

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему:

**“Дослідження параметрів та конструкційних особливостей
машин для подрібнення рослинних решток”**

Виконав: студент VI курсу, групи Маш-61

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Олексій КУРИЛЯК
(Ім'я та прізвище)

Керівник: к.т.н. доцент Сергій БЕРЕЗОВЕЦЬКИЙ
(Ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____
(підпис)

д.т.н., професор Власовець В.М.
“__” _____ 202__ р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту
Куриляку Олексію Миколайовичу

1. Тема роботи: **«Дослідження параметрів та конструкційних особливостей машин для подрібнення рослинних решток»**

Керівник роботи: Березовецький Сергій Андрійович, к.т.н., доцент

Затверджена наказом по університету від 12.09.2024 року № 616/к-с

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 09.12.2024 року

3. Вихідні дані: Літературні джерела за тематикою кваліфікаційної роботи відомих технологічних процесів подрібнення рослинних решток; Матеріали навчальної, методичної довідкової та наукової літератури; Методика експериментальних досліджень.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Стан питання, літературно-патентний пошук;

2. Теоретичний аналіз процесу різання (рубання) і робочих органів машин;

3. Програма і методика досліджень;

4. Результати досліджень;

5. Охорона праці та захист навколишнього середовища;

Висновки і пропозиції;

Бібліографічний список.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

Ілюстративний матеріал представити у вигляді презентації у застосунку Microsoft PowerPoint: огляд існуючих конструкцій та класифікація машин для подрібнення рослинних решток; аналіз робочих органів об'єкта дослідження; аналітичні дослідження; обґрунтування конструкції катків; обґрунтування технічного прототипу і біологічного аналогу; програма і методика експериментальних досліджень; адаптування профілю ножа подрібнювача рослинних решток до роботи в умовах ґрунту; результати досліджень міцнісних характеристик зубів; основні характеристики досліджуваних матеріалів; динамічний аналіз для оцінки поведінки матеріалів при циклічних навантаженнях; висновки і пропозиції.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,4	Березовецький С.А. к.т.н., доц. кафедри машинобудування			
5	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 12.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	<i>Виконання розділу: «Аналіз об'єкта дослідження»</i>	<i>12.09.24-26.09.24</i>	
2.	<i>Виконання другого розділу: «Обґрунтування конструкції. аналітичні дослідження»</i>	<i>27.09.24-11.10.24</i>	
3.	<i>Виконання розділу: «Програма і методика експериментальних досліджень»</i>	<i>12.10.24-02.11.24</i>	
4.	<i>Виконання розділу: «Результати досліджень»</i>	<i>04.11.24-15.11.24</i>	
5.	<i>Виконання розділу: «Охорона праці та захист навколишнього середовища»</i>	<i>18.11.24-29.11.24</i>	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково- пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому</i>	<i>02.12.24-10.12.24</i>	

Студент _____ Олексій КУРИЛЯК
(підпис)

Керівник роботи _____ Сергій БЕРЕЗОВЕЦЬКИЙ
(підпис)

УДК 686.12-681.628.35

«Дослідження параметрів та конструкційних особливостей машин для подрібнення рослинних решток». Куриляк О.М. Кваліфікаційна робота. Кафедра машинобудування. – Дубляни, Львівський НУП, 2024.

60 с. текст. част., 27 рис., 4 табл., 15 джерел інформації.

У даній кваліфікаційній магістерській роботі викладені теоретичні основи процесу подрібнення рослинних залишків і можливості використання різних конструкцій катків-подрібнювачів. Проведений аналіз існуючих конструкцій катків, їхніх технічних характеристик, а також методів проектних розрахунків. Розглянуто шляхи подолання недоліків конструкцій, запропоновані нові конструктивні вдосконалення елементів машин.

Розглянуто методики, конструктивні особливості та геометричні параметри робочих органів катків, профілі ріжучих ножів, а також їх вплив на ефективність технологічного процесу. Запропоновані оптимальні конструкції та режими роботи катків для подрібнення рослинних залишків, які забезпечують збереження структури ґрунту та покращення його агрофізичних властивостей.

Проведено аналіз виробничих небезпек під час експлуатації обладнання, розроблено логіко-імітаційну модель виникнення травматизму, що дозволяє мінімізувати ризики під час роботи з технікою.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІЗ ОБ’ЄКТА ПРОЄКТУВАННЯ	7
1.1. Огляд конструкцій машин для подрібнення рослинних решток	7
1.2. Огляд аналітичних досліджень	21
Висновок	28
2. ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ КАТКІВ. АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	30
2.1. Технологія формування мульчі та конструктивні особливості катків для обробітку грубостеблових культур	30
2.2 Обґрунтування технічного прототипу і біологічного аналогу	32
3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НОЖА ПОДРІБНЮВАЧА РОСЛИННИХ РЕШТОК	36
3.1. Моделювання та визначення параметрів профілю робочого органу ножа подрібнювача рослинних решток	36
3.2 Адаптування профілю ножа подрібнювача рослинних решток до роботи в умовах ґрунту.....	37
3.3. Етапи заглиблення ножа подрібнювача рослинних решток у ґрунт	41
3.4 Вертикальний та горизонтальний режими різання.....	43
4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗУБІВ ..	46
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА....	52
5.1. Оцінка умов праці та забезпечення безпеки у ТзОВ «Сталь майстер»	52
5.2. Зберігання катка після виконаної роботи	55
ВИСНОВКИ.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	59

ВСТУП

В сучасних умовах розвитку агропромислового комплексу України особливе значення має впровадження ефективних і технологічно досконалих машин для обробки ґрунту. Одним із найважливіших завдань є оптимізація технологічних процесів для покращення структури ґрунту, підвищення його родючості та збереження природних ресурсів. У цьому контексті актуальним є вдосконалення машин для подрібнення рослинних залишків, які виконують важливу функцію підготовки ґрунту до посіву та забезпечують формування мульчі.

Рослинні залишки, залишені на полі, сприяють збереженню вологи, запобіганню ерозії та збагаченню ґрунту органічними речовинами. Ефективне подрібнення цих залишків є ключовим фактором для формування оптимального шару мульчі, який забезпечує регуляцію водного та повітряного режимів ґрунту. Застосування сучасних технологій подрібнення дозволяє досягти високих результатів у покращенні агрофізичних характеристик ґрунту, зменшенні енергетичних витрат і підвищенні продуктивності агротехнічних операцій.

Відомо, що наявні моделі катків-подрібнювачів мають низку конструктивних недоліків, зокрема нерівномірність подрібнення, підвищене енергоспоживання та обмежену адаптацію до різних типів рослинних залишків і ґрунтових умов. Це зумовлює необхідність пошуку нових інженерних рішень та вдосконалення конструкцій машин.

Метою цієї роботи є дослідження параметрів та конструкційних особливостей машин для подрібнення рослинних решток. Робота спрямована на аналіз існуючих конструкцій, визначення їх переваг і недоліків, а також обґрунтування інноваційних підходів до проектування нових рішень. Результати цього дослідження можуть стати основою для створення ефективних і конкурентоспроможних агрегатів, здатних працювати в умовах різного агрофону.

1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ПРОЄКТУВАННЯ

1.1. Огляд конструкцій машин для подрібнення рослинних решток

Каток-подрібнювач у своєму сучасному вигляді є відносно новою машиною, яка швидко зарекомендувала себе як ефективний засіб і здобула широке поширення. Основне призначення цієї машини полягає у подрібненні рослинних залишків, заорюванні та перемішуванні їх з ґрунтом, що сприяє формуванню шару мульчі.

