

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
«магістр»
на тему: «Удосконалення конструкції подрібнювача рослинної сировини»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 133 Галузеве
машинобудування
ступеня вищої освіти «магістр» групи 1
Копил Антон Анатолійович

Керівник: Скрипник В.О.

Рецензент: Дудніков І.А.

Полтава – 2023 року

ВСТУП

Виробництво сільськогосподарської продукції вимагає виконання низки технологічних операцій у певній послідовності. Так, у садах після обрізки плодкових дерев залишаються гілля. Вони захаращують міжряддя і ускладнюють проведення наступних робіт з догляду за насадженнями. Технологічний процес видалення з міжрядь саду плодової деревини є досить енергоємною операцією. Для механізації цих робіт наукою та промисловістю запропоновані різні технічні засоби, які значно скорочують ручну працю, але не повністю усувають її. Розроблялися вони для садів на сильнорослих підщепах.

В даний час вчені-дослідники відзначають, що основою інтенсифікації галузі є сади на слабких підщепах. Вони забезпечують більш рентабельне ведення садівництва проти сильнорослими насадженнями. Зі зменшенням габаритів дерев пов'язані особливості догляду за ними. У слаборослих садах застосовують щільніші схеми розміщення дерев у порівнянні з сильнорослими (у ряду 1,5-3 м; між рядами 4-6 м). У зв'язку з цим машини з великими габаритами, що застосовуються в садах на сильнорослих підщепах, виключаються з використання в садах на карликових підщепах внаслідок можливого завдання травм плодovим деревам.

Для здешевлення робіт з утилізації зрізаних гілок їх доцільно подрібнювати і одночасно закладати в ґрунт безпосередньо в міжряддя саду. Ця технологія відповідає екологічним нормам. Вона не завдає шкоди навколишньому середовищу як при спалюванні.

В даний час немає закінченого рішення пристрою для одночасного подрібнення і закладення тріски в ґрунт. Виробляють лише машини для стаціонарного подрібнення зрубаних тонкомірних дерев, сучків, відходів лісозаготівель.

Об'єкт дослідження: Процес подрібнення обрізаних гілок плодovих дерев.

Предмет досліджень: Технологія утилізації відходів обрізки в інтенсивних слаборослих садах шляхом їх подрібнення і закладення тріски.

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мета роботи. Удосконалення технології утилізації відходів обрізки в інтенсивних слаборослих садах шляхом їх подрібнення і закладення тріски, що отримується в ґрунт.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- вивчити розмірні властивості валків сучків після обрізки в слаборослих садах;
- вивчити фізико-механічні властивості деревини яблуні, необхідні обґрунтування працездатності машини;
- обґрунтувати оптимальні розміри тріски при подрібненні гілок, що забезпечують її розкладання за термін до наступної обрізки;
- теоретично вивчити процес взаємодії робочого органу з обрізаними гілками плодкових дерев, покладених у валок, обґрунтувати конструктивні та режимні параметри подрібнювача, що забезпечують найменшу енергетичну потребу;
- розробити приватні методики проведення експериментальних досліджень;
- провести експериментальну перевірку основних теоретичних положень та оцінити вплив на працездатність машини неврахованих факторів;
- визначити економічну ефективність використання запропонованої технології.

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Огляд та аналіз конструкцій машин для подрібнення гілок

В результаті аналізу застосовуваних технологій встановлено, що процес подрібнення плодової деревини на тріску включають більшість схем прибирання обрізаних гілок. Переробка відходів садівництва на технологічну тріску створює сприятливі можливості для практичного здійснення найважливішої народногосподарської проблеми – безвідходної технології с.-г. виробництва. У зв'язку з цим промисловістю і дослідницькими інститутами запропоновані різні схеми машин даного призначення, багато з яких стали згодом серійними [1].

Всі існуючі подрібнювачі за типом конструкцій можна класифікувати на такі групи: стаціонарні, позиційні та пересувні (рис. 1.1) [1].

Рисунок 1.1 – Класифікація машин для подрібнення деревини

Обладнання можна класифікувати таким чином:

- за способом виконання технологічного процесу – мобільне й стаціонарне;
- за способом агрегування – навісне на трактор, напівпричіпне до трактора, причіпне до трактора, пересувне з приводом від електродвигуна або власного двигуна внутрішнього згорання (бензинового або дизельного), самохідне – в трьох варіантах: на шасі автомобіля, на гусеничному та на колісному ході, стаціонарне з приводом від електродвигуна або власного двигуна внутрішнього згорання;
- за типом робочого органу для подрібнення деревної маси – барабанні, дискові молоткові, диско-молоткові та шнекові подрібнювачі;
- за типом завантажувального пристрою – лоткове та бункерне;
- за способом завантаження деревної маси: цю функцію виконують вручну, з допомогою власного маніпулятора чи окремого завантажувача.

Стаціонарні подрібнювачі в садівництві найчастіше застосовуються в тих випадках, коли подрібнена деревина надалі використовується деревообробною промисловістю. Працюють вони таким чином. Зібрані суки вручну подаються до

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приймальної камери подрібнювача. Потім маса надходить до робочого органу і подрібнюється, після чого тріска відправляється на подальшу переробку (або розкидається і закладається в ґрунт). Найбільш поширеними робочими органом таких машин є дискові чи барабанні подрібнювачі [2].

Рисунок 1.2 – Принципом роботи рубальної машини є подрібнення деревини з торця поздовжньо-поперечного розташування

Відомі машини марки TN-130D (рис.1.3), МР-30 (рис.1.4), МР-50 і т.д., призначені для подрібнення низькоякісної деревини на технологічну тріску для целюлозно-паперової промисловості [1, 4].

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 1.3 – Машина марки TN-130D

Рисунок 1.4 – Машина марки МР-30

Ці машини використовують на деревообробних підприємствах. Основним вузлом таких машин є механізм рубки, що складається з ротора, диск якого встановлений під кутом до горизонтальної площини або вертикально, кожуха та завантажувального патрона [1, 3].

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Самохідні подрібнювачі – це агрегати, що мають автономну енергетику і трансмісію, здатні самостійно пересуватися міжряддям саду. Jaguar 70 SF оснащений шестициліндровим дизелем потужністю 150 л. Привід робочих органів та пересування здійснюються за допомогою тришвидкісної коробки передач [4]. Подрібнювач оснащений підбирачем із шириною захоплення 1,8 м, продуктивність його 60-75 т/год. Аналогічна за конструкцією, але без підбираючого пристрою, машина Vermeer 1600 (рис. 1.6) [1, 4].

Рисунок 1.5 – Подрібнювач з електроприводом ТОВ «Профі-Стан»

У нашій країні найбільшого поширення набули причіпні подрібнювачі - машини, що мають надійну ходову частину, придатну для транспортування на значні відстані. У передній частині рами є причіпна скоба. Як приклад можна навести подрібнювач (рис. 1.5) з приводом від ВОМ трактора, розроблений Мічурінським НДІ садівництва [4].

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 1.6 – Машина Vermeer 1600

Навісні подрібнювачі навішуються за допомогою триточкового навісного пристрою трактора, обладнаного гідросистемою. Навісна система забезпечує транспортне положення агрегату і дозволяє регулювати заглиблення робочих органів подрібнювача в ґрунт.

Рисунок 1.7 – Подрібнювач BIOMASTER від компанії ТОВ «Аріес-Україна»

При подрібненні гілок тріска транспортується як у кузов машини, так і на поверхню ґрунту. Вивантажувальний патрубок повертається на 360°, що дозволяє подавати тріску в будь-який бік від робочого органу.

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 1.8 – Польовий дисковий подрібнювач деревини Jenz GmbH 140

Як зазначалося вище, найбільш раціональною технологією є подрібнення сучків безпосередньо в саду з наступним закладенням у ґрунті.

Вона може реалізуватися двома способами:

- подрібнення сучків при русі по міжряддю саду з розкиданням тріски по поверхні, з наступним заорюванням в ґрунт;
- подрібнення сучків при русі міжряддям саду з одночасним закладенням в ґрунт.

Рисунок 1.9 – Бункерний подрібнювач біомаси фірми Menart (Бельгія)

Сучасні машини для реалізації зазначеної технології можна розділити на працюючі над поверхнею ґрунту та працюючі у ґрунті.

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 1.10 – Прес-підбирач-подрібнювач Viobaler фірми Anderson

Так донецькою дослідною станцією садівництва запропоновано схему машини (SU №1338808) (рис. 1.11) подрібнюючий рослинний матеріал над поверхнею ґрунту без попереднього підбору. Машина працює наступним чином. При русі ротор 2 своїми ножами 3 підхоплює вихідний матеріал. Підхоплений ножами 3 матеріал подрібнюється як задніми ножами 9, так і в результаті їх взаємодії з протиризальним ножем 6. Майже весь підхоплений ножами 3 матеріал у складі матеріалі-повітряного потоку надходить у простір між ротором 2 і кожухом 4 і ковзаючи по внутрішній поверхні кожуха 4, рухається до отвору 5 [5].

Рисунок 1.11 – Схема машини Авторського св. №1338808

Викинутий з отвору 5 рослинний матеріал при взаємодії з гребінцем, утвореної сервопривідними зубами 7, ковзає по пластинах. Дрібні частинки проходять між пластинами гребінки і падають на ґрунт за машиною, великі

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частинки зісковзують з гребінки на скатну дошку 10 і далі в зону дії ножів 13 і додаткового протирізального ножа 9, тобто. на доподрібнення.

За кордоном машини для цих цілей, що відрізняються за своїми конструктивними особливостями, випускаються різними фірмами. Прикладом таких подрібнювачів можуть бути машини для мульчування Willibald SM285nXumus. Крім основного призначення, вони успішно застосовуються і для подрібнення зрізаних сучків [5, 6].

Подрібнюючий апарат машини Willibald SM 285 має ударні ножі, що хитаються, встановлені радіально на горизонтально обертовому порожнистому валу. При зустрічі зі сторонніми твердими предметами ножі можуть відхилятися, що оберігає їх від поломок.

У машини Xumus подрібнюючий апарат складається з трьох дисків, що обертаються навколо вертикальних осей, на кожному диску шарнірно закріплені чотири ножі спеціальної форми, заточених по зовнішній відігнутій формі. При навантаженні ножі відхиляються. Окружна швидкість ножів становить 73,5 м/сек. Подрібнювальні апарати зазначених машин повинні знаходитися на висоті 6-8 см від поверхні ґрунту [3, 7].

В Італії фірмою Нобілі випускається подрібнювач «Fruturator». Ця машина має кілька модифікацій, що відрізняються один від одного величиною робочого захоплення, необхідною потужністю і продуктивністю. Подрібнювальний апарат даного подрібнювача являє собою горизонтальний вал з шарнірно закріпленими ножами. За свідченням фірми «Fruturator» незалежно від модифікації машина може подрібнювати гілки товщиною до 50-60 мм [3, 8].

Порівняльні випробування зарубіжних подрібнювачів сучків, проведені на Молдавській МІС показали, що вони не відповідають діючим агротехнічним вимогам (ні за якістю подрібнення, ні по максимальній товщині гілок, що подрібнюються). У зв'язку з цим у ВНДІ садівництва ім. Мічуріна розроблено та проведено лабораторно-польові випробування макетних зразків машин з двома типами подрібнюючих робочих органів.

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основними вузлами конструкцій є (рис. 1.11 та рис. 1.12): несуча рама з причіпним пристосуванням 1, механізм приводу від ВОМ 2, дисковий подрібнюючий барабан з протирізом 3, подрібнювальний молотковий барабан з протирізом 4, ножовий подрібнюючий барабан 5, бітер 6.

Технологічний процес підбору та подрібнення обрізків сучків здійснюється наступним чином. Агрегат заїжджає в міжряддя саду і сідлає заздалегідь сформований валок. При русі агрегату (рис. 1.12) дисковий барабан, що подрібнює, розрізає масу сучків на попереджувальні фракції. Далі, потрапляючи в зону дії молоткового подрібнення барабана, обрізки сучків остаточно подрібнюються і викидаються на поверхню міжряддя.

