревини γ коливається в широких межах 9,36...18,98 кг/м³, що в середньому складає 14,27 кг/м³ (поперечний переріз прийнятий у вигляді трикутника).

Таблиця 3.2 - Розміщення гілок в горизонтальній площині відносно осі валка

Межі кута ψ_1 , °	0-45	46-90	91-135	136-180	181-225	226-270	271-315	316-360
Процентний вміст, %	23	13,7	13,3	10,7	4,9	5,3	10	18,6

Аналізуючи статистичні дані розмірних характеристик зрізаних гілок можна відзначити, що валок деревини, зрізаної в ущільненому саду, складається з відносно тонких і довгих гілок. Переважна їх більшість має діаметр 10...20 мм та довжину від 400 до 1000 мм. Заміряні діаметри гілок найкраще відповідають логарифмічнонормальному закону розподілу (рис. 3.2), а довжини – гамма закону (рис. 3.3).

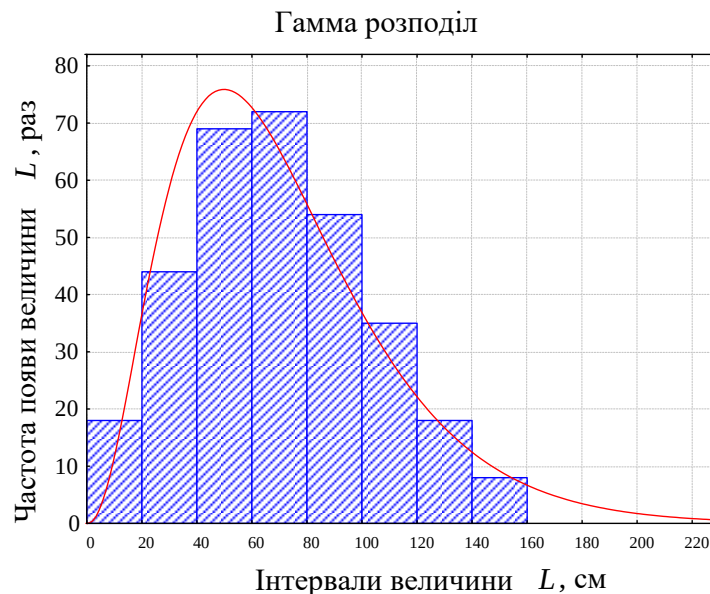


Рисунок 3.2 - Гістограма та крива розподілу довжин зрізаних гілок плодкових дерев інтенсивного ущільненого саду.

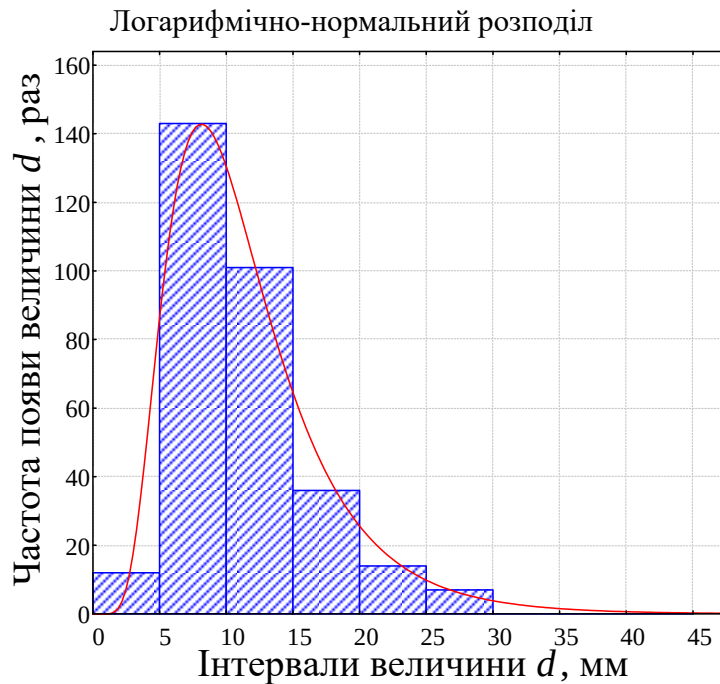


Рисунок 3.3 - Гістограма та крива розподілу діаметрів зрізаних гілок плодових дерев інтенсивного ущільненого саду.

Як доповнення, можна відмітити, що геометричні розміри зрізаних гілок плодових дерев, залежать від цілого ряду факторів: схеми посадки, сорту, підщепи, віку дерев та виду обрізки.

