

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допущено до захисту

“ ” _____ 2025 p.

Зав. кафедри, д.т.н., професор

_____ Дідур В.В.

Кваліфікаційна робота (дипломна робота)

другий (магістерський)

(освітній рівень)

на тему **«ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ
РОТОРНОГО ПОДРІБНЮВАЧА РОСЛИННИХ РЕШТОК»**

Виконав: студент 2 курсу,

групи 22м-ім

Спеціальність 208

«Агроінженерія»

Віталій МІХАСІК

(прізвище та ініціали)

Керівник Андрій ВОЙТІК

(прізвище та ініціали)

Рецензент Ольга ДРОЗД

(прізвище та ініціали)

Умань – 2025

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Освітній рівень магістр

Спеціальність 208 «Агроінженерія»
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри

“ _____ ” Дідур В.В.
 “ _____ ” 2025 р.

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Міхасіку Віталію Сергійовичу
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження параметрів робочих органів роторного подрібнювача рослинних решток»

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“23” 04 2020 р. № 01-06/47

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: існуючі конструкції машини для подрібнення рослинних залишків.

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

аналіз існуючих конструкцій подрібнювачів рослинних залишків та їх робочих органів; теоретично дослідити параметри робочих органів подрібнювача рослинних решток з горизонтальною віссю обертання; розглянути кінематику взаємодії ножа горизонтально-роторного подрібнювача рослинних залишків зі стеблиною; дослідити питання охорони при виконанні механізованих операцій при вирощуванні сільськогосподарських культур, а також безпеку праці при подрібненні рослинних залишків; техніко-економічне обґрунтування роботи.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		

7. Дата видачі завдання 04.04.2025 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	04.04.25 р.	
2.	Розділ 1. Стан питання та задачі досліджень	05.05.25 р.	
3.	Розділ 2. Теоретичні дослідження параметрів робочих органів подрібнювача рослинних решток	04.06.25 р.	
4.	Розділ 3. Кінематика взаємодії ножа горизонтально-роторного подрібнювача рослинних залишків зі стеблиною	03.09.25 р.	
5.	Розділ 4. Охорона праці	01.10.25 р.	
6.	Розділ 5. Техніко-економічне обґрунтування	16.10.25 р.	
7.	Виконання презентаційної частини роботи	03.11.25 р.	
8.	Представлення роботи керівнику на перевірку	20.11.25 р.	

Студент

(підпис)

Віталій МІХАСІК

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

(підпис)

Андрій ВОЙТІК

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Міхасік В.С. Дослідження параметрів робочих органів роторного подрібнювача рослинних решток (Дипломна робота. Умань, Уманський національний університет, 2025: пояснювальна записка на 45 сторінках, у т.ч. 5 розділів, 15 рисунків, 3 таблиць, 16 джерел).

Об'єкт дослідження – механізований технологічний процес подрібнення рослинних залишків машиною з горизонтально-роторним робочим органом.

Мета роботи – удосконалити машину для подрібнення рослинних залишків шляхом обґрунтування оптимальних конструктивних та кінематичних її параметрів.

У першому розділі “Стан питання і задачі досліджень” наведено огляд конструкцій машин для подрібнення рослинних залишків. Сформовано задачі досліджень.

У другому розділі “Теоретичні дослідження параметрів робочих органів подрібнювача рослинних решток” отримано залежності впливу геометричних і кінематичних параметрів подрібнювача гілок на величину їх подрібнення, використання яких дозволило розрахувати раціональні параметри подрібнювача рослинних решток.

У третьому розділі “Кінематика взаємодії ножа горизонтально-роторного подрібнювача рослинних залишків зі стеблиною”, встановлено взаємозв'язок конструктивних параметрів ножового барабана, траєкторії руху ножів та фізико-механічних властивостей стеблини.

У четвертому розділі “Охорона праці” розглянуто стан охорони праці при роботі з машинними агрегатами, та, зокрема, зі знаряддями з активними робочими органами.

У п'ятому розділі “Техніко-економічне обґрунтування” розраховано основний ефект від запропонованого конструктивного удосконалення машини.
ПОДРІБНЕННЯ РОСЛИННИХ РЕШТОК, МУЛЬЧУВАЧ, ПОДРІБНЮВАЧ З ГОРИЗОНТАЛЬНИМ ВАЛОМ ОБЕРТАННЯ, РІЗАННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	7
1.1. Аналіз конструкцій ґрунтообробних машин з ротаційними робочими органами	7
1.2. Загальна характеристика мульчувачів рослинних залишків	8
1.3. Машини для подрібнення рослинних залишків	9
1.4. Висновки і завдання досліджень.....	16
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОДРІБНЮВАЧА РОСЛИННИХ ЗАЛИШКІВ	17
РОЗДІЛ 3 КІНЕМАТИКА ВЗАЄМОДІЇ НОЖА ГОРИЗОНТАЛЬНО- РОТОРНОГО ПОДРІБНЮВАЧА РОСЛИННИХ ЗАЛИШКІВ ЗІ СТЕБЛИНОЮ.....	34
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	34
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	39
ВИСНОВКИ.....	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	44

ВСТУП

Залишки соломи на полі — важливий елемент агроєкосистеми, який суттєво впливає на родючість ґрунту, водний режим і стійкість посівів. З огляду на сучасні вимоги сталого землеробства та зменшення витрат на синтетичні добрива, управління рослинними рештками набуває стратегічного значення: солома — не відходи, а цінний органічний ресурс, що повертає в ґрунт вуглець, поживні речовини та покращує його фізичні властивості. Подрібнення соломи прямо в полі — технологічно та економічно ефективний спосіб її інтеграції в ґрунтовий покрив. Дрібніші частинки швидше розкладаються мікроорганізмами, сприяють рівномірному розподілу органічної маси, знижують ризик утворення товстих шарів, які перешкоджають проростанню наступних культур, та полегшують наступні ґрунтообробні операції. Крім того, подрібнена солома краще зберігає вологу, зменшує випаровування і ерозію, забезпечує мульчуючий ефект і створює сприятливіші умови для ґрунтової біоти. Органічні речовини соломи живлять ґрунтові мікроорганізми й ґрунтову фауну, що підвищує активність мікробіологічних процесів, поліпшує структуру ґрунту (агрегацію), а отже — пористість, водопроникність і аерацію. Внаслідок мінералізації органіки поступово вивільняються азот, фосфор, калій та мікроелементи, що зменшує потребу в мінеральних добривах і підвищує довгострокову родючість. Особливо важливе це для легких та деградованих ґрунтів, де органіка виступає ключовим фактором відновлення продуктивності. Подрібнення й розподіл соломи також сприяють боротьбі з ерозією вітровою й водною, захищаючи поверхню ґрунту від прямого впливу дощу й сонця, знижуючи стік поверхневих вод і втрати частинок ґрунту. Це має позитивний вплив на якість ґрунтових ресурсів у масштабі господарства та басейну. Мульчування залишками знижує також динаміку росту бур'янів і пом'якшує коливання температурного режиму ґрунту, що корисно в періоди посухи чи післяжнивного охолодження. Водночас ефективність використання соломи залежить від правильних технологічних рішень: часу й методу подрібнення, розміру частинок, оптимального співвідношення C:N, умов

розподілу та подальшої обробки ґрунту. Неправильне управління (наприклад, залишення товстими пласками або накопичення великих неподрібнених мас) може стримувати азотну мінералізацію та ускладнювати сівбу наступних культур. Тому інтегрований підхід — поєднання подрібнення, правильного розподілу, дозованого внесення поживних речовин і адаптованих обробітків — забезпечує максимальну користь. Отже, збереження та ефективне використання соломи через її подрібнення і повернення в ґрунт — один із ключових заходів сталого землеробства. Це підвищує родючість і структурну стійкість ґрунтів, зменшує енергетичні та матеріальні витрати, сприяє скороченню викидів вуглецю і підвищує економічну рентабельність виробництва.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

Підвищення врожаю більшості культур є результатом застосування нових методів обробки ґрунту, захисту рослин, живлення рослин, а також нових ефективних гібридів [2]. Кількість поживних залишків також збільшується з ростом врожаю, і їх потрібно переробити. У зв'язку з цим постає питання розробили машину, яка здатна обробляти великий обсяг поживних залишків за один прохід.

1.1. Аналіз конструкцій ґрунтообробних машин з ротаційними робочими органами [3].

