

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ ____ ” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:**

**«Удосконалення конструкції котка-подрібнювача рослинних
решток»**

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,
групи ГМ-24М-1

ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____ Боєчко Максим Валерійович
« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи
професор, д-р техн. наук

_____ Василь САЛО
« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент
професор, д-р техн. наук

_____ Віктор АУЛІН
« ____ » _____ 2026 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

Галузь знань 13 – Механічна інженерія

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма ОНП «Галузеве машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« » 2026 року

**ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Боечко Максима Валерійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Удосконалення конструкції котка-подрібнювача
рослинних решток
2. Керівник роботи (проекту)
Сало Василь Михайлович, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання роботи до захисту 1.05.2026
4. Мета та завдання дипломної роботи (проекту) Підвищення надійності
виконання процесу подрібнення рослинних решток шляхом удосконалення
конструкції котка-подрібнювача
5. Перелік ілюстративного матеріалу 1. Основні типи подрібнювачів
рослинних решток – А1; 2. Наукова частина – 2А1;
3. Коток-подрібнювач рослинних решток – А1;
3. Коток-подрібнювача – А1, 4. Ніж- А3

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1 - 6	Сало В.М.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Стан досліджуваного питання та вибір напрямку досліджень	23.02 – 02.03.26	
2	Ознайомлення з технічним забезпеченням процесів подрібнення рослинних решток	03.03 – 15.03.26	
3	Виконання наукової частини	16.03 – 30.03.26	
4	Практична реалізація результатів досліджень	31.03 – 10.04.26	
5	Розробка заходів з охорони праці	11.04. – 15.04.26	
	Оформлення пояснювальної записки	16.04 – 20.04.26	
6	Оформлення ілюстративної частини роботи	21.04. – 01.05.26	

Дата видачі завдання

« 23 » 02 2026 р.

Підпис керівника

_____ (прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

« 23 » 02 2026 р.

Підпис здобувача

_____ Боєчко М.В.
(прізвище та ініціали)

Анотація

В роботі наведено аналіз поширених конструкцій подрібнювачів рослинних решток на поверхні поля та обґрунтована необхідність удосконалення конструкції котка-подрібнювача з ножовими барабанами. Представлена методика та технічне забезпечення лабораторних експериментальних досліджень залежності ймовірності забивання міжножового простору рослинними рештками від кута розхилу ножів та вологості рослинних решток. Встановлено, що мінімальне значення кута розхилу ножів при якому не спостерігається явище забивання становить $38...40^0$. Удосконалення конструкції ножового барабана котка-подрібнювача повинно усунути негативне явище забивання міжножового простору рослинними рештками, підвищити надійність виконання технологічного процесу, його продуктивність і якість.

Ключові слова: коток-подрібнювач, ножі, кути, надійність.

Annotation

It is in-process resulted analysis of widespread constructions of grinding down of vegetable bits and pieces on the surface of the field and reasonable necessity of improvement of construction of котка-подрібнювача with knife drums. Presented methodology and hardware of laboratory experimental researches of dependence of probability of hammering in interknife space by vegetable bits and pieces from the corner of розхилу of knives and humidity of vegetable bits and pieces. It is set that the minimum value of corner of розхилу of knives at that is not observed the phenomenon of hammering presents 38.400 . The improvement of construction of knife drum of котка-подрібнювача down must remove the negative phenomenon of hammering in interknife space vegetable bits and pieces, to promote reliability of implementation of technological process, his productivity and quality.

Keywords: коток-подрібнювач down, knives, corners

Зміст пояснювальної записки

№ п/п	Назва розділу, підрозділу	Стор.
	Вступ	6
2	Стан досліджуваного питання та вибір напрямку досліджень	8
2.1	Загальна характеристика процесів подрібнення рослинних решток на поверхні поля	8
2.2	Аналіз найбільш поширених конструкцій подрібнювачів рослинних решток	11
3	Наукова частина. Аналіз технологічного процесу подрібнення стебел соняшнику ножами котка-подрібнювача.	19
3.1.	Особливості процесу	19
3.2	Програма лабораторних експериментальних досліджень	24
3.3	Технічне забезпечення лабораторних експериментальних досліджень.	25
3.4.	Результати досліджень	28
4	Практична реалізація результатів досліджень.	30
4.1.	Опис об'єкту розробки та зміст удосконалення	30
4.2.	Технологічні розрахунки	34
4.3	Кінематичний та силовий аналіз	36
4.4	. Розрахунок підшипників ножового барабана	38
5.	Охорона праці.	42
5.1	Основні вимоги, щодо безпечної експлуатації котка-подрібнювача рослинних решток	42
	Висновки	44
	Список використаної літератури	46
	Додатки	48

Вступ

Рослинництво є стратегічною і найбільш ефективною галуззю сільськогосподарського виробництва. Природно-кліматичні умови та родючі землі України сприяють вирощуванню майже всіх видів культур і дають змогу отримувати високоякісне продовольче зерно.

Для вирішення задачі повного забезпечення постійно зростаючого попиту українського народу в продуктах сільськогосподарського виробництва важливе значення має збільшення валового збору продукції зернових та технічних культур, як основної сировини для внутрішнього виробництва продукції харчування так і для експорту в інші країни.

При цьому, є очевидним, що збільшення виробництва продукції рослинництва повинно бути досягнуто, перш за все, за рахунок підвищення врожайності. Досягти даних результатів без підвищуються вимоги до якості виконання всього комплексу технологічних процесів виробництва і особливо процесів основного та поверхневого обробітку ґрунту практично не можливо.

Необхідно зауважити, що рентабельність виробництва також в значній мірі визначається ефективністю всього комплексу технологічних процесів загальної технології виробництва тієї чи іншої культури.

В останні роки особлива увага приділяється енергозберігаючим, екологічно безпечним прийомам обробітку ґрунту з подальшою можливістю застосування сівби після його мінімальної підготовки, чи за технологіями нульового обробітку.

В даному випадку виникає потреба в розробці та популяризації використання вітчизняних, нових для сільськогосподарських виробників, машин – подрібнювачів рослинних решток. Використання таких машин забезпечує можливість мульчування поверхневих шарів ґрунту незалежно від подальших способів обробітку і сприяє насиченню ґрунтів органікою, накопиченню вологи та захисту від вітрових та водних ерозій. Тому питання розробки і удосконалення конструкцій спеціальних машин для подрібнення

рослинних решток, особливо після крупностеблових культур є досить актуальним.

Широке використання даної групи машин стримується низькою адаптацією до умов виробництва, яка потребує удосконалення їх робочих органів і конструкцій в цілому з метою підвищення надійності, як самих конструкцій так і надійності виконання технологічного процесу, а отже і його якості.

В даній магістерській кваліфікаційній роботі запропоновані заходи по удосконаленню конструкції котка-подрібнювача рослинних решток на поверхні поля, які призначені сприяти вирішенню зазначених цілей - забезпечити підвищення надійності та якості виконання технологічного процесу.

2. СТАН ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Загальна характеристика процесів подрібнення рослинних решток на поверхні поля

2.1.1. Поняття рослинних решток та їх роль у сучасному землеробстві

Рослинні рештки — це органічні залишки сільськогосподарських культур, що залишаються на полі після збирання врожаю у вигляді соломи, стерні, стебел, листя та інших елементів рослинної біомаси. У сучасних системах землеробства вони розглядаються не як відходи, а як важливий агрономічний ресурс.

Основні функції рослинних решток:

- поповнення ґрунту органічною речовиною;
- зменшення втрат вологи з поверхні ґрунту;
- захист ґрунту від водної та вітрової ерозії;
- стимулювання мікробіологічних процесів у верхньому шарі ґрунту.

Значення рослинних решток особливо зростає в умовах ресурсозберігаючих та ґрунтозахисних технологій обробітку ґрунту [1, 2].

2.1.2. Сутність і технологічна характеристика процесу подрібнення рослинних решток

Подрібнення рослинних решток на поверхні поля є механічним процесом зменшення лінійних розмірів пожнивних залишків та їх подальшого рівномірного розподілу по поверхні ґрунту. Дана операція може виконуватися безпосередньо під час збирання врожаю або як окрема технологічна операція після жнив.

Основними елементами процесу є:

- подрібнення стебел і соломи до заданої фракції;
- формування однорідного шару подрібненої маси;

- запобігання утворенню валків та локальних скупчень решток.

Якість подрібнення значною мірою визначає ефективність подальших агротехнічних операцій та швидкість мінералізації органічної маси [3].

Подрібнення рослинних решток спрямоване на вирішення комплексу агрономічних, екологічних та технологічних завдань.

До основних завдань належать:

- створення сприятливих умов для біологічного розкладання органічної маси;
- забезпечення рівномірного мульчуючого шару на поверхні поля;
- зменшення негативного впливу решток на роботу ґрунтообробної та посівної техніки;
- підвищення ефективності використання поживних речовин, акумульованих у рослинних рештках.

Реалізація цих завдань сприяє підвищенню стабільності агроєкосистем і збереженню родючості ґрунтів [4].

Наявність подрібнених рослинних решток на поверхні поля істотно впливає на фізичні, хімічні та біологічні процеси у ґрунті, основними позитивними ефектами які є:

- зниження інтенсивності випаровування вологи;
- зменшення ущільнення верхнього шару ґрунту;
- активізація ґрунтової мікрофлори та фауни;
- покращення структури ґрунту та його водопроникності.

Водночас надмірна кількість нерівномірно подрібнених решток може ускладнювати прогрівання ґрунту та негативно впливати на строки й якість сівби наступних культур [5].

2.1.3 Основні проблеми та обмеження процесу подрібнення рослинних решток

Незважаючи на значні переваги, процес подрібнення рослинних решток супроводжується низкою проблем.