Конструктивно всі моделі катків-подрібнювачів об'єднує одне типове рішення: на барабані, встановленому на підшипникових опорах, радіально закріплені ріжучі пластини-ножі. Залежно від діаметра барабана, катки поділяють на такі, що працюють по агрофону грубостеблових або трав'янистих культур.

За принципом дії ножі катків забезпечують рубаюче різання. У більшості випадків це вимагає попереднього укладання рослинної маси на поверхню поля. Типовою конструкцією є прямолінійні леза ножів, які не передбачають різання з ковзанням, обмежуючи ефективність різання певними умовами.

Аналіз літературних джерел і рекламних матеріалів виробників виявив низку спільних конструктивних рішень. У цьому огляді розглянуто найбільш характерні приклади. Зокрема, катки поділяються на дві основні категорії: ріжучі та зминаючі. Ріжучі катки є найбільш поширеними через їхню ефективність у подрібненні залишків грубостеблових культур.

Як приклад найпростішого конструктивного рішення розглянемо каток-подрібнювач КЗК-6 (рис. 1.1), який демонструє базові принципи роботи та конструктивні особливості подібних машин.



Рис. 1.1 – Каток-подрібнювач КЗК-6.

Каток представляє собою суцільний вал із радіально закріпленими ножами, що виключає наявність барабана. Машина оснащена трьома такими валами, кожен із яких має довжину 2 метри. На рисунку 1.1 зображено транспортне положення цього типу катка.

Сучасніші моделі катків характеризуються наявністю так званої ламаної конструкції (рис. 1.2). Ця конструкція забезпечує більшу маневровість, зменшує тягове навантаження на трактор і підвищує ефективність обробітку на нерівних ділянках поля. Ламана форма також дозволяє краще адаптуватися до змін рельєфу, забезпечуючи більш рівномірне подрібнення рослинних залишків.



Рис.1.2 – Каток – подрібнювач «Demetra»

Сучасна конструкція відрізняється тим, що ножі встановлені на коротких валах, які зміщені один відносно одного. Таке технічне рішення дозволяє рівномірно розосередити діючі сили, що, у свою чергу, сприяє пом'якшенню загального динамічного режиму роботи машини, знижуючи вібрації та навантаження на окремі вузли.

Інший вид машини (рис. 1.3) має робочі органи, схожі за принципом дії, які також призначені для подрібнення рослинних залишків із подальшим перемішуванням їх із ґрунтом. Такий підхід забезпечує створення рівномірного шару мульчі та покращення структури ґрунту, що є важливим для підвищення його родючості.



Рис. 1.3 – Барабани оснащені ножами шевронного типу.

Однак недоліком цієї конструкції є те, що планки є суцільними і повністю перекривають ширину захвату барабана. Це призводить до нерівномірного розподілу навантаження вздовж барабана, що може викликати надмірний опір руху, підвищене енергоспоживання та швидке зношування робочих елементів. Крім того, така конструкція обмежує ефективність роботи на нерівних поверхнях і може викликати затримки в подрібненні залишків під час обробітку густих посівів або важкого агрофону.



Рис. 1.4 – Каток – подрібнювач КМ – 6 «Step»

Усі вищезазначені конструкції не адаптовані для ефективного подрібнення грудок ґрунту. Для виконання цієї операції було розроблено спеціальний каток-грудкоподрібнювач, який оснащений зубчастими планками шевронного профілю (рис. 1.5).

Ця конструкція забезпечує:

- ефективне руйнування грудок завдяки зубчастим елементам, які створюють додаткові зусилля для подрібнення;
- рівномірне ущільнення ґрунту;
- покращення якості підготовки ґрунту до посіву, особливо на ділянках із важкими агрофонами.

Шевронний профіль зубчастих планок сприяє рівномірному розподілу навантаження по ширині катка, що підвищує ефективність роботи та зменшує енергетичні витрати.

Характерною особливістю цього типу катка є те, що планки не є жорстко закріпленими і під час роботи виконують коливальні рухи. Завдяки цій особливості каток також називають струнним. Коливальний рух планок сприяє покращенню режиму різання, оскільки забезпечує динамічну взаємодію з ґрунтом і рослинними залишками. Проте цей підхід має недолік – зниження

надійності конструкції через підвищене навантаження на елементи кріплення і можливі поломки.



Рис. 1.5 – Каток-грудкороздавлювач «*Vomet-2,5*»

Крім того, було відмічено конструкції шпорових катків (рис. 1.6). Цей тип катка призначений для подрібнення великих грудок ґрунту із одночасним переминанням рослинних залишків грубостеблових культур. Однак через високу енергоємність цей різновид катків не набув широкого поширення, хоча й забезпечує якісну підготовку ґрунту в специфічних умовах.



Рис.1.6 – Шпоровий каток

Профіль ножів був аналітично обґрунтований Бабицьким Л.Ф. [2]. Основою цього обґрунтування є принцип різання з ковзанням, що значно підвищує ефективність роботи катка в умовах смугового укладання рослинних залишків. Цей принцип забезпечує більш якісне подрібнення, зменшуючи енергоспоживання та підвищуючи зносостійкість ножів.

Інша група катків має ребристий профіль робочих елементів, які завдяки своїй підвищеній масі забезпечують ефективне переминання грудок ґрунту та рослинних залишків (рис. 1.7). Висока вага конструкції сприяє ущільненню ґрунту і формуванню рівномірного шару мульчі, що є важливим для підготовки ґрунту до посіву та збереження його родючості.



Рис.1.7 – Ребристий каток переминання грудок ґрунту та рослинних залишків

На основі зазначеного принципу побудований саморобний каток (рис. 1.8). Ця конструкція вирізняється своєю максимальною простотою, що дозволяє виготовляти її в умовах звичайної сільської майстерні.

Характерною особливістю цього катка є ребра, які формують ущільнений поверхневий профіль V-подібної форми. Такий профіль не лише сприяє ефективному подрібненню грудок і рослинних залишків, але й відіграє важливу роль у боротьбі з ерозією ґрунту. V-подібна структура поверхні затримує воду,

зменшує стік і сприяє збереженню вологи, що особливо корисно для покращення якості ґрунту та збереження його родючості.

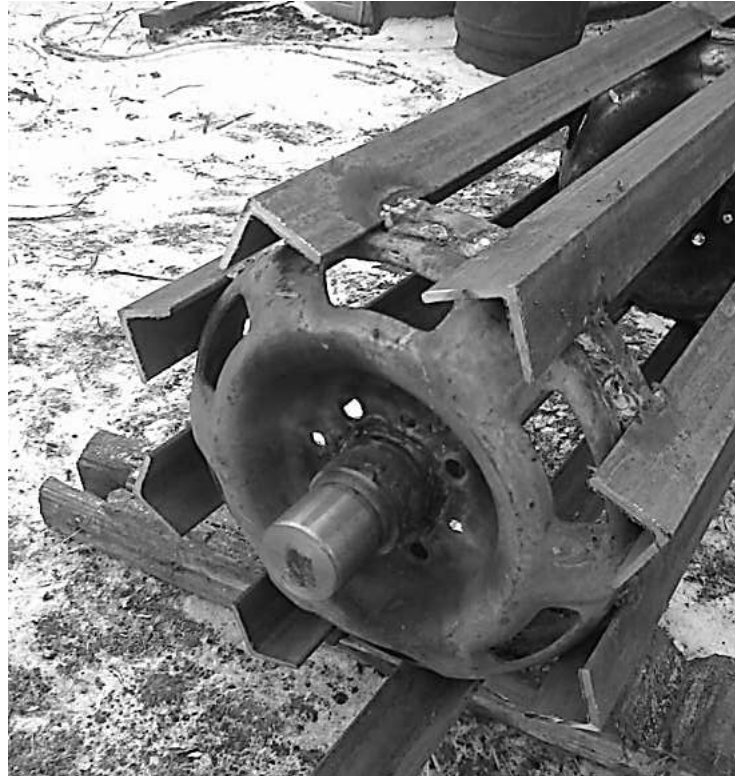


Рис.1.8 – Саморобний каток переминаючої дії для покращення якості ґрунту та збереження його родючості

Серед саморобних конструкцій варто також відзначити дисковий каток (рис. 1.9). Ця машина продемонструвала хороші результати під час роботи на плантаціях, засмічених значною кількістю рослинних залишків грубостеблових культур. Завдяки особливостям конструкції, дисковий каток ефективно подрібнює залишки, забезпечуючи їх рівномірне перемішування з ґрунтом.