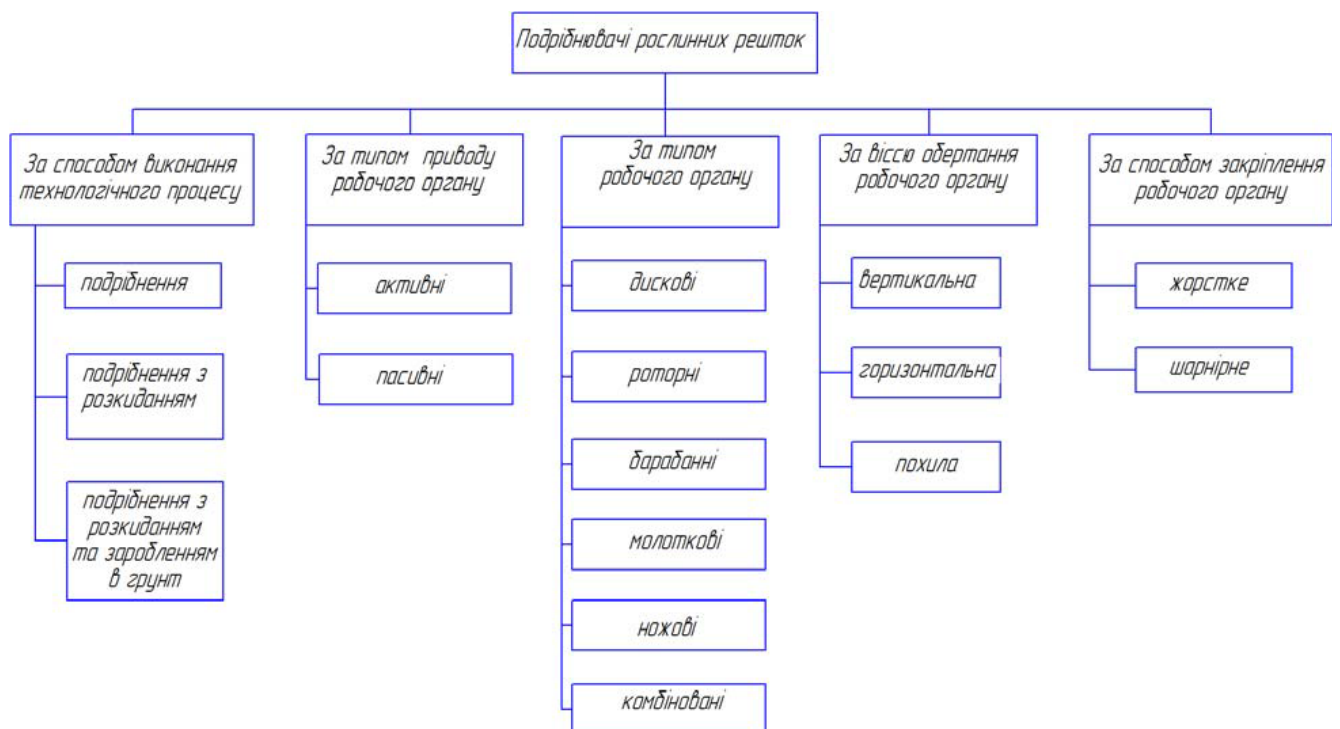


Рис. 1.1 Аналіз конструкцій ґрунтообробних машин з ротаційними робочими органами

1.2 Загальна характеристика мульчувачів рослинних залишків.

Мульчувачі рослинних залишків — це не просто техніка, а ключовий інструмент сучасного сталого землеробства. Вони перетворюють післяжнивні відходи — соломі, стебла, пожнивні маси — на цінний ресурс, який повертається в ґрунт у вигляді мульчі або дрібної органічної фракції. Результат — збережена волога, менш ерозований ґрунт і зростаюча родючість без зайвих витрат на імпортовані добрива.

Які вони бувають? Роторні мульчувачі з молотками інтенсивно подрібнюють і рівномірно розкидають матеріал; фрезерні барабани дають дрібнішу фракцію, потрібну для швидкої мінералізації; дискові й секційні агрегати добре справляються з товстими стеблами; вальцові конструкції поєднують подрібнення з вирівнюванням і прикочуванням. Навісні, причіпні чи самохідні — кожен тип має своє місце в господарстві, залежно від обсягів, культури й технічних можливостей.

Головні критерії вибору — що саме подрібнюємо (солома пшениці чи кукурудзяні стебла), який потрібен розмір частинок, скільки потужності може надати трактор і наскільки важлива енергоефективність. Дрібніші частинки швидше розкладаються й віддають поживні елементи, але їх отримання вимагає більше енергії. Великі маси — економніші в роботі, але іноді ускладнюють сівбу наступних культур.

Переваги очевидні: мульчування знижує випаровування, захищає від ерозії, покращує структуру ґрунту та стимулює життєдіяльність мікрофлори. Це — прямий шлях до зменшення потреби в мінеральних добривах і до довгострокового відновлення деградованих ґрунтів. Проте є і підводні камені: надмірна кількість необробленої соломи може спричинити дефіцит доступного азоту для молодих рослин, нерівномірне розподілення — ускладнити сівбу, а недбале поводження з обладнанням — привести до поломок.

Тому конструкція й експлуатація мають значення. Надійні ротори, регулювання висоти та кута атаки, ефективні системи розсіювання і захисні

кожухи — це не розкіш, а вимога безпечної й економічної роботи. Сучасні мульчувачі все частіше оснащують датчиками, GPS-регулюванням і модульними робочими органами — щоб підлаштуватися під будь-які залишки і мінімізувати витрати палива.

Безпека й обслуговування — ще одна складова успіху: регулярні огляди, сертифіковані підставки при роботах під піднятою рамою, заборона саморобних деталей — усе це продовжує ресурс техніки й зберігає здоров'я людей.

Мульчувачі — це технологія, що дозволяє господарствам працювати ефективніше та екологічніше одночасно. Правильно обраний і грамотно використаний агрегат перетворює поле з простої плантації на живу, самопідживлювану систему, де кожна стеблина повертає користь.

1.3. Машини для подрібнення рослинних залишків.

Сьогодні на ринку представлено безліч різноманітних мульчувачів.

Польська компанія Unia пропонує [5] навісний мульчувач Kornik серії XL (рис.1.2).



Рис. 1.2 Навісний мульчувач Kornik серії XL.

Польовий навісний подрібнювач Kornik — це універсальна машина для робіт, пов'язаних з подрібненням рослинних залишків, гілок. Залежно від

необхідності, робочими елементами можуть бути ножі або молотки для подрібнювання трави й соломи. Корнік має міцну раму, збалансованим ротором та наявністю заднього опорного вальця уже в стандартній комплектації.

Робоча ширина захвату варіюється від 115 до 280 см, відповідно необхідна потужність трактора — від 45 до 105 к. с., кількість ножів може бути від 36 до 72 шт., тоді як кількість молотків від 12 до 24 шт. Гідравлічна система бічного переміщення дозволяє дуже легко змінювати положення мульчувача Kornik за трактором.

Універсальний навісний мульчувач Talex Leopard (рис.1.3) від польської компанії Krukowiak [6], залежно від моделі може становити 2, 2,5 та 2,8 м. Мульчувач Talex Leopard призначений для подрібнення рослинних залишків сільськогосподарських культур, зокрема, кукурудзи та соняшнику, а також бур'янів, гілок дерев і чагарників. На найбільшому мульчувачі з цієї серії, моделі Talex Leopard 280 встановлено 92 Y-подібних ножів. При потребі їх можна замінити на 46 молотків. Оборотна швидкість ножів на цій моделі досягає 1800 об./хв. Висота зрізу змінюється за допомогою регульованої підвісі коліс.



Рис. 1.3 Навісний мульчувач Talex Leopard.

Моделі Talex Leopard агрегуються з тракторами потужністю від 55 до 95 к.с. та важать від 520 до 665 кг.

Компанія Quivogne пропонує мульчувачі-косарки серії BL [7], ширина захвату яких, залежно від моделі, становить від 4,2 до 8,2 м. Це універсальні агрегати, які можуть з однаковою ефективністю скошувати та подрібнювати пожнивні залишки сільськогосподарських культур, невеликі чагарники й дерева, а також сидерати перед закладанням у ґрунт.



Рис. 1.4 Мульчувачі-косарки серії BL компанії Quivogne.

В моделях із робочою шириною в 4,20 та 4,60 м встановлено 3 ротори, а на решті моделей — 5. Залежно від ваших потреб, можна обрати ротори з частотою обертання в 540 об./хв. або 1000 об./хв. Привід на них подається через систему карданних валів і редукторів.

На кожному роторі встановлено по 3 великих надміцних ножі вертикальної тяги, які зроблені з борвмісної сталі. Особливістю ножів мульчувачів BL є те, що кінці їхніх крил виконані з високим підйомом. Це дозволяє створити зусилля, яке підіймає матеріал до зони зрізання.

Таблиця 1.1 Машини Quivogne серії BL

Модель	Тип	Робоча ширина, см	Вага, кг	Кількість коліс	Необхідна потужність трактора	Продуктивність, га/год.
BL 4200	Навісна	420	1,76	4	80 – 120	4,6 – 6,3
BL 4600	Навісна	460	2,355	6	90 – 130	5,0 – 6,9
BL 4600	Причіпна	460	2,405	8	90 – 130	5,0 – 6,9
BL 6200	Причіпна	620	3,005	8	130 – 270	6,8 – 9,3
BL 8200	Причіпна	820	4,105	8	230 – 350	9,0 – 12,3

Модель BL 4200 є навісним обладнанням, BL 4600 доступний як у навісному, так і в причіпному варіанті, а решта моделей є причіпними. На них встановлено регульовані колеса, які копіюють нерівності ґрунту, підвищуючи цим ефективність роботи.

Компанія Bednar FMT пропонує серію MZ [8]. Її представляє дві напівнавісні моделі MZ 4500 та MZ 6000. Робоча ширина мульчувачів становить 4,6 та 6 м відповідно. Вони призначені для подрібнення пожнивних залишків соняшнику та кукурудзи, великих трав'яних насаджень, чагарників і молодих дерев з діаметром стовбура до 8 см.

На мульчувачі MZ встановлено 3 ротори, які мають частоту обертання в 540 об./хв. або 1000 об./хв. На кожному з них стоїть 4 ножі, що забезпечує якісне подрібнення рослинних решток.



Рис. 1.5 Подрібнювачі рослинних решток серії MZ компанії Bednar FMT.

Машини цієї серії вони можуть точно копіювати рельєф. Мульчувач може змінювати кут нахилу бічних крил відносно центральної секції в діапазоні від -20° (у моделі MZ 6000 -15°) до $+90^{\circ}$.

Щодо ваги, то MZ 4500 важить 2700 кг, MZ 6000 — 3300 кг. Залежно від умов використання, мульчувачі агрегуються з тракторами потужністю від 120 до 140 к.с. та від 150 до 200 к.с. відповідно.

Італійська компанія Tierre Group Srl представляє широкий спектр мульчувачів [9]. Одним із них є модель TRL P 500 — універсальна навісна машина з шириною захвату 5 м, яка призначена для подрібнення рослинних решток соняшнику, кукурудзи, бавовни, соломи, а також ефективно працює з листям буряків й картоплі, соломою, бур'яном і деревним матеріалом.