Найпоширеніші з них:

- нерівномірність подрібнення і розподілу рослинної маси;
- залежність ефективності процесу від вологості решток і погодних умов;
- підвищене навантаження на робочі органи машин;
- ускладнення роботи сівалок у разі надлишкового шару решток.

Вирішення зазначених проблем потребує удосконалення конструкцій подрібнювальних машин та оптимізації технологічних режимів їх роботи [6].

Для подрібнення рослинних решток на поверхні поля застосовують різні типи машин:

- подрібнювачі соломи зернозбиральних комбайнів;
- мульчувачі та ротаційні подрібнювачі;
- комбіновані агрегати для подрібнення і часткового загортання решток.

Нажаль, не всі сучасні технічні рішення передбачають можливість регулювання ступеня подрібнення та рівномірності розподілу рослинної маси залежно від умов поля та технології обробітку ґрунту [7,8].

Подрібнення рослинних решток на поверхні поля є важливою складовою сучасних технологій землеробства. Ефективне виконання цього процесу забезпечує збереження родючості ґрунту, оптимізацію водного режиму та підвищення ефективності наступних агротехнічних операцій. Разом з тим, існуючі технічні й технологічні проблеми зумовлюють необхідність подальших наукових досліджень у цьому напрямі.

2.2. Аналіз найбільш поширених конструкцій подрібнювачів рослинних решток

Подрібнювачі рослинних решток, що залишаються на поверхні поля після збирання врожаю, є сільськогосподарськими машинами, використання яких широко впроваджене в розвинених країнах як обов'язковий елемент енергозберігаючих технологій виробництва продукції рослинництва. В умовах України аналогом операції подрібнення здебільшого виступає дискування, переважно важкими дисковими бородами, які з часом набули репутації знарядь, що негативно впливають на структурний стан ґрунту. Споживацьке ставлення до ґрунтового покриву з боку окремих землекористувачів, які не враховують довгострокові наслідки його експлуатації, стримує впровадження сучасних технологічних рішень у галузі рослинництва. Унаслідок цього подрібнювачі рослинних решток залишаються малопоширеними та недостатньо відомими для вітчизняного агровиробника. Водночас ефективність застосування цих машин є очевидною, оскільки вони забезпечують підготовку поверхні поля до подальшого обробітку за будь-якої технології без надмірного ущільнення ґрунту, а також без його перерозпушування і руйнування структури, відновлення якої потребує десятків років [9].

Подрібнення рослинних решток та їх рівномірний розподіл по поверхні поля є одним із ключових завдань у системі раціонального обробітку ґрунту. Провідні світові виробники сільськогосподарської техніки випускають подрібнювачі рослинних решток у широкому діапазоні типорозмірів, розрахованих на агрегування з тракторами потужністю від 15 до 190 кВт. У таких машинах застосовуються два основних типи подрібнювальних робочих органів: з вертикальною віссю обертання молотків або ножів та з горизонтальною віссю обертання ротора, на якому закріплені ножі.

Подрібнювачі рослинних решток характеризуються значною різноманітністю конструктивних виконань і мають розгалужену

класифікацію. За принципом роботи робочих органів їх поділяють на дві основні групи: подрібнювачі з активними робочими органами, що мають привод, та подрібнювачі без приводу.

До подрібнювачів без приводу з активними робочими органами належать дискові борони (з гладкими або вирізними дисками) і лушчильники (дискові та лемішні). Машини з приводними активними робочими органами представлені косарками-подрібнювачами з жорсткими або шарнірними молотками, а також комбінованими агрегатами з вертикальними, горизонтальними або похилими осями обертання.

За основними конструкційними ознаками більшість подрібнювачів рослинних решток поділяють на три групи:

- машини з горизонтальним розташуванням осі обертання робочих органів (переважно ножів);
- машини з вертикальним розташуванням осі обертання робочих органів;
- котки-подрібнювачі.

Характерним представником першої групи є мульчувач [10] (рис. 4.1), який ефективно застосовується для обробітку великих площ з метою подрібнення рослинних решток кукурудзи, соняшнику, ріпаку та інших культур після збирання врожаю, а також високої трави й чагарникової рослинності на занедбаних або необроблюваних землях. Даний тип подрібнювача забезпечує якісну обробку ділянок з рослинністю від трав'яного покриву до чагарників діаметром до 6 см.

Робочі органи подрібнювача змонтовані на роторі за схемою подвійної спіралі, що дає змогу зменшити навантаження на двигун трактора до 24 % або, відповідно, підвищити продуктивність машини до 32 % порівняно з аналогічними зразками конкурентів. Машина відзначається високою міцністю та жорсткістю конструкції, а також простотою у використанні й технічному обслуговуванні. Водночас задня комбінована конструкція з двох подрібнювальних секцій забезпечує ефективну роботу на ділянках із

поздовжнім рельєфом до $\pm 15^\circ$ відносно горизонталі у напрямку руху трактора.



Рис. 4.1. Загальний вигляд мульчувача EURO TRIPLEX 800 (DUPLEX 800) ANG

Робоча ширина захвату подрібнювача становить 7,9 м, а допустима робоча швидкість досягає 8 км/год. Завдяки високій надійності та добрим експлуатаційним показникам дана машина придатна для інтенсивної роботи на великих площах. Запатентований ротор із подвійною спіраллю розташування робочих лопаток під кутом 45° забезпечує підвищення ефективності роботи до 24 %. За такої конструкції ротор працює стабільніше, із меншими динамічними навантаженнями на вузли та елементи подрібнювача.

Технічні характеристики подрібнювача:

Робоча ширина захвату, см — 790

Габаритна ширина, см — 803

Транспортна висота, см — 325

Транспортна ширина, см — 300

Потужність трактора, кВт / к.с. — 160–205 / 220–280

Частота обертання ВВП трактора, об/хв — 1000

Частота обертання ротора, об/хв — 2250

Діаметр ротора, мм — 200

Товщина стінки ротора, мм — 12,5

Загальна маса з молотками, кг — 2350

Загальна маса з Y-подібними ножами, кг — 2345

Кількість молотків, шт — 96

Кількість Y-подібних ножів, шт — 288

Максимальний діаметр стебел при подрібненні молотками, см — 6

Максимальний діаметр стебел при подрібненні Y-подібними ножами, см — 2

Подібним за конструктивним виконанням і функціональним призначенням є подрібнювач EURO OPEN [11] (рис. 4.2), який застосовується для догляду за великими площами зелених насаджень як у комунальному господарстві, так і в аграрному виробництві. Даний агрегат є ефективним для скошування високотравної та чагарникової рослинності на занедбаних і необроблюваних ділянках, оскільки забезпечує подрібнення стебел діаметром до 6 см.

Завдяки підвищеній міцності конструкції та високим експлуатаційним показникам подрібнювач також забезпечує якісне подрібнення кукурудзяної соломи, бадилля та інших рослинних решток, що залишаються після збирання врожаю. Для підвищення продуктивності процесу скошування й подрібнення передбачена можливість відкривання заднього люка, що сприяє збільшенню швидкості роботи агрегату.

Для виконання енергоємних і складних технологічних операцій як робочі органи доцільно застосовувати молотки, тоді як Y-подібні ножі (рис. 4.3) рекомендуються для скошування трав'яної рослинності та більш м'яких рослинних решток. Висока міцність конструкції забезпечує надійність і тривалий строк експлуатації машини навіть за інтенсивних та важких умов роботи.



Рис. 4.2. Загальний вигляд подрібнювача рослинних решток марки EURO OPEN

Як правило, косарка оснащується системою автоматичного натягу ремінної передачі, а також вентилятором, призначеним для додаткового охолодження ременів.



Рис. 4.3 — Різець типу «Y»

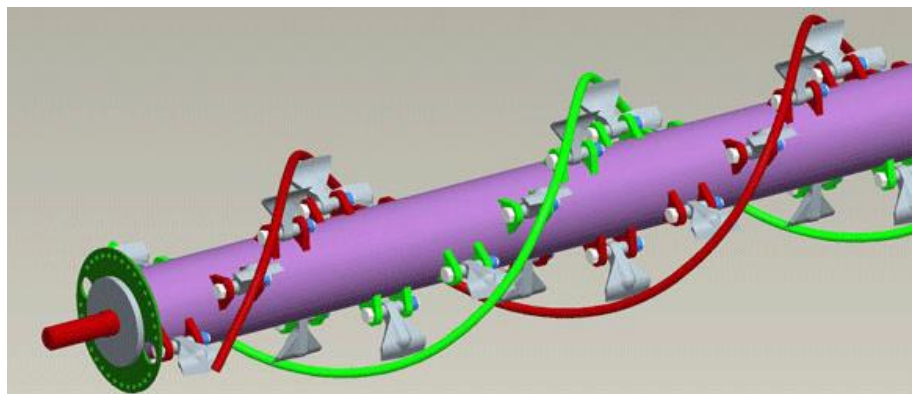


Рис. 4.4. Ротор із двохспіральним розподілом робочих елементів і балансувальними дисками

Двухспіральний ротор (рис. 4.4) з розташуванням робочих елементів під кутом 45° , інтегрований у конструкцію косарки, сприяє зменшенню енерговитрат на процес подрібнення. За такого виконання робочих органів знижується потреба в потужності трактора, робота агрегату стає більш стабільною та менш шумною, а навантаження на підшипникові вузли й інші деталі конструкції істотно зменшується.

Представником другої групи машин є подрібнювач рослинних решток – ПРН - 4,5. (Рис. 4.5) [12].



Рис. 4.5. Подрібнювач рослинних решток – ПРН - 4,5

Призначений для подрібнювання рослинних решток, які залишилися на полі після збирання врожаю та рівномірного розподілення їх по поверхні поля

Агрегатується з тракторами тягового класу 3,0 (Т-150 К)

В Аргентині виробляють подрібнювач рослинних решток DAL-BO Maxicut 600 [13] (Рис.4.6)

Призначення: подрібнювання рослинних решток кукурудзи, соняшнику, рапсу, овочів і т.п.