Рисунок 1.12 – Схема машини з дисковим робочим органом

Відмінною рисою конструкції з ножовим барабаном (рис. 1.13) є те, що обрізки сучків підхоплюються ножами подрібнюючого барабана і подрібнюються на попередні фракції, які бітер, за допомогою ребристої поверхні подає до молоткового барабана. Після проходження агрегат заїжджає на наступний ряд, і технологічний процес повторюється.

Повнота підбору обрізків сучків подрібнювачем з дисковим барабаном (рис. 1.9) знаходилася в межах 73%, подрібнювачем з ножовим барабаном (рис. 1.13) - 95%. Найкраще подрібнення спостерігалось у машин із ножовим барабаном.

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, можна зробити висновок, що пристрої з ножовим подрібнюючим барабаном є найбільш прийнятними як з точки зору більш якісного виконання технологічного процесу, так і конструктивно.

Риснуок 1.13 – Схема машини з барабанним робочим органом

Для реалізації пропонованої технології необхідно, щоб машина подрібнювала і загортала рослинні залишки безпосередньо в міжрядок саду. У нашій країні не розроблені машини для здійснення запропонованої технології в садівництві. Але є машини для освоєння закущованих земель пропонованим способом.

1.2 Обґрунтування технологічної схеми машини для подрібнення плодкових гілок та їх загортання у ґрунт

На основі проведеного нами аналізу запропоновано технологічну схему машини для подрібнення обрізаних гілок у слаборослих садах та закладення отриманої тріски в ґрунт (рис. 1.14).

Машина містить встановлені на рамі 1 трамбувальний барабан 2, переміщується щодо рами за допомогою сервоприводу 3, ножі 4 для обробки ґрунту та подрібнення деревного матеріалу, встановлені на барабані 5, відкритий знизу кожух 6. У передній частині кожуха 6 встановлений контрніж 7 із зубами. У задній

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частині кожуха встановлено додатковий контрніж 8 із зубами, зміщеними щодо зубів переднього контрножа.

Рисунок 1.14 – Схема машини для подрібнення та загорання тріски в ґрунт
Машина для подрібнення деревного матеріалу та закладення отриманої маси в ґрунт працює наступним чином.

Перед початком роботи встановлюють глибину обробки ґрунту і загорання подрібненої маси барабаном з ножами 5 за допомогою зміщення трамбувального барабана 2 щодо рами 1 за допомогою сервоприводів 3. При русі машини по міжряддю саду трамбувальний барабан 2 попередньо ущільнює деревні відходи (обрізані гілки, і т. д.), покладені у валок, а барабан 5, маючи напрямок обертання протилежне обертанню коліс трактора, розпушує ґрунт і одночасно підхоплює вихідний матеріал. Підхоплений ножами 4 барабана 5 матеріал подрібнюється в результаті взаємодії ножа з двома зубами переднього контрножу. Причому, за рахунок наявності зубів на контрножі подрібнюються тонкі гілки, які розташовані перпендикулярно до напрямку руху агрегату. Підхоплений матеріал у складі матеріалоповітряного потоку надходить у простір між барабаном 5 і кожухом 6 і, ковзаючи по внутрішній до поверхні кожуха 6, рухається до заднього контрножа 8, де і доподрібнюється за рахунок взаємодії вже з одним зубом контрножа.

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ НОЖОВОГО БАРАБАНА

2.1 Напрями теоретичних досліджень

Технологічний процес, що виконується пропонованою машиною, складається з наступних стадій: розпушування верхнього шару ґрунту, подрібнення гілок плодкових дерев, перемішування деревно-ґрунтової маси, захоплення її обертовим барабаном і подача до задніх контрножів, доподрібнення, вільне падіння на поверхню.

Зворотне фрезерування ґрунту (обертання барабана «знизу-вгору») вигідно відрізняється від прямого. Як підтверджують багато досліджень, перевагами є більш стійкий рух ножового барабана, менша гребнистість дна, більша продуктивність та ін. Однак при зворотному фрезеруванні перед фрезерним барабаном спостерігається значний винос ґрунту та утворення земляного валика, що призводить до погіршення вирівняної поверхні ґрунту і збільшення енерговитрат. У зв'язку з цим необхідно визначити вплив кута встановлення ножів на процес утворення земляного валика.

Основне призначення машини-різання гілок плодкових дерев і перемішування з ґрунтом. Вивчення цього процесу є необхідним етапом перед проектуванням. При цьому необхідно знати величину сили різання, що діє на лезо ножа під час впровадження деревини.

Сила різання при подрібненні садових обрізків залежить від питомої сили різання гілок і ширини різання

$$P = P_{nc} \cdot b, \quad (2.1)$$

де P_{nc} – питома сила різання, Н/мм;

b – ширина різання, мм.

При створенні будь-якого технічного засобу необхідно прагнути тому, щоб його енергоємність була мінімальною. Тому необхідно проаналізувати вплив на зусилля різання параметрів та режимів роботи машини.

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У зв'язку з вищевикладеним теоретичні дослідження зводилися до визначення та оптимізації:

- кута встановлення ножів на барабані;
- сил, що діють на ніж;
- конструктивних параметрів та режимів роботи машини.

2.2 Обґрунтування кута установки ножів на барабані

При роботі ножового барабана витягнутий ґрунт під дією відцентрової сили і власної ваги ковзає по ножах, здійснюючи складний рух: відносний (по робочій поверхні ножа) і переносний (з ножовим барабаном і машиною в цілому).

Аналізуючи основні можливі форми встановлення ножів – по прямій, з нахилом уперед, з нахилом назад (рис. 2.1), маємо:

при прямому розташуванні (рис. 2.1 а) – кут μ між відносною v_0 і переносною v_n , швидкостями дорівнює 90° , а абсолютна v_a швидкість визначається за формулою:

$$g_a = \sqrt{g_n^2 + g_0^2}, \quad (2.2)$$

при прямому розташуванні (рис. 2.1 б) – кут μ між відносною v_0 і переносною v_n , швидкостями більше 90° , а абсолютна v_a швидкість визначається за формулою:

$$g_a = \sqrt{g_n^2 + g_0^2 - 2 \cdot g_n \cdot g_0 \cdot \sin \gamma}, \quad (2.3)$$

при прямому розташуванні (рис. 2.1 в) – кут μ між відносною v_0 і переносною v_n , швидкостями менше 90° , а абсолютна v_a швидкість визначається за формулою:

$$g_a = \sqrt{g_n^2 + g_0^2 + 2 \cdot g_n \cdot g_0 \cdot \sin \gamma}. \quad (2.4)$$

З виразів (2.2) – (2.4) видно, що з відхиленою вперед робочої поверхні ножа, абсолютна швидкість більша і спрямована похило вгору. Отже, для зменшення виносу ґрунту перед ножовим барабаном і створення сприятливих умов подрібнення, збільшення сили, що зтягує, найбільш прийнятна форма установки ножа – відхилена вперед .

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 2.1 – Схема до визначення кута установки ножа на барабані

У загальному випадку процес руху частинок можна розділити на дві фази: рух частинки ножом і рух частинки після сходу її з ножа. Грунт із масиву витягується всієї робочої довжиною ножа і ґрунтові частинки, що поступили на ніж, рухаються по ньому до сходу. У міру сходу частинок з ножа на місце, що звільнилося, надходять частинки, що знаходяться далі від кінця ножа.

На частинку, що знаходиться на ножі, діють відцентрова сила F , вага частинки P і сила тертя T , що виникає від дії нормальних сил на робочій поверхні ножа. Положення частинок у будь-який момент часу визначається кутом повороту ножового барабана та місцем знаходження ножа. Для дослідження руху частки скористаємося спільним законом динаміки. Розглянемо частинку, що знаходиться в найбільш віддаленому положенні від кінця ножа в момент виходу його з ґрунту як вільну точку, що рухається під дією зазначених сил F , P і T в рухомій системі координат X_1BZ_1 (рис.2.2), де вісь X_1 , спрямована вздовж робочої поверхні ножа. Вважаємо при цьому, що частка B знаходиться на відстані від кінця ножа, що дорівнює глибині обробки.

Складемо диференціальне рівняння руху точки на ножі:

$$\frac{md^2x_1}{dt^2} = \sum F_{kx1}, \quad (2.5)$$

$$\sum F_{kx1} = m \cdot \omega^2 \cdot \frac{D}{2} \cdot \cos \gamma + m \cdot g \cdot \cos \alpha_p - f \cdot N, \quad (2.6)$$

де m – маса частинки, кг;

ω – кутова швидкість обертання ножового барабана, c^{-1} ;

g – прискорення сили тяжіння при вільному падінні, m/c^2 ;

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

f – коефіцієнт тертя частинки робочу поверхню ножа;

$$N = F \cdot \sin \gamma + P \cdot \sin(\omega \cdot t' + \gamma), \quad t' = t_\varphi + t_{cx}, \quad (2.7)$$

де t' – поточний час від положення повного заглиблення ножового барабана, с;

t_φ – час повороту радіуса ножового барабана від положення повного заглиблення до повного виходу з шару, с;

t_{cx} – час перебування частки на ножі з його повного виходу, с.

Після підстановок та перетворень рівняння (2.5) можна подати у вигляді:

$$\frac{m \cdot d \cdot v_{x1}}{d \cdot t} = m \cdot \omega^2 \cdot \frac{D}{2} \cdot (\cos \gamma - f \sin \gamma) + m \cdot g \cdot [\cos(\omega t' + \gamma) + f \cdot \sin(\omega \cdot t' + \gamma)]$$

Інтегруючи двічі цей вираз, визначимо шлях, пройдений частинкою.

Швидкість частинки:

$$g_{x1} = g \int \cos(\omega \cdot t' + \gamma) \cdot d \cdot t - f \cdot g \int \sin(\omega \cdot t' + \gamma) \cdot d \cdot t + \omega^2 \cdot \frac{D}{2} \cdot (\cos \gamma - f \sin \gamma) \int d \cdot t.$$

Виконавши заміну $\omega \cdot t' + \gamma = z$ і продиференціювавши $\omega \cdot d \cdot t = d \cdot z$,

$$d \cdot t = \frac{1}{\omega} \cdot d \cdot z,$$

отримаємо

$$g_{x1} = \frac{g}{\omega} \cdot \sin(\omega t' + \gamma) + \frac{g \cdot f}{\omega} \cdot \cos(\omega t' + \gamma) + \omega^2 \cdot \frac{D}{2} \cdot (\cos \gamma - f \cdot \sin \gamma) \cdot t + C_1.$$

Рисунок 2.2 – Рух частки ножом барабана

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Постійну C_1 можна визначити, задавшись початковими умовами – положенням та швидкістю частинки в початковий момент ($t_1 = 0$; $x_1 = 0$; $\dot{x} = 0$):

$$C_1 = \frac{g}{\omega} (\sin \gamma + f \cos \gamma).$$

Підставляючи значення постійної, отримуємо остаточний вираз швидкості частки:

$$\mathcal{G}_{x1} = \frac{g}{\omega} \cdot [\sin(\omega t' + \gamma) + \cos(\omega t' + \gamma)] + \omega^2 \cdot \frac{D}{2} \cdot (\sin \gamma + f \cos \gamma) \cdot t - \frac{g}{\omega} \cdot (\sin \gamma + f \cos \gamma).$$

Діючи за аналогією, замінимо $\sin \gamma + f \cdot \cos \gamma = A_2$, а $\sin \gamma - f \cdot \cos \gamma = A_1$.