Залежно від потреб, робочі органи мульчувача можуть бути розташовані або за спіральним типом, коли машина оснащується ножами та молотками, або за Х-подібним типом, коли мульчувач оснащений лише ножами.



Рис. 1.6 Мульчувачі TRL P 500 компанії Tierre Group Srl.

Діаметр ротора 194 мм, швидкість обертання ВВП трактора складає 1000 об./хв.. Завдяки ньому досягається максимальна лінійна швидкість на кінцях робочих органів, що сприяє якіснішому подрібненню рослинних решток.

Ця модель оснащена 160 Y-подібними ножами. За потребою замість ножів на нього можна встановити 52 молотки. Процес зрізання заслуговує окремої уваги, адже мульчувач має дві точки зрізання. Завдяки цьому подрібнювання відбувається більш якісно, а рослинні рештки розтягуються на зубчастих протиризальних пластинах. Це, в свою чергу, поліпшує родючість землі.

Вага машини 2323 кг та агрегатується з тракторами потужністю 150 к.с..

Компанія Rhino представляє серію мульчувачів RC [10], з якої більшого поширення в Україні отримали моделі RC 120 та RC 125 з робочою шириною в 6,1 та 7,62 м відповідно. Однією з перших переваг цих моделей є те, що вони доступні в навісному, напівнавісному та в причіпному варіантах. Ці мульчувачі призначені для подрібнення пожнивних залишків сільськогосподарських культур, зокрема кукурудзи, пшениці, ячменю та ріпаку.



Рис.1.7 Мульчувачі серії RC компанії Rhino

В обох моделях стоїть ротор діаметром 264 мм, який обертається зі швидкістю 2100 об./хв., що дозволяє робити більше зрізів за одиницю часу. Кількість ножів у RC 120 становить 216 шт., в RC 125 — 272 шт.

Модель RC 120 важить 2326 кг, RC 125 — 2858 кг. Агрегуються з тракторами потужністю 120 та 140 к.с. відповідно.

Моделі RC 120 та 125 вирізняються серед іншого високою продуктивністю. Так, за одну годину вони можуть обробити понад 7 га. Машини комплектуються

триточковим причіпним або напівнавісним причіпним пристроєм, а редуктор має п'ятирічну гарантію.

Модель RMS 820 від фірми Kuhn [11] призначена для великих сільськогосподарських підприємств. Це невибаглива та стійка до механічних ушкоджень машина, робочою шириною в 8,20 м. Вона призначена для подрібнення пожнивних залишків таких культур, як кукурудза, ячмінь, пшениця, ріпак, а також не менш ефективно подрібнює бур'ян.



Рис. 1.8 Модель RMS 820 від фірми Kuhn

На машину встановлено ротор діаметром 730 мм, який робить 1721 об./хв. при 1000 об./хв. ВВП. Він рухається рівномірно та плавно, що, зокрема, сприяє якісному подрібненню.

Рослинні рештки подрібнюють 264 Y-подібні ножі, які розташовані за спіральним типом у 8 рядів. Лінійна швидкість одного ножа при 1000 об./хв. ВВП досягає 66 м/с.

На RMS 820 встановлено великі поворотні колеса, завдяки яким можна регулювати висоту мульчування. Необхідна потужність від ВВП становить 206 /280 кВт/к.с. Ця техніка агрегатуються з тракторами максимальною потужністю 241/328 кВт/к.с.

1.4. Висновки і завдання досліджень.

Огляд машин для подрібнення рослинних залишків, аналіз існуючих досліджень в сфері подрібнення рослинної маси мобільними подрібнювачами та робочого процесу відомих подрібнюючих апаратів стеблових матеріалів дозволили заключити наступне.

З точки зору комплексної техніко-економічної оцінки засобів для подрібнення рослинних залишків доцільним є застосування одноступінчастого подрібнювача з горизонтальною віссю обертання, робочими органами якого є шарнірно закріплені ножі.

В загально доступних джерелах вітчизняної та закордонної інформації недостатнє обґрунтування основних раціональних параметрів і режимів роботи мобільного подрібнювача рослинних залишків.

Тому метою роботи є удосконалення машини для подрібнення рослинних залишків шляхом обґрунтування оптимальних конструктивних та кінематичних її параметрів.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

1. Дослідити існуючі конструкції подрібнювачів рослинних залишків.
2. Теоретично обґрунтувати основні конструктивні та кінематичні параметри мульчувача рослинних залишків.
3. Дослідити кінематику взаємодії ножа горизонтально-роторного подрібнювача рослинних залишків зі стеблиною.
4. Розглянути стан охорони праці при роботі з машинними агрегатами, та, розробити заходи з охорони праці при роботі зі знаряддями з активними робочими органами.
5. Провести аналіз економічних показників застосування базової та вдосконаленої машини при подрібненні рослинних залишків.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОДРІБНЮВАЧА РОСЛИННИХ ЗАЛИШКІВ

Процес відокремлення і подрібнення рослинних залишків відбувається наступним чином. У вихідному положенні протирізальний брус торкається стеблини, яка займає положення MN (рис.2.1) і під час руху агрегату нахиляє її до положення M_0N , в якому стає можливим торкання (а в подальшому і перетинання) траєкторією руху кінців ножів зігнутої стеблини.

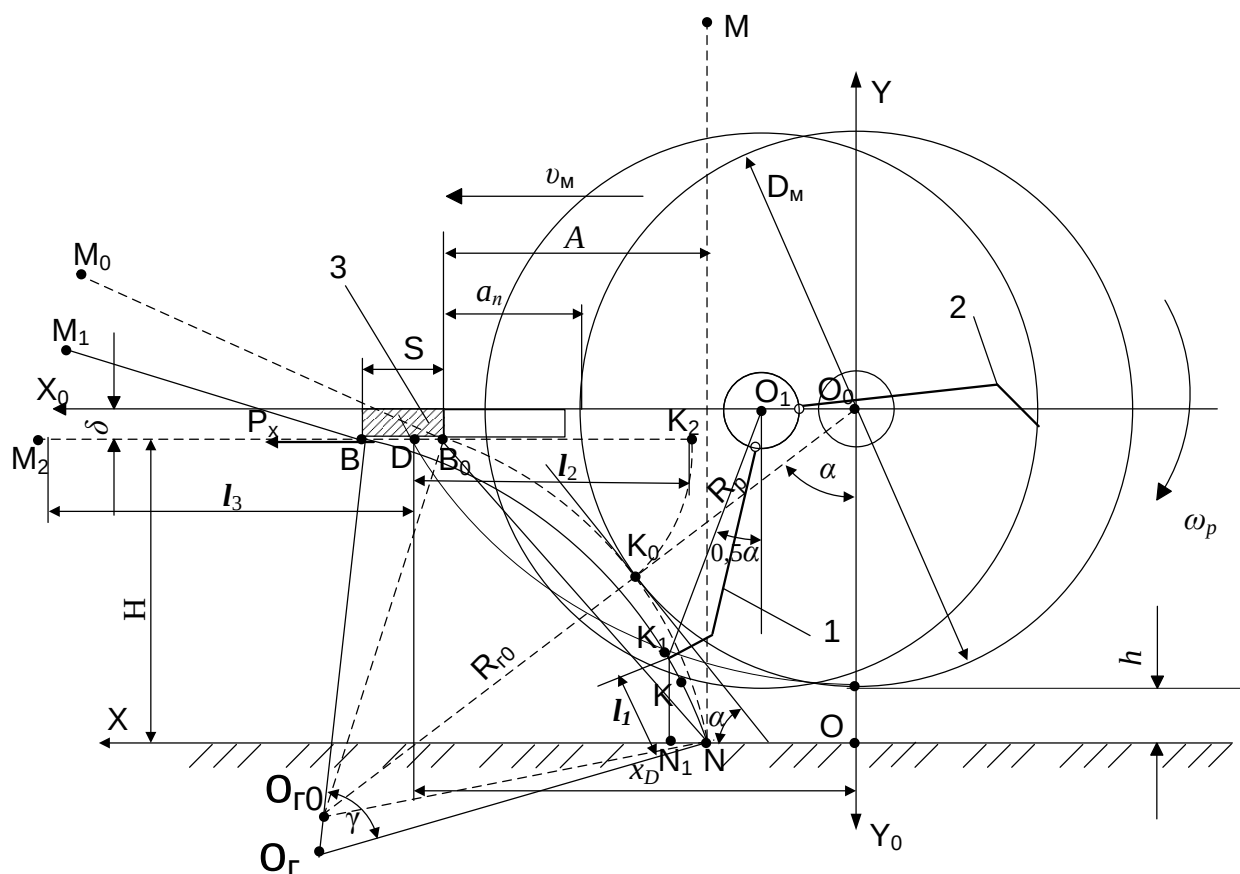


Рис.2.1 Схема для розрахунку довжини подрібнених частинок стебел рослинних залишків горизонтально-роторним робочим органом.

Під час роботи зустріч ножа зі стеблиною довжиною l та її перерізання буде відбуватись в наступних випадках (рис.2.1):

- ніж перерізає стеблину спочатку на відстані l_1 від основи, а потім частинку довжиною $(l-l_1)$ перерізає біля протирізального бруса утворюючи частинки довжиною l_2 та l_3 ;

- повторне зрізання стеблини довжиною l_1 у основи здійснюється наступним ножом з утворенням частинок довжиною l_4 . При цьому, у випадку, коли ніж переріже стеблину у найнижчій точці своєї траєкторії, довжина цих частинок буде максимальною.

Знайдемо довжину подрібнених частинок стебел з урахуванням їх згину під час початкового відокремлювання.

Після відокремлювання стебла на відстані l_1 від основи верхня її частина внаслідок реакції пучка зрізаних та не зрізаних стебел, власної маси, зосередженої вище протирізального бруса, та поступального руху машини приймає горизонтальне положення M_2K_2 .