Рис. 4.6 Загальний вигляд подрібнювача рослинних решток DAL-BO Maxicut 600

Навантаження, що припадає на один ніж, становить близько 2000 кг (за умови використання котків, заповнених водою). Висока робоча швидкість

агрегату — до 25 км/год — забезпечує можливість обробітку площі до 100 га протягом одного світлового дня.

Технічні характеристики подрібнювача:

Робоча ширина, м — 5,8

Транспортна ширина, м — 3,0

Тип шин — 40/60×15.5

Розміри котка (діаметр / товщина стінки), мм — 710 / 7

Кількість ножів, шт — 90

Робоча швидкість, км/год — 18–25

Продуктивність, га/год — до 10

Загальна маса (без води / з водою), кг — 4300 / 6100

Потужність трактора, к.с. — 150

Подрібнювачі рослинних решток розглянутих конструкційних груп характеризуються наявністю як переваг, так і недоліків. Машини перших двох груп забезпечують подрібнення рослинних решток без безпосереднього контакту робочих органів із ґрунтом, що унеможливорює руйнування його структури. Разом із тим такі подрібнювачі мають складнішу конструкцію та потребують значних витрат енергії на привід робочих органів.

Котки-подрібнювачі, навпаки, відзначаються простотою конструкції, однак для реалізації технологічного процесу вони повинні мати значну масу, що зумовлює їх високу металомісткість. Подрібнення рослинних решток у цьому випадку здійснюється за принципом підпірного різання, де опорною поверхнею слугує ґрунт. За таких умов ґрунтовий покрив зазнає певного негативного впливу, пов'язаного з порушенням структури, проте інтенсивність цих процесів є істотно меншою порівняно з дискуванням, яке широко застосовується на сьогодні та використовуватиметься до повного впровадження спеціалізованих подрібнювачів. Основним недоліком котків – подрібнювачів рослинних решток є висока ймовірність забивання міжножового простору рослинними рештками. В зв'язку з цим конструкція

даних машин, як і технологічний процес роботи, потребує глибокого аналізу і пропозицій по вирішенню даної проблеми.

З огляду на інші характеристики, застосування котків-подрібнювачів є доцільним, принаймні для подрібнення рослинних решток після збирання соняшнику. З урахуванням значних площ, відведених під вирощування цієї культури в Україні, удосконалення конструкцій вітчизняних котків-подрібнювачів слід вважати актуальним і перспективним напрямом.

3. НАУКОВА ЧАСТИНА

Аналіз технологічного процесу подрібнення стебел соняшнику ножами котка-подрібнювача.

3.1. Особливості процесу

Фізичний зміст процесу подрібнення стебел соняшнику котками-подрібнювачами полягає в тому, що при перекачуванні ножового барабана, по поверхні поля плоскі ножі притискають стебла рослин до ґрунту перерізають їх гострими лезами і залишають на поверхні поля окремі частинки. Ефективність роботи будь якої машини, в першу чергу, визначають за показниками надійності та якості виконання технологічного процесу. Та забезпечити надійне виконання робочого процесу, як і його якість, не завжди вдається. Особливе занепокоєння викликає саме якісний показник даного процесу. Справа в тім, що відповідно до основних задач подрібнення рослинних решток є забезпечення розмірів частинок подрібнених стебел у діапазоні оптимальному для швидкого і якісного їх розкладання у ґрунті, перетворення в органічні кислоти та подальша участь у формуванні чи відновленні гумусу. Згідно різних джерел інформації максимальні розміри частинок після подрібнення стебел заявлені в межах від 6 до 20см. Чітких агротехнічних вимог стосовно даного показника немає, але часто перевага віддається більш інтенсивному подрібненню. Мають місце і вимоги лояльного характеру, так згідно сформованих ННЦ ІМЕСГ вимог, машини аналогічного призначення повинні подрібнювати стебла до розмірів менших за 20 см. при яких вони можуть бути зароблені при послідовному основному обробітку ґрунту. Цілком можливо, що відсутність точного значення такого важливого показника відсутня саме по причині складності його забезпечення в діапазоні близькому до 5-6см. Подрібнюючими елементами даних машин є плоскі ножі закріплені на поверхні циліндричних барабані паралельними рядами на певній відстані між ними. На перший погляд, для суттєвого

подрібнення стебел потрібне виконання двох основних умов. Перша – встановлення відстані між ножами, закріпленими на поверхні циліндричного барабана, яка б відповідала заданій довжині частинок подрібнених стебел, друга – необхідна мінімальна маса самого ножового барабана, чи маса, яка приходить на один ніж в момент контакту зі стеблом, якої повинно бути достатньо для перерізання чи перебивання досить міцних стебел соняшнику, кукурудзи чи інших рослин. Дані умови є пов'язаними між собою, але задовольнити їх вдається не завжди. Подрібнення стебел рослин характеризується як підпорне різання, функції опори виконує ґрунт. Стан ґрунту суттєво впливає на характеристики даного процесу. Для того щоб ніж міг перерізати рослинні рештки він повинен мати певну гостроту леза і висоту, достатню для того щоб тиснути на стебло притискаючи його до поверхні ґрунту, а за певних ґрунтових умов і вдавлюючи його в м'який ґрунт на певну глибину до досягнення величини зусилля підпорного різання, здатного зруйнувати стебло. В більшості конструкцій котків-подрібнювачів висота ножів закладається в межах 12...15см. Створити універсальну конструкцію котка-подрібнювача для різних видів сільськогосподарських культур поки що не вдається по причині суттєвої різниці в механіко-технологічних властивостях їх пожнивних решток. На даний час, виробники машин орієнтуються на дві основні культури – соняшник і кукурудза. Стебла соняшнику мають меншу твердість, легше піддаються подрібненню, потребують менших затрат енергії, а отже і маси самих котків. Для подрібнення стебел кукурудзи необхідна питома маса машини в 1,5т і більше на 1м. ширини захвату. Виходячи з цього, при подрібненні рослин з пористими стеблами, які легко руйнуються можна використовувати в якості основи для циліндричного барабана труби діаметром 200...250 мм. З урахуванням висоти ножів діаметр ножового барабана становить 50...55см. На поверхні таких барабанів розташовують 7-8 рядів ножів, при цьому відстань між лезами сусідніх рядів ножів становить понад 20 см. (рис. 3.1). За

таких умов говорити про високий ступінь подрібнення рослинних решток не доводиться, але такі машини використовують за відсутності альтернативи.

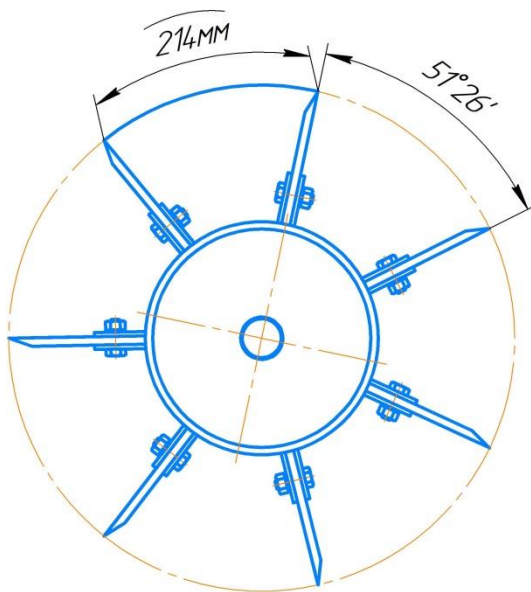


Рис. 3.1. Розташування плоских ножів на поверхні циліндра малого діаметра.

Особливість такої конструкції в тому, що кут розхилу між площинами таких ножів становить близько 45° . І в такому випадку, навіть при частковому проникненні їх в ґрунт, одночасно з ним і стеблами повноцінно контактуватиме тільки один ніж, а наступний розпочне виконувати свої функції вже в момент чи після відриву попереднього від поверхні поля. За таких умов, рослинно-ґрунтова маса не може бути затиснута між сусідніми ножами і процес забивання матиме досить низьку імовірність. Здається вирішити проблему зменшення довжини подрібнених частинок можна шляхом збільшення кількості рядів ножів. Але за таких умов подрібнювач стає непрацездатним, так як кут розхилу між ножами стає значно меншим і створюються умови для защемлення між сусідніми ножами подрібнених частинок стебел разом з частинками ґрунту пояснюється це при розгляді будови котків великого діаметру та великої маси понад 1,5т, призначених

подрібнювати такі культури як кукурудза та інші з міцними стеблами (рис. 3.2).

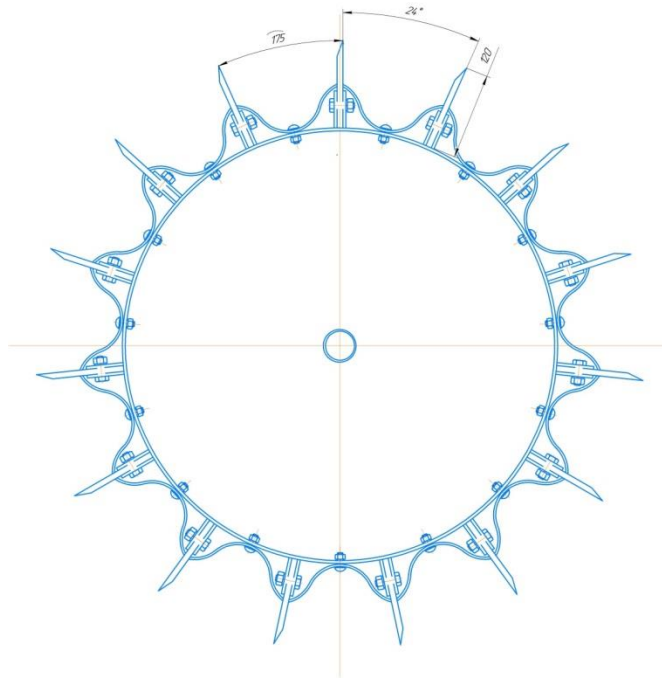


Рис. 3.2. Розташування ножів на поверхні циліндра великого діаметра та меншій відстані між лезами сусідніх рядів.