3.3.2. Вологість та об'ємна маса деревини.

Вологість та об'ємна маса свіжезрізаних гілок яблуні сортів: Флоріна, Аскольда та Ліберті визначалась в період весняної обрізки дерев протягом лютого – березня місяця. За цей час спостерігалось значне підвищення вологості деревини від 50 до 80 %. Це явище пояснюється початком інтенсивного руху води та поживних речовин по капілярам з приходом весни. Результати лабораторних досліджень занесено в таблицю 3.3.

Як висновок можна відмітити, що найбільшу питому масу має деревина гілок яблуні сорту Ліберті – 0,774 г/см³ (вологість – 77 %), найменшу – сорту Аскольда – 0,751 (вологість – 80 %). Деревина сорту Флоріна мала наступні показники: питома маса – 0,771, середня вологість – 72 %. Приведена об'ємна маса γ_{np} деревини яблуні в середньому становить 0,767 г/см³. Отже,

як бачимо, як питома маса так і вологість по сортам мало відрізняються. Саму ж деревину гілок яблуні можна віднести до групи важкої деревини з високими міцнісними властивостями.

Таблиця 3.3 - Показник вологості та об'ємної ваги деревини яблуні

Показник	Сорт яблуні			Статистичні показники		
	Ліберті	Аскольд	Флоріна	Середнє значення	Середньо-квадратичне відхилення, σ	Коефіцієнт варіації v , %
Абсолютна вологість свіжозрізаної деревини $W_{абс}$, %	77,14	80,78	72,74	75,89	3,84	5,06
Об'ємна вага деревини γ_w , г/см ³	1,097	1,039	1,017	1,052	0,033	3,217
Приведена до 15 % вологості об'ємна вага γ_{15} , г/см ³	0,774	0,751	0,771	0,767	0,01	1,383

3.4 Висновки

1. Валок деревини, зрізаної в ущільненому саду, складається з відносно тонких і довгих гілок. Переважна їх більшість має діаметр 10...20 мм та довжину від 400 до 1000 мм. Заміряні діаметри гілок найкраще відповідають логарифмічнонормальному закону розподілу, а довжини – гамма закону.

2. Найбільшу питому масу має деревина гілок яблуні сорту Ліберті – 0,774 г/см³ (вологість – 77 %), найменшу – сорту Аскольда – 0,751 (вологість – 80 %). Деревина сорту Флоріна мала слідуючі показники: питома маса – 0,771, середня вологість – 72 %. Приведена об'ємна маса γ_{np} деревини яблуні в середньому становить 0,767 г/см³.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

Аналіз умов і заходів з охорони праці під час виробництва яблук та розробка організаційно-технічних заходів безпеки при роботі з подрібнювачем гілок у саду.

Загальні умови та основні ризики при виробництві яблук

Фізичні: травми при роботах з технікою (трактори, обприскувачі, навантажувачі), падіння з висоти при обрізці/збиранні, порізи, забої, переїзди.

Хімічні: вплив пестицидів, добрив, мастильних матеріалів (отруєння, подразнення, алергії).

Біологічні: укуси/уколи комах, мікроорганізми у ґрунті/компості, грибкові алергени.

Ергономічні: статичні та повторювані навантаження при зборі, транспортуванні, сортуванні; перевантаження спини та рук.

Метеорологічні: тепловий стрес, переохолодження, робота в ожеледь.

Пожежна небезпека: суха солома/рештки, заправка та зберігання ПММ.

Шум, вібрація, пил при заготівлі та переробці.

Загальні заходи з охорони праці в саду (організаційні)

Відбір персоналу: працівники ≥ 18 років, медогляд, інструктажі (первинні, повторні, позаштатні), стажування під наглядом.

Документація: інструкції з ОП для типових операцій (обрізка, обприскування, збирання, механізоване сортування), журнали інструктажів і техоглядів.

Планування робіт: графіки з урахуванням погоди, розподіл трудових навантажень, ротація робіт для профілактики травм та втоми.

Контроль ЗІЗ: забезпечення та облік респіраторів, рукавичок, окулярів, захисного взуття, комбінезонів; контроль стану і термінів експлуатації.

Медичне забезпечення: аптечки в полі, мобільний зв'язок, план швидкої евакуації, періодичні медогляди.