Так як $\mathcal{G}_{x1} = \frac{d \cdot x_1}{d \cdot t}$, то інтегруючи рівність знайдемо

$$x_1 = \frac{g}{\omega} \cdot \int \sin(\omega t' + \gamma) \cdot d \cdot t + \frac{g}{\omega} \cdot (\sin \gamma + f \cos \gamma) \cdot d \cdot t + \omega^2 \cdot \frac{D}{2} \cdot A_1 \int t' dt - \frac{g}{\omega} \cdot A_2 \int dt,$$

або після заміни $\omega \cdot t' + \gamma = z$ та диференціювання,

$$x_1 = \frac{g}{\omega} \cdot [f \cdot \sin(\omega t' + \gamma) - \cos(\omega t' + \gamma)] + \omega^2 \cdot \frac{D \cdot A_1 \cdot t'^2}{4} - \frac{g}{\omega} \cdot A_2 \cdot t' + C_2.$$

Постійну інтегрування C_2 визначимо, задавшись початковими умовами: при $x_1 = 0$ та $t' = 0$,

$$C_2 = \frac{g}{\omega^2} \cdot A_1.$$

Тоді шлях, пройдений точкою на ножі,

$$x_1 = \frac{g}{\omega^2} \cdot [f \cdot \sin(\omega t' + \gamma) - \cos(\omega t' + \gamma)] + \omega^2 \cdot \frac{D \cdot A_1 \cdot t'^2}{4} - \frac{g}{\omega} \cdot A_2 \cdot t' + \frac{g}{\omega^2} \cdot (\cos \gamma - \sin \gamma).$$

Якщо величина x_1 виявиться більшою за довжину робочої поверхні ножа l_H , то ґрунтова частка буде відкинута в зону перед ножовим барабаном. І тут час сходу t_{cx} визначається умовою $x_1 = h$ або

$$l_n = \frac{g}{\omega^2} \cdot [f \sin(\omega t_{cx} + \gamma) - \cos(\omega t_{cx} + \gamma)] + \omega^2 \cdot \frac{D \cdot A_1 \cdot t'^2}{4} - \frac{g}{\omega} \cdot A_2 \cdot t_{cx} + \frac{g}{\omega^2} \cdot A_1.$$

звідки

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_{cx} = \sqrt{\frac{2l_n}{(\cos \gamma - f \sin \gamma) \cdot \left(\omega^2 \cdot \frac{D}{2} \right) + g}}. \quad (2.8)$$

Частка В, що надійшла на робочу поверхню ножа, зійде з неї через час t_{cx} . Її рух після сходу визначатиметься величиною і напрямом абсолютної швидкості на момент сходу. Якщо абсолютна швидкість руху частинки складає з напрямком руху ножового барабана кут $\alpha_{cx} < (\pi/2)$, то відбудеться утворення земляного валика перед ножовим барабаном. Якщо ж цей кут $\alpha_{cx} > (\pi/2)$, то частинки перекидатимуться через ножовий барабан в зону розташування задніх протиріжучих ножів.

Таким чином, напрямок швидкості частки в момент сходу з ножа визначається кутом α_{cx} , який щодо системи координат XOZ дорівнюватиме (рис.3.2):

$$\alpha_{cx} = \omega \cdot (t_\varphi + t_{cx}) + \gamma + \varphi_m, \quad (2.9)$$

φ_m – кут тертя частинок про робочу поверхню ножа, град.

При цьому кут повороту ножового барабана від нижчої точки трехоїди до положення виглиблення $\omega t_\varphi = \arccos\left(\frac{D}{2 \cdot R}\right)$.

З урахуванням сказаного вираз (2.9) набуде вигляду:

$$\alpha_{cx} = \omega \sqrt{\frac{2 \cdot R_\delta - D}{\left[\omega^2 \cdot \left(\frac{D}{2} \right) + g \right] \cdot (\cos \gamma - f \sin \gamma)}} + \arccos\left(1 + \frac{h}{R_\delta}\right) + \gamma + \varphi_m. \quad (2.10)$$

Вибір оптимального кута установки ножів вимагає, проведення чисельного моделювання процесу за виразом (2.10).

В результаті можна отримати залежності кута напрямку сходу частинок з ножа від швидкості обертання барабана та кута установки ножів – рис.2.3

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 2.3 – Залежність кута напрямку сходу частинок з ножа α_{cx} , град, від кута установки ножів на барабані γ до град (при $v = 8$ м/с) і швидкості обертання v (при $\gamma = 0^\circ$)

Аналіз залежностей показує, що швидкість швидкості обертання барабана на кут сходу незначно. Більше впливає кут установки: при $\gamma = 0^\circ$ матеріал перекидатиметься через барабан, а при меншому значенні, частина потраплятиме в зону перед ножовим барабаном, що тягне за собою збільшення енергоємності.

2.3 Аналіз кінематики робочих органів

При роботі подрібнюючої машини ножі здійснюють обертальний рух при поступальному русі агрегату міжряддям саду, що обумовлює криволінійність їх траєкторії в шарі деревини.

Дослідженнями Ю.І. Матяшина, І.М. Грінчука, О.О. Ємельянов та ін встановлено, що при напрямку обертання ножового барабана «знизу-вгору» (протилежно напрямку обертання коліс трактора) траєкторією руху точки ножа є подовжена циклоїда (трохоїда).

Абсолютна швидкість будь-якої точки ножа є геометричною сумою окружної $v_{ок}$ і поступальної v_n швидкостей (рис.2.4).

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 2.4 – Схема переміщення гілки до протирізального ножа

Проекції швидкості на осі координат можуть бути виражені параметричними рівняннями:

$$\begin{cases} \frac{dx'}{dt} = \mathcal{G}_n + \mathcal{G}_{ок} \cos \varphi \\ \frac{dz'}{dt} = \mathcal{G}_{ок} \sin \varphi \end{cases} \quad (2.11)$$

Окружна швидкість визначається за формулою: $\mathcal{G}_{ок} = \omega \cdot R_{\delta}$.

Після інтегрування виразу (2.11) отримуємо рівняння траєкторії точки ножа. Постійні інтегрування C і C_1 можна визначити, підставивши у ці рівняння значення початкових умов: $t=0; x'=0; z'=0$. Після цього отримуємо $C=0$ і $C_1=R_{\delta}$, а рівняння набудуть вигляду:

$$\begin{cases} x' = \mathcal{G}_n \cdot t + R_{\delta} \sin \omega t \\ z' = R_{\delta} - R_{\delta} \cos \omega t \end{cases}$$

Рівняння циліндричної поверхні гілки щодо осей ZOY (рис. 2.5) при прямому лезі ножа і розташуванні гілки під кутом $\psi > 0^\circ$ представляється виразом:

$$(y'')^2 + (z'')^2 = r^2.$$

Координати $X''Y''Z''$ та XYZ пов'язані між собою рівністю $(y \cdot \cos \psi)^2 + (z)^2 = r^2$,

де ψ – кут відхилення гілок від напрямку руху агрегату, град;

r – радіус гілки, що подрібнюється, м.

У системі XYZ координатне рівняння має вигляд:

$$\begin{cases} x' = \mathcal{G}_n \cdot t + R_0 \cdot \sin \omega t \\ z' = A - \frac{d}{\cos \xi'} - R_0 \cdot \cos \omega t \end{cases}$$

де A – підвищення осі барабана над протирижучою пластиною, м;

d – діаметр гілки, м;

ξ' – кут підйому гілки до протиризального ножа (рис. 2.5), град.

З рис.2.5 видно що $\xi' = \frac{A_z B_0}{B \cdot B_x}$, де $A_z B_0 = R - (A + h)$, $BB_x = B \cdot B_0 - B_x \cdot B_0$, де

$B_x B_0 = A \cdot A_x$ визначається за теоремою Піфагора: $AA_x = \sqrt{R_0^2 - A^2}$, тоді

$$\xi' = \arctg \frac{R_0 - (A + h)}{B - \sqrt{R^2 - A^2}}. \quad (2.12)$$

Рисунок 2.5 – Визначення кута ξ'

Рівнянням лінії, що обмежує поверхню різання, є рішення системи

$$\begin{cases} x' = \mathcal{G}_n \cdot t + R_0 \cdot \sin \omega t \\ z' = A - \frac{d}{\cos \xi'} - R_0 \cdot \cos \omega t. \\ (y \cdot \cos \psi)^2 + z^2 = r^2 \end{cases} \quad (2.13)$$

Ширина різання $b(t)$ визначається координатами Y двох точок, що є точками перетину лінії леза ножа з лінією, що задається системою (3.16).

$$b = y_2 - y_1. \quad (2.14)$$

Вирішуючи рівняння (2.14), отримаємо:

$$b = \frac{1}{\cos\psi} \cdot \sqrt{r^2 - \left(A - \frac{d}{\cos\xi'} \right)^2 - R_6 \cdot \cos\omega t}.$$

Тривалість процесу різання однієї гілки T можна знайти як $T = t_2 - t_1$, де початок t_1 і кінець різання t_2 визначимо з умови $b(t) = 0$.

$$t_1 = \frac{1}{\omega} \cdot \arccos \frac{A - d/\cos\xi_1}{R_6},$$

$$t_2 = \frac{1}{\omega} \cdot \arccos \frac{A}{R_6}.$$

Тоді

$$T = \frac{1}{\omega} \cdot \left(\arccos \frac{A}{R_6} - \arccos \frac{A - d/\cos\xi_1}{R_6} \right).$$

Отже, максимальна ширина різання:

$$b_{\max} = \frac{d}{\cos\psi}. \quad (2.15)$$

Розглянемо випадок, коли кут нахилу леза ножа η відрізняється від нуля. Лінія леза ножа описується виразом:

$$(y \cos \eta)^2 + (z \sin \eta)^2 = l_H^2, \quad (2.16)$$

де η – кут нахилу леза, град.

Вирішуючи спільно рівняння (2.15) і (2.16), визначимо координати точок перетину леза похилого ножа з поверхнею гілки при проходженні першого через вісь її перерізання плодового дерева, що відповідає максимальній ширині різання b_{\max}

$$b_{\max} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}, \quad (2.17)$$

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $x_2, x_1, y_2, y_1, z_2, z_1$ – координати, що отримуються при спільному розв'язанні рівнянь (.16) та (2.17).

Тоді

$$b_{\max} = \frac{d}{\cos\psi} \cos\eta. \quad (2.18)$$

Отже, розглядаючи кінематику руху ножів, отримаємо вираз для максимальної ширини різання (2.18), що впливає на силу різання (2.1).

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма та методика проведення досліджень

Важливим елементом технології подрібнення плодкових гілок є параметри тріски. Від її розмірів залежить тривалість розкладання деревини. Зароблена в ґрунт тріска повинна розкластися за час до наступного обрізання. Дослідження, що проводяться з розкладання промислової деревини, показують, що зниження клітковини починається при втраті 15 % маси (рис.3.1). Аналізуючи процес можна дійти невтішного висновку, що з руйнації деревини досить викликати розщеплення її полісахаридного складу. Лігнінорозкладна мікрофлора забезпечує ґрунт елементами живлення, що з'являються після відмирання целюлозорозкладних грибів. Це відбувається за втрати понад 50 % маси. Але досліджень з розкладання плодової тріски не проводилося.

Рисунок 3.1 – Зміна хімічного складу деревини у процесі розкладання

У пропонованій технології агрегат рухається по валку, сформованому робітниками під час обрізки. Тому необхідно знати розмірні характеристики.

стики зрізаних гілок та їх орієнтацію у валці залежно від типу саду та періодичності обрізки.

Однією з важливих передумов при створенні машин для подрібнення плодової деревини є знання певних властивостей матеріалу, що обробляється, що значною

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мірою визначає життєвість конструкції або технологічного процесу, що виконується нею. У разі необхідно знати фізико-механічні властивості обрізаних гілок. Будучи анізотропно-ортотропним середовищем, деревина будь-якої породи має суттєву відмінність показників міцності. Зумовлено це переважно впливом вологості.

Вивченню фізико-механічних властивостей деревини присвячені публікації робіт радянських та зарубіжних дослідників: Є.К. Ашкеназа, Ф.А. Белянскіг, Л.М. Перелітіна, П.М. Хухрянського, С.А. Воскресенського, С.Г. Лехніцького, В.Г. Токарева, В.М Волинського, В.В. Гамова, Ю.М. Іванова та інших.

Тищенко О.І. досліджував залежність величини тимчасового опору стиску вздовж волокон і перерізу від вологості для деревини плодових і ягідних порід: малини, агрусу, груші, вишні та яблуні. Було встановлено, що для деревини яблуні сорту «Папірування» межа міцності перерізання поперек волокон становить 36 МПа, а величина тимчасового опору деревини стиску уздовж волокон – 19,5 МПа. Як зразки використовувалася багаторічна деревина гілок. В результаті досліджень підтвердилася зворотна залежність величини показників механічних властивостей деревини різних порід від її вологості. Цінність отриманих результатів у тому, що з випробуваннях використовувалися зразки, виготовлені безпосередньо з гілок. У цьому досліджувалися зразки різних діаметрів 5...30 мм із кроком варіації 3 мм. У цій роботі також визначалися твердість та об'ємна вага плодової деревини. До недоліків методики проведення експериментів слід віднести дуже малий діаметр 5 мм зразків при випробуванні на стиск уздовж волокон.