Зазвичай, такої маси досягають шляхом значного збільшення діаметра циліндра з додатковим заповнення його водою чи іншими сипкими матеріалами. При зменшенні відстані між лезами ножів і великому діаметрі циліндра кількість ножів значно збільшується і кут розхилу між ними суттєво зменшується. Саме за таких умов виникає явище одночасного контакту з ґрунтом і рослинними рештками двох, а в окремих випадках навіть трьох ножів і відбувається одночасне з перерізанням стебел затискання їх частинок разом з частинками ґрунту між площинами сусідніх ножів. Ймовірність даного явища суттєво підвищується з підвищенням вологості як рослинного матеріалу так і ґрунту. Як наслідок, при защемленні певної кількості рослинно-ґрунтової маси між площинами ножів, виконання технологічного процесу стає неможливим і машина втрачає працездатність.

Передбачається, що для вирішення даної задачі необхідне обґрунтування раціональних конструкційних параметрів ножових барабанів,

а для цього необхідно мати інформацію про ряд основних впливових факторів на представлений процес та характер їх .

Для ефективного пошуку шляхів вирішення даної проблеми, перш за все потрібна точна інформація про граничні значення кутів розхилу ножів при яких стає можливим процес забивання міжножового простору рослинно-грунтовою масою, а також вплив інших факторів на даний процес.

В якості оціночного показника процесу забивання міжножового простору можна використовувати ймовірність його виникнення P %. Результати попередніх досліджень [14] свідчать, що до найбільш впливових факторів на даний показник імовірності P забивання належать: з конструкційних параметрів – кут розхилу α між сусідніми ножами; до технологічних – вологість стебел рослин A .

Отримання достовірної інформації про зв'язок між названими параметрами сприятиме вирішенню даної задачі шляхом обґрунтування раціональних конструкційних параметрів ножового барабана.

На підставі вище викладеного:

Мета даного дослідження – підвищення надійності функціонування подрібнювача рослинних решток шляхом обґрунтування раціонального значення кута розхилу ножів на барабані.

Об'єкт дослідження – процес подрібнення стебел рослин на поверхні ґрунту.

Предмет дослідження – залежність імовірності виникнення явища забивання міжножового простору частинами подрібнених рослин та ґрунтом від їх механіко-технологічних та фізико-механічних властивостей.

Задачі досліджень:

- розробити методику визначення параметру оптимізації – імовірність забивання міжножового простору частинками подрібнених стебел рослин в лабораторних умовах;
- запропонувати будову і виготовити стенд та додаткове обладнання для проведення лабораторних досліджень запланованого до вивчення процесу;
- провести експериментальні лабораторні дослідження процесу забивання міжножового простору частинками подрібнених стебел рослин;
- виконати статистичний обробіток та аналіз результатів досліджень;
- встановлення залежності імовірності P забивання міжножового простору частинками подрібнених стебел рослин від кута розхилу між ножами α та вологості даних стебел.
- запропонувати практичні рекомендації по удосконаленню конструкції ножового барабана котка-подрібнювача рослинних решток.

Наукова новизна. Встановлено залежність імовірності P забивання міжножового простору частинками подрібнених стебел рослин та ґрунтом від кута розхилу між ножами α та вологості даних стебел A .

3.2. Програма лабораторних експериментальних досліджень

Програмою лабораторних експериментальних досліджень передбачалося встановлення залежності параметра оптимізації Y_1 – імовірності забивання міжножового простору частинками подрібнених стебел рослин (відсоток виявлених випадків забивання з двадцяти залікових повторностей процесу перерізання стебел одночасно двома сусідніми ножами закріпленими на фрагменті ножового барабана) від кута розхилу ножів X_1 та вологості стебел X_2 (табл.3.1) [15].

Вихідні дані до проведення лабораторних експериментальних
досліджень

№ п. п.	Фактори		Рівні варіювання		Інтервал варіюван ня
	Найменування	Позна- чення	Верхній (+)	Нижній (-)	
1	Кут розхилу ножів (α , град)	x_1	35	155	5
2	Вологість стебел рослин (A , %).	x_2	75	15	15

3.3. Технічне забезпечення лабораторних експериментальних досліджень.

Проведення лабораторних експериментальних досліджень забезпечували з використанням спеціально розробленого для даної операції стенда, до складу якого входили: станина 1; гідравлічний прес 2; фрагмент ножового барабана 3 та ємкість з ґрунтом 4 (рис.3.3).

Фрагмент барабана представляє собою основу(рис.3.4), виготовлену з дерева, яка має форму трапеції у поперечному перетині з різними величинами основ. При закріпленні до її боковин плоских ножів, між ними утворювався кут розхилу передбачений програмою досліджень. Всього використано п'яти таких основ 0, які забезпечували кутів між ножами 25;30;35;40 і 450.

Вологість стебел (рис.3.5) забезпечували наступним чином. Матеріал підбирали на полях відразу після збирання врожаю соняшнику. Відбирали стебла зеленого кольору, за попередніми замірами, вони мали найбільший вміст вологи, понад 75%. Потім, в лабораторних умовах підсушували їх до необхідної вологості і проводили відповідну частину експерименту.



Рис.3.3. Загальний вигляд стану для визначення ймовірності забивання міжножового простору частинками подрібнених стебел соняшнику:
1 – станина; 2 – гідравлічний прес; 3 – фрагмент ножового барабана;
4 – ємкість з ґрунтом.

Процес з часом повторювали до висихання стебел з вмістом вологи 15%. Досліди проводили в дослідній лабораторії кафедри сільськогосподарського машинобудування.

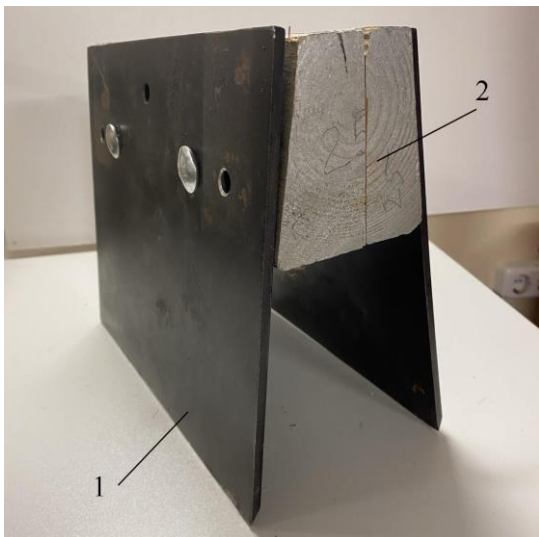


Рис.3.4. Фрагмент ножового барабана:
1 – ножі; 2 – трапецієвидна основа



Рис.3.5. Стебла соняшнику:
1 – максимальної вологості;
2 – після висушування

Зміст експерименту був наступним. З урахуванням попередньо передбачуваних сприятливих умов протікання процесу перерізання до забивання міжножового простору частинками подрібнених стебел, до яких належить і одночасна дія на стебло двох ножів, стебла розміщували на поверхні ґрунту, над ними встановлювали фрагмент барабана з двома ножами і притискали його штоком гідравлічного преса.



Рис.3.6. Затискання стебел між ножами

Ножі перерізували стебла рослин, частина з яких залишалася затиснутою між їх внутрішніми площинами (рис.3.6). Кількість частинок перерізаних стебел, яка залишалася між ножами, виражена у відсотках до загальної кількості перерізаних стебел у межах усієї вибірки (20 повторностей) приймали як показник імовірності забивання міжножового простору.

Дана конструктивна стенду дозволила суттєво знизити трудомісткість і вартість процесу порівняно з польовими випробуваннями. До того ж використовуючи тільки змінну основу – фрагмент ножового барабана можна встановлювати одні і ті ж ножі під різними кутами, чого досягти в польових умовах з використанням серійних машин практично неможливо.

3.4. Результати досліджень

Результати лабораторних досліджень заносили в журнал з послідуочим підрахунком значень показника імовірності забивання у відсотках, які використовували при подальшому статистичному аналізі процесу за зведеними в табл. 3.2 даними.

Таблиця 3.2.