Санітарні умови: місця відпочинку, миття рук, душеві після роботи з пестицидами.

Пожежна безпека: місця зберігання ПММ та соломи на відстані, вогнегасники, заправка техніки на обладнаних майданчиках.

Управління хімікатами: централізоване приготування розчинів, маркировка та інструкції, обмеження доступу, системи зливу та нейтралізації розливів.

Моніторинг: контроль стану ґрунту/сходів та щоденний огляд техніки перед виїздом.

Технічні заходи безпеки (загальні)

Технічний стан: регулярні ТО, передзмінні огляди, журнал дефектів, негайний ремонт.

Машини та пристрої: наявність захисних кожухів, візуальних індикаторів, блокувань кришок і приводів; ремінні та валові захисти.

Електробезпека: заземлення, пристрої захисного відключення, огорожені електрощити.

Транспорт і підйомні роботи: ремені безпеки на техніці, стабільні підмостки, ланцюгові пастки для вантажів.

Організація руху: маркування проїздів, заборона руху людей у зоні маневру техніки, чіткі маршрути й сигнали.

Безпека при застосуванні пестицидів і добрив

Централізоване приготування; закриті ємності для транспортування; обладнані майданчики з піддонами.

Обов'язкові ЗІЗ при приготуванні та внесенні; інструктаж з дій при випадковому контакті/розливах.

Планові зони охорони (зачинені під час обробки), таблички, повідомлення робітників.

Утилізація тари та залишків за регламентом.

Охорона праці при обрізці та збиранні плодів

Робота на висоті: використання сертифікованих підмостків, вишок або платформ; інструктаж з використання страхувальних поясів при необхідності; заборона стояння під підвішеними вантажами.

Ручна робота: ергономічні контейнери з оптимальною вагою; перерви, ротація завдань.

Обладнання: ножиці/пилки з захисними кожухами; заборона ремонту інструменту під час роботи.

Аналіз умов та заходів щодо подрібнювача гілок (шредера) — ризики

Механічні: захоплення рук/одягу, викид уламків, перекидання агрегату, ненавмисний запуск.

Енергетичні: контакт з привідними валами, шестернями, ременями; ризик ураження електрострумом при електроприводі.

Акустичні та вібраційні: високий рівень шуму, вплив вібрації на руки/тіло.

Пил/аерозолі: деревний пил, грибкові спори, можливі алергени.

Пожежа: розігрів підшипників, іскри від металевих фрагментів при попаданні сторонніх предметів.

Токсичність: при обробці хімічно заражених гілок (наприклад, після обробки препаратами).

Організаційно-технічні заходи безпеки при роботі з подрібнювачем гілок

А. Організаційні заходи

Вимоги до персоналу: допуск тільки особам ≥ 18 років, пройденим інструктаж, стажуванням на типі шредера, інструктажем з ППБ та першої допомоги.

Інструкції: розробити та вивісити короткі інструкції з безпечної експлуатації шредера, алгоритми аварійної зупинки, план дій при травмі.

Розподіл зон: визначити і позначити «зону роботи шредера» (радіус небезпеки), заборонити доступ сторонніх осіб; маркування і сигнали попередження.

Контроль і допуск: перед початком зміни — перевірка ТО, журнал, запис про допуск; заборона роботи в одиночку на віддалених ділянках (наявність напарника або засобів зв'язку).

Планове техобслуговування: графік змін мастил, підшипників, болтів; ведення журналу.

Підготовка матеріалу: заборона подавати в шредер гілки з камінням, дротом, металевими обв'язками; огляд та очищення матеріалу перед подачею.

Забезпечення зв'язку і медичної допомоги: мобільний телефон/рація, аптечка, інструкція з евакуації.

Планування роботи: уникати роботи в сильний вітер, дощ, ожеледь; обмеження робочого дня при високих температурах для уникнення втоми.

В. Технічні заходи

Машина: шредер має бути оснащений захисними кожухами для всіх рухомих елементів, екраном від розльоту матеріалу, аварійним вимикачем «стоп-шнуром» і захисними заслінками на подаючому отворі.

Блокування доступу: механічні або електричні блокування, що перешкоджають доступу до робочих органів під час роботи; автоматична зупинка при відкритті кришки.

Система подачі: бажано використовувати подавальний шнек/стрічку або відкидний столик, що дозволяє подавати матеріал без наближення до ножів.