Дослідження саморобних конструкцій є надзвичайно корисним, оскільки вони часто містять оригінальні конструктивні рішення, які можуть бути адаптовані або вдосконалені для промислового застосування. Такі ідеї можуть слугувати базою для розробки нових, більш ефективних і економічних машин.



Рис. 1.9 – Саморобний дископодібний каток-подрібнювач

Комбінований ґрунтообробний агрегат (рис. 1.10) є сучасною багатоцільовою машиною, яка поєднує функції декількох окремих знарядь. Завдяки цьому агрегат забезпечує одночасне виконання кількох операцій: подрібнення рослинних залишків, перемішування їх із ґрунтом, розпушування та ущільнення ґрунту.

Основною перевагою комбінованого агрегату є підвищення продуктивності обробітку, зменшення кількості проходів техніки полем і, відповідно, зниження ущільнення ґрунту. Комплексне виконання технологічних операцій дозволяє ефективно підготувати ґрунт до посіву, зберігаючи його структуру та родючість.

Ця конструкція є прикладом ефективної інтеграції різних технологічних рішень для підвищення продуктивності та економічності сільськогосподарських робіт.

Комбінований ґрунтообробний агрегат також дозволяє адаптуватися до різних умов роботи завдяки змінним робочим органам. Наприклад, його конструкція може включати дискові секції, котки, лапи-культиватори або борони, що забезпечує гнучкість у виконанні завдань залежно від стану ґрунту, типу рослинних залишків чи оброблюваної культури.

Окрім багатофункціональності, такі агрегати мають ще одну вагому перевагу — зниження експлуатаційних витрат. Поєднання кількох операцій в одному проході дозволяє зменшити витрати пального, часу і трудових ресурсів, що є важливим у сучасному сільському господарстві, орієнтованому на оптимізацію процесів.

Прикладом ефективного використання комбінованих агрегатів є їх застосування на полях із значною кількістю грубостеблових залишків. Завдяки одночасному подрібненню, перемішуванню та формуванню шару мульчі вони забезпечують швидке очищення полів і підготовку ґрунту до подальших технологічних операцій.

Разом із тим, подальше вдосконалення таких агрегатів спрямоване на оптимізацію конструкції, зниження енергозатрат і підвищення їхньої довговічності, що особливо важливо при роботі в умовах агресивного середовища чи підвищених навантажень.



Рис.1.10 – Комбінований ґрунтообробний агрегат

У конструкції (рис. 1.11) застосовано планки спіралевидної форми, які створюють ефективний зсув ґрунту під час роботи агрегату. Завдяки цьому

рослинні залишки акумулюються на поверхні ґрунту, утворюючи захисний шар мульчі. Такий підхід дозволяє не лише покращити якість подрібнення, але й сприяти збереженню вологи в ґрунті та запобігати його ерозії.

Кінематика роботи цього механізму нагадує принцип дії шнеку. Обертання спіральних планок створює потік матеріалу, спрямований уздовж конструкції, що забезпечує рівномірний розподіл залишків по поверхні поля. Така особливість конструкції дозволяє агрегату працювати ефективно навіть за значної кількості рослинних залишків чи в умовах ущільненого ґрунту.

Додатковою перевагою є зменшення енергетичних витрат завдяки плавному руху планок і рівномірному розподілу навантаження на робочі органи. Ця конструкція може бути особливо ефективною для обробітки полів із великою кількістю грубостеблових залишків, таких як соняшник чи кукурудза.



Рис. 1.11 – Каток спіралевидного типу

Один із найпростіших варіантів конструкції катка полягає у використанні валу з прикріпленими 8-гранними опорами. Такий підхід забезпечує надійність і простоту виготовлення, завдяки чому цей тип катка є одним із найпоширеніших у сільському господарстві.

До восьмигранних опор кріпляться планки, які під час роботи рухаються в прямій лінії, виконуючи подрібнення рослинних залишків та перемішування їх із ґрунтом (рис. 1.12). Ця конструкція поєднує ефективність у виконанні основних технологічних операцій із простотою обслуговування та ремонту, що є важливим у польових умовах.

Надійність і універсальність цієї конструкції дозволяють застосовувати каток для обробітку різних типів агрофонів, зокрема на полях із грубостебловими культурами або при значній кількості рослинних залишків.



Рис. 1.12 - Реберчасто-планчатий каток.

Дана конструкція катка має простий дизайн, компактні розміри та широко використовується у комбінації з іншими сільськогосподарськими агрегатами. Завдяки своїй простоті, вона забезпечує ефективну роботу та мінімальні витрати на виготовлення й обслуговування.

Водночас виготовлення двох попередніх конструкцій ускладнюється через необхідність використання планок зі сталі марки 65Г. Цей матеріал забезпечує високу зносостійкість і міцність, проте вимагає застосування особливого методу зварювання. Перед зварюванням обидві частини металу потребують попереднього нагріву, що ускладнює процес виробництва. Однак переваги, які забезпечує використання сталі 65Г, такі як довговічність і підвищена ефективність роботи, виправдовують ці складнощі.

На рисунку 1.13 представлено конструкцію легкого катка, який складається з дисків, встановлених пакетним методом. Така конструкція вирізняється низькою масою, що зменшує тягове навантаження на трактор, і є універсальною у використанні для обробітку легких та середніх ґрунтів. Пакетне розташування дисків забезпечує ефективне подрібнення рослинних залишків та рівномірний розподіл обробленого матеріалу по поверхні поля..



Рис 1.13 - Конструкція з плоских дисків з рифленням.

Основою конструкції катка є рифлені диски, закріплені на одній осі, які обертаються під час руху по поверхні поля з заданим боковим відхиленням. Така конструкція має порівняно невелику вагу (600–700 кг) і заглиблюється в ґрунт лише поверхнево, що обмежує її робочу глибину. Для забезпечення належного ефекту роботи швидкість руху агрегату повинна становити не менше 20–22 км/год.

Агрегат демонструє високу ефективність при роботі із зваленими рослинами або залишками, перемішаними з ґрунтом. Головною перевагою цієї конструкції є її універсальність:

- вона виконує різання з ковзанням, що забезпечує якісне подрібнення;
- залежно від кута атаки дисків, агрегат також може виконувати приорювання рослинних залишків.

Завдяки цим характеристикам каток є універсальним інструментом, який поєднує функції обробітку ґрунту та подрібнення рослинних решток, що робить його ефективним для широкого спектра агротехнічних завдань.