Експериментальні дані залежності імовірності P забивання міжножового простору частинками стебел рослин соняшнику від кута розхилу площин ножів α та вологості стебел $A, \%$

$A, \%$ $\alpha, \text{град}$	15	30	45	60	75
15	70	80	90	95	75
20	60	65	70	75	80
25	40	50	55	60	70
30	20	30	35	40	50
35	10	15	20	25	30

За результатами проведених лабораторних експериментальних досліджень отримане рівняння регресії, що описує зв'язок між параметром оптимізації та впливовими факторами, а також побудовані графічні інтерпретації представленої залежності у вигляді поверхні відгуку та ліній рівних зрізів (рис.3.6)

$$P = 111,3571 - 3,0571 \cdot x + 0,6057 \cdot y - 0,0029 \cdot x \cdot x - 0,004 \cdot x \cdot y - 0,001 \cdot y \cdot y$$

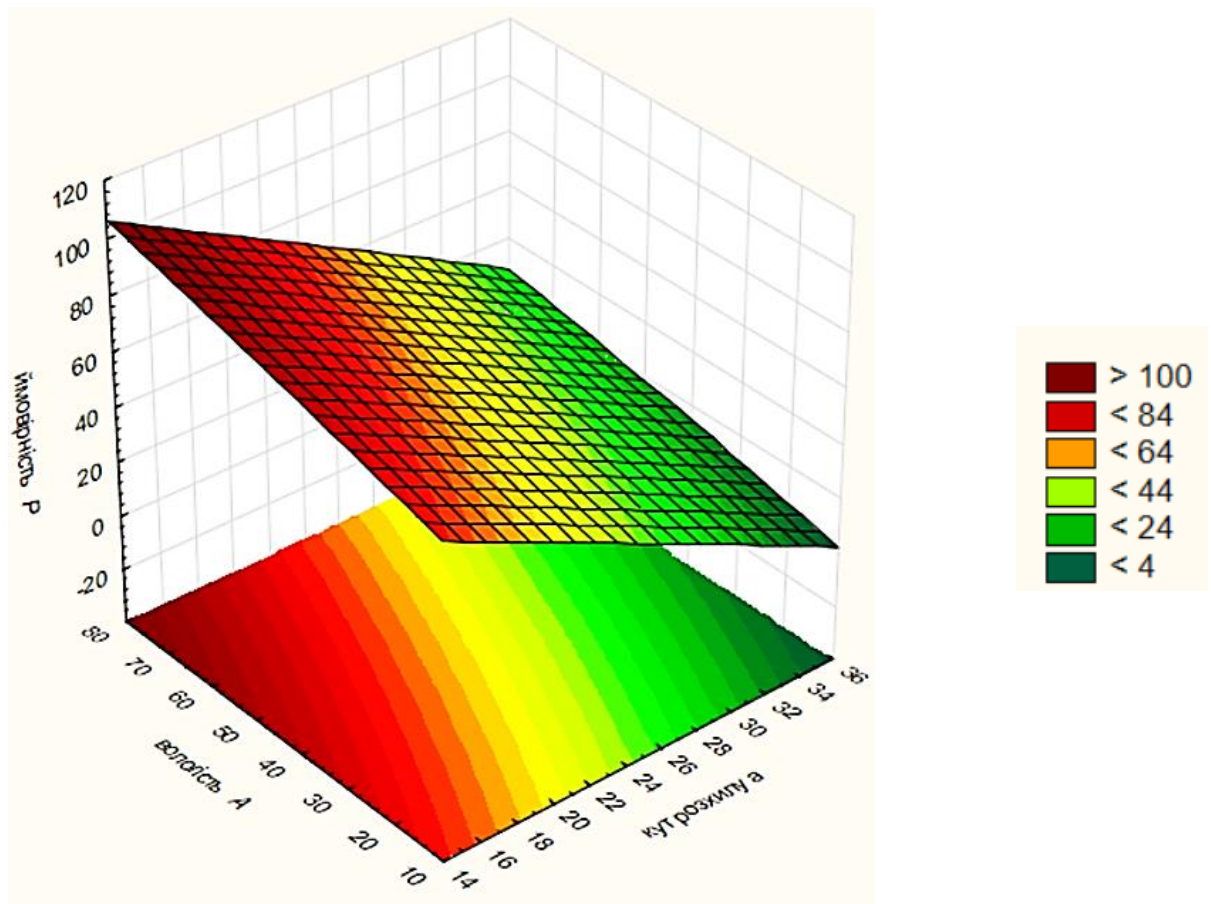


Рис. 3.7. Графічне відображення залежності показника ймовірності $P(\%)$ забивання міжножового простору частинками подрібнених стебел рослин соняшнику від кута розхилу між ножами $\alpha, \text{град}$ подрібнюючого барабана та вологості подрібнюваних стебел $a, \%$:

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що представлені впливові фактори протилежно впливають на зміну показника ймовірності забивання міжножового простору частинками подрібнених стебел соняшнику але ступінь впливу кута розхилу є сильнішою ніж вологість стебел. Досягти ж достатньої надійності виконання технологічного процесу (на підставі рис. 3.7) можна при кутові розхилу ножів понад 40° та мінімальній вологості стебел $\leq 10\%$.

Представлені результати експериментальних досліджень враховані при розробці конструкції ножового барабана, призначеної вирішити

проблему забивання міжножового простору частинками подрібнених стебел соняшнику чи інших, аналогічних за механіко-технологічними властивостями рослин.

4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Опис об'єкту розробки та зміст удосконалення

На підставі аналізу існуючих конструкцій котків-подрібнювачів та результатів лабораторних випробувань пропонується удосконалити конструкцію серійного котка-подрібнювача рослинних решток марки КП-6 (рис.4.1), здатну виконувати технологічний процес подрібнення з мінімальною ймовірністю забивання міжножового простору рослинно-грунтовою масою.



Рис. 4.1. Загальний вигляд котка-подрібнювача рослинних решток марки КП-6

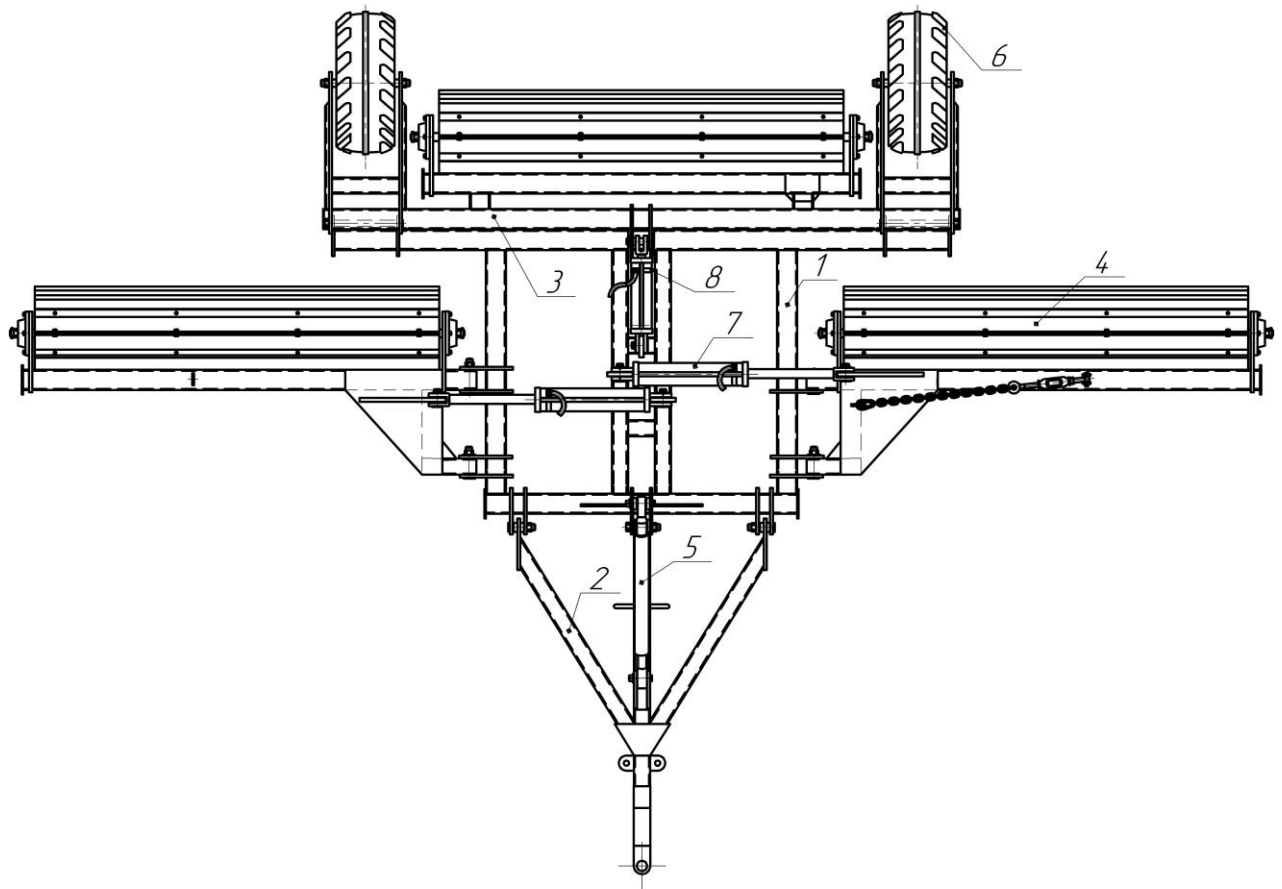


Рис.4.2. Схема котка-подрібнювача рослинних решток соняшнику КП-6:
1 – рама; 2 – причіпний пристрій; 3 – траверса заднього котка; 4 – бокові секції котків; 5 – гвинтова стяжка регулювання положення причіпного пристрою по висоті; 6 – транспортні колеса; 7 – гідроциліндри бокових секцій; 8 – гідроциліндр транспортного положення.

Даний подрібнювач складається з ряду основних вузлів об'єднаних навколо рами, Робочими органами котка є ножові барабани розміщені в двох бокових та одній задній секції 4, які шарнірно з'єднані з воковими та заднім брусом рами 1. На кожному барабані жорстко встановлено по 7 плоских ножів з відстанню між сусідніми лезами понад 20 см, що не є оптимальним варіантом ступеня подрібнення рослинних решток, який має бути значно меншим. Величина перекриття ширини захвату передніх барабані заднім

становить 50 мм. Ширина захвату одного барабана 2000 мм, діаметр барабана по краю лез 550мм. Ширина ножової полоси 150мм. Ножі змінні і закріплюються до упорів на циліндричній поверхні барабана болтовими з'єднаннями. Подрібнювач є причіпною машиною. За рахунок наявності в його конструкції гвинтової стяжки 5 його можна агрегувати з тракторами різних марок тягового класу 2 не залежно від конструкційного розташування їх навісного чи причіпного пристрою. Переведення подрібнювача з робочого у транспортне положення і навпаки відбувається завдяки центральному гідроциліндру, який передає зусилля штоку на траверсу задніх коліс, підкочуючи їх під раму, в результаті чого вона піднімається відносно поверхні поля. Паралельно з ким, поперечні гідроциліндри піднімають бокові секції. Коток здатний працювати на швидкостях до 25 км/год.