Аналіз вищевикладеного показує, що попри численні дослідження фізико-механічних властивостей деревини, невивченими залишаються питання визначення таких показників як межі міцності на розтягування і стиск уздовж і поперек волокон, статичний вигин, сколювання уздовж волокон.

У нашій країні і там виконано ряд робіт, присвячених обґрунтуванню оптимальної методики проведення випробувань деревних матеріалів. На жаль, у садівництві відсутня єдина методика визначення фізико-механічних властивостей деревини.

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначенню коефіцієнта ковзання плодової деревини стали присвячені роботи ряду дослідників. Досліди проводилися на різних швидкостях переміщення, питомому тиску зразків та вологості деревини. Встановлено, що зі збільшенням вологості W садової деревини величина коефіцієнта тертя/збільшувалася. Для плодової деревини при $W = 20\%$ отримано $f = 0,44$; при $W = 60\%$, $f = 0,5$. При збільшенні відносної швидкості ϑ переміщення поверхонь, що труться, коефіцієнт ковзання на початку інтенсивно зростає і досягає максимального значення при $\vartheta = 15...17$ м/с. Збільшення питомого нормального тиску тягне за собою зменшення коефіцієнта тертя.

Важливим показником властивостей деревини є модуль пружності – міра жорсткості. Випробуваннями стандартних зразків плодової деревини встановлено, що величина модуля пружності E при вологості $W > 40\%$ для різних порід яблуні коливається в межах $4,8 \times 10^3...5,5 \times 10^3$ Мпа.

Перераховані вище механічні характеристики деревини отримані при статичних навантаженнях ділової деревини зниженої вологості $W = 10...30\%$. За даними ВНДІВ ім. Мічуріна середня вологість свіжозрізаних гілок в умовах центрально-чорноземного району в різні місяці коливається в межах $32,3...69,8\%$ для сорту «Синап», в межах $30,9...73,6\%$ для сорту «Тамбовське смугасте» та $39,5...66,7\%$ для сорту «Ренет Черненко».

Тому результати досліджень фізико-механічних властивостей плодової деревини не можуть бути застосовані з достатньою достовірністю для визначення енергетичних показників процесу різання.

У зв'язку з вищевикладеним для уточнення умов роботи та обґрунтування конструктивних параметрів машини програма досліджень передбачала визначення наступного:

- розташування валка в міжряддя саду (відхилень ширини валка від осі міжряддя);
- розмірні характеристики валка після обрізки в слаборослих садах (розподіл висоти валка по ширині, питомий обсяг деревини);

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- параметри гілок у валці (довжина, діаметр гілок, кут відхилення гілок від осі міжряддя);

- технологічні параметри тріски (вплив розміру тріски та глибини загортання на тривалість її розкладання);

- фізико-механічні властивості зрізаних плодкових гілок.

Методика досліджень передбачала визначення перерахованих показників у вигляді лабораторно-польових досліджень із застосуванням засобів вимірювань та приладів.

Для визначення відхилень валка від осі міжряддя, ширини та розподілу висоти валка по ширині використовували спеціально виготовлену лінійку (рис. 3.2), шнур довжиною 50 м, два кілочки, рулетку 5 м з ціною розподілу 0,5 см.

За допомогою рулетки визначали середину міжряддя і встановлювали мітки, через які протягували шнур. Потім по краях валка встановлювали вертикальні стійки 1 спеціальної лінійки до упору обмежують пластини 3 ґрунт. Далі, відпускаючи затяжні гвинти 4, переміщали горизонтальну рейку 2 до зіткнення з вершиною валка. Паралельність рейки 2 поверхні ґрунту перевіряли по поділах на вертикальних стійках 1. Мітку, розташовану на горизонтальній лінійці, встановлювали під шнуром (середина міжряддя) фіксуючи її положення гвинтами 5. По лінійці, розташованій на горизонтальній рейці 2, заміряли відхилення ширини валки вліво l_n і вправо l_n від осі міжряддя, але в вертикальній планці - максимальну висоту H валка.

Дослідження розподілу висоти валка по ширині проводили за допомогою рулетки 6, встановленої на пересувній платформі 7, розташованій на горизонтальній рейці 2. Виміри висоти валка проводили з інтервалом 0,3 м вліво та право від осі міжряддя. У площині виміру ширини та висоти валка за допомогою штангенциркуля заміряли діаметр гілок.

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.2 – До методики визначення розміщення валка в міжряддя саду та його розмірних характеристик

За результатами вимірів визначали площу, яку займають у перерізі валка деревиною, а також розподіл гілок різного діаметра по перерізу валка. Довжину обрізаних гілок вимірювали за допомогою рулетки, а діаметр штангенциркулем.

Розташування гілок щодо осі міжряддя визначали за допомогою кутоміра з похибкою 1° (рис. 3.3). Вплив розмірів тріски і глибини закладення на тривалість розкладання плодової деревини досліджувався на ґрунтах середньовищелоченого чорнозему (рис. 3.4). Для проведення дослідження плодова деревина різних сортів подрібнювалася на фракції: до 10 мм., від 10 до 30 мм., від 30 до 60 мм., від 60 до

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

100 мм. З використанням ваг з похибкою 5 г були заготовлені навіски тріски кожної фракції по 200 г, які закладалися в приготовлені ямки розміром 0,3×0,3 м глибиною від 0,05 до 0,07 м., 0,14-0,16 м., 0,23-0,25 м. і засипалися землею. Через кожні 6 місяців навішування вилучалися з землі, промивалися, підсушувалися до видалення поверхневої вологи і зважувалися.

Рисунок 3.3 – До методики визначення розташування гілок щодо осі міжряддя

Рисунок 3.4 – Схема проведення експерименту з визначення технологічних параметрів тріски

Фізико-механічні властивості деревини визначали для гілок плодкових дерев.

Для проведення дослідів із гілок виготовляли зразки у відповідності з рис. 3.5. Зразки виготовлялися з неуразеної деревини, що не містить тріщин. Відхилення від заданих розмірів визначали штангенциркулем з похибкою трохи більше 0,1 мм.

Для досягнення вологості гілок, що відповідає періоду весняного прибирання (30 %), проводили замочування зразків до їх повного насичення за методикою,

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

викладеною в роботі. Зразки поміщалися у воду таким чином, щоб їх верхній кінець залишався над поверхнею для вільного виходу повітря, прикривали сіткою і притискали вантажем. Вологість визначали методом висушування проб до постійної ваги при температурі 105° С.

Рисунок 3.5 – Форма та розміри зразків для випробування плодової деревини на міцність

Дослідження фізико-механічних властивостей плодової деревини проводили на розривній машині марки IP 5047-50-03 (рис. 3.6, 3.7), технічні характеристики якої представлені в додатку, що пройшла налагодження та тарування і забезпечує роздруківку результатів випробувань у вигляді діаграми в координатах навантаження – рух активного захоплення або деформація робочої ділянки зразка.

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.6 – Схема розривної машини

Визначення міцності при розтягуванні вздовж волокон (рис. 3.8), поперек волокон та сколюванні проводили після встановлення на розривній машині програми «розтяг до руйнування».

Випробуваний зразок закріплювався в затискачах, після чого давали навантаження при швидкості переміщення $V = 4$ мм/хв (відповідно до рекомендованих значень при випробуваннях деревини за ГОСТ 11492-65). Машина реєструвала зміни навантаження та подовження образів до їх руйнування.

Межа міцності визначалася за формулами:

$$\sigma_{роз\parallel} = \frac{P_{max\text{про}\parallel}}{s_1}, \sigma_{роз\perp} = \frac{P_{\max\text{роз}\perp}}{s_2}, \sigma_{ск} = \frac{P_{\max\text{ск}}}{s_3}, \quad (3.1)$$

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $\sigma_{роз\parallel}$, $\sigma_{роз\perp}$, $\sigma_{ск}$ – межа міцності відповідно при розтягуванні вздовж волокон, поперек волокон і сколювання вздовж волокон, Н/мм ;

$P_{maxpd\parallel}$, $P_{max\ роз\perp}$, $P_{max\ ск}$ – руйнівне навантаження відповідно вздовж волокон, поперек волокон та сколювання, Н;

S_1, S_2, S_3 – площа поперечного перерізу зразка в місці руйнування, мм².

Рисунок 3.7 – Загальний вигляд розривної машини IP 5047-50-03

Рисунок 3.8 – Визначення межі міцності при розтягуванні та сколювання

При визначенні міцності зразків на стиск уздовж і поперек волокон зразок встановлювався по центру опорної плити та натискного пристрою (рис. 3.8). Потім запускалася програма «стиск до руйнування» зразка з реєстрацією даних та виведенням їх на друкувальний пристрій.

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.9 – До методики визначення межі міцності при стисканні

Межа міцності визначалася за формулами:

$$\sigma_{cm\parallel} = \frac{P_{\max cm\parallel}}{S_4}, \quad \sigma_{cm\perp} = \frac{P_{\max cm\perp}}{S_4}, \quad (3.2)$$

де $\sigma_{cm\parallel}, \sigma_{cm\perp}$ – межа міцності відповідно при стисканні вздовж волокон, поперек волокон, Н/мм²;

$P_{\max cm\parallel}, P_{\max cm\perp}$ – руйнівне навантаження відповідно вздовж волокон, поперек волокон, Н;

S^2 – площа деформатора, мм².

Визначення межі міцності на статичний вигин проводився за схемою одноточкового навантаження (рис. 3.10). Радіус закруглення опор та ножа становив $R = 15$ мм. Ніж розташовувався посередині між опорами.

Рисунок 3.10 – До методики визначення межі міцності при згинанні

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відстань між останніми $t = 120$ мм. Запускаючи програму «стиск до руйнування», реєструвалися зміни параметрів зусилля та переміщення до руйнування.

Межа міцності обчислювалася за формулою:

$$\sigma_{зг} = \frac{3 \cdot P_{\max зг} \cdot t}{b \cdot h^2}, \quad (3.3)$$

де $\sigma_{зг}$ – межа міцності на статичний згин. Н/мм²;

$P_{\max зг}$ – руйнівне навантаження, Н;

t – відстань між опорами, мм;

b – ширина зразка, мм;

h – висота зразка, мм.

Обробку результатів досліджень було проведено із застосуванням методів статистичної оцінки. При цьому визначали: середнє арифметична M , помилка середнього арифметичного m , середня квадратичне відхилення σ , коефіцієнт варіації V досліджуваних параметрів. При знайденні крайніх значень параметра A ґрунтувалися на тому, що кінцевий інтервал довжиною $6\sigma(X)$ і серединою, що збігається з $M(X)$ практично (з ймовірністю 99,7 %) потрапляють усі можливі значення розподіленої за нормальним законом випадкової величини X .

3.2 Розмірні характеристики валків сучків після обрізки в садах

Результати досліджень розмірних характеристик валка обрізаних гілок у слаборослих насадженнях, зведені в табл. 3.1. та представлені на рис. 3.11.

Аналізуючи отримані результати, можна дійти невтішного висновку, що існуючі відмінності в параметрах залежать насамперед від сорту плодкових насаджень.