Усі раніше згадані агрегати не призначені для роздроблення грудок, для кришення грудок розробили каток з приєднаними до нього планки шевронного типу (рис. 1.14).



Рис.1.14 - Зубчастий каток-грудкоподрібнювач з шевронним профілем.

Застосування цього обладнання як окремого агрегату виявляється неефективним, тому його зазвичай використовують у комбінації з іншими сільськогосподарськими машинами для досягнення комплексного ефекту обробітку ґрунту.

Окрему категорію катків становлять спіралевидні катки, конструкція яких складається з навитої спіралі, виготовленої зі сталевий труби діаметром 25–400 мм. Загальний діаметр спіралі таких катків зазвичай становить 500–600 мм.

Спіралевидний каток не призначений для подрібнення рослинних залишків. Його головною функцією є вплив на ґрунт і вже подрібнені залишки. Після проходу такого катка більша частина рослинних залишків, що знаходяться у верхніх шарах ґрунту, підіймається на поверхню поля, сприяючи рівномірному розподілу мульчі.

Завдяки цій особливості, спіралевидний каток ефективно використовується на фінальних етапах обробітку для вирівнювання поверхні поля та створення умов для наступних технологічних операцій, таких як посів чи підготовка до зрошення (див. рис. 1.15).

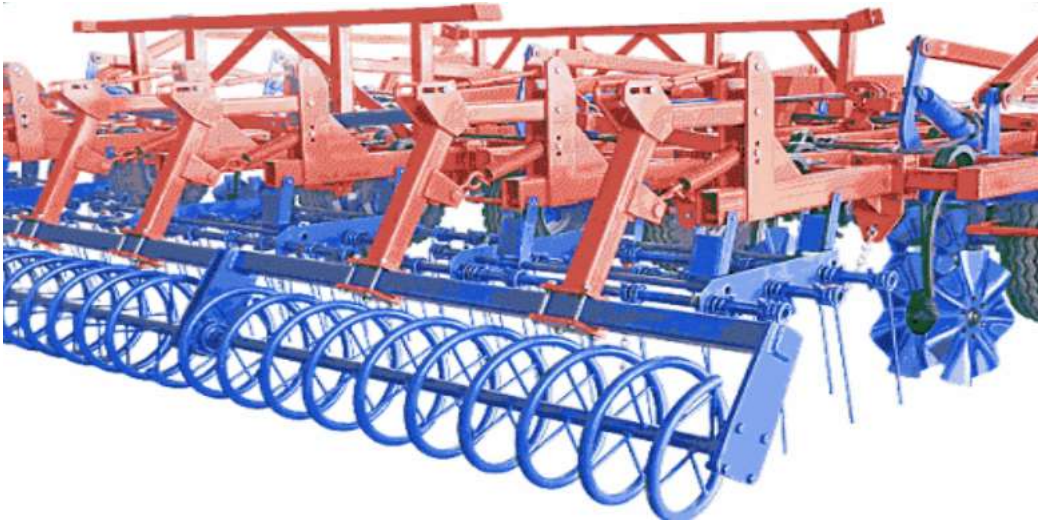


Рис.1.15 - Турбодисковий агрегат зі спіральним каток.

У деяких випадках, особливо при висіванні дрібнонасіневих культур, виникає потреба у більш детальному подрібненні рослинних залишків. Це завдання вирішується шляхом використання комбінованих катків, які мають барабани різних розмірів і відстані між планками. Такий підхід дозволяє забезпечити різний рівень впливу на рослинні залишки та ґрунт, що підвищує якість підготовки поверхні поля.

Прикладом такого застосування може бути секція реберчасто-планчатих катків серії *AGK*, які входять до складу ґрунтообробних агрегатів (рис. 1.16). Ці катки мають багатофункціональний дизайн, що забезпечує:

- інтенсивне подрібнення рослинних залишків;
- перемішування залишків із ґрунтом;
- формування рівномірного шару мульчі, необхідного для висіву дрібнонасіневих культур.

Поєднання катків із різними параметрами дозволяє досягти високої ефективності в умовах обробітку складного агрофону, а також забезпечує універсальність агрегату для використання на різних етапах ґрунтообробних робіт.



Рис. 1.16 - Ґрунтообробний агрегат АГК з секцією реберчасто-планчатих катків.

1.2. Огляд аналітичних досліджень

За даними літературних джерел [4, 5], були проведені дослідження для визначення конструктивних параметрів барабана катка та розробки математичної моделі його взаємодії з ґрунтовим середовищем. Ці дослідження спрямовані на підвищення ефективності роботи катків і забезпечення їх оптимальної функціональності в різних умовах.

На рисунку 1.15 представлена схема для силового аналізу впливу барабана катка на ґрунт. Ця схема дозволяє оцінити сили, що виникають під час взаємодії робочих органів катка з поверхнею ґрунту, зокрема розподіл тиску, вплив на структуру ґрунту та зусилля, необхідне для роботи катка.

На рисунку 1.16 наведена схема для визначення мінімально допустимого радіуса барабана. Цей параметр є критичним для забезпечення плавного руху катка по поверхні поля, особливо в умовах наявності великих грудок ґрунту. Встановлення мінімального радіуса дозволяє уникнути перекошування катка через грудки, що може призводити до втрати контакту з поверхнею поля, нерівномірного подрібнення залишків і підвищеного навантаження на робочі органи.

Результати цих досліджень дозволяють оптимізувати конструкцію катків для забезпечення їх ефективності в різних агротехнічних умовах..

Рис. 1.15 – Схема для обчислення силового впливу барабана подрібнювального катка на ґрунт.

Згідно з проведеними розрахунками, однорідна щільність ґрунту досягається на певній глибині, яка залежить від конструктивних параметрів катка та його впливу на ґрунтове середовище. Глибина, на якій формується однорідна щільність, визначається низкою факторів, таких як:

- вага катка, що забезпечує необхідний тиск на поверхню ґрунту;
- форма та розташування робочих елементів (планок, ножів, дисків);
- швидкість руху агрегату;
- властивості ґрунту, включаючи його текстуру та вологість.

Розрахунки показують, що каток передає тиск через свої робочі органи, створюючи зони ущільнення та розпушення. Оптимальний рівень щільності досягається завдяки розподілу цього тиску на глибину, яка забезпечує максимальний контакт з рослинними залишками і мінімальне порушення структури ґрунту.

Цей показник є важливим для ефективної підготовки ґрунту до посіву, оскільки впливає на проникність повітря, збереження вологи та якість обробітку. Дотримання встановлених параметрів дозволяє підвищити продуктивність сільськогосподарських робіт і забезпечити оптимальні умови для зростання культур.

$$H_0 = 0,014 \cdot \frac{\Delta}{\Delta_{KP}} \cdot \sqrt{q \cdot D}, \quad (1.1)$$

При визначенні впливу катка на формування щільності ґрунту враховуються такі параметри:

D – діаметр катка, який визначає площу контакту з ґрунтом і глибину впливу.

q – питомий тиск на ґрунт, що залежить від маси катка і його конструктивних особливостей.

Δ – вологість ґрунту, виражена як відношення маси води до маси сухої частки ґрунту. Цей показник впливає на здатність ґрунту ущільнюватися під дією катка.

Δ_{KP} – критична вагова вологість, яка визначає межу, за якої ґрунт починає втрачати свою структурну цілісність при обробці [5].