Працює подрібнювач наступним чином. При перекошуванні по поверхні поля покритому рослинними рештеами ножові барабани притискають їх до ґрунту і перерізають. Для цього процесу більше б підходив термін перерубують, так як ножів на барабані мало, відстань між ними велика і контактує з рослинними рештками у момент перерубування тільки 1 ніж, на якому барабан піднімається на певну висоту, а потім опускається на висоту умовної дуги відділеної від діаметра барабана лінією, яка з'єднує леза двох сусідніх ножів.

При такій конструкції подрібнювача, зменшити довжину подрібнених рослинних решток не представляється можливим, тому для покращення даного показника виконання технологічного процесу пропонуємо удосконалити будову ножового барабана наступним чином.

Для цього пропонується конструкція ножового барабана котка-подрібнювача рослинних решток, який складається з пустотілого циліндра, осі, радіально і жорстко закріплених на поверхні циліндра пластин та ножів. Особливість даних ножів полягає в тому, що їх бокові поверхні мають отвори розташовані відносно отворів на ножах сусіднього ряду зі зміщенням на половину відстані між ними (Рис.4.3).

В основу роботи ножового барабана покладено відомий факт про те, що для защемлення будь якого матеріалу потрібні дві опори.

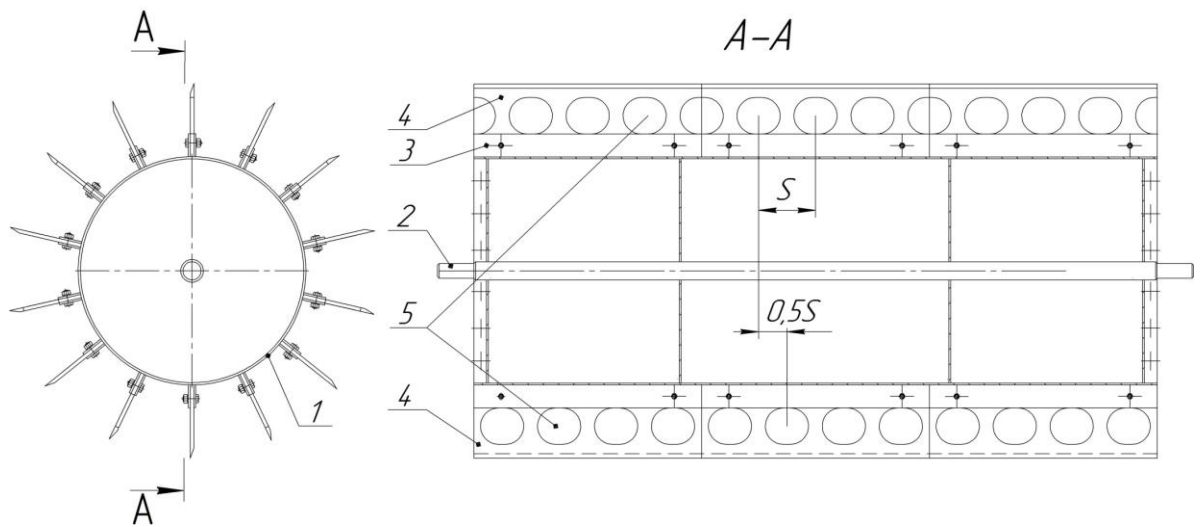


Рис.4.3. Вигляд ножового барабана, який пропонується до використання у складі подрібнювача рослинних решток

Ножовий барабан котка-подрібнювача рослинних решток працює таким чином.

При перекочуванні ножового барабана по поверхні поля подрібнені частини рослинних решток під дією маси самого барабана протискаються між боковими поверхнями ножів (опорами) і затискаються між ними. При подальшому переміщенні вони потрапляють в зону отворів, дія одної з опор припиняється і вони випадають на поверхню поля.

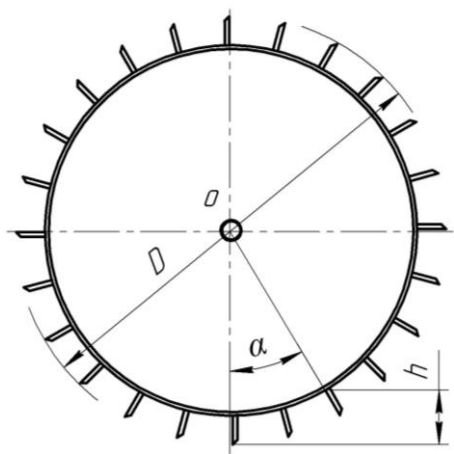
Таким, чином запропонована конструкція призвана підвищити надійність протікання технологічного процесу подрібнення рослин та рослинних решток шляхом усунення явища забивання міжножового простору рослинно-грунтовою масою за рахунок використання в конструкції барабана, ножів, бокові поверхні яких мають отвори.

4.2.. Технологічні розрахунки.

4.2.1. Визначення параметрів ножового барабана

До основних параметрів котка належать: діаметр та ширина (довжина). При розрахунку діаметра барабана, необхідно урахувати поздовжню деформацію ґрунту. При цьому повинна виконуватися умова, що кут α (Рис. 4.4) [16] обхвату барабана ґрунтом не повинен перевищувати 20° . За таких умов ґрунтовий вал перед барабаном матиме незначний розмір. При роботі котків-подрібнювачів рослинних решток, окремі ножі барабанів можуть проникати в ґрунт на глибину до 5 см, і в такому випадку кут обхвату буде становити дещо більше 20° .

На підставі рис. 4.4 видно, що



$$\cos \alpha = \frac{D - 2h}{D} = 1 - \frac{2h}{D}, \quad (4.1)$$

де D – діаметр барабана;

h – глибина проникнення барабана в ґрунт.

Рис 4.4. Схема до визначення діаметра ножового барабана технологічного призначення котка та конструкційних параметрів плоских ножів, якими він обладнується максимальне значення $h=5$ см. Значення кута α приймаємо близьким до половини максимально можливого кута обхвату барабана ґрунтом $\alpha=35^\circ$. Тоді

$$D \geq \frac{2h}{1 - \cos \alpha}. \quad (4.2)$$

$$D \geq \frac{2h}{1 - \cos 20^\circ} = \frac{2 \cdot 50}{1 - 0,819} = 551 \text{ мм}$$

Приймаємо значення $D=550$ мм., яке відповідає значенням діаметру відомих барабанів вітчизняного виробництва.

Ширину захвату барабана зазвичай вибирають з урахуванням умов копіювання рельєфу поверхні поля. В умовах рівнинних полів ширина барабана становить до 2 м, а для гірського рельєфу та пересічених полів з нерівностями – не більше ніж 1 м.

Процес роботи інших котків - кільчасто-шпорових, кільчасто-зубчастих, кільчастих, борончастих чи дискових дещо відмінний від роботи ножових барабанів подрібнювачів. Вони залишають розпушеним верхній шар ґрунту, а нижній – ущільнюють, як це робить гладенький водоналивний коток.

Значні зміни фізико-механічних властивостей ґрунту ускладнюють точність розрахунку зусилля на перекочування як котків так і ножових барабанів. Тому можна зустріти в літературі різні формули для отримання значення даного параметру.

Орієнтовне зусилля на перекочування колеса чи котка вперше визначив Грандвуазьє, а пізніше підтвердив В.П. Горячкін.

Згідно з цими розробками зусилля P на перекочування гладкого котка визначають за формулою, скористаємося даною формулою для визначення зусилля на перекочування ножового барабана

$$P = 0,863 \sqrt{\frac{G^4}{q_0 B D^2}}, \quad (4.3)$$

де G – маса барабана, Н;

B – ширина захвату барабана, см;

D – діаметр барабана, см;

q – коефіцієнт об'ємної деформації ґрунту, Н/см³ ($0,3 < q < 0,5$).

Зусилля перекочування негладкого котка дещо більше тому його врахуємо введенням коефіцієнту 1,3:

$$P = 0,86 \cdot 1,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{G^4}{q_0 B D^2}} = 0,86 \cdot 1,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{10000^4}{0,5 \cdot 200 \cdot 55^2}} = 3588 H \quad (4.4)$$

де $k = 1,0 \dots 1,3$ – коефіцієнт, який враховує додатковий опір ножів барабана від деформації ґрунту, чи інших негладких елементів котків.

Для кільчастих суцільних котків рекомендовано $k = 1,1 \dots 1,2$, для комбінованих – $k = 1,1 \dots 1,3$, а для котків, у яких кільця розміщені на певній відстані одне від одного, $k = 1,0$.

На запропонованій конструкції котка-подрібнювача встановлено три ножових барабани, тому загальний тяговий опір машини становитиме

$$P \cdot 3 = 3588 \cdot 3 = 10766,1 \text{ Н} = 10,8 \text{ кН}.$$

Згідно отриманого значення тягового опору даний коток-подрібнювач рослинних решток може агрегатуватися з тракторами тягового класу 1,4 та 2.

4.3. Кінематичний та силовий аналіз.