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Характеристика валок

Сорт яблуні з характеристиками насадження	Статистичні характ.	Висота валка Н, мм	Ширина валка		Ширина валка, l мм	Пагонна вага, кг/м
			Вліво від осі міжряддя, l _л мм	Вправо від осі міжряддя, l _п мм		
Уелсі (періодичність обрізки 2 р., схема посадки 6×4, підщепа 62-396)	М	706	1116	1133	2250	3,747
	± m	32,4	90,4	143	108,9	0,707
Жигулівське (періодичність обрізки 2 р., схема посадки 6×4, підщепа 62-396)	М	789	1370	1271	2644	6,438
	± m	65,7	131	67,2	128	1,236
Тамбовське смугасте (періодичність обрізки 2 р., схема посадки 6×4, підщепа 62-396)	М	701	1223	1267	2490	4,874
	± m	45,4	99,4	65,9	122,2	1,378
Мантуанське (періодичність обрізки 2 р., схема посадки 4×3, підщепа 54-118)	М	740	1094	1234	2329	4,645
	± m	42,2	76	76	119	1,304
Ренент Черненка (періодичність обрізки 2 р., схема посадки 4×3, підщепа 54-118)	М	757	1184	1179	2374	3,450
	± m	32,6	107,6	121	77,3	0,697

Рисунок 3.11 – Розподіл висоти валка по ширині міжряддя

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2 – Відсотковий вміст сучків за діаметрами гілок

Сорт дерева	Стат. характер.	Діаметр гілок					
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	Більше 50
Уелсі	M	57,7	32,2	6,3	1,6	0,8	0,5
	$\pm m$	3,57	3,56	1,92	1,71	1,21	0,86
	σ	4,49	4,44	2,34	1,87	1,52	1,4
Жигулівське	M	57,7	30,9	8,3	1,9	0,7	0,5
	$\pm m$	3,59	3,3	2,18	1,26	0,98	0,9
	σ	4,86	3,91	3,01	1,61	1,12	1,53
Тамбовське смугасте	M	55,7	34,6	6,8	1,3	1,2	-
	$\pm m$	2,18	3,92	2,16	1,43	1,62	-
	σ	3,56	4,78	2,84	1,56	1,97	-
Мантуанське	M	52,8	32,5	8,3	3,4	1,8	0,3
	$\pm m$	2,78	2,62	1,89	1,77	2,29	0,56
	σ	3,88	3,62	2,42	2,50	2,49	0,97
Ренет Черненко	M	57,9	32,7	8,0	1,1	0,4	-
	$\pm m$	3,62	30,7	2,54	1,44	0,71	-
	σ	4,18	3,62	3,05	1,64	1,2	-

Довжина гілок знаходиться в межах 0,62-1,71 м. Кут відходу гілок від комля має випадковий характер.

Результати дослідження розташування сучків у валку щодо його осі представлені у табл. 3.3.

Довжина гілок знаходиться в межах 0,62-1,71 м. Результати дослідження розташування сучків у валку щодо його осі представлені у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Розташування сучків за кутовими інтервалами

Сортд	Стат. характер.	Процентне відношення			
		0°-22,5°	22,5°-45°	45°-67,5°	67,5°-90°
Уелсі	M	24,5	25,4	22,4	28,7
	$\pm m$	5,6	3,96	3,19	8,19
	σ	6,38	5,03	4,08	9,26
	V	26,04	19,80	18,21	32,26
Жигулівське	M	22,6	25,4	20,5	31,5
	$\pm m$	4,70	3,81	3,87	6,73
	σ	5,73	5,08	4,71	8,14
	V	25,35	20,00	22,98	25,84
Мантуанське	M	24,8	23,1	20,0	28,4
	$\pm m$	2,74	2,91	5,21	4,76
	σ	3,76	4,29	6,92	6,45
	V	15,16	18,57	34,6	22,71

Аналіз таблиці показує, що кутовий параметр розміщення гілок у валку – випадковий показник. Їх розміщення приблизно поступово по всіх інтервалах.

3.3 Вплив розмірів тріски на тривалість її розкладання у ґрунті

Результати визначення втрати маси тріски, заробленої у ґрунт, зведені в табл. 3.4. та представлені на рис. 3.12.

Рисунок 3.12 – Вміст не розкладеної деревинної сировини, заореної в ґрунт

Залежність рис. 3.4 показує, що процес розкладання протікає в теплу пору року, а при знижених температурах (взимку) уповільнюється. Це зниженням діяльності дереворуйнівних мікроорганізмів. Уповільнення швидкості деструкції проявляється і зі збільшенням глибини загортання тріски. Так якщо плодова тріска на глибині 0,05-0,07 м розкладається на другий 52 %, то на глибинах 0,13-0,15 і 0,23-0,25 м менше відповідно, в 1,12 і 1,65 рази.

Дослідження впливу розміру фракцій на тривалість розкладання показало, що дрібні фракції розкладаються значно швидше, чим великі шматки: першого року в 1,42 разу, тоді як у другий у 1,37 разу.

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4 – Зміст плодової деревини, що не розклалася, заораної в ґрунт

Час контрол. виміру	Стати стичні харак.	Розмір фракцій (глибина загортання 0,05-0,07 м), мм				Глибина загортання (розмір фракцій 10-30 мм), м	
		До 10	10-30	30-60	60-100	0,13-0,15	0,23-0,25
10.2001.	$M \pm m$	55 ± 3	56,3 ± 3,42	59,3 ± 2,8	78,0 ± 3,2	60,3 ± 2,39	83,0 ± 2,0
	σ	3,9	4,1	3,3	3,82	3,12	2,54
	V	7,09	7,28	5,56	4,9	5,17	3,06
04.2002.	$M \pm m$	55,2 ± 2,2	55,7 ± 2,4	59,2 ± 3,1	77,8 ± 1,51	59,3 ± 2,47	83,5 ± 2,73
	σ	2,9	2,9	3,62	2,1	3,06	3,38
	V	5,25	5,21	6,11	3,34	5,16	4,05
10.2002.	$M \pm m$	46,5 ± 2,9	48 ± 3,2	52,2 ± 2,08	63,8 ± 2,42	53,5 ± 2,47	79,0 ± 1,93
	σ	3,5	3,8	2,8	3,26	3,11	2,28
	V	7,52	7,92	5,36	5,17	5,81	2,89

Отже, плодову тріску доцільно закладати в ґрунт не глибше 0,15 м із розміром фракцій не більше 60 мм.

Експериментальні установи.

Експериментальні дослідження проводилися в фермерському господарстві «Гарант» на спеціально виготовлених установках:

а) Лабораторна установка для оптимізації геометричних параметрів ножа для різання плодової деревини.

Установку виготовлено під базову розривну дослідницьку машину марки IP5 047-03. Експериментальна установка складається з наступних основних вузлів (рис.3.13): нерухома плита 1, до якої кріпиться ножова головка 2, куди встановлюються змінні ножі 3 з різними геометричними параметрами. Нижня рухома плита 6 кріпиться до рухомого траверсу 9, розривної машини, де закріплений датчик 10 зусилля, параметри з якого реєструються комп'ютером. На плиту 6 встановлюється кріпильна платформа 5, що служить для закріплення плодової гілки за допомогою притискної пластини 4. До стійки 7, встановленої на плиті 6, кріпляться знімні пластини різної довжини, що дозволяє змінювати кут подачі гілки до ножа.

Експериментальна установка для оптимізації геометричних параметрів ножа має такі технічні характеристики:

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальний робочий хід	200 мм
Діаметр гілок, що перерізаються,	5...50 мм
Кут нахилу гілки	0...30°
Максимальне зусилля різання	50 кН
Потужність приводу	1,2 кВт
Маса	,7 кг

Рисунок 3.13 – Схема експериментальної установки оптимізації
геометричних параметрів ножа

Загальний вигляд експериментальної установки наведено на рис.3.14.

Рисунок 3.14 – Загальний під експериментальної установки

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

б) Лабораторна установка для дослідження енергетичних і якісних показників подрібнення плодово-гілкового матеріалу. Установка (рис. 3.15) складається з рами 1, закріпленого на ній ножового барабана 3, протирізальних ножів 2, які можна встановлювати як перед барабаном, так і за ним і бункера 4. Привід здійснюється від електродвигуна 5 $N = 15$ кВт, $n = 2910$ об/хв через понижувальну редуктор 6 $i = 7$, ланцюгову передачу 7 $i = 2$ і варіатор 8, з передатним числом $i = 0,5 \dots 3$.

Для подачі деревного матеріалу на рамі змонтовано транспортуючий пристрій 9, на якому встановлений притискний барабан 10. Привід транспортера здійснюється від електродвигуна 11 $N = 1,5$ кВт, $n = 920$ об/хв через черв'ячний редуктор 13 $i = 26$ і клинопасову передачу 12. Швидкість транспортера змінюється за допомогою зміни шківів.

Необхідні рівні варіювання факторів забезпечувалися таким чином:

- для зміни розміщення ножів на барабані диски мають безліч отворів по радіусу, що дозволяє переміщати ножі з кроком один щодо іншого;
- зміна розташування та схеми встановлення протирізальних ножів – за рахунок вільного їх переміщення по установчій планці;
- варіювання швидкістю обертання ножового барабана здійснювалося за допомогою варіатора, а транспортера за рахунок змінних шківів.

Діаметр подрібнюваних гілок замірявся штангенциркулем з точністю до 0,1 мм.

Технічні характеристики експериментальної установки:

Діаметр ножового барабана	0,580 мм
Довжина транспортера	2,8 м
Кут заточування ножів:	
по передній грані	30°
по задній грані	30°
Діаметр гілок, що подрібнюються	5...50 мм
Потужність приводу ножового барабана	15 кВт
Потужність приводу транспортера	1,5 кВт

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.15 – Схема експериментальної установки дослідження енергетичних показників

Загальний вид установки подано на рис.3.16. Прилади та апарати, що застосовуються у дослідженні. Відповідно до програми при дослідженні впливу на процес геометричних параметрів ножів вихідний контрольованою величиною прийнято зусилля різання.

Для реєстрації даного параметра використовувався датчик 1925-IC-M1, що входить до комплекту розривної машини марки IP 5047-03, система вимірювання та реєстрації даних (рис.3.17).

Датчик тензорезисторної сили видає сигнал пропорційний прикладеному до нього зусиллю розтягування або стиснення. Перетворювач сигналів перетворює

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вихідний сигнал датчика уніфікований сигнал напруги постійного струму 0-10 Вт при $R = 2$ кОм. Далі сигнал надходить у цифровий прилад, де з аналогового перетворюється на двійково-десятковий код. Потім інформація про випробування подається на цифрове табло або ЕОМ.

Похибка вимірювання навантаження визначається за формулою:

$$\delta = \pm \left[1 + 0,5 \left(\frac{0,1 \cdot x_k}{x} - 1 \right) \right], \quad (3.4)$$

де x_k – верхня межа виміру на даному діапазоні виміру;

x – значення вимірюваного навантаження.

Контроль загострення ріжучих елементів здійснюється методом викладеним у роботі.

Рисунок 3.16 – Вид установки

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При визначенні енергоємності процесу на лабораторно-дослідному стенді (рис. 3.16) використовувалася тензометрична апаратура, що складається з самописця ЕН3001-3 для вимірювання та безперервного запису струму та напруги в ланцюгах постійного струму та ротаційного динамографа «ДЕК» (рис. 3.18). Живлення здійснюється від електричної мережі через блок, що перетворює змінний струм на постійний напругою 27 В.

Рисунок 3.17 – Схема системи вимірювання та реєстрації

Рисунок 3.18 – Схема системи вимірювання та реєстрації

Перед початком і після закінчення дослідів проводилася тарування динамографа в триразовій повторності.

Вимірювальне обладнання представлено на рисунок 3.19

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.19 – Вимірювально-реєструюче обладнання

3.4 Оптимізація геометричних параметрів ножів і кута нахилу гілки в момент перерізання

Згідно з результатами теоретичних досліджень встановлено, що основними факторами, що впливають на питому силу різання, є: кут заточування ножа по передній $\delta_n(x_1)$ та задній $\delta_3(x_2)$ гранях; кут нахилу гілки $\eta(x_3)$ у момент перерізання; кут нахилу леза ножа $\eta(x_4)$. Значення факторів та рівні їх варіювання представлені в табл. 3.5.

Дослідження проводили на експериментальній установці (рис. 3.13) з метою оптимізації питомої сили різання, яка визначалася за формулою:

$$P_n = \frac{P_{\max}}{b_{\max}}, \quad (3.5)$$

де P_{\max} – максимальна сила за період різання, Н;

b_{\max} – максимальна ширина різання, обчислювалася за формулою,

$$b_{\max} = \frac{d}{\cos \xi}, \quad (3.6)$$

де d – діаметр гілки, мм;

ξ – кут нахилу гілки до горизонтальної площини.