У моделі взаємодії катка з ґрунтовим середовищем ці параметри дозволяють оцінити ефективність роботи катка та його вплив на формування однорідної щільності. Зокрема, при D великого значення і помірному q , ущільнення відбувається рівномірно, забезпечуючи оптимальні умови для ґрунту. Якщо ж вологість ґрунту (Δ) перевищує критичну (Δ_{KP}), то структура ґрунту може порушуватися, що негативно позначається на його агротехнічних властивостях.

Ці параметри є основою для розробки та вдосконалення катків, які повинні забезпечувати як ефективну обробку, так і збереження ґрунтової структури.

Рис. 1.16 - Схема для розрахунку найменшого радіусу барабану із врахуванням процесу перекочування через великі грудки.

Із розрахункової схеми (рис. 1.16) видно, що оптимальна швидкість руху катка повинна враховувати процес перекочування через грудку середнього діаметра d . Цей параметр визначає плавність руху агрегату, рівномірність обробки поверхні ґрунту та зменшення навантаження на конструктивні елементи катка.

При оптимальній швидкості руху катка дотримуються такі умови:

- Зменшується ударне навантаження під час перекочування через грудки.
- Забезпечується рівномірний контакт з поверхнею ґрунту, що сприяє якісному подрібненню та ущільненню.
- Зменшується ризик пошкодження грудок понад критичний розмір, що дозволяє зберігати ґрунтову структуру.

$$V \geq \frac{g \cdot (\sin \psi + \cos \psi \cdot \operatorname{tg} \varphi) \cdot d}{D - d} \cdot t_1 + C, \quad (1.2)$$

де φ – кут внутрішнього тертя ґрунту, град.;

t_1 - час від початку руху; при $t_1 = 0$; $C = 0$.

Висновок Л.Ф. Бабицького підкреслює, що оптимальна траєкторія руху ножа (планки) катка в ґрунті повинна сприяти формуванню раціональної ґрунтової структури. Це досягається завдяки використанню ефекту мікровибуху: напрямок дії леза під час підкопування має бути спрямований до денної поверхні, що забезпечує ефективний руйнівний вплив на ґрунтові грудки та рослинні залишки.

Ніж катка можна уявити як структуру, що складається з безлічі надзвичайно тонких голок. Дослідження реакції ґрунту на одну таку голку та інтегрування отриманих даних дозволяють отримати повну реакцію ґрунту на всю робочу поверхню ножа. Цю тонку структуру можна уявити у вигляді диска, по периметру якого розташовані голки.

Бабицьким Л.Ф. було доведено, що для забезпечення мінімальних витрат енергії та підвищення ефективності роботи необхідно використовувати диски з криволінійними голками. Головною умовою є те, що дотична до профілю голки

в точці входження в ґрунт А (рис. 1.17) повинна співпадати з напрямком поступального руху знаряддя.

Цей підхід дозволяє зменшити тяговий опір агрегату; забезпечити плавний вхід ножів у ґрунт, мінімізуючи втрати енергії; покращити якість обробітку, формуючи однорідну структуру ґрунту.

Результати досліджень Л.Ф. Бабицького є важливими для розробки нових конструкцій катків, які поєднують ефективність роботи з мінімальними витратами енергії.

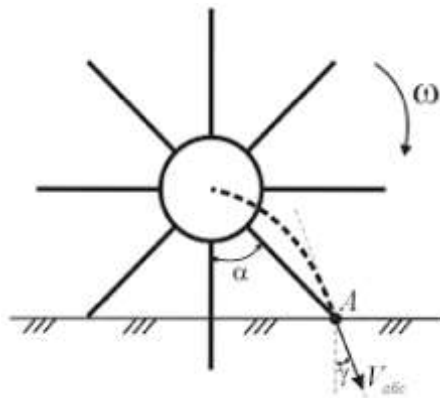


Рис. 1.17 - Кінематичний рух голки на диску.

На основі аналітичних досліджень, проведених за представленою схемою, можна обґрунтувати конструкцію голки, зображену на рисунку 1.18. Траєкторія руху кінцевого елемента голки нагадує форму лопаті, що забезпечує ефективну вертикальну обробку ґрунту. Подібний підхід може бути використаний і для конструкції ножа катка-подрібнювача, враховуючи схожу кінематику руху.

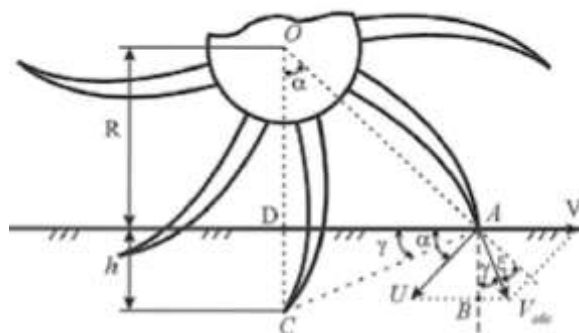


Рис. 1.18 Загальний вигляд робочого органу (голки), запропонований Л. Ф. Бабицьким [2].

Одним із важливих параметрів конструкції є кількість ножів на барабані, яка визначається за методикою, запропонованою в дослідженні [6]. Ця методика базується на розрахунковій схемі, представленій на рисунку 1.19. Вона враховує діаметр барабана, кутову відстань між ножами, швидкість обертання барабана та глибину проникнення ножів у ґрунт. Розрахунки дозволяють оптимально підібрати кількість ножів, щоб забезпечити ефективне подрібнення рослинних залишків, рівномірне навантаження на барабан і мінімізувати енерговитрати агрегату.

Рис. 1.13 – Схема для визначення кількості ножів на барабані

Протягом проміжку часу T , ніж виконає один повний оберт.

$$T = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{V} \quad (1.3)$$

Проміжок часу між двома послідовними положеннями ножа.

$$t = \frac{T}{n} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{n \cdot V}, \quad (1.4)$$

де n – кількість ріжучих інструментів на барабані.

Попередній ніж (точка A_1), здійснюючи рух, виконав зріз своєї ділянки та вийшов із контакту зі стовбуром. Відстань, на яку відокремлена частина стовбура, визначають за допомогою формули:

$$l_1 = \omega \cdot t \cdot R. \quad (1.5)$$

Ця формула дозволяє оцінити довжину зрізаного сегмента стовбура залежно від параметрів конструкції та кінематики руху ножів.

Оптимальною є схема, у якій використовуються три ножі зі специфічними функціями: перший ніж виконує проникнення в рослинну масу, другий активно ріже її, а третій перебуває на стадії виходу із зони різання. Додаткові ножі, такі як четвертий, п'ятий і шостий, призначені для подрібнення залишків рослин, що знаходяться на поверхні ґрунту.

Для реалізації такої схеми ефективної різки необхідно, щоб між ножами утворювався кут $22,5^\circ$, або щоб на барабані розташовувалося 96 ножів. Це забезпечує рівномірний розподіл зусиль різання та стабільність роботи механізму.

Найбільш ефективно різання досягається, коли швидкість руху леза в напрямку X (у напрямку руху механізму) є максимальною. Швидкість у напрямку Y має другорядне значення, оскільки бокова поверхня леза лише відокремлює рослинну масу від загального об'єму. Після розділення залишки рослин випадають на землю під дією власної ваги.