Зробимо припущення про те, що радіус згину стеблини для певного її положення є сталим, оскільки по довжині стебла зверху донизу одночасно збільшується як згинаючий момент так і діаметр стебла. А вісь стеблини від основи до точки контакту B_0 з брусом будемо рахувати як частину кола.

Стеблину, яка згинається під дією протирізального бруса розглянемо як вісь балки, жорсткість якої збільшується зверху донизу у зв'язку із збільшенням її діаметра. Згин цієї балки відбувається під дією сили P_x збоку протирізального бруса. Радіус згину осі стеблини визначається з наступної формули [12]:

$$R_z = \frac{EJ}{M_{z2}}, \quad (2.1)$$

де EJ – жорсткість стеблини;

E – модуль пружності стеблини;

J – осьовий момент інерції стеблини;

M_{z2} – згинаючий момент, що виникає під дією сили P_x .

$$M_{z2} = P_x \cdot (R_p + h - \delta);$$

R_p – радіус ножового барабана по кінцях ножів;

h – відстань від поверхні ґрунту до кінця ножа, коли той знаходиться в найнижчому положенні свого руху;

δ – висота встановлення протирізального бруса відносно осі обертання ножового барабану.

Сила, що згинає стеблину визначається за наступною формулою [12]:

$$P_x = \frac{3 \cdot f_x \cdot EJ}{(R_p + h - \delta)^3}, \quad (2.2)$$

де f_x – стріла прогину стеблини, яка збільшується при русі агрегату до моменту відокремлення її ножем.

В результаті формула (2.1) по визначенню радіусу згину осі стеблини набуде наступного вигляду:

$$R_z = \frac{(R_p + h - \delta)^2}{3 \cdot f_x} \quad (2.3)$$

Приймаємо стрілу прогину стеблини, при якій коло діаметром $D_m = 2 \cdot R_p$ торкнеться осі стеблини (точка K_0), як початковий технологічний прогин стеблини A , і відповідний кут нахилу дотичної у вказаній точці торкання до горизонту як α - кут початкового технологічного прогину.

Технологічний прогин стеблини A подрібнювачем визначається за формулою:

$$A = f_x = \frac{(R_p + h - \delta)^2}{3 \cdot R_{z0}} \quad (2.4)$$

де R_{z0} – радіус згину стеблини в момент торкання кола, що описує ніж, та зігнутої стеблини (в точці K_0).

Припустимо, що можливі дві граничні ситуації перерізання стеблини: 1 – ніж перерізає стеблину в точці K_0 , тобто при обертанні ножа на кут $\omega_p \cdot t = \alpha$; 2 – ніж перетинає вісь стеблини в найнижчій точці своєї траєкторії K , тобто при оберті ножа на кут $\omega_p \cdot t = 0$.

Для аналізу ступеня подрібнення візьмемо середню ситуацію оцінки точки перерізання стеблини, коли перерізання буде здійснюватись при куті повороту ножа $\omega_p \cdot t = 0,5 \cdot \alpha$, а центр ротора зміститься в точку O_1 і відповідно точка B_0 зміститься у точку B на відстань:

$$s = v_m \cdot \frac{0,5 \cdot \alpha}{\omega_p}. \quad (2.5)$$

Знайдемо координати точок B_0 , N , O_z (O_z – центр кола, утвореного зігнутою стеблиною) відносно системи координат XOY : $B_0(a_n + R_p; R_p + h - \delta)$, $N(R_p + a_n - A; 0)$, $O_z((R_p + R_{z0}) \cdot \sin \alpha; R_p + h - (R_p + R_{z0}) \cdot \cos \alpha)$.

Радіус кола зігнутої стеблини визначиться наступним чином:

Довжина відрізків $\overline{B_0O_z}$ та $\overline{NO_z}$ буде відповідно рівною:

$$\left| \overline{B_0O_z} \right|^2 = R_{z0}^2 = (a_n + R_p - (R_{z0} + R_p) \cdot \sin \alpha)^2 + (-\delta + (R_{z0} + R_p) \cdot \cos \alpha)^2 \quad (2.6)$$

$$\left| \overline{NO_z} \right|^2 = R_{z0}^2 = (a_n + R_p - A - (R_{z0} + R_p) \cdot \sin \alpha)^2 + ((R_{z0} + R_p) \cdot \cos \alpha - R_p - h)^2 \quad (2.7)$$

Знайдемо з рівняння (2.6) величину радіус згину стеблини R_{z0} та представимо її залежність від радіусу ножового барабана, величини a_n та кута α у вигляді графіків на рис.2.2:

$$R_{z0} = \frac{1}{2} \cdot \frac{a_n^2 + 2 \cdot a_n \cdot R_p - 2 \cdot a_n \cdot R_p \cdot \sin \alpha + 2 \cdot R_p^2 - 2 \cdot R_p^2 \cdot \sin \alpha - 2 \cdot R_p \cdot \delta \cdot \cos \alpha + \delta^2}{a_n \cdot \sin \alpha + R_p \cdot \sin \alpha - R_p + \delta \cdot \cos \alpha} \quad (2.8)$$

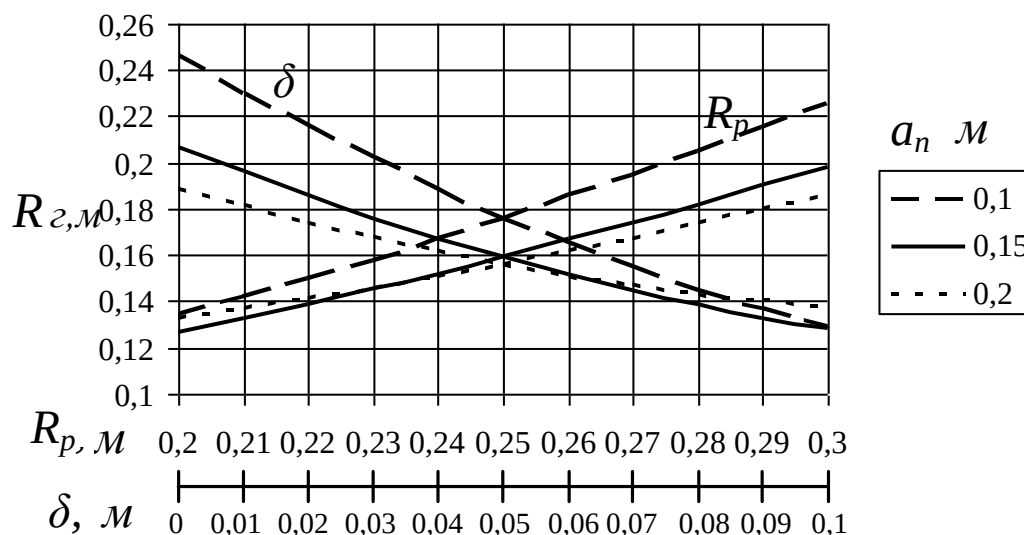


Рис.2.2 Залежність радіусу зігнутої стеблини R_{z0} від радіусу ножового барабану R_p та параметрів встановлення протирізального брусу δ та a_n .

Зробимо припущення, що енергія для перерізання ножом попередньо зігнутої стеблини збоку опуклої її частини зменшується при зменшенні радіусу згину стеблини, оскільки при цьому в даній частині стеблини збільшується напруження згину.

Як видно з графіку (рис.2.2) збільшення радіуса ножового барабану R_p та зменшення відстані a_n призводить до збільшення радіусу згину стеблини, а збільшення величини δ навпаки – зменшує цю величину. Виходячи з вказаного, в даному випадку доцільно працювати з радіусом ротора $R_p=0,25$ м та значеннях a_n в межах від 0,15 до 0,20 м.

Підставимо знайдену величину R_{z0} у рівняння (2.7) та знайдемо з даного рівняння величину кута α . В зв'язку з тим, що символічний розв'язок рівняння (2.7) є громіздкий, воно розв'язано у чисельному вигляді за допомогою програмного забезпечення Mathcad. Залежність кута α від радіусу ножового барабану R_p та величини a_n встановлення протирізального брусу у вигляді графіку дана на рис.2.3.

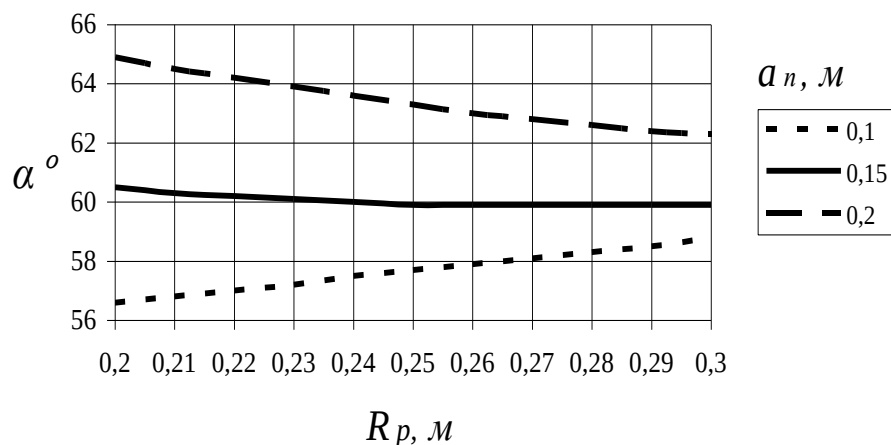


Рис.2.3 Залежність кута α від радіусу ножового барабану R_p та величини a_n встановлення протирізального бруса. ($\delta=0,05$ м).

Вплив положення протирізального бруса і радіусу ножового барабану на величину кута α полягає в наступному: при $a_n=0,1$ м із збільшенням R_p величина кута α зростає; при $a_n=0,2$ м із збільшенням R_p величина кута α зменшується; а при $a_n=0,15$ м величина R_p майже не впливає на α (див. рис. 2.3). Збільшення ж самої величини a_n призводить до збільшення значення кута α , при цьому α змінюється від 56° до 65° .