Відведення відходів: екран/канал для викиду щепи, віддалений від оператора і з можливістю контролю; запобіжні сітки від викиду великих уламків.

Глушники/зниження шуму: встановлення шумоізолюючих кожухів, місць розташування оператора на безпечній відстані.

Віброізоляція: підвищування або опори для зниження передачі вібрації на операторів.

Система заземлення: для електроприводних агрегатів — надійне заземлення та УЗО.

Засоби пожежогасіння: переносні вогнегасники поруч, засоби гасіння і пінотворчі матеріали.

С. Персональні засоби захисту (мінімальний набір)

Захисні окуляри або захисний щиток;

Навушники або протишумові вставки (рівень шуму >85 дБ);

Захисні рукавички (проти порізу) та протиковзке взуття з міцним носком;

Захисний комбінезон/куртка щільної тканини (щоб не чіплялося за частини);

Респіратор (при сильному пилі — P2/P3) або маска з фільтром;

Шолом при роботі під гіллям або під час маніпуляцій із важкими гілками.

Д. Інструкція з безпечної експлуатації — ключові пункти

Перед включенням: оглянути шредер; перевірити захисні екрани; перевірити відсутність сторонніх предметів у завантажувальній зоні; перевірити гальма та аварійний вимикач.

Подача матеріалу: подавати гілки по одній або невеликими пучками, кінці спрямовано від оператора; не використовувати руки для запихування — застосовувати штовхач/палицю; заборонено подавати вологі грудки землі, каміння, дріт.

Під час роботи: підтримувати безпечну відстань; контролювати викиди; не проводити регулювання і чистку при працюючому двигуні.

Аварійна зупинка: натиснути «стоп», відключити двигун, відвести матеріал, зафіксувати агрегат і тільки потім проводити огляд.

При заклинюванні: зупинити агрегат, витримати повну зупинку дисків, застосувати блокування валу, потім вилучити предмети за допомогою інструментів.

Після роботи: вимкнути, зачекати зупинку роторів, очистити зону, перевірити стан ножів і кріплень; зафіксувати шредер і захистити до ТО.

Організація технічного обслуговування і ремонту

ТО лише при заглушеному двигуні та відключеному джерелі енергії; використання пломб/запакування для позначення робочих зон.

Локдаути (Lockout-Tagout): застосовувати пломби/замки на вмикачах під час ремонту.

Запчастини: запас ключів, контргайки, інструментів; чіткі процедури заміни ножів (балансування), мастила підшипників.

Періодичні огляди: перевірка кріплень, ножів, підшипників, систем подачі; контроль наявності корозії та тріщин.

Контроль ефективності та навчання

Регулярні інструктажі та тренінги: практика з аварійної зупинки, надання першої допомоги при рваних/рублених ранах, стабільна перевірка знань.

Інцидент-реєстр: облік нещасних випадків і майже-подій; аналіз причин і запровадження коригувальних заходів.

Періодичні аудити ОП на полі, перевірки виконання графіків ТО та наявності ЗІЗ.

Рекомендований контрольний чек-ліст перед запуском шредера

Працівник допущений, інструктаж пройдено.

Аптечка та засоби зв'язку під рукою.

Захисні кожухи встановлені; аварійний вимикач працює.

Немає сторонніх предметів в зоні подачі; матеріал оглянуто.

ЗІЗ на місці і в доброму стані.

Вогнегасник поруч; майданчик чистий від займистих матеріалів.

Джерело живлення (Бензин/дизель/електрика) в порядку, заземлення (для ел.) встановлено.

Короткий висновок Стабільне забезпечення безпечних умов у процесі вирощування яблук потребує системного підходу: поєднання організаційних заходів (інструктажі, планування, документація), технічних рішень (обладнання з захистами, ТО, централізована робота з агрохімією) та належного забезпечення ЗІЗ. При роботі з подрібнювачем гілок пріоритет — механічні захисти, блокування, чіткі процедури подачі матеріалу та жорсткий контроль за допуском і навчанням персоналу. Виконання запропонованих заходів значно знизить ризики травматизму, профілактично зменшить аварії й підвищить ефективність праці в саду.

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ МАШИНИ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ЗРІЗАНИХ ГІЛОК В МІЖРЯДДЯХ САДУ

Для економічної оцінки запропонованої технології з використанням розробленої машини застосовано порівняння прямих затрат для двох технологій:

1. Технологія, що передбачає подрібнення гілок з одночасним розкиданням щепи по поверхні ґрунту при використанні базового подрібнювача ИЛВ-1 і трактора ЮМЗ-6;

2. Технологія, що передбачає подрібнення гілок з одночасним розкиданням щепи по поверхні ґрунту при використанні розробленого подрібнювача з умовною маркою КПУ-3 та трактора ЮМЗ-6..