Швидкість руху леза в кожному напрямку визначається як похідна рівняння траєкторії. Ця траєкторія описує динаміку різання та дозволяє оптимізувати роботу ножів для забезпечення максимальної ефективності подрібнення.

$$V_x = \frac{dx}{D\varphi} = (R - a \cdot \sin\varphi) \cdot \cos\varphi - (R + a \cdot \cos\varphi) \cdot \sin\varphi + V. \quad (1.6)$$

Технологічний процес роботи машини складається з кількох послідовних етапів. Ножі проникають у нерухому масу стебел, розділяючи її на частини. Довжина цих частин залежить від відстані між ножами та швидкості руху агрегату. Після первинного подрібнення залишки відкладаються на поверхню, де наступні ножі виконують їх остаточне подрібнення шляхом підпірного різання.

Ножі поступово заглиблюються в ґрунт і досягають максимальної глибини, залишаючи непорізані залишки в поверхневому шарі ґрунту. У завершальному етапі барабан прокочується по поверхні, згладжуючи залишкові рослинні рештки та стискаючи верхній шар ґрунту. Це згладжування є ключовим для порушення цілісності стебел, що сприяє прискоренню їх гуміфікації.

Особливістю цієї конструкції є врахування кута внутрішнього тертя ґрунтового середовища. Він значно відрізняється від кута, характерного для консолідованого ґрунту. У ґрунті, насиченому рослинними залишками, цей параметр має проміжне значення між кутом консолідованого та розпушеного ґрунту, що забезпечує оптимальну взаємодію робочих органів із ґрунтовим середовищем.

Висновок по першому розділі

Аналіз літературних джерел підтверджує, що одним із найбільш ефективних методів збирання врожаю кукурудзи та соняшнику є технологія, за якою відокремлюється лише зернова частина, а стебла та листя залишаються на полі у стоячому стані. Цей підхід забезпечує низку важливих агротехнічних та екологічних переваг.

Залишені рослинні рештки сприяють збереженню снігу на полі в зимовий період, що дозволяє накопичити значний обсяг вологи у глибинних шарах ґрунту. Це особливо важливо в умовах кліматичних змін, коли забезпечення вологою стає критичним фактором для вирощування культур. Волога, накопичена за рахунок затримання снігу, забезпечує кращий ріст рослин, підвищує їх стійкість до високих температур та посух і створює сприятливі умови для розвитку кореневої системи.

Крім того, рослинні залишки виконують важливу функцію у запобіганні ерозійним процесам. Вони суттєво знижують вплив вітрової ерозії, яка активно проявляється у відкритих полях, та обмежують змивання верхнього родючого

шару ґрунту під час весняних дощів. Це дозволяє зберегти структуру ґрунту, запобігти його ущільненню та забезпечити високий рівень родючості.

Залишені у стоячому стані стебла також позитивно впливають на швидкість їхнього розкладання. Завдяки контакту з сонячним світлом та ультрафіолетовим випромінюванням, рослинні рештки стають більш крихкими, прискорюється їх гуміфікація, а поживні речовини, які містяться в залишках, ефективно повертаються у ґрунт. Це сприяє підвищенню вмісту органічних речовин, поліпшенню структури ґрунту та зростанню його родючості.

Для якісного подрібнення рослинних залишків оптимально використовувати реберчасто-планчасті катки із загостреними лезами. Конструкція таких катків дозволяє забезпечити ефективну роботу: ножі, розташовані на барабанах, проникають у залишки, подрібнюють їх на дрібні частинки та рівномірно закладають у верхній шар ґрунту. Процес мульчування, що відбувається під час роботи катків, регулює водний і повітряний баланс у ґрунті, створюючи сприятливі умови для проростання насіння та розвитку молодих рослин.

Завдяки обертальному руху барабанів катка ножі забезпечують як подрібнення, так і перемішування рослинних залишків із ґрунтом. Це створює на поверхні поля шар мульчі, який затримує вологу, зменшує випаровування, підвищує температуру ґрунту в період весняного посіву та перешкоджає росту бур'янів. Додатково мульча виконує роль природного бар'єру, що покращує екологічний баланс поля та сприяє тривалому відновленню ґрунтового покриву.

Таким чином, поєднання технології збирання врожаю із залишенням стебел у стоячому стані та використання реберчасто-планчастих катків дозволяє підвищити ефективність обробітку поля, зберегти родючість ґрунту та створити сприятливі умови для наступних посівів.

2. ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ КАТКІВ. АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Технологія формування мульчі та конструктивні особливості катків для обробітку грубостеблових культур

Формування шару мульчі є ефективним прийомом для покращення агрофізичних властивостей ґрунту, таких як пористість, щільність, протиерозійна стійкість, тепловий, мікробіологічний та поживний режими. Технологія формування мульчі включає подрібнення зеленої маси на поверхні плантації, часткове заорювання та перемішування подрібненої маси. На сучасному етапі каток-подрібнювач є найбільш ефективною машиною, яка виконує ці механічні операції.

Конструктивно всі види катків об'єднані спільним принципом: барабан, встановлений на підшипникових опорах, із закріпленими по периметру радіальними ріжучими пластинами-ножами. Залежно від діаметра барабана катки поділяються на ті, що працюють із грубостебловими культурами, та ті, що підходять для трав'янистих культур. За принципом дії ножі катків виконують рубаюче різання, яке зазвичай потребує попереднього укладання зеленої маси на поверхню поля. При цьому ножі здебільшого мають прямолінійне лезо, оскільки конструкція не передбачає різання з ковзанням.

Аналіз літературних джерел і рекламних матеріалів виробників дозволяє виділити декілька цікавих конструктивних рішень. Катки можуть бути ріжучої дії, зминаючої дії (рис. 2.1, а, б) [1, 2], а також підкопуючої дії, принцип роботи яких базується на технології, що виконує звичайна садова лопата (рис. 2.1, в) [11].

Раціональний шар мульчі повинен включати три рівні: поверхневий шар, шар на глибині 5–8 см і шар на глибині до 15 см [7, 8]. Однак, особливістю роботи по агрофону грубостеблових культур є те, що катки звичайної конструкції не забезпечують подрібнення кореневої системи нижче рівня денної поверхні на глибину понад 5–8 см. Це створює проблему порушення

структури кореневої системи на глибину, більшу за 5–8 см, що є важливим для підвищення ефективності обробітку ґрунту.

Вирішення цієї проблеми вимагає вдосконалення існуючих конструкцій катків, зокрема створення нових ріжучих елементів, здатних проникати на більшу глибину та ефективно руйнувати кореневу систему грубостеблових культур. Це стане важливим кроком у підвищенні ефективності мульчування та покращенні агрофізичних властивостей ґрунту.

Рис. 2.1 – Класифікація катків за типом планок: а – ріжучий; б – зминаючий; в – підкопуючий: де 1 – барабан; 2 - ніж радіальний; 3 – трубчатий наконечник; 4 – метизи кріплення [1, 2, 11]

На рис.2.2. Наведено зовнішній вид типової кореневої системи.

а

б

Рис. 2.2 – Типовий вигляд верхнього ярусу кореневої системи кукурудзи і соняшника

Коренева система кукурудзи (рис. 2.2, а) є мичкуватою, добре розвиненою, з окремими коренями, які можуть проникати у ґрунт на глибину 2–3 м. Згідно з різними джерелами, коренева система складається з трьох ярусів, які відрізняються за глибиною залягання і сягають до 2,5 м.

Коренева система соняшника (рис. 2.2, б) є стрижневою, з чітко вираженим головним коренем і численними бічними коренями, що відходять від нього. На нашу думку, для обох культур доцільно обробляти лише верхній ярус кореневої системи.