Таким чином, знайшовши значення R_{z0} і α та підставивши їх у рівняння (2.4) та (2.5) можна розрахувати відповідно довжину начального технологічного параметру A та відстань s між точками B та B_0 .

Виберемо граничне значення висоти встановлення над поверхнею ґрунту протирізального бруса.

Для того, щоб частинка стеблини, яка утворюється після першого удару ножа зайняла горизонтальне положення під протирізальним брусом, необхідно щоб центр її маси знаходився вище положення протирізального бруса. Питома маса одиниці довжини стеблини збільшується від її кінця до основи із збільшенням діаметру. Аналіз геометричних параметрів рослинних залишків високостебельних культур показує, що середня їх довжина становить до 1 м. Знайдемо критичну висоту встановлення упору протирізального бруса в стеблину, при якій маса верхньої і нижньої частинок стеблини будуть рівними. Висоту відокремлення

стеблин приймаємо мінімальною. З урахуванням нерівностей поверхні ґрунту (висота гребенів ґрунту сягає 0,06 м) і недоцільності взаємодії ножів барабана з ґрунтом приймаємо висоту відокремлення стеблин від основи $h = 0,07$ м.

Згідно статистичних даних, середній діаметр стеблин у основи складає 0,026 м, а у верхівки – 0,003 м. Питома маса становить 961 кг/м³. Зробимо припущення, що стеблина має форму зрізаного конуса. Тоді її маса буде визначатись як

$$m_z = V_z \cdot \rho_d = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot l_z \cdot (r_1^2 + r_1 \cdot r_2 + r_2^2) \cdot \rho_d \quad (2.9)$$

де V_z – об'єм, м³;

ρ_d – питома маса, кг/м³;

r_1, r_2 – відповідно радіуси верхньої і нижньої основ, м.

l_z – довжина стеблини від найнижчої точки зрубівання до вершини,

$$l_z = 1 - 0,07 = 0,93 \text{ м.}$$

Маса двох частин стеблини буде відповідно рівна:

$$m_{z1} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h_1 \cdot (r_1^2 + r_1 \cdot r_x + r_x^2) \cdot \rho_d \quad (2.10)$$

$$m_{z2} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h_2 \cdot (r_2^2 + r_2 \cdot r_x + r_x^2) \cdot \rho_d \quad (2.11)$$

де h_1, h_2 – відповідно довжина частинок стеблин з однаковими масами, м;

$$h_1 = l_z - h_2;$$

$$r_x - \text{радіус стеблини в критичній точці упору, м, } r_x = \frac{h_1 \cdot (r_2 - r_1)}{l_z} + r_1.$$

Таким чином прирівнявши рівняння (2.10) та (2.11), знайдемо величину h_2 , а критична висота встановлення протирізального бруса буде знаходитись наступним чином:

$$H = h + h_2 = h + \frac{l_z}{2 \cdot (r_2 - r_1)} \cdot \left(\sqrt[3]{4 \cdot r_2^3 + 4 \cdot r_1^3} - 2 \cdot r_2 \right) \quad (2.12)$$

Найвища точка встановлення протирізального бруса над поверхнею ґрунту виходячи з рівняння (2.12) повинна задовольняти умові $H \leq 0,29$ м.

Частинки довжиною l_2 будуть утворюватись коли ніж 1 вдруге переріже стеблину в точці D . Довжина цих частинок знаходиться наступним чином:

$$l_2 = BK_1 - BD = (BN - l_1) - BD \quad (2.13)$$

Довжина дуги BN рівна: $BN = R_z \cdot \gamma$

Радіус стеблини R_z знайдемо з рівняння (2.3):

$$R_z = \frac{(R_p + h - \delta)^2}{3 \cdot (A + s)} \quad (2.14)$$

Величину кута γ знайдемо за теоремою косинусів розглянувши трикутник BO_zN :

$$\gamma = \arccos \frac{BN^2 - 2R_z^2}{2R_z^2} \quad (2.15)$$

Довжину відрізка BN знайдемо використавши значення координат відповідних точок відносно прямокутної системи координат XOY за наступною формулою:

$$BN = \sqrt{(s + A)^2 + (R_p + h - \delta)^2} \quad (2.16)$$

Довжина відрізка BD знаходиться як:

$$BD = (R_p + a_n) - x_D \quad (2.17)$$

Траєкторією руху ріжучих елементів горизонтально-роторного робочого органа є трохоїда. Запишемо рівняння їх руху в параметричному вигляді,

приймавши, в даному випадку, точкою відліку прямокутної системи координат $X_0O_0Y_0$ точку O_0 [13]:

$$x_0 = v_m \cdot t + R_p \cdot \sin(\omega_p \cdot t) \quad (2.18)$$

$$y_0 = R_p \cdot \cos(\omega_p \cdot t) \quad (2.19)$$

Тоді координати точки D запишуться наступним чином:

$$x_{0D} = v_m \cdot t_D + R_p \cdot \sin(\omega_p \cdot t_D)$$

$$y_{0D} = R_p \cdot \cos(\omega_p \cdot t_D)$$

В даному випадку $y_{0D} = \delta$, тоді

$$t_D = \frac{1}{\omega_p} \arccos \frac{\delta}{R_p}$$

Використаємо заміну [13]:

$$\sin(\omega_p \cdot t_D) = \sqrt{1 - \cos^2(\omega_p \cdot t_D)} = \frac{1}{R_p} \sqrt{R_p^2 - \delta^2}$$

Тепер x_{0D} запишеться в наступному вигляді:

$$x_{0D} = \frac{v_m}{\omega_p} \arccos \frac{\delta}{R_p} + \sqrt{R_p^2 - \delta^2}$$

Тоді

$$BD = R_p + a_n - \frac{v_m}{\omega_p} \arccos \frac{\delta}{R_p} - \sqrt{R_p^2 - \delta^2} \quad (2.20)$$

Знайдемо довжину відрізка l_1 використавши формули (2.18) та (2.19) та припустивши, що дуга K_1N буде відрізком прямої. Тоді, якщо розглянути прямокутний трикутник K_1NN_1 , можна знайти його гіпотенузу K_1N :

$$l_1 = K_1 N = \sqrt{(s + R_p \cdot \sin(0,5\alpha) - (R_p + a_n - A))^2 + ((R_p + h) - R_p \cdot \cos(0,5\alpha))^2} \quad (2.21)$$

Таким чином отримаємо залежність довжини відокремленої частинки стеблини l_2 , яка утворюється при послідовному перерізанні стеблини одним ножем, від кінематичних та геометричних параметрів подрібнювача:

$$l_2 = R_e \cdot \gamma_4 - l_1 + \frac{v_m}{\omega_p} \arccos \frac{\delta}{R_p} + \sqrt{R_p^2 - \delta^2} - R_p - a_n \quad (2.22)$$

$$l_3 = l - (l_1 + l_2) \quad (2.23)$$

$$l_4 = l_1 - h \quad (2.24)$$

Побудована у вигляді графіків залежність довжини частинок, на які поділиться стеблина при її подрібненні від конструктивних та кінематичних показників подрібнювача представлена на рис.2.4-2.5:

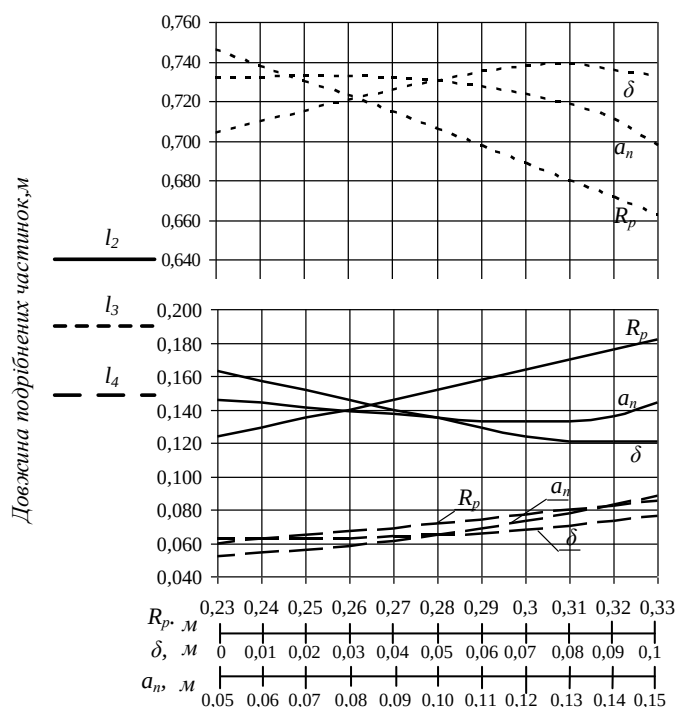


Рис.2.4 Залежність довжини частинок l_2 , l_3 та l_4 від конструктивних параметрів подрібнювача, при $v_m=2,7$ м/с, $\omega_p=157$ рад/с.