Розміри тарифних ставок для визначення витрати коштів на оплату праці брали відповідно діючим нормам.

**Таблиця 5.1 - Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності
машини для подрібнення зрізаних гілок в міжряддях саду**

Показник	ИЛВ-1	Розроблена машина для подрібнення гілок (КПУ-3)
Марка енергетичного засобу	МТЗ-82	МТЗ-82
Номінальна потужність двигуна енергозасобу, кВт	59	59
Питома витрата палива, кг/кВт год	0,252	0,252
Вартість трактора, грн.	155350	155350
Річне завантаження трактора, год.	1600	1600
Сумарні відрахування на трактор (амортизація, ТО та поточний і капітальний ремонт), %	21,5	21,5
Вартість пристрою, грн.	53300	37155

Річне завантаження машини, год.	60	60
Сумарні відрахування на пристрій (амортизація, ТО та поточний та капітальний ремонт), %	21,5	21,5
Кількість обслуговуючого персоналу	1	1
Робоча швидкість агрегату, км/год	1,50	2,59
Заробітна плата, грн./год.	11,32	11,32
Витрата палива, кг/га	15,5	9,1
Ціна палива, грн.	26,00	26,00

Складові витрати коштів на подрібнення зрізаних гілок в міжряддях саду та їх суму наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Розрахунок показників економічної ефективності впровадження машини для подрібнення зрізаних гілок в міжряддях саду

Показник	ИЛВ-1	Розроблена машина для подрібнення гілок (КПУ-3)
Продуктивність за годину зміни, га/год	0,50	0,82
Затрати праці, люд.-год/га	2,0	1,22
Заробітна плата, грн./га.	25,09	15,24
Вартість палива, грн./га	248,00	145,60
Відрахування на реновацію та капітальний ремонт трактора та с.-г. машин, грн./га;	295,63	131,04
Відрахування на поточний ремонт та ТО трактора і с.-г. машин, грн./га.	128,11	56,78
Сумарні прямі експлуатаційні витрати, грн./га	696,83	348,66
Річний економічний ефект, грн	136280,06	
Термін окупності капіталовкладень, років	1	

За результатами техніко-економічного аналізу, проведеному в цьому розділі, можна заключити наступне.

Застосування розробленого подрібнювача гілок в ущільнених садах дасть змогу зменшити витрати праці в 1,6 рази.

Порівняльна оцінка відомого двоступінчастого ИЛВ-1 (серійного виробництва) і розробленого одноступінчастого подрібнювачів гілок показала переваги останнього по енергоємності (в 2 рази), пропускній спроможності (в 1,64 рази) і затратах палива (в 1,7 рази) при забезпеченні агротехнічних вимог.

Річний економічний ефект від застосування розробленого подрібнювача гілок в ущільнених садах в порівнянні з існуючою технологією становить – 136280 грн/рік.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз існуючих технологій утилізації гілок плодових дерев, зрізаних під час догляду за їх кроною, свідчить про доцільність застосування технологічного процесу подрібнення гілок з розкиданням деревини по поверхні ґрунту. Спираючись на комплексну техніко-економічну оцінку засобів для подрібнення гілок плодових дерев в садах ущільненого типу можна відмітити, що доцільним є застосування одноступінчастих двороторних подрібнювачів з вертикальними осями обертання роторів, робочими органами яких є шарнірно закріплені молотки.

2. Аналітично встановлено залежність діаметра ротора та параметрів робочої камери мобільного подрібнювача від статистичних характеристик валка зрізаних гілок і поперечного відхилення траєкторії руху агрегату відносно повздовжньої вісі вкладеного валка.

3. Теоретичними дослідженнями встановлено закономірність впливу маси гілки і молотка під час їх співударяння на втрати його кутової швидкості. Коефіцієнт нерівномірності по зміні моменту інерції ротора при подрібненні гілок зменшується із збільшенням маси молотків та їх швидкостей.