Аналіз структури кореневої системи грубостеблових культур свідчить, що у верхньому шарі, глибина якого не перевищує 10 см, а ширина становить 15–20 см, знаходиться найбільша концентрація корневих залишків. Саме цей шар потребує подрібнення. Більш глибокі шари мають позитивний вплив на стан ґрунтового середовища, тому їх подрібнення недоцільне.

2.2 Обґрунтування технічного прототипу і біологічного аналогу

Використання керамбіта як робочого органу ґрунтообробної техніки базується на його унікальній формі та особливостях. Вигнуте лезо та ергономічна конструкція дозволяють забезпечити ефективність у виконанні спеціалізованих операцій, таких як подрібнення, розпушення та різання ґрунту або рослинних залишків. Адаптація цієї форми може стати інноваційним підходом до вирішення завдань у сільському господарстві.

Робочі органи, схожі за формою на керамбіт, можуть застосовуватися для подрібнення рослинних решток. Їхня вигнута конструкція забезпечує плавний зріз, що дозволяє швидко й ефективно переробляти залишки рослин у мульчу. Це сприяє підвищенню родючості ґрунту та покращенню його структури. Також така форма органу може застосовуватися в техніці для поверхневого обробітку ґрунту, забезпечуючи розпушення верхнього шару, аерацію та перемішування рослинних залишків із землею.

Ще одним важливим напрямком використання є створення вузьких борозен. Робочий орган із вигнутою формою дозволяє формувати точні борозни

для висіву дрібних культур або внесення добрив із мінімальним переміщенням ґрунту. Це особливо важливо в умовах, де потрібно зберегти природну структуру ґрунту. Окрім цього, керамбітоподібна форма корисна для дроблення грудок ґрунту після основного обробітку, що актуально для важких типів ґрунтів, де потрібна додаткова обробка.

Виготовлення таких робочих органів потребує використання високоміцних матеріалів, які здатні витримувати значне навантаження і забезпечувати зносостійкість. Для цього можуть застосовуватися боровані сталі або матеріали з покриттям із карбіду вольфраму. Конструкція робочих органів передбачає надійне кріплення до техніки та можливість регулювання кута атаки для оптимальної роботи в різних умовах.

Керамбітоподібні робочі органи мають кілька переваг. Вони забезпечують ефективне різання та подрібнення, мінімальний опір руху в ґрунті та менше забивання робочого органу залишками. Їхня конструкція також дозволяє виконувати комбіновані функції, що робить їх універсальними для ряду завдань. Проте такі органи мають і певні обмеження, зокрема вузьку спеціалізацію та необхідність у високій якості виготовлення для забезпечення довговічності.

Ефективність цієї форми робочих органів може бути перевірена шляхом моделювання в *CAD*-програмах, таких як *SolidWorks*, а також тестуванням у польових умовах. Це дозволить оцінити їхню продуктивність і порівняти з традиційними органами. У перспективі такі інновації можуть бути впроваджені в роторні подрібнювачі, дискові борони та культиватори, що забезпечить новий рівень ефективності ґрунтообробної техніки.

Виходячи з наведеного аналізу, в якості технічного прототипу пропонується використати ріжучий планчастий каток (рис. 2.1, а). У запропоновану конструкцію додаються ножі з оптимальним профілем леза, які забезпечують ефективне подрібнення верхнього шару кореневої системи. Планчасті ножі виконуватимуть обробіток рослинних решток, розташованих на

поверхні ґрунту, тоді як додаткові ножі забезпечать якісне подрібнення залишків кореневої системи.

Відомо, що кіготь звичайної домашньої кішки (рис. 2.3) має природну адаптацію для розшаровування різноманітних матеріалів, таких як кора дерев чи ущільнений ґрунт. Ця особливість була застосована в конструкції керамбіту - зброї для рукопашного бою, яка дозволяє виконувати порізи вспорюючими рухами (рис. 2.4). Ця ідея може бути корисною для розробки ефективного леза в нашій конструкції.

Рис. 2.3 – Схема для побудови геометричної моделі кігтя кішки

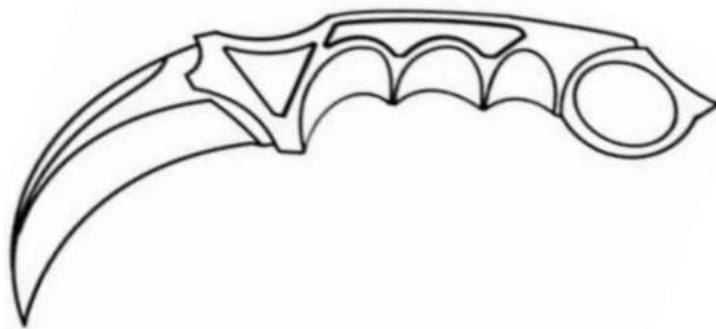


Рис. 2.4 - Загальний вигляд керамбіту

Таким чином, профіль леза обрано за аналогією з керамбітом. Розробка ножа на основі цього біологічного аналога здійснюється згідно з методикою, запропонованою для стрілкової лапи [12].

Методика передбачає такі етапи:

- Створення цифрової моделі: побудова тривимірної моделі об'єкта за допомогою САД-систем.

- Розробка геометричної моделі: визначення основних параметрів і форми конструкції.

- Побудова математичної регресійної моделі: аналіз залежностей між параметрами конструкції для оптимізації її характеристик.

- Розробка конструктивної схеми: створення технічного рішення для виготовлення та функціонування елемента.

- Адаптація конструктивної схеми до роботи в умовах ґрунтового середовища: урахування специфіки взаємодії ножа з ґрунтом і рослинними залишками.

Цей підхід дозволяє врахувати біологічні аналоги та забезпечити ефективність ножа у виконанні завдань у польових умовах.

3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НОЖА ПОДРІБНЮВАЧА РОСЛИННИХ РЕШТОК

3.1. Моделювання та визначення параметрів профілю робочого органу ножа подрібнювача рослинних решток

Для створення цифрової моделі реальний фотовідбиток кігтя розміщують у координатній системі $X-Y$ (рис. 3.1). При цьому зображення необхідно масштабувати відповідно до заданих проектних розмірів ножа.

Конструкція ножа складається з двох основних елементів:

- Лезо – основний робочий елемент, що забезпечує різання.
- Кронштейн – елемент, який виконує несучу функцію, визначає глибину занурення леза та забезпечує його стійкість.

Визначальний параметр конструкції, $a = 90$ мм, обраний з урахуванням вимог до забезпечення повного проникнення леза крізь основну масу поверхневих залишків кореневої системи оброблюваних культур. Це гарантує ефективність виконання технологічного процесу.

Таблиця 3.1.

Рис. 3.2 – Рівняння регресії у графічній інтерпретації

3.2 Адаптування профілю ножа подрібнювача рослинних решток до роботи в умовах ґрунту

Отримана геометрична модель робочого органу, створена відповідно до наведеної схеми, потребує адаптації для роботи в ґрунтовому середовищі. Для цього необхідно побудувати математичну модель, яка описує взаємодію робочого органу з ґрунтом.

В розрахунковій схемі ключовим параметром є кут β , який визначає кут між напрямком руху елементарної ділянки леза та нормаллю до його профілю [6]. Розглядаються три основні режими різання залежно від значення β :

- $\beta = 0$ – рубаюче різання;
- $\beta \leq \varphi$ – різання з поздовжнім переміщенням (ковзанням у площині контакту);
- $\beta \geq \varphi$ – різання з ковзанням уздовж поверхні.

Для розрахунків необхідно визначити залежність зміни β від положення елементарної ділянки леза. Це потребує спочатку отримання рівняння нормалі до профілю леза.