Залежність зміни довжини l_2 , l_3 та l_4 подрібнених частинок від параметрів розміщення протирізального бруса a_n і δ та радіусу ножового барабану R_p , одержано при почерговій зміні значення R_p , a_n і δ для фіксованих значень $R_p=0,25$ м, $a_n=0,15$ м, $\delta=0,05$ м, $v_m=2,7$ м/с та $\omega_p=157$ рад/с. Як видно з графіка (рис.2.4), при збільшенні величини a_n , δ та R_p , довжина l_4 збільшується відповідно з 0,052 м до 0,088 м, з 0,063 до 0,076 та з 0,06 до 0,085 м. При збільшенні величини R_p довжина частинок l_2 зростає з 0,124 м до 0,182 м, а із зростанням величини δ довжина частинок l_2 зменшується з 0,163 м до 0,121 м. Зміна величини a_n для l_2 має вигляд дещо ввігнутої кривої, при цьому довжина частинок l_2 змінюється від 0,146 м до 0,144 м. Вплив даних параметрів на довжину частинок l_3 обернений до їх впливу на l_2 : при збільшенні величини R_p , їх довжина зменшується відповідно з 0,746 м до 0,663 м. Збільшення величини δ призводить до незначного збільшення їх довжини: з 0,704 м до 0,733 м. Зміна величини a_n для l_3 має вигляд дещо вигнутої кривої, при цьому довжина частинок l_3 змінюється від 0,732 м до 0,698 м

Вплив кінематичних показників на частинки довжиною l_4 несуттєвий ($l_4=0,063-0,065$ м), тому розглянемо вплив цих параметрів тільки на величину подрібнених частинок l_2 та l_3 (рис.2.5).

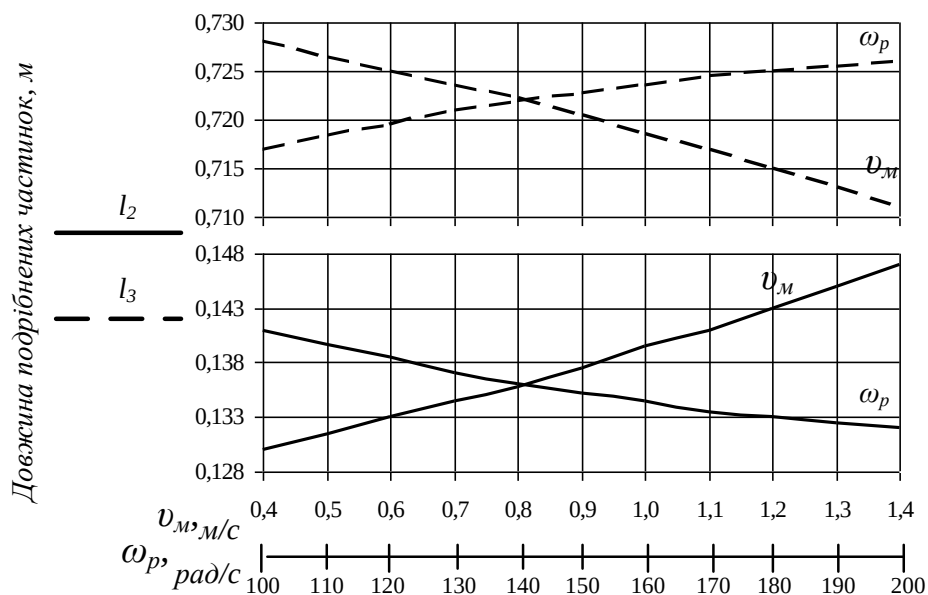


Рис.2.5 Залежність довжини частинок l_2 та l_3 від кінематичних показників подрібнювача, $R_p=0,25$ м, $a_n=0,15$ м, $\delta=0,05$ м.

Як видно з рис.2.5 при фіксованих параметрах R_p , a_n та δ під час зміни почергово значень кінематичних параметрів – поступальної швидкості агрегату v_m та кутової швидкості ротаційного барабана ω_p , збільшення поступальної швидкості агрегату спричиняє зростання розміру подрібнених частинок l_2 , а зростання кутової швидкості ротаційного барабана призводить до зменшення розміру цих частинок. Для частинок l_3 спостерігається зворотна ситуація: збільшення поступальної швидкості агрегату спричиняє зменшення їхнього розміру, а зростання кутової швидкості ротаційного барабана призводить до його збільшення. Але зміна довжини подрібнених частинок в залежності від кінематичних показників роботи агрегату у вибраному діапазоні варіювання їхніми значеннями є невеликою і коливається в межах 0,13-0,15 м для частинок l_2 та 0,71-0,73 м для частинок l_3 . Таким чином, у вибраному діапазоні варіювання значеннями кінематичних параметрів, їх зміна практично не впливає на розмір частинок l_2 та l_3 .

Визначимо кількість ножів, що знаходяться в одній площині їх обертання, виходячи з умови, що за один прохід ніж буде подрібнювати тільки одну стеблину для забезпечення рівномірності його завантаження. Позначимо відстань між сусідніми стеблинами в поздовжній вертикальній площині через Δ . Тоді для забезпечення умови перерізання одним ножем однієї стеблини повинна виконуватись наступна умова:

$$S_m = \frac{2 \cdot v_m \cdot \pi}{\omega_p \cdot z_m} \leq \Delta \quad (2.25)$$

де S_m – величина подачі на один ніж, м;

z_m – кількість ножів, що знаходяться в одній площині їх обертання, шт.

Позначимо через k кількість стеблин на одиниці площі, тоді кількість стебел розміщених на одиниці довжини становить $\sqrt{k}$ [13]. Відстань Δ між ними буде рівною: $\Delta = \frac{l_0}{\sqrt{k}}$, де l_0 – ширина міжрядь, м.

Таким чином буде $S_m \leq 0,08$ м.

А кількість ножів буде визначатись з наступної умови:

$$z_m \geq \frac{2 \cdot v_m \cdot \pi}{0,08 \cdot \omega_p} \quad (2.26)$$

Розрахунок (при варіюванні значень $v_m=0,4-3,4$ м/с, $\omega_p=100-200$ рад/с) показує, що для виконання позначеної умови достатньо одного ножа. Але для забезпечення рівноваги ножового барабану приймаємо кількість ножів $z_m=2$.

Знайдені залежності дозволяють розрахувати раціональні значення радіусу ножового барабану та параметрів встановлення протирізального бруса.

Висновки до розділу 2.

1. Отримано залежності впливу геометричних і кінематичних параметрів подрібнювача рослинних залишків на величину їх подрібнення.

2. Використання отриманих залежностей є підставою для розрахунку раціональних параметрів подрібнювача рослинних залишків. Які приймають наступних значень: $R_p=0,25$ м, $a_n=0,15$ м, $\delta=0,05$ м, $v_m=2,7$ м/с та $\omega_p=157$ рад/с.

РОЗДІЛ 3

КІНЕМАТИКА ВЗАЄМОДІЇ НОЖА ГОРИЗОНТАЛЬНО-РОТОРНОГО ПОДРІБНЮВАЧА РОСЛИННИХ ЗАЛИШКІВ ЗІ СТЕБЛИНОЮ

Існує декілька видів удару двох тіл [15], в нашому випадку буде відбуватись частково пружний центральний косий удар. Тобто швидкість центру ваги ножа не лежить на лінії центрів мас ножа та стеблини (рис.3.1):

$$v_n = v \cdot \cos \chi, \quad (3.1)$$

де v_n – проекція абсолютної швидкості ножа v на вісь n , яка проходить через центри мас ножа та стеблини, м/с;

χ – кут між вектором абсолютної швидкості ножа та віссю n .

Втрата кінетичної енергії при частково пружному ударі визначається за формулою [15]:

$$T_1 - T_2 = (1 - k_{\epsilon}^2) \frac{(v \cdot \cos \chi)^2 \cdot M \cdot m_{\epsilon np}}{2 \cdot (M + m_{\epsilon np})}, \quad (3.2)$$

де T_1 і T_2 – відповідно кінетична енергія системи до та після удару, Дж;

M – маса ножа, кг;

m_{np} – приведена маса стеблини, кг;

k_{ϵ} – коефіцієнт відновлення матеріалу:

$$k_{\epsilon} = \frac{u_{1n} - u_n}{u_n - v_n},$$

u_{1n} – проекція швидкості ножа в кінці удару на вісь n , м/с;

u_n – загальна швидкість тіл в кінці удару, м/с;

$$u_n = \frac{v_n \cdot M}{M + m_{\epsilon np}}.$$

$$\frac{y}{l_o} = \frac{2}{\beta_c} \cdot k_{\kappa} \cdot (\cos \varphi - \cos \varphi_0), \quad \frac{x}{l_o} = \frac{s_o}{l_o} - \frac{2}{\beta_c} \cdot k_{\kappa} \cdot (E(\varphi) - E(\varphi_0)), \quad (3.4)$$

де x і y – координати пружної лінії в XOY (рис.3.1);

l_o – довжина зігнутої осі стеблини від місця заробки до місця прикладення сили P_x (місце торкання стеблини протирізальним брусом), м;

s_o – довжина дуги, що визначає положення довільної точки дуги l_o :

$$s_o = \frac{l_o}{\beta_c} \cdot (F(\varphi) - F(\varphi_0));$$

β_c – силовий коефіцієнт схожості, що характеризує ступінь прогину пружної лінії відповідно до величини сили P_x ;

$F(\varphi)$ та $F(\varphi_0)$ – еліптичні інтеграли Лежандра першого роду відповідно в поточному та початковому положеннях стеблини;

k_{κ} – модуль еліптичного інтегралу Лежандра;

φ та φ_0 – табличні амплітуди еліптичних інтегралів Лежандра відповідно в поточному та початковому положеннях стеблини;

$E(\varphi)$ та $E(\varphi_0)$ – еліптичні інтеграли Лежандра другого роду відповідно в поточному та початковому положеннях стеблини.

Знаючи довжину зігнутої осі стеблини та координати точки дотику протирізального бруса до стеблини, користуючись методикою [15], було знайдено значення силового коефіцієнта β_c ($\beta_c = \sqrt{\frac{P_x \cdot l_o}{E \cdot J}}$). Далі, задаючись кутом ζ між дотичною в точці контакту та напрямком сили P_x $\zeta = 2 \arcsin(k \cdot \sin \varphi)$ користуючись таблицями [15], відповідно до відомого β_c знаходились k_{κ} , $F(\varphi)$ та $F(\varphi_0)$, $E(\varphi)$ та $E(\varphi_0)$, φ та φ_0 .