4. З врахуванням місцевих і загальних деформацій, що виникають при ударі, фізико-механічних властивостей гілок та молотка, їх швидкостей на підставі застосування енергетичного методу отримана математична модель вище перерахованих параметрів та контактного зусилля, яке виникає при безпідпорному співударянні молотка об гілку у випадку центрального поперечного удару. Аналіз моделі дозволяє обґрунтувати значення руйнівної швидкості руху молотків.

5. Валок деревини, зрізаної в ущільненому саду, складається з відносно тонких і довгих гілок. Переважна їх більшість має діаметр 10...20 мм та довжину від 400 до 1000 мм. Заміряні діаметри гілок найкраще відповідають логарифмічнонормальному закону розподілу, а довжини – гамма закону.

2. Найбільшу питому масу має деревина гілок яблуні сорту Ліберті – $0,774 \text{ г/см}^3$ (вологість – 77 %), найменшу – сорту Аскольда – $0,751$ (вологість – 80 %). Деревина сорту Флоріна мала слідуєчі показники: питома маса – $0,771$, середня вологість – 72 %. Приведена об’ємна маса γ_{np} деревини яблуні в середньому становить $0,767 \text{ г/см}^3$.

8. Впровадження технології утилізації зрізаних гілок з використанням розробленого подрібнювача деревини дасть змогу зменшити витрати праці в 1,6 рази, палива в 1,7 рази та знизити прямі експлуатаційні витрати в 2 рази порівняно з існуючою технологією, яка передбачає спалювання деревини, дозволить виключити забруднення навколишнього середовища і використати деревину як органічне добриво або мульчу. Річний економічний ефект від застосування розробленого подрібнювача гілок в ущільнених садах в порівнянні з існуючою технологією становить – 136280 грн/рік.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Довідник з механізації садівництва / Бабенко А.Є., Бабій В.П., М.О.Демидко та ін. / За ред. М.О.Демидка. – Вид. 2-е, перероб. і доп. – К.: Урожай, 1992. – 264 с.
2. Привалов І.С., Токар О.П. Обґрунтування параметрів подрібнювача гілок плодкових дерев // Садівництво. – Вип. 46. – 1998 – 275 с.
3. www.loftness.com/
4. www.vrisimo.com/
5. www.heinrichsinc.com/
6. Проспект фірми RHINO (США). – 4 с.
7. www.progroup.it/agricom/agricomPRODOTTI.htm/
8. www.sovema.com/
9. www.nobili.com/
10. www.becchio-mandrele.com/
11. www.feraboli.com/
12. www.calderoniweb.it/Trinciatrici.htm/
13. www.rotomec.com/
14. www.ortolan.net/
15. www.butlerent.com/
16. www.agram.fr/MaterielAgricole/BroyeurGyroDebroussailleur.php/
17. www.suire.com/
18. www.gedif-france.com/
19. www.nicolas.fr/default.htm/
20. Проспект фірми PERFECT (Голландія). – 4 с.
21. Каталог фірми AGRIC (Іспанія), Барселона. – 38 с.
22. www.landpride.com/
23. Ящук В.Н. Деякі результати досліджень мобільного подрібнювача гілок для садів і виноградників / В.Н. Ящук, В.И. Попов, К.П. Квірінг // Садівництво. – К.: Урожай, 1974. – Вип.21.— С. 79-84.

24. Фришев С.Г. Експериментальні дослідження якісних показників роботи подрібнення гілок плодових дерев / С.Г. Фришев, В.В. Сарана // Науковий вісник Національного аграрного університету. – К. : 2004. – Вип. 73, Ч. 1. — С. 209-212.

25. Кравченко В.В. Інтенсифікація процесу утилізації насаджень кущових ягідників: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / В.В. Кравченко. – Київ, 2011. – 20 с.

26. Заїка Л.М. Теорія сільськогосподарських машин : Навчальний посібник для студ. вищ. навч. закл. тех. / П.М.Заїка; М-во освіти і науки України. Харківський держ. техн. ун-т сільського господарства. – Х.: Око, 2003. – Т. 2. Частина 1. Машини для заготівлі кормів. – 360 с.

27. Привалов І.С., Циців М.В., Заграфов Г.К. Фізико-механічні властивості деревини яблуні // Садівництво, №21 К.: Урожай, 1974.

28. Проектування технологічних процесів у рослинництві: Навчальний посібник / І.І. Мельник, В.Д. Гречкосій, С.М. Бондар; За ред. І.І. Мельника. – Ніжин: ТОВ “Видавництво Аспект-Поліграф”, 2005. – 192 с.