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.5 – Фактори та рівні їх варіювання

№ п/п	Рівні варіювання	Фактори			
		Кут заточування ножа		Кут нахилу гілки, ξ, x_3	Кут нахилу леза ножа, η, x_4
		по передній грані, δ_n, x_1	по задній грані, δ_3, x_2		
1	Основний рівень ($x_i = 0$)	30°	30°	10°	17°
2	Верхній рівень ($x_i = +1$)	40°	40°	15°	20,5°
3	Нижній рівень ($x_i = -1$)	20°	20°	5°	13,5°
4	Інтервал варіювання Δx_i	10°	10°	5°	3,5°
5	Зіркові точки $x_i = +2$ $x_i = -2$	50° 10°	50° 10°	20° 0°	24° 10°

Як постійні фактори були прийняті радіус закруглення леза, порода плодової деревини, товщина ножа, швидкість різання.

Порядок дослідів з метою зменшення систематичної помилки рандомізувався за таблицею випадкових чисел та представлений у табл. 3.6.

Необхідна кількість повторностей дослідів $n = 3$ визначалася за таблицею, при довірчій ймовірності 0,95 та граничній помилці $E = \pm 3\sigma$.

3.5 Оптимізація конструктивних та технологічних параметрів машини

Мета експерименту – визначення впливу режимів роботи подрібнювача обрізаних гілок плодових дерев на енергетичні та якісні показники роботи.

Основними незалежними факторами було обрано розміщення ножів на барабані, розміщення протиріжучих ножів, а також швидкість обертання ножового барабана. З урахуванням обґрунтованих технологічних параметрів тріски (див. розділ 2), прийнятої в діапазоні – 30...60 мм, швидкісний параметр машини $\lambda = v_{ok} / v_n = 11,4$ вичерпували постійним. Для забезпечення цього за зміни окружної швидкості відповідно змінювали і поступову швидкість руху транспортера з плодовими гілками.

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Варіанти дослідів включали:

$$N = f(x_1; x_2; x_3), l_{cp} = f(x_1; x_2; x_3), \quad (3.7)$$

де x_1 – розміщення ножів на барабані: ряд; по похилій, одинарно; по похилій, попарно; у шаховому порядку, попарно; у шаховому порядку, одинарно;

x_2 – розміщення протирізальних ножів: передні ножі поспіль; передні та задні ножі поспіль; передні ножі зі зміщенням щодо задніх; передні та задні ножі з інтервалом; передні ножі з інтервалом;

x_3 – окружна швидкість барабана.

Під час проведення дослідів самописцем фіксували дані про крутять моменти на валу ножового барабана. Отримані дані оброблялися на персональному комп'ютері методами математичної статистики за допомогою програми «Statistica».

Потужність процесу визначалася за виразом:

$$N = M_{kp} \cdot \omega = \frac{2 \cdot M_{kp} \cdot v_{ok}}{D}, \quad (3.8)$$

де M_{kp} – крутний момент, що реєструється під час проведення досвіду;

D – діаметр ножового барабана;

v_{ok} – швидкість обертання барабана.

Крутний момент знаходили з виразу:

$$M_{kp} = h_0 \cdot k_i, \quad (3.9)$$

де h_0 – максимальна відстань кривої самописця від нульової лінії, мм;

k_i – коефіцієнт тарування.

Продуктивність визначалася із співвідношення маси деревини, що подається, що визначається перед проведенням досвіду, і часом протікання процесу подрібнення.

Визначення впливу на довжину різання змінних X_i проводилося в наступній послідовності:

- Після експерименту вся подрібнена маса сортувалася за допомогою комплекту сит за класами довжини: $l_1 < 60$ мм; $l_2 = 60 \dots 100$ мм; $l_3 > 100$ мм.

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Середня довжина різання в одному досвіді визначалася з виразу:

$$l_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i \cdot l_i}{N}, \quad (4.7)$$

де n_i – кількість частинок і класу;

N – загальна кількість частинок у досвіді.

Таблиця 3.6 – Матриця планування експерименту з оптимізації геометричних параметрів ножів та кута нахилу гілки в момент перерізування

№ досліду	№ реалізації	Фактори			
		X_1	X_2	X_3	X_4
1	16	-1	-1	-1	-1
2	29	+1	-1	-1	-1
3	9	-1	+1	-1	-1
4	11	+1	+1	-1	-1
5	7	-1	-1	+1	-1
6	25	+1	-1	+1	-1
7	27	-1	+1	+1	-1
8	3	+1	+1	+1	-1
9	21	-1	-1	-1	+1
10	5	+1	-1	-1	+1
11	6	-1	+1	-1	+1
12	15	+1	+1	-1	+1
13	20	-1	-1	+1	+1
14	14	+1	-1	+1	+1
15	12	-1	+1	+1	+1
16	19	+1	+1	+1	+1
17	8	-2	0	0	0
18	10	+2	0	0	0
19	4	0	-2	0	0
20	2	0	+2	0	0
21	31	0	0	-2	0
22	24	0	0	+2	0
23	13	0	0	0	-2
24	22	0	0	0	+2
25	18	0	0	0	0
26	30	0	0	0	0
27	1	0	0	0	0
28	26	0	0	0	0
29	17	0	0	0	0
30	23	0	0	0	0
31	28	0	0	0	0

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Оптимізація геометричних параметрів ножів та кута нахилу гілки до перерізаня

Дослідження проводилися на гілках плодкових дерев у відповідності з планом експериментів.

На початку процесу впровадження ножів відбувається пластична деформація деревини в зоні контакту, впровадження ножа супроводжується вигином гілки, зміщення шарів матеріалу від впливу граней не спостерігалось.

Перевірка однорідності дисперсії дослідів проводилася за критерієм Кохрена. Результати показали, що з рівні значимості $\alpha = 0,05$, числі ступенів свободи $f_1 = 2$ і $f_2 = 31$ розрахункове значення критерію становило $G_{роз} = 0,074935$, а табличне $G_{таб} = 0,198$. Тому з ймовірністю $p = 1 - \alpha = 0,95\%$ ми можемо стверджувати, що дисперсії повторностей у рядках однорідні.

Розрахунок коефіцієнтів регресії дозволив отримати наступне рівняння кодованих змінних:

$$y = 223,1 + 37,238 \cdot x_1 + 44,16 \cdot x_2 + 8,132 \cdot x_3 + 0,042 \cdot x_4 - 29,688 \cdot x_1 \cdot x_2 + 7,938 \cdot x_1 \cdot x_3 + 1,563 \cdot x_1 \cdot x_4 + 3,063 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,563 \cdot x_2 \cdot x_4 + 4,563 \cdot x_3 \cdot x_4 + 18,756 \cdot x_1^2 + 18,756 \cdot x_2^2 + 29,115 \cdot x_3^2 + 19,879 \cdot x_4^2 \quad (4.1)$$

Значення коефіцієнтів x_i у кодованому масштабі пов'язані з натуральними за наступною залежністю:

$$\chi_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i}, \quad (4.2)$$

де χ_i – кодоване значення фактора;

x_i – натуральне значення фактора;

x_{i0} – натуральне значення фактора на нульовому рівні;

Δx_i – натуральне значення інтервалу варіювання.

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді

$$\begin{aligned} \chi_1 &= \frac{\delta_n - 30^\circ}{10^\circ}, \chi_2 = \frac{\delta_3 - 20^\circ}{10^\circ}, \chi_3 = \frac{\eta - 17^\circ}{3,5^\circ}, \\ \chi_4 &= \frac{\xi - 10^\circ}{5^\circ}. \end{aligned} \quad (4.3)$$

Рівняння регресії з натуральними показниками, без урахування малозначимих коефіцієнтів, набуде вигляду:

$$\begin{aligned} P_n &= 322,82 + 3,7238 \cdot \delta_n + 4,416 \cdot \delta_3 + 1,6264 \cdot \xi - 0,29688 \cdot \delta_n \cdot \delta_3 + \\ &+ 0,1588 \cdot \delta_n \cdot \xi + 0,0163 \cdot \xi \cdot \delta_3 + 0,206 \cdot \eta \cdot \xi + 0,18756 \cdot \delta_n^2 + \\ &+ 0,18756 \cdot \delta_3^2 + 1,165 \cdot \xi^2 + 1,615 \cdot \eta^2 \end{aligned} \quad (4.4)$$

тут δ_n – передній кут заточування, град;

δ_3 – задній кут заточування, град;

ξ – кут нахилу гілки в момент перерізання, град;

η – кут нахилу леза ножа, град.

Адекватність моделі перевіряли за F-критерієм (критерієм Фішера).

Табличні значення критерію Фішера взяті при 5%-му рівні значущості та ступенях свободи $f_1 = 26$ і $f_2 = 62$. У результаті встановлено розрахункове значення критерію $F_{роз} = 1,3242$, яке менше табличного $F_{таб} = 1,7$, що свідчить про адекватність моделі, описаної рівнянням регресії другого порядку.

Для оцінки впливу змінних чинників на потрібний критерій проаналізуємо рівняння регресії в кодованих змінних. Найбільш значущим факторами є x_1 та x_2 з коефіцієнтами регресії при членах $b_1 = 37,238$ та $b_2 = 44,16$. Позитивний знак перед b_1 та b_2 вказує на те, що зміна x_1 та x_2 викликає збільшення критерію оптимізації. Коефіцієнт b_{12} подвійної взаємодії також є значним. Це означає, що дія одного з кутів заточування залежить від іншого. Негативне значення цього коефіцієнта показує, що збільшенню критерію сприяє поєднання факторів на різних рівнях.

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливість впливу угла нахилу леза x_4 полягає в малій значимості лінійного коефіцієнта $b_4 = 0,042$ у порівнянні з квадратичним $b_{44} = 19,879$, який спостерігається і у x_3 – кута нахилу гілки до перерізання.

Прийнявши постійними деякі фактори з діючих, аналізували залежність питомої сили різання від геометричних параметрів леза і кута нахилу гілки до перерізання $P_n = f(\delta_n, \delta_3, \zeta, \eta)$. На рис. 4.1 представлено двомірне переріз залежності сили різання від δ_n і δ_3 , але в рис. 4.2 – Залежність сили різання від кута нахилу леза η і кута підйому гілки до перерізання.

Як було сказано вище, найбільш значущими факторами є кути заточування ножа. Аналізуючи графік (рис. 4.1 а), видно, що при кутах від 10° до 35° відбувається плавне, незначне, збільшення питомої сили різання, а в подальшому – більш круте сходження як в залежності від кута заточування по передній, так і по задній межі ножа. Застосування ножів з двостороннім заточуванням не має великого впливу на збільшення питомої сили різання в порівнянні з ножами з одностороннім заточуванням. З огляду на умови напрацювання ножа до технічного обслуговування, тобто. до заточування (рис. 4.1 б) і мінімізації питомої сили різання оптимальними геометричними параметрами є кути δ_n і δ_3 , в діапазоні $24^\circ \dots 32^\circ$.

Рисунок 4.1 – Залежність питомої сили різання P_n від кута заточування ножа по передній δ_n і задній δ_3 , гранях

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз залежності питомої сили різання від кута нахилу леза кута нахилу гілок до перерізання (рис. 4.2) показує, що оптимальне значення функція набуває в нижній точці графіка при куті нахилу леза ножа в діапазоні від 14° до 19° та куті нахилу гілки до перерізання від 8 до 12° . Отже, враховуючи вираз (2.12), розміри ножового барабану і глибину обробітку ґрунту, протиріжучі ножі слід встановлювати на висоті нижче осі барабана на $0,02...0,08$ м.

Рисунок 4.2 – Залежність питомої сили різання P_n від кута нахилу леза η і кута нахилу гілок до перерізання ξ'

4.2 Вплив конструктивних параметрів машини на енергоємність процесу та параметри тріски

Дослідження впливу режимів роботи подрібнювача обрізаних гілок та його конструктивних особливостей на енергетичні та якісні показники дозволило отримати наступні залежності (рис. 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 та табл. 4.1, 4.2, 4.3, 4.4).