Зробимо припущення, що зігнута вісь стеблини буде сталою з моменту торкання ножом стеблини до її перерізання.

Траєкторією руху ножа є циклоїда, розглянемо систему рівнянь, в яку входять рівняння ординати зігнутої осі стеблини та рівняння ординати руху ножа в параметричному вигляді в системі координат XOY (рис.3.1):

$$y = \frac{2 \cdot l_{\theta}}{\beta_c} \cdot k_{\alpha} \cdot (\cos \varphi_0 - \cos \varphi) \quad (3.5)$$

$$y = R_p + h - R_p \cdot \cos \alpha$$

де
$$\varphi = \arcsin \left(\frac{\sin \frac{90 + \vartheta}{2}}{k_{\alpha}} \right);$$

R_p – радіус горизонтально-роторного барабана по кінцях ножів, м;

h - відстань від поверхні ґрунту до кінця ножа, коли той знаходиться в найнижчому положенні свого руху, м;

$$\alpha = \omega_p \cdot t$$

ω_p – кутова швидкість обертання ножового барабана, рад/с;

t – час руху ножа від найнижчої точки своєї траєкторії до зустрічі зі стеблиною у основи, с.

Система рівнянь (3.5) дає змогу знайти значення кута α та ϑ , в залежності від конструктивних та кінематичних параметрів ротаційного барабана в чисельному вигляді.

Висновок до розділу 3.

Проведений аналіз дозволив встановити взаємозв'язок конструктивних параметрів ножового барабана, траєкторії руху ножів та фізико-механічних властивостей стеблини.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

Управління охороною праці

Сучасне управління охороною праці ґрунтується на дотриманні законодавства, державних норм і стандартів, а також на ефективній взаємодії органів контролю, роботодавця та працівників. Власник (керівник) господарства відповідає за забезпечення нормативно-правової та матеріально-технічної бази для безпечної експлуатації самохідних агрегатів: проведення навчання, організацію інструктажів, забезпечення ЗІЗ, технічний нагляд і фінансування заходів з профілактики. Він має залучати працівників і представників трудового колективу до обговорення ризиків і підвищення культури безпеки.

Кожний працівник зобов'язаний дотримуватися правил безпеки, носити передбачені ЗІЗ, підтримувати свій фізичний та професійний рівень, негайно повідомляти керівника про небезпечні умови або несправності. Керівник не має права вимагати виконання робіт до повного усунення виявлених небезпек (пошкоджені огорожі, заблоковані захисти, витік гідрорідин, сильне запилення чи загазованість тощо).

Служба охорони праці підприємства

Для належної організації безпеки на підприємстві необхідно створити відповідну службу (або призначити відповідального), укомплектовану кваліфікованими спеціалістами, які координують профілактичну роботу, контролюють виконання інструкцій і програм з охорони праці. Обов'язки служби: оцінка ризиків для робочих місць самохідних агрегатів, розробка процедур ТО й ЛОТО, забезпечення ЗІЗ, організація навчання та інструктажів, ведення журналів ТО і реєстру інцидентів, участь у відборі працівників на відповідні посади.

Виробничий травматизм при виконанні механізованих операцій

Основні фактори травматизму: незадовільна організація робіт, недостатнє навчання та інструктажі, експлуатація несправної або неправильно налаштованої

техніки, порушення трудової дисципліни (у т.ч. робота в нетверезому стані). Часті причини: відсутність доступної нормативної літератури, недоліки в системі ТО, недостатній контроль за виконанням правил безпеки. Статистично найбільша частка травм припадає на операторів машин і водіїв, причому досвідчені працівники інколи схильні ігнорувати вимоги безпеки — це потребує ретельного контролю та регулярних переінструктажів.

Безпека праці при роботі на самохідних агрегатах для подрібнення рослинних решток

1. Характерні небезпечні та шкідливі фактори: рухомі агрегати та робочі органи (роторні барабани, ножі, молотки), системи приводу й трансмісії, гідросистеми під високим тиском, випуск пилу і опіків, пожежна безпека при перегріві, ризик перекидання на нерівній площині, погодні фактори (дощ, вітер, ожеледь).
2. Технічний стан і оснащення: самохідні агрегати повинні мати справні захисні кожухи, блокувальні пристрої, датчики блокування доступу до робочої зони, надійні кріплення робочих органів і перевірені гідролінії. Елементи кріплення повинні бути затягнуті й зафіксовані відповідно до регламенту.
3. Пускові та робочі процедури: перед пуском оператор повинен переконатися в справності огорожень, наявності сигналізації, відсутності людей у робочій зоні; подавати попереджувальний сигнал і отримати підтвердження розчищення робочої зони. Заглиблення робочих органів проводити під час руху лише за інструкцією виробника. Увімкнення ВВП, гідросистеми чи електроприводу дозволяється лише після впевненості в безпеці операції.
4. Обслуговування та ремонти: усі регулювання, очищення й ремонтні роботи виконуються тільки після вимкнення двигуна, виконання процедур LOTO і встановлення сертифікованих підставок або фіксаторів; заборонено піднімати чи розбирати робочі органи при включеному приводі. Використання саморобних опор чи несправного інструменту забороняється.

5. Робота під навантаженням і при заклинюванні: при затримці матеріалу в зоні різання — негайне вимкнення приводу, встановлення блокування та виклик технічної бригади; заборонено вичищати рештки руками у робочій зоні або піднятих механізмах. Використовувати спеціальні гачки/штовхачі з довгою ручкою.
6. Експлуатація в екстремальних умовах: за сильного вітру, грози, ожеледі чи сильної запиленості робота призупиняється; обмежити нічну експлуатацію без якісного освітлення й системи кругового огляду.
7. Протипожежний захист: на агрегаті та в зоні обслуговування повинні бути вогнегасники, система відсічення живлення при загрозі займання, контроль температури підшипників і моторів; періодичний огляд на предмет перегріву і накопичення легкозаймистого матеріалу.
8. Боротьба з пилом: застосовувати респіратори, системи місцевої витяжки при очищенні, регулярне змочування дорожніх майданчиків у разі сильного пиління; моніторинг концентрації пилу при тривалій роботі.

Моделювання виробничих небезпек і управління ризиками

Для самохідних агрегатів доцільно застосовувати комбінований підхід: аналіз небезпечних ситуацій, FMEA для критичних вузлів (система подачі, роторні вузли, гідросистема), «дерево відмов» для сценаріїв аварій (перекидання, застрягання, пожежа) та використання телеметричних даних (температура, вібрація, швидкість, положення) для коригування ймовірнісних моделей. Регулярний збір та аналіз майже-подій дозволяє пріоритезувати заходи і коригувати процедури.

Організаційні та профілактичні заходи

- Навчання й інструктажі: обов'язкові первинні, періодичні та цільові інструктажі для операторів самохідних агрегатів; практичні тренування з аварійної зупинки та евакуації.
- Атестація персоналу: допуск до керування — після медичного огляду, навчання та перевірки практичних навичок.

- ТО і профілактика: регулярний плановий огляд агрегатів, контроль кріплень, підшипників, гальмівних систем, мастильних контурів і гідроліній; ведення журналу ТО.
- LOTO і дозволи на роботу: стандартизовані процедури блокування енергії, маркування й дозвільні листи на роботи під піднятою машиною.
- Контроль втоми: регламентація тривалості змін, перерв, заборона роботи у стані алкогольного чи наркотичного сп'яніння.
- Засоби зв'язку: наявність рацій/мобільного зв'язку, GPS-трекінгу агрегатів, аварійних маячків та централізованого диспетчерського контролю.

Запис і розгляд інцидентів

Вести облік нещасних випадків і майже-подій, аналізувати причини, впроваджувати коригувальні заходи і контролювати їх виконання. Регулярні аудити безпеки й оновлення ризик-матриць щонайменше раз на сезон.

Короткий висновок

Безпека при роботі на самохідних агрегатах для подрібнення рослинних решток досягається через поєднання якісного технічного обслуговування, суворих процедур експлуатації та ремонту, системного навчання персоналу і застосування інструментів управління ризиком. Дотримання цих рекомендацій знизить кількість аварій та травм, продовжить ресурс машин і забезпечить безперебійну продуктивну роботу на полі.

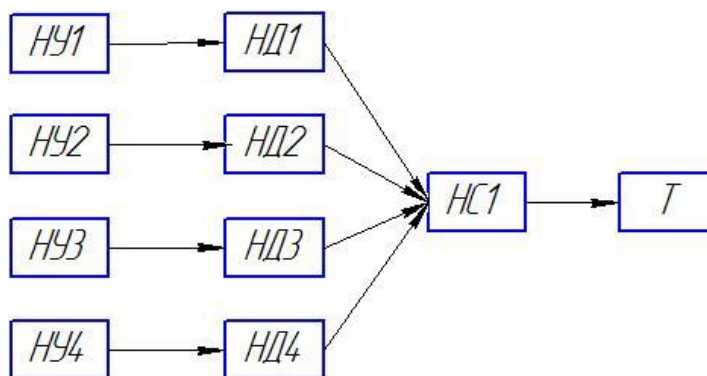


Рис. 4.1 – Моделювання небезпечної ситуації під час виконання операції подрібнення рослинних решток:

НУ1 – забивання робочих органів; **НУ2** – відсутність захисного щитка; **НУ3** – неправильно відрегульовані робочі органи; **НУ4** – поломка робочих органів; **НД1** – очищення робочих органів; **НД2** – зближення робітника з машиною; **НД3** – регулювання робочих органів; **НД4** – заміна зламаних робочих органів; **НС1** – потрапляння одягу на елементи, що обертаються та замотування його; **Т** – травма.

Отже, безпечна робота при виконання операції подрібнення рослинних решток забезпечується: правильною організацією роботи агрегатів, а також технічним станом машин і наявністю допоміжних засобів по уходу, регулюванню, заточенню і очищенню робочих органів.