4.4.1. Розрахунок механізму підіймання котка

Проведення розрахунків на міцність окремих вузлів та елементів конструкції не можливе без значень сил, що діють на них. Тому для визначення реакції на колесах та серзі причепу скористаємося схемою сил (Рис.4.5)

Враховуючи максимальну масу котка-подрібнювача G та місце її прикладення, розрахуємо реакції на колесах та серзі причепу

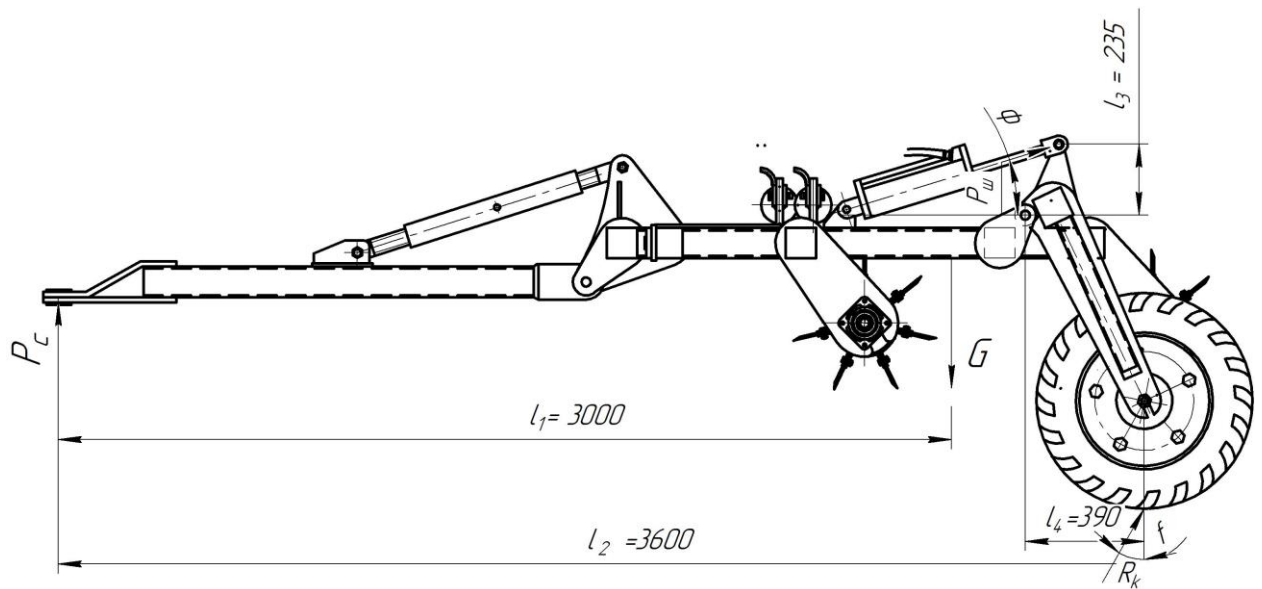


Рис.4.5. Схема механізму переведення котка-подрібнювача з робочого в транспортне положення

$$P_c = G \cdot (l_2 - l_1) / l_2 \quad (4.5)$$

$$R_k = G \cdot l_1 / l_2 \quad (4.6)$$

Визначивши довжину плечей з креслень загального вигляду, та врахувавши значення маси культиватора $G=30000\text{Н}$. скориставшись (4.5,4.6) отримаємо,

$$P_c = 30000 (3600-3000)/3600 = 5000 \text{ Н}$$

$$R_k = 30000 \cdot 3000 / 3600 = 25000 \text{ Н}$$

Визначимо зусилля, яке діє вздовж штока гідроциліндра при переведенні подрібнювача з робочого стану в транспортний з наступних виразів

$$F_{ш} \cdot \cos\psi \cdot l_3 = (R_k - G_k) \cdot \cos f \cdot l_4$$

$$F_{ш} = (R_k - G_k) \cdot \cos f \cdot l_4 / \cos\phi \cdot l_3$$

де G_k – вага двох коліс;

f – коефіцієнт опору ґрунту перекочуванню колеса $f = 0,40$

ϕ – кут дії штока гідроциліндра відносно горизонтальної вісі.

Тоді отримаємо

$$F_{ш}=(25000-1400) \cdot 39 \cdot 0,4 / 0,93 \cdot 23,5=16845 \text{ Н} \quad (4.7)$$

Конструкція котка-подрібнювача має два механізми переведення його в транспортне положення, отже працюватиме два гідроциліндри і відповідно зусилля, яке сприйматиме один із них становитиме 8422,5 Н.

Згідно отриманого значення $F_{ш}$ обираємо для піднімання котка-подрібнювача гідроциліндр Ц-100х200 з зусиллям виштовхування штока 37000 Н.

Запас зусилля виштовхування складатиме

$$\Delta = 37000 / 8422,5=4,39,$$

що є цілком достатнім для надійної роботи механізму переведення котка-подрібнювача з робочого в транспортне положення.

4.4. Розрахунок підшипників ножового барабана

Силовий розрахунок вала ножового барабана виконуємо з урахуванням максимально можливого зусилля, яке може витримати коток.

Згідно попередніх розрахунків та з урахуванням можливих тимчасових перевантажень навантаження барабан буде складати 10000 Н.

Щоб побудувати епюру моменту згину визначимо реакції опор в точках А і В (Рис. 4.6) [17,18]:

$$\sum M_A=0; \quad P \cdot l_1 - R_B \cdot l=0;$$

звідки:

$$R_B = \frac{P \cdot l_1}{l} = \frac{10000 \cdot 1000}{2000} = 5000 \text{ Н}$$

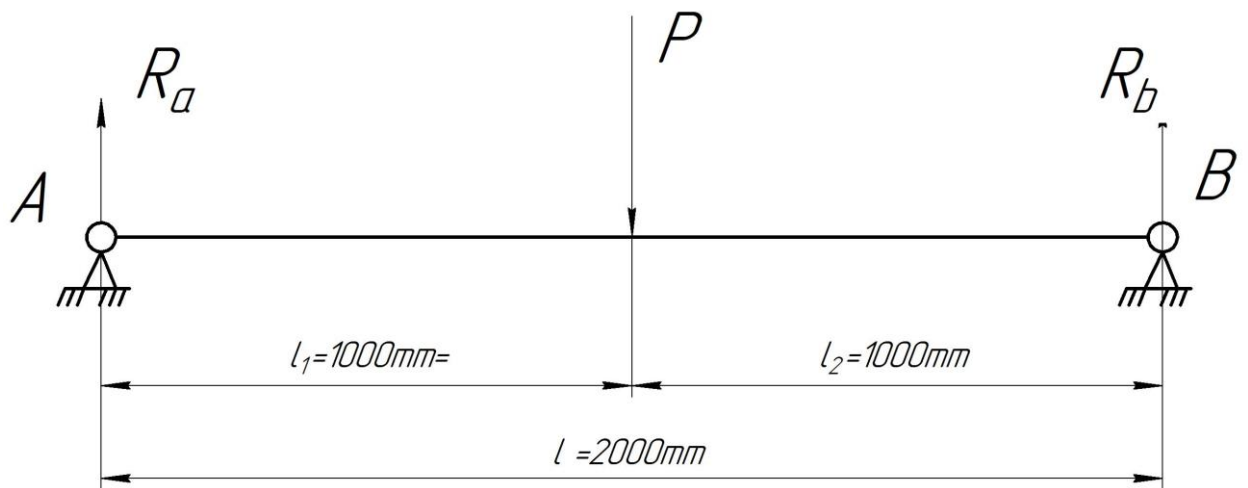


Рис. 4.6. Схема навантаження вала котка.

$$\sum M_B = 0; \quad P \cdot l_1 - R_a \cdot l = 0;$$

Звідки

$$R_a = \frac{P \cdot l_1}{l} = \frac{10000 \cdot 1000}{2000} = 5000 \text{ H}$$

Перевіряємо правильність розрахунків:

$$P - R_a - R_b = 0;$$

$$10000 - 5000 - 5000 = 0.$$

Таким чином, розрахунки виконано правильно.

Побудуємо епюру згинаючого моменту.

$$M_z = P \cdot l_1 = 10000 \cdot 1,0 = 10000 \text{ Нм}$$

Розрахуємо мінімально допустимий діаметр вала в небезпечному перетині:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_z}{0,1 \cdot [\sigma]_3}}, \quad (4.8)$$

Матеріал для вала приймаємо Сталь 45, для якої $[\sigma]_3 = 100 \text{ кг/мм}^2$.

$$d = \sqrt{\frac{10000 \cdot 10^3}{0.1 \cdot 1000}} = 46.2 \text{ мм}$$

Припускаючи те, що перевантаження при роботі будуть незначними, приймаємо вал під підшипник діаметром 40 мм.

$$\text{Тоді } \sigma = \frac{M_z}{W} \leq [\sigma]_3 \quad (4.9)$$

$$W = 0.1 \cdot d^3 = 0.1 \cdot 40^3 = 640 \text{ мм}^3.$$

$$\sigma = 10000/640 = 15.625 \text{ кг/мм}^2 < [\sigma]_3 = 100 \text{ кг/мм}^2.$$

Розраховуємо коефіцієнт запасу міцності:

$$n = [\sigma] / \sigma = 100 / 15.625 = 6.4$$

Запасу міцності достатньо для надійної роботи барабана.

Обираємо підшипник кочення 1208 ГОСТ 28428-90 з наступними параметрами:

- внутрішній діаметр $d = 40 \text{ мм}$;
- зовнішній діаметр $D = 80 \text{ мм}$;
- ширина $B = 18 \text{ мм}$;
- вантажопідйомність статична $C = 19300 \text{ Н}$.

З попередніх розрахунків визначимо необхідну вантажопідйомність

$$C = P(n \cdot h)^{0.3} \quad (4.10)$$

$$\text{де } P = R_A = R_B = 5000 \text{ Н}$$

n – кількість обертів котка за хвилину, з попередніх розрахунків $n = 2,0 \text{ с}^{-1}$ або $n = 120 \text{ хв}^{-1}$

h – розрахункова довговічність, годин. Для котка ресурс складає 7 років. Нормативний показник використання для аналогічних котків складає 150 годин у рік. Тоді $h = 1050$ годин.