Аналіз табл. 4.1 показує, що при похилому розміщенні ножів на барабані (рис. 4.3 б, в) отримуємо найменші навантаження, порівняно з розташовуванням в ряд (рис. 4.3 а). Це пов'язано з тим, що одноразова площа

матеріалу, що перерізається різна. При розташуванні ножів у ряд різання протікає по всій ширині барабана, а при похилому становить відношення ширини

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

різання на синус кута установки. При похилому розміщенні ножів попарно (рис. 4.3 в) або поодинокі (рис. 4.3 б) розбіжність енергетичного навантаження на машину незначна. Процес різання при розташуванні в ряд (рис. 4.3) протікає стрибкоподібно, а при похилому розташуванні – протягом всього періоду обороту барабана. У цьому випадку в процесі обертання барабана в робочій зоні знаходиться постійна кількість ножів. Також стрибкоподібне навантаження спостерігається при шаховому розміщенні ножів (рис. 4.3 г, д).

Таблиця 4.1 – Залежність енергоємності процесу від розміщення ножів на барабані

Параметр	Схема розміщення ножів на барабані				
	В ряд	За похилою, одинарно	По нахилу, попарно	У шаховому порядку, попарно	У шаховому порядку, одинарно
Потужність N, кВт	8,2	6,0	6,3	7,7	7,6

При прямолінійному розміщенні ножів на барабані спостерігається найбільша кількість тріски фракцій розміром до 60 мм (рис. 4.4). Розміщення ножів по похилій одинарно і попарно тягне до зниження фракцій розміром до 60 мм, відповідно, на 7,46 % та 5,54 %. Значне зниження спостерігається при розміщенні у шаховому порядку, що пов'язане зі збільшенням зазору між сусідніми ножами.

Рисунок 4.3 – Діаграми зміни крутного моменту в залежності від розміщення ножів на барабані

Рисунок 4.4 – Залежність технологічних параметрів від розміщення ножів на барабані

В результаті дослідження впливу розміщення протиріжучих ножів (рис. 4.5) на технологічні параметри тріски встановлено, що застосування тільки передніх протиріжучих ножів дозволяє максимально отримати 58-60 %) фракції до 60 мм, установка задніх протиріжучих ножів підвищує вихід тріски розміром до 60 мм на 28-34,6 %. Велике відсоткове вміст тріски, розміром понад 60 мм, тягне до утруднення виконання наступних технологічних операцій з догляду за садом, що дозволяє зробити висновок про необхідність застосування додаткових протиріжучих ножів. Однак їх застосування веде до збільшення енергоємності процесу подрібнення в середньому на 36,4 % (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Залежність енергоємності процесу від розміщення протирізальних ножів

Параметр	Схема розміщення ножів на барабані				
	Передні ножі поспіль	Передні та задні ножі поспіль	Передні ножі зі зміщенням щодо задніх	Передні та задні ножі з інтервалом	Передні ножі з інтервалом
Потужність N, кВт	5,5	8,2	6,3	6,6	4,1

Спільне використання передніх та задніх протиріжучих ножів є найбільш перспективною конструкцією.

Установка передніх ножів зі зміщенням щодо задніх дозволяє отримати 74 % необхідної фракції. Це на 2,6 % менше порівняно із встановленням поспіль, але енергетичні показники знижуються на 23,2 %. Таким чином, найкращою схемою розміщення протиріжучих ножів є установка передніх і задніх зі зміщенням.

Рисунок 4.5 – Залежність технологічних параметрів тріски від розміщення протиріжучих лез

Далі були проведені додаткові експерименти із поєднанням оптимальних схем встановлення ножів на барабані та протиріжучих ножів на рамі (рис. 4.6).

Таблиця 4.3 – Залежність енергоємності машини від поєднання схем установки ножів

Параметр	Схема розміщення ножів на барабані			
	1	2	3	4
Потужність N, кВт	5,4	5,5	5,56	5,8

Розміщення ножів (рис. 4.6): 1 – розміщення ножів на барабані по похилій одинарно, а протиріжучих передніх ножів зі зміщенням щодо задніх; 2 – розміщення ножів на барабані по похилій одинарно, а протиріжучих ножів з інтервалом; 3 – розміщення ножів на барабані похилою попарно, а протиріжучих передніх ножів зі зміщенням щодо задніх; 4 – розміщення ножів на барабані похилою попарно, а протиріжучих ножів з інтервалом.

Рисунок 4.6 – Залежність технологічних параметрів тріски від поєднання схем установки ножів

4.3 Оптимізація швидкості обертання ножового барабана

Наступний етап досліджень мав на меті оцінити вплив окружної швидкості обертання ножового барабана на розміри тріски та енергоємність процесу.

Співвідношення окружної та поступальної швидкостей витримувався рівним $\lambda = 11,4$ у кожній серії експериментів. Для забезпечення цього при зміні окружної швидкості відповідно змінювали поступальну швидкість руху транспортера з плодовими гілками.

В результаті обробки експериментальних даних (табл. 4.1), отримали такі моделі за відсотковим змістом довжини тріски:

$$l_1 = 66,28 + 42,03 \cdot \log(\mathcal{D}), \quad (4.5)$$

$$l_2 = 19,62 - 20,86 \cdot \log(\mathcal{D}), \quad (4.4)$$

де l_1 – відсотковий вміст довжини тріски фракції, $l_1 = 0 \dots 60$ мм;

l_2 – процентний вміст довжини тріски фракції понад 60 мм.

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дані щодо енергоємності процесу в залежності від окружної швидкості (табл. 4.4) описуються математичною моделлю:

$$N = 4,47 + 1,2 \cdot \vartheta. \quad (4.5)$$

Моделі (4.3)-(4.5) можна визнати адекватними при рівні значимості 0,05, оскільки отримані значення F-критерію менше табличних (табл. 4.4).

Для наочного уявлення про отримані результати останні представлені у вигляді графічних залежностей (рис. 4.7).

Аналіз залежностей дозволяє укласти таке. Зі збільшенням швидкості спостерігається зниження кількості великих фракцій внаслідок збільшення інерційних сил опору гілок вигину.

Енергоємність процесу прямо пропорційна окружній швидкості обертання робочого органу.

Таблиця 4.4 – Вплив швидкості обертання ножового барабана на енергоємність процесу та розміри тріски

Параметри		Швид- кість	Повторність			Середнє	Відхилення			Теоре- тичне	Відхи- лення	F- розр.	F- теор.
			1	2	3		1	2	3				
Відсоткове співвідношення довжини щепи	до 30	2	9,8	10,7	10,1	10,2	0,4	-0,5	0,1	10,2	0,07	1,2	4,1
		3	12,6	12,7	12,2	12,5	-0,1	-0,2	0,3	12,1	0,31		
		4	13,5	13,1	13,0	13,2	-0,3	0,1	0,2	13,3	0,11		
		5	13,2	13,6	13,4	13,4	0,2	-0,2	0	13,9	0,51		
		6	14,1	14,4	14,1	14,2	0,1	-0,2	0,1	14,1	0,07		
		S	-	-	-	-	-	0,07			-		
	від 30 до 60	2	68,5	64,5	68	67	-1,5	2,5	-1	67,2	0,22	0,06	
		3	74,8	75,3	77,9	76	1,2	0,7	-1,9	75,3	0,67		
		4	81,1	78,2	78,9	79,4	-1,7	1,2	0,5	79,9	0,51		
		5	81,9	80	84,7	82,2	0,3	2,2	-2,5	82,2	0,06		
		6	82,6	84	82,7	83,1	0,5	-0,9	0,4	82,9	0,13		
		S	-	-	-	-	-	2,91			-		
	від 60 і більше	2	11	12	12,4	11,8	0,8	-0,2	-0,6	11,7	0,03	0,4	
		3	11,3	11,3	12,2	11,6	0,3	0,3	-0,6	11,8	0,22		
		4	8	9,2	8	8,4	0,4	-0,8	0,4	7,9	0,45		
		5	4,2	3,6	4,2	4	-0,2	0,4	-0,2	4,3	0,38		
		6	2,5	2,6	3	2,7	0,2	0,1	-0,3	2,5	0,11		
		S	-	-	-	-	-	0,26			-		
Потужність N, кВт	2	6,75	6,9	6,75	6,8	0,1	-0,1	0,1	6,8	0,07	0,13		
	3	7,98	8,12	8,2	8,1	0,1	-0,2	-0,1	8,1	0,03			
	4	9,56	9,3	9,25	9,4	-0,3	0,1	0,2	9,2	0,13			
	5	10,6	10,7	9,9	10,4	0,2	-0,3	0,5	10,4	0,07			
	6	11,8	11,7	11,4	11,6	0,2	0,05	0,2	11,6	0,02			
	S	-	-	-	-	-	0,052			-		0,007	

Рисунок 4.7 – Залежність енергетичних параметрів машини та технологічних параметрів тріски від швидкості обертання ножового барабана

Отримані результати узгоджуються із дослідженнями інших авторів на різних с.г. культурах рослинного походження.

Таким чином, враховуючи висновки теоретичного дослідження, оптимальною швидкістю обертання ножового барабана можна вважати $v = 3,6$ м/с.

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Охорона праці

В Україні виникають щорічно тисячі важких надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, в наслідок яких гине велика кількість людей, а матеріальні збитки сягають кількох мільярдів гривень. Нині в багатьох областях України у зв'язку з небезпечними природними явищами, аваріями і катастрофами обстановка характеризується як дуже складна.

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільськогосподарського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці [15].

Умови праці – характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства.

Вимоги до устаткування.

1. Експлуатацію вантажопідіймальних кранів на фабриках гірничо-збагачувальних комбінатів здійснюють відповідно до Правил охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання, затверджених наказом Міністерства соціальної політики України від 19

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

січня 2018 року № 62, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 27 лютого 2018 року за № 244/31696.

2. Улаштування та експлуатацію ліфтів здійснюють відповідно до вимог Технічного регламенту ліфтів і компонентів безпеки для ліфтів, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 21 червня 2017 року № 438.

3. Посудини і балони високого тиску, які застосовуються на фабриках, повинні відповідати вимогам Технічного регламенту простих посудин високого тиску, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 28 грудня 2016 року № 1025.

4. Експлуатацію трубопроводів з рідинами та газами здійснюють відповідно до вимог Правил охорони праці в металургійній промисловості, затверджених наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 22 грудня 2008 року № 289, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 29 січня 2009 року за № 87/16103 (НПАОП 27.0-1.01-08).

4.2 Екологічна експертиза

Екологічна експертиза в Україні – вид науково-практичної діяльності спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці перед проектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, реалізація і дія яких може негативно впливати або впливає на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, і спрямована на підготовку висновків про відповідність та планованої чи здійснюваної діяльності нормам і вимогам законодавства про охорону навколишнього середовища, раціональне використання і відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки [25].

Завданням законодавства про екологічну експертизу є регулювання суспільних відносин в галузі екологічної експертизи для забезпечення екологічної безпеки, охорони навколишнього середовища, раціонального використання і

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відтворення природних ресурсів, захисту екологічних прав та інтересів громадян і держави.

Метою екологічної експертизи є запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях і об'єктах [27].

Основними завданнями екологічної експертизи є:

1) визначення ступеня екологічного ризику і безпеки запланованої чи здійснюваної діяльності;

1) організація комплексної, науково обґрунтованої оцінки об'єктів екологічної експертизи;

3) встановлення відповідності об'єктів експертизи вимогам екологічного законодавства, санітарних норм, будівельних норм і правил;

4) оцінка впливу діяльності об'єктів екологічної експертизи на стан навколишнього природного середовища, здоров'я людей і якість природних ресурсів;

5) оцінка ефективності, повноти, обґрунтованості та достатності заходів щодо охорони навколишнього природного середовища і здоров'я людей;

6) підготовка об'єктивних, всебічно обґрунтованих висновків екологічної експертизи.

Основними принципами екологічної експертизи є:

1) гарантування безпечного для життя та здоров'я людей навколишнього природного середовища;

2) збалансованість екологічних, економічних, соціальних інтересів та врахування громадської думки;

3) наукова обґрунтованість, незалежність, об'єктивність, комплексність, варіантність, превентивність, гласність;

4) екологічна безпека, територіально-галузева і економічна доцільність реалізації об'єктів екологічної експертизи, запланованої чи здійснюваної діяльності;

5) державне регулювання.