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Для економічної оцінки нової технології з використанням удосконаленого агрегату застосовано порівняння прямих затрат для двох машин: з використанням подрібнювача рослинних решток «Рось-2» і з використанням удосконаленої машини.

Економічні показники, які характеризують ефективність застосування розробленого пристрою, визначали відповідно до стандартної методики [20].

Вихідні дані для розрахунків наведені в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 - Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності застосування подрібнювача рослинних решток

Показник	Подрібнювач рослинних решток «Рось-2»	Удосконалений подрібнювач рослинних решток
Марка енергетичного засобу	МТЗ-82	МТЗ-82
Номінальна потужність двигуна енергозасобу, кВт	59	59
Вартість трактора, грн.	245350	245350
Річне завантаження трактора, год.	1600	1600
Сумарні відрахування на трактор (амортизація, ТО та поточний і капітальний ремонт), %	21,5	21,5
Вартість пристрою, грн.	120000	130000
Річне завантаження машини, год.	540	540
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	8	10
Продуктивність агрегату, га/год	1,28	1,60
Заробітна плата, грн./год.	71,32	71,32
Витрата палива, кг/га	9,3	9,0
Ціна палива, грн.	25,00	25,00

Прямі експлуатаційні витрати на одиницю роботи становлять:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4, \quad (5.1)$$

де C_1 – оплата праці персоналу, що обслуговує агрегати та відрахування на соціальні заходи, грн./га;

C_2 – вартість витрачених паливо-мастильних матеріалів, грн./га;

C_3 – відрахування на реновацію та капітальний ремонт трактора та подрібнювача рослинних решток, грн./га;

C_4 – відрахування на поточний ремонт та технічне обслуговування трактора і подрібнювача рослинних решток, грн./га.

Оплата праці обслуговуючому персоналу дорівнює:

$$C_1 = \frac{m_1 n_1 + m_2 n_2 + \dots + m_i n_i}{W_{зм}}, \quad (5.2)$$

де m_i – кількість працівників і-ої кваліфікації на агрегаті;

n_i – оплата праці за змінну норму виробітку працівника і-ої кваліфікації, грн;

$W_{зм}$ – змінна продуктивність агрегату, га/зм.

Вартість паливно-мастильних матеріалів дорівнює:

$$C_2 = C_K Q_{\Pi}, \quad (5.3)$$

де C_K – комплексна ціна кілограма палива, грн/кг;

Q_{Π} – витрата палива, кг/га.

Відрахування на реновацію та капітальний ремонт машин в агрегаті визначаються з формули:

$$C_3 = \frac{B_{TP} \cdot a_{TP}}{100 \cdot W_{\varepsilon} \cdot t_{TP}} + \frac{B_M \cdot a_M \cdot n_M}{100 \cdot W_{\varepsilon} \cdot t_M}, \quad (5.4)$$

де B_{TP} , B_M – балансова вартість відповідно трактора і сільськогосподарської машини, грн;

a_{TP} , a_M – норми відрахувань на амортизацію та капітальний ремонт відповідно трактора і сільськогосподарської машини, % (кожну з цих норм приймають рівною 15%);

t_{TP} , t_M – зональне річне (або фактичне) завантаження трактора і подрібнювача рослинних решток, год.

Відрахування на поточний ремонт і технічне обслуговування машин в агрегаті дорівнюють:

$$C_4 = \frac{B_{TP} \cdot P_{TP}}{100 \cdot W_z \cdot t_{TP}} + \frac{B_M \cdot P_M}{100 \cdot W_z \cdot t_M}, \quad (5.5)$$

де P_{TP} , P_M – сумарна норма відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування відповідно трактора і подрібнювача рослинних решток, % (кожну з цих норм приймають рівною 6,5%).

Економія прямих експлуатаційних витрат на гектар насаджень при впровадженні удосконаленого подрібнювача рослинних решток у виробництво буде становити:

$$E_n = C - C' \text{ грн/га.} \quad (5.6)$$

Економія прямих витрат при використанні подрібнювача рослинних решток на певній площі буде становити:

$$E = E_n \cdot F \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект від впровадження:

$$E_p = E + E_n \cdot \Delta B, \quad (5.7)$$

де E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень $E_n=0,15$;

ΔB - вартість удосконалення, грн. $\Delta B = 10000$ грн.

Визначимо термін окупності розробленого подрібнювача рослинних решток:

$$T_{ок} = \frac{\Delta B}{E_p} \text{ роки} \quad (5.8)$$

Складові витрати коштів на мульчування стерні та їх суму наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Розрахунок показників економічної ефективності впровадження удосконаленого подрібнювача рослинних залишків

Показник	Подрібнювач рослинних решток «Рось-2»	Удосконалений подрібнювач рослинних решток
Продуктивність за годину зміни, га/год	1,2	1,6
Затрати праці, люд.-год/га	0,83	0,63
Заробітна плата, грн./га.	63,68	50,94
Вартість палива, грн./га	232,50	225,00
Відрахування на реновацію та капітальний ремонт трактора та с.-г. машин, грн./га;	46,95	36,95
Відрахування на поточний ремонт та ТО трактора і с.-г. машин, грн./га.	20,34	16,00
Сумарні прямі експлуатаційні витрати, грн./га	363,47	328,89
Економія прямих експлуатаційних витрат на гектар насаджень, грн./га	34,58	
Річний економічний ефект, грн	29877,12	
Термін окупності капіталовкладень, років	1	

Застосування удосконаленого подрібнювача рослинних решток забезпечить економію коштів в порівнянні з подрібнювачем «Рось-2» 34,58 грн. на гектар. Річний економічний ефект від застосування розробленого агрегату для мульчування стерні в порівнянні з існуючою технологією становить – 29877,12 грн/рік при обсязі роботи 864 га.

ВИСНОВКИ

1. З точки зору комплексної техніко-економічної оцінки засобів для подрібнення рослинних залишків доцільним є застосування одноступінчастого подрібнювача з горизонтальною віссю обертання, робочими органами якого є шарнірно закріплені ножі.

2. В загально доступних джерелах вітчизняної та закордонної інформації недостатнє обґрунтування основних раціональних параметрів і режимів роботи мобільного подрібнювача рослинних залишків.

3. Отримано залежності впливу геометричних і кінематичних параметрів подрібнювача рослинних залишків на величину їх подрібнення.

4. Використання отриманих залежностей є підставою для розрахунку раціональних параметрів подрібнювача рослинних залишків. Які приймають наступних значень: $R_p=0,25$ м, $a_n=0,15$ м, $\delta=0,05$ м, $v_m=2,7$ м/с та $\omega_p=157$ рад/с.

5. Проведений аналіз дозволив встановити взаємозв'язок конструктивних параметрів ножового барабана, траєкторії руху ножів та фізико-механічних властивостей стеблини.

6. Безпечна робота при виконання операції подрібнення рослинних решток забезпечується: правильною організацією роботи агрегатів, а також технічним станом машин і наявністю допоміжних засобів по уходу, регулюванню, заточенню і очищенню робочих органів.

5. Застосування удосконаленого подрібнювача рослинних решток забезпечить економію коштів в порівнянні з подрібнювачем «Рось-2» 34,58 грн. на гектар. Річний економічний ефект від застосування розробленого агрегату для мульчування стерні в порівнянні з існуючою технологією становить – 29877,12 грн/рік при обсязі роботи 864 га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Богатирьов Д.В., Сало В.М., Носуленко В.І., Мартиненко Д.В. Обґрунтування перспективних напрямків конструкцій подрібнювачів рослинних решток // Конструювання, експлуатація та виробництво сільськогосподарських машин, 2012, випуск 42, частина 1. С. 39-43.
2. Пушка О.С., Войтік А.В., Кравченко В.В., Кутковецька Т.О. Новітні енергетичні засоби та сільськогосподарські машини: підруч. / О.С. Пушка, А.В. Войтік, В.В. Кравченко, Т.О. Кутковецька. – Умань: Видавець «Сочінський М.М.», 2018.–244 с.
3. Радіонов Д. Надійні агрегати для мульчування // Агробізнес сьогодні.
<http://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/1133-nadiini-ahrehaty-dlia-mulchuvannia.html>
4. www.uniamachines.com
5. <https://agro-plus.com.ua/goods/izmelchitel-mulchirovatel-talex-leopard-200-2-0-m/>
6. <http://www.quivogne.at/ru/archive/products/mulchirovshhiki-bl/>
7. <https://www.bednar.com/ru/mulcher-mz/>
8. <https://t-i-t.com.ua/mulchuvach-trl-p-500/>
9. <https://www.carolinaap.com/new-equipment/rhino/flail-mowers/Row-Crop-Shredders/RC125>
10. <https://www.kuhn.ua>
11. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. том 2 частина 1. Машини для заготівлі кормів. – Х.: Око, 2003 – 360 с.
12. Сарана В.В., Кравченко В.В., Войтік А.В. Машини для утилізації плодової деревини в інтенсивних садах та кущових ягідниках: монографія / за ред. доцента В.В. Сарани – К.: ЦП «Компринт», 2015 – 203 с.
13. Охорона праці при вирощуванні сільськогосподарських культур: Навчальний посібник / М.М.Саkun, В.Ф. Нагорнюк; Одеський державний

Аграрний університет/. Кафедра безпеки життєдіяльності.- Одеса «Видавництво», 2009.- 184 с.

14. Працезохоронні засади у схемах, таблицях і графіках: Посібник / Укл. Войналович О.В. – К.: Основа, 2009. – 88 с.

15. Войналович О.В. Концепція розроблення системи відстеження потенційних небезпек в АПК / О.В. Войналович, В.О. Шеремет, М.О. Железняк // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2010. – Вип. 144, ч. 2. – С. 100–106.

16. Мельник І.І. 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.