Підставивши значення, отримуємо:

$$C_p = 5000 (120 \cdot 1050)^{0,3} = 16946 \text{ Н}$$

Розрахуємо коефіцієнт запасу

$$n = C / C_p = 19300 / 16948 = 1,13$$

При такому запасі міцності ножовий барабан може надійно працювати в реальних умовах.

Висновки по розділу

Застосування експериментального котка-подрібнювача для виконання операцій з подрібнення рослинних решток сприятиме зростанню продуктивності праці та підвищенню якості обробітку ґрунту під час подальших технологічних операцій, незалежно від обраного способу обробітку. Проведені технологічні, кінематичні та енергетичні розрахунки, а також перевірки на міцність, підтверджують надійну роботу та конструктивну придатність експериментального котка-подрібнювача. Застосування даного знаряддя забезпечує економічний ефект для споживача за рахунок покращення якості обробітку ґрунту, підвищення продуктивності праці та, відповідно, зменшення собівартості сільськогосподарської продукції.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Основні вимоги, щодо безпечної експлуатації котка-подрібнювача рослинних решток

Котки – подрібнювачі рослинних решток на поверхні поля відносяться до машин з підвищеною небезпекою їх використання, так як мають в якості робочих органів барабани з гострими ножами. Крім цього, машина є вкрай небезпечною при недотриманні вимог охорони праці, особливо при переведенні її з робочого у транспортне положення та при транспортуванні у складеному стані з ненадійною фіксацією бокових секцій у вертикальному положенні.

У зв'язку з цим, розроблені спеціальні вказівки по безпечній експлуатації подрібнювача рослинних решток [19,20]:

1. Під час використання подрібнювача рослинних решток слід неухильно дотримуватися вимог нормативних документів з охорони праці при виконанні механізованих робіт у рослинництві, а також правил безпеки під час ремонту і технічного обслуговування машин агропромислового комплексу.

2. Виконання вимог охорони праці є обов'язковим для всіх осіб, які здійснюють обслуговування робочої машини та трактора. Тракторист повинен пройти відповідний інструктаж з безпечних методів роботи відповідно до даного керівництва.

3. До обслуговування глибокорозпушувачів не допускаються особи, які не досягли 18-річного віку.

4. Операції з приймання, завантаження та розвантаження подрібнювача, а також підготовка машини до роботи, її обслуговування під час постановки на зберігання та зняття з нього повинні виконуватися під наглядом спеціаліста, який має відповідну освіту та дозвіл на виконання цих робіт, із застосуванням підймальних механізмів, що унеможливають ручне

переміщення важких вузлів. Місця для стропування передбачені конструкцією рами подрібнювача.

5. Під час агрегування подрібнювача з трактором забороняється перебування людей між машиною і трактором. У процесі роботи та транспортування необхідно постійно контролювати надійність кріплення подрібнювача до трактора.

5. Забороняється перевозити подрібнювач із піднятими боковими котками без їх фіксації у вертикальному транспортному положенні за допомогою гвинтових тяг. Переміщення глибокорозпушувача автомобільними дорогами загального користування слід здійснювати з дотриманням вимог Правил дорожнього руху.

7. Під'єднання гідроциліндрів подрібнювача до гідросистеми трактора необхідно виконувати через запірні кульові муфти з метою запобігання неконтрольованому витіканню мастила та можливому опусканню бокових котків під час комплектування агрегату і налаштування машини.

8. Знімати гвинтові тяги, що утримують бокові котки у вертикальному транспортному положенні, дозволяється лише після повного підключення гідравлічних рукавів до гідроциліндрів і заповнення мастилом обох порожнин циліндрів.

9. Під час від'єднання гвинтових тяг-фіксаторів котків механізатор повинен перебувати попереду подрібнювача, в зоні причіпного пристрою, на безпечній відстані від бокових котків. Машина при цьому має бути встановлена на рівному горизонтальному майданчику або полі, що запобігає самовільному та неконтрольованому опусканню котків.

10. Операції з від'єднання гвинтових тяг і переведення бокових котків у робоче положення повинна виконувати одна особа. Перебування сторонніх людей на відстані менше ніж 5 м від подрібнювача категорично забороняється, оскільки у разі несправності гідросистеми можливе раптове падіння котків, що становить загрозу для життя.

11. Експлуатація подрібнювача за наявності будь-яких несправностей не допускається.

Висновки

Аналіз поширених конструкцій подрібнювачів рослинних решток на поверхні поля свідчить про те, що одними з найбільш перспективних у плані ефективності використання є котки-подрібнювачі, які характеризуються активними робочими органами, які не потребують приводу від ВВП і здатні працювати на робочих швидкостях до 25 км/год, але мають суттєвий недолік – низький ступінь подрібнення, а в разі підвищення даного показника конструкційним шляхом виникає забивання міжножового простору рослинними рештками. Вирішення даної задачі можливе тільки на основі глибоких знань і інформації про сам процес подрібнення.

Одним із відомих шляхів зниження даного негативного явища є збільшення кутів розхилу між ножами барабана. В даному розрізі інформації інтерес представляє максимальне значення кута розхилу при якому процес подрібнення набуває надійності і рослинні рештки не накопичуються між ножами.

За результатами лабораторних експериментальних досліджень процесу подрібнення рослинних решток встановлено, що суттєвий вплив на ймовірність забивання міжножового простору має як кут розхилу ножів так і вологість рослинних решток, тільки збільшення кута розхилу ножів сприяє зниженню ймовірності забивання, а збільшення вологості рослинних решток навпаки збільшує ймовірність забивання.

Мінімальне значення кута розхилу ножів, при якому ймовірність забивання близька до 0, становить 40° .

Удосконалення конструкції ножового барабана, зміст якого полягає у обладнанні барабана ножами з отворами на бокових поверхнях, спрямоване

на підвищення надійності виконання технологічного процесу подрібнення, підвищення його продуктивності та якості.

Проведені технологічні, кінематичні розрахунки та розрахунки на міцність підтверджують можливу працездатність нової конструкції ножового барабана та надійність його роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Управління рослинними рештками на полі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.agronom.com.ua/upravlinnya-roslynnymy-reshtkamy-na-poli/> (дата звернення: 20.01.2026).
2. Мульчування ґрунту рослинними рештками [Електронний ресурс] // Agro-Business. – Режим доступу: <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/16010-mulchuvannia-gruntu-roslynnymy-reshtkamy.html> (дата звернення: 20.01.2026).
3. Управління рослинними рештками в сучасних технологіях землеробства [Електронний ресурс] // Bednar FMT. – Режим доступу: <https://www.bednar.com/uk/управління-рослинними-рештками/> (дата звернення: 20.01.2026).
4. Вплив подрібнення рослинних решток та їх загортання на агрофізичні властивості ґрунту // Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science. – 2019. – Т. 23, № 4. – С. 99–105. – Режим доступу: <https://ageconsearch.umn.edu/record/364627> (дата звернення: 20.01.2026).
5. Інноваційні технології в агроінженерії : збірник матеріалів наукової конференції. – Суми : Сумський національний аграрний університет, 2024. – 215 с.
6. Машина та обладнання для подрібнення рослинних решток : тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції. – Кропивницький : КНТУ, 2023. – 148 с.
7. Вплив рослинних решток на родючість ґрунтів та водний режим агроєкосистем // Вісник аграрної науки. – 2021. – № 6. – С. 45–52.
8. Збирання врожаю та управління післяжнивними залишками [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vseosvita.ua/lesson/zbyrannia-vrozhaiu-ta-pisliazhnyvnykh-zalyshkiv-528087.html> (дата звернення: 20.01.2026).
9. Шикула Н.К. Почвозащитная система земледелия: Справ. Кн. – Х.: Прапор, 1987.-200 с.

10. Мульчувач EURO TRIPLEX 800 (DUPLEX 800) ANG. Електронний ресурс.
http://selhozpostavka.com.ua/pic/catalog/catalog_info_block_129_800_b.jpg
11. Подрібнювач EURO OPEN . Електронний ресурс.
http://selhozpostavka.com.ua/pic/catalog/catalog_info_3_589.jpg
12. Подрібнювач рослинних решток – ПРН - 4,5. Електронний ресурс.
<http://khamelnitsky.ukrgold.net/ukr/enterprises/4804/4805/15522/page/15527/15538/>
13. Подрібнювач рослинних залишків DAL-BO Maxicut 600. Електронний ресурс. http://selhozpostavka.com.ua/pic/catalog/catalog_info_3_520.jpg
14. Сало В.М., Лещенко С.М., Богатирьов Д.В. Вплив параметрів барабана для подрібнення рослинних решток на надійність протікання технологічного процесу. *Конструювання, виробництво та експлуатація Сільськогосподарських машин*. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник - випуск 51. Кропивницький • 2021. Ст..3-11
<http://zbirniksgm.kntu.kr.ua/archive/51.html>
15. Васильковський О.М., Лещенко С.М., Васильковська К.В., Петренко Д.І. Підручник дослідника. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. Х.: Мачулін. 2016 р. 204 с.
16. Проектування сільськогосподарських машин. Навчально-методичний посібник для виконання курсових проектів з розробки сільськогосподарської техніки при підготовці фахівців напряму «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва». Бендера І.М., Рудь А.В., Козій Я.В. та ін. – Кам'янець-подільський: ФОП Сисин О.В., 2010. – 640 с. ISBN 978-611-539-016-8
17. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник / В.Т. Павлище. К.: Вища школа, 1993. 560 с.
18. Опір матеріалів / Г.С. Писаренко. К.: Вища школа, 1993. 655 с.
19. Цілинський В.П. Охорона праці в рослинництві / В.П. Цілинський.- К.: "Урожай", 1991. – 186 с.

20. Лесенко Г.В. Профілактика травматизму в сільськогосподарському виробництві / Г.В. Лесенко, І.І. Скороходю - К.: "Урожай", 1973. – 240 с.