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єктами екологічної експертизи є проекти законодавчих та інших нормативно-правових актів, передпроектні, проектні матеріали, документація по впровадженню нової техніки, технології, матеріалів, речовин, продукції, реалізація яких може призвести до порушення екологічних нормативів, негативного впливу на стан навколишнього природного середовища, створення загрози здоров'ю людей.

Екологічній експертизі можуть підлягати екологічні ситуації, що склалися в окремих населених пунктах і регіонах, а також діючі об'єкти комплекси, що мають значний негативний вплив на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей. Військові, оборонні та інші об'єкти, інформація про які становить державну таємницю, підлягають екологічній експертизі відповідно до цього закону та інших спеціальних законодавчих актів України.

4.3 Техніко-економічне обґрунтування

Вихідні дані для розрахунку техніко-економічної ефективності представлені в таблиці 5.1 [18]. Розрахунок техніко-економічної ефективності представлений в таблиці 5.2.

Прийнято, що порівнювані дробарки працювали однакову кількість часу на подрібненні одного виду зерна.

Економічний ефект від застосування нової машини обумовлений підвищенням її продуктивності, зниженням метало- та енергоємності, а також зниженням витрат на технічне обслуговування і ремонт по порівнянню з базовою при однаковій встановленій потужності електродвигунів.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розрахунку техніко-економічної ефективності застосування дробарки

Показники	Позначення	Одиниця вимірювання	Базовий варіант	Нова модель
1. Ціна оптова	<i>C_о</i>	грн.	125000	120000
2. Коефіцієнт перекладу оптової ціни до балансової, що враховує витрати на поставку, збірку і регулювання машин	<i>m</i>	-	1,2	

3. Річна нормативне навантаження	T	год.	1100	
4. Продуктивність	W	т/год.	2,5	3,5
5. Кількість обслуговуючого персоналу	L	люд.	1	
6. Годинна тарифна ставка	$Ч$	грн./год	40	
7. Витрати на зберігання	$З_x$	грн./год	0,15	
8. Встановлена потужність	N	кВт.	22	
9. Вартість електроенергії	C_z	грн./кВт·год.	2,3	
10. Норма амортизаційних відрахувань	a	%	11,1	
11. Норма відрахувань на ремонт і технічне обслуговування	K_p	%	3,0	1,0
12. Коефіцієнт готовності за оперативному часу	K_o	-	1	
13. Середня ціна ячменю	C_p	грн./т.	4500	

Розрахунок техніко-економічної ефективності застосування дробарки з «дека-решетом» представлено в табл. 5.2.

Річний економічний ефект за приведеними витратами визначається за формулою:

$$E_p = [I_B + E \cdot K_B] - (I_H + E \cdot K_H) \cdot W \cdot T \cdot K_O, \quad (5.1)$$

де I_B, I_H – прямі експлуатаційні витрати на одиницю продукції по базовій і новій машині;

E – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень (0,15);

K_B, K_H – питомі капіталовкладення, грн./т;

W – продуктивність нової машини, т/год;

T – річне навантаження, год;

K_O – коефіцієнт використання оперативного часу.

Річний економічний ефект від використання дробарки з «дека-решетом» складатиме:

$$E_p = [43,99 + 0,15 \cdot 54,55] - (30,45 + 0,15 \cdot 37,40) \cdot 3,5 \cdot 1100 \cdot 1 = 62033 \text{ грн.}$$

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Термін окупності

$$T_{ок} = \frac{B}{\epsilon_T} = \frac{144000}{62033} = 2,3 \text{ роки.}$$

Енергетична оцінка дає можливість найбільш об'єктивно оцінити витрати сільськогосподарського виробництва в порівнянні з економічністю, яка істотно залежить від коливання ціноутворення і не дозволяє встановити рівень необхідних витрат енергії на подрібнення і технічний рівень розвитку технологій [19].

У даній роботі для оцінки енергетичної ефективності робочого процесу дробарки зерна використовували методику, наведену в [19].

Для порівняльної оцінки ефективності робочого процесу дробарки зерна використовували коефіцієнт енергетичних витрат:

$$K_{\epsilon} = \frac{E_{c.n.}}{E_{c.б.}}, \quad (5.2)$$

де $E_{c.n.}$ – сукупні витрати технологічного процесу, новою машиною, МДж / т;

$E_{c.б.}$ – базовий рівень сукупних витрат, МДж / т.

Таблиця 5.2 – Вихідні дані для розрахунку енергетичної ефективності дробарки зерна

Показники	Позначення	Числові значення варіантів	
		Базовий варіант	Новий варіант
Маса, кг	M	425	370
Продуктивність, т/год	Q_d	2,5	3,5
Встановлена потужність, кВт	$\sum N$	22	
Обслуговуючий персонал, чол.	C	1	
Добовий обсяг робіт, т	S	10	
Число днів роботи в році	$n_{дн}$	365	
Площа займана дробаркою, м	F	1,8	1,2

Сукупні витрати на технологічний процес в МДж/т визначалися за формулою:

$$E_C = E_{\Pi} + \frac{E_{Ж} + E_{ОБ} + E_{ПОМ}}{Q_d}, \quad (5.3)$$

де E_{Π} – прямі витрати енергії, МДж/т;

$E_{Ж}$ – витрати живої праці, МДж/год;

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

E_{OB} , $E_{ПОМ}$ – енергоємності обладнання та виробничого приміщення, МДж/год.

Прямі витрати енергії визначаються за формулою:

$$E_{П} = H_{e} + K_{e}, \quad (5.4)$$

Де H_{e} – витрата електроенергії, кВт·год/т;

K_{e} – коефіцієнт перекладу 1 кВт·год в 1 МДж, $K_{e} = 3,6$.

Витрата електроенергії при відсутності норм витрати визначається за формулою:

$$H_{e} = \frac{\sum N}{Q_{д}}. \quad (5.5)$$

Тоді прямі витрати енергії склали:

для базового варіанту

$$E_{П.Б} = \frac{22}{2,5} \cdot 3,6 = 31,68 \text{ МДж/т};$$

для нового варіанту

$$E_{П.Б} = \frac{22}{3,5} \cdot 3,6 = 22,63 \text{ МДж/т}.$$

Енерговитрати живого праці визначаються за формулою:

$$E_{Ж} = n_{ч} \cdot \alpha_{Ж}, \quad (5.6)$$

де $\alpha_{Ж}$ – енергетичний еквівалент витрат живого праці, $\alpha_{Ж} = 0,9$ МДж /чол-год.

Енерговитрати живого праці для базового і нового варіантів однакові і рівні:

$$E_{Ж} = 1 \cdot 0,9 = 0,9 \text{ МДж/год}.$$

Енергоємність, що припадає на 1 годину роботи обладнання, розраховуємо за формулою:

$$E_{OB} = \frac{e_{OB}}{T_{Г}}, \quad (5.7)$$

де $T_{Г}$ – річне завантаження лінії, год:

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\Gamma} = \frac{S}{Q_{\Gamma}} \cdot n_{\text{ДН}} \quad (5.8)$$

Загальна енергоємність обладнання, МДж:

$$E_{\text{ОБ}} = \alpha_{\text{ОБ}} \cdot M, \quad (5.9)$$

де $\alpha_{\text{ОБ}}$ – енергетичний еквівалент обладнання, $\alpha_{\text{ОБ}} = 104$ МДж/т.

Енергоємність, яка припадає на 1 годину роботи обладнання:

для базового варіанту

$$E_{\text{ОБ.Б}} = \frac{104 \cdot 0,425 \cdot 2,5}{10 \cdot 365} = 0,031 \text{ МДж/год};$$

для нового варіанту

$$E_{\text{ОБ.Б}} = \frac{104 \cdot 0,37 \cdot 3,5}{10 \cdot 365} = 0,037 \text{ МДж/год}.$$

Енергоємність виробничих приміщень визначали за формулою:

$$E_{\text{ПОМ}} = \frac{\alpha_{\text{ПОМ}} \cdot F}{100 \cdot T_{\Gamma}}, \quad (5.10)$$

де $\alpha_{\text{ПОМ}}$ – енергетичний еквівалент приміщення, $\alpha_{\text{ПОМ}} = 5025$ МДж/м².

Енергоємність виробничих приміщень:

для базового варіанту

$$E_{\text{ОБ.Б}} = \frac{5025 \cdot 1,8 \cdot 2,5}{100 \cdot 10 \cdot 365} = 0,062 \text{ МДж/год};$$

для нового варіанту

$$E_{\text{ОБ.Б}} = \frac{5025 \cdot 1,2 \cdot 3,5}{100 \cdot 10 \cdot 365} = 0,058 \text{ МДж/год}.$$

Після підстановки отриманих значень в (4.3) визначали сукупні витрати:

для базового варіанту

$$E_{\text{С.Б}} = 31,68 + \frac{0,9 \cdot 0,031 \cdot 0,062}{2,5} = 32,077 \text{ МДж/т};$$

для нового варіанту

$$E_{\text{С.Н}} = 22,63 + \frac{0,9 \cdot 0,037 \cdot 0,058}{3,5} = 22,91 \text{ МДж/т}.$$

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт енергетичних витрат згідно (4.2)

$$K_e = \frac{22,91}{32,077} = 0,71.$$

Рівень інтенсифікації розраховували за формулою:

$$I = (1 - K_e) \cdot 100, \quad (5.11)$$

$$I = (1 - 0,71) \cdot 100 = 29\%.$$

Таким чином, розроблена молоткова дробарка має сукупні витрати енергії на 29 % менше, ніж дробарка базового виробника, прийнята за базовий варіант.

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Технологія утилізації обрізаних гілок у садах методом подрібнення і закладення тріски, що одержується, в ґрунт дозволяє знизити втрати врожаю, підвищити повноту збирання гілок і використовувати обрізану біомасу для підвищення родючості ґрунтового покриву. Аналіз робочих органів машин для подрібнення деревних залишків показав, що найповніше вимогам запропонованої технології задовольняє ножовий барабан.

Розмірні характеристики валка в слаборослих садах, на напівкарликових 54-118 і карликових 62-396 підщепах віком від 10 років, знаходяться в межах: ширина 2,25-2,64 м, висота 0,70 - 0,85 м, погонна вага валка 3,45 - 6,43 кг/м. Діаметр зрізаних гілок варіює в інтервалі від 5 до 60 мм, проте близько 90% гілок мають діаметр трохи більше 30 мм. Максимальна межа міцності деревини яблуні при вологості близько 30 % спостерігається при розтягуванні вздовж волокон ($\sigma_{//}=75,96 \text{ Н/мм}^2$), а мінімальне значення - при розтягуванні поперек волокон ($\sigma_{\perp}=3,105 \text{ Н/мм}^2$).

Умови практично повного розкладання деревини за термін до наступної обрізки відповідають частинки тріски довжиною до 60 мм, зароблені в ґрунт на глибину не більше 0,15 м-коду.

Вплив швидкості обертання барабана v на кут сходження матеріалу з ножа незначний. Більше впливає кут установки ножів γ : при $\gamma=10^\circ$ матеріал перекидатиметься через барабан, а при меншому значенні – частина потраплятиме в зону перед ножовим барабаном, що спричинить збільшення енергоємності. Теоретично встановлено та експериментально підтверджено, що питома сила різання плодової гілки набуває мінімального значення при кутах δ_i двостороннього заточування граней ножів – 24° - 32° , вугіллі нахилу леза – 15° ... 20° , вугіллі підйому гілки до перерізання – 8° ... 12° .

Порівняння схем розміщення ножів на барабані та встановлення протиріжучих ножів показує, що при встановленні ножів на барабані похилою попарно, а задніх протиріжучих ножів зі зміщенням щодо передніх. Потужність, що

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

витрачається на подрібнення, мінімальна, і відсотковий вміст тріски довжиною до 60 мм задовольняє технологічному процесу.

Швидкість обертання барабана 3,6 м/с при поступальній швидкості агрегата 1,13 км/год забезпечує достатню продуктивність і не призводить до надмірного підвищення питомої енергоємності. При впровадженні нового агрегату для подрібнення і закладення тріски, що одержується, в ґрунт в колгоспі «Комсомолець» термін окупності становить 2,8 років

					КРМ.133ГМмз_21.08.000 ПЗ	Аркуш
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		