Загальне рівняння нормалі до кривої має вигляд:

$$y' = -\frac{1}{y'(x)},$$

де $f'(x)$ – похідна функції, що описує профіль леза, а y' – кут нахилу нормалі.

Далі, це рівняння буде використано для визначення кутових характеристик кожної елементарної ділянки профілю леза в умовах ґрунтового середовища.

Рівняння нормалі до кривої матиме наступний вигляд:

$$y - f(x_0) = -\frac{1}{f'(x_0)}(x - x_0) \quad (3.1)$$

де y – абсциса довільно взятої точки на кривій $f(x)$ – регресійне рівняння профілю ріжучого периметру.

Залежність (3.1) представляє собою класичне рівняння прямої лінії у прямокутній системі координат $y = x \cdot \operatorname{tg} \beta + c$, або

$$y = \left[f(x_0) + \frac{x_0}{f'(x_0)} \right] - \frac{1}{f'(x_0)} \cdot x. \quad (3.2)$$

Тоді кут β становитиме:

$$\beta = \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{1}{f'x} \right) \right]. \quad (3.3)$$

Важливим чинником, який характеризує різальну властивість леза є коефіцієнт ковзання, який можна отримати за залежністю [6].

$$i = \frac{\sin(\beta - \varphi)}{\cos\beta}. \quad (3.4)$$

Розглянемо детально процес взаємодії леза ножа із умовним коренем, зображеним у вигляді кола на рис. 3.3.

Раціональні параметри катка базової конструкції були обґрунтовані у дослідженнях [1, 2]. Основна мета цих робіт полягала у забезпеченні вертикального обробітку ґрунту ножами катка. Це визначає певні обмеження щодо співвідношення ширини ножа, діаметра барабана та ексцентриситету кріплення ножів відносно поздовжньої осі барабана. Як основу для конструкції ріжучої частини ножа обрано варіант, аргументований у цих роботах (рис. 2.1, а).

Для вдосконалення конструкції планки виконуються не суцільними, а з вирізами шириною 140 мм для розміщення розроблених ножів. Планки виконують подвійну функцію: подрібнюють поверхневі рослинні рештки та забезпечують примусове обертання катка. Це особливо важливо, оскільки ножі мають від'ємний кут атаки і потребують примусового занурення у ґрунт.

Робоча гіпотеза полягає в тому, що працездатність конструкції визначається режимом зміни коефіцієнта ковзання рослинних залишків від моменту початку контакту з лезом до його завершення. Припускається, що технологічний процес роботи ножа має три етапи: вертикальне занурення, горизонтальне переміщення та вертикальний вихід на поверхню ґрунту (рис. 3.3). Всі ці етапи є робочими, тобто холостого ходу немає.

Однак, інтенсивний режим роботи спричиняє затуплення леза ріжучого периметру, що є небажаним для якісного перерізання кореневої системи. Існує технічне рішення [13], яке пропонує створення локального зміцнення профілю шляхом нанесення смуг зносостійкого матеріалу (наприклад, сормайту). Це забезпечує ефект самозаточування леза через різну інтенсивність зношування профілю. Недоліком такого підходу є технологічна складність процесу, високий відсоток браку при виготовленні та значна собівартість.

Для усунення цих недоліків пропонується виконати поверхнєве зміцнення ножів за допомогою лазерного опромінення. Ця технологія вже практично відпрацьована [9], дозволяє автоматизувати процес і забезпечує високу точність виконання. З технологічної точки зору профіль леза доцільно прийняти

квадратичної залежності, що спрощує процес виготовлення та оптимізує розподіл навантаження на робочу поверхню. Тому

$$f' = -0,0284x + 1,3988.$$

Перевіримо отриманий профіль на режим різання. Результати розрахунків представимо у вигляді таблиці (табл. 3.2).

Таблиця 3.2.

Дані для розрахунку режиму різання

Аналіз отриманих розрахункових даних підтверджує, що режим різання з ковзанням реалізується успішно. Це забезпечує плавний контакт ножів із рослинними залишками, зменшує зусилля різання та сприяє підвищенню ефективності роботи агрегату. Режим ковзання дозволяє оптимізувати процес подрібнення, знижуючи енерговитрати і забезпечуючи рівномірний розподіл залишків у ґрунті.

3.3. Етапи заглиблення ножа подрібнювача рослинних решток у ґрунт

Прогнозований тяговий опір модернізованого катка-подрібнювача складається з опору ріжучих пластин, ножа в режимі заглиблення, ножа під час робочого горизонтального ходу та ножа у вертикальному робочому русі в напрямку денної поверхні. Для енергетичної оцінки технологічного процесу, який виконує робочий орган, застосовується теорія внутрішньої напруги.

Аналіз обмежується припущенням, що робочий орган працює на докритичній глибині, яка визначає розрахункову схему. Також вважається, що у

поверхневому шарі до 8–10 см монолітна коренева система відсутня, і ножі взаємодіють лише із ґрунтом.

Для аналізу обрано найскладніший варіант, коли всі сили діють одночасно і в максимальному режимі. Цей випадок відповідає розміщенню ножів на валу зі зміщенням на 60 градусів. Енерговитрати на перекочування катка не враховуються, оскільки додаткова вага модернізованих елементів, таких як укорочені ріжучі планки, принципово не впливає на загальну масу катка, а зміни у ходову частину не вносились.

Розрахункова схема процесу заглиблення ножа враховує всі основні сили опору ґрунту, які залежать від геометрії ножа, кута його атаки та фізико-механічних властивостей ґрунту. Результати розрахунків дозволяють визначити оптимальні параметри конструкції для забезпечення мінімальних енерговитрат і максимальної ефективності обробітку.

Рис. 3.4 – Розрахункова схема етапу заглиблення на робочу глибину: 1 – рівень денної поверхні; 2 – нормаль до профілю в точці носка леза; 3 – пріоритетний напрямок розгалуження лінії сколу у ґрунті у повздовжньо-вертикальній площині; 4 - пріоритетний напрямок розгалуження лінії сколу у ґрунті поперечно-вертикальній площині; 5 – дно борозни.

Відповідно до [6] сила сколювання призми ґрунту становить:

$$P_{ск} = C_{пит} \cdot S, \quad (3.5)$$

де $C_{пит} = 1,8 \text{ кН/м}^2$ – усереднене значення питомого зчеплення часток ґрунту для умов Львівської області; S – загальна площа сколотої поверхні. Відповідно розрахунковій схемі:

$$S = b \cdot (OA) = \frac{a^2 \operatorname{tg}(\varphi_2)}{\sin(\beta + \varphi)}. \quad (3.6)$$

За рекомендацією [7] приймаємо глибину робочого ходу $a = 0,15 \text{ м}$.

Кут внутрішнього тертя оброблюваного середовища $\varphi^2 = 250$ [5].

Підставивши значення у формулу отримуємо:

$$P_{ск} = 1,8 \cdot \frac{0,15^2 \operatorname{tg}25}{\sin70} = 0,2 \text{ кН}.$$

Отримане значення зусилля доведене до носка леза та направлене у напрямку руху сільськогосподарської машини.

3.4 Вертикальний та горизонтальний режими різання

Після досягнення робочої глибини ніж переходить до горизонтального руху, який поступово змінюється на вертикальний у напрямку до поверхні ґрунту. Ці процеси взаємопов'язані, тому розділяти їх недоцільно.

Прогнозування миттєвого значення діючої сили для консолідованого середовища можливе за допомогою існуючих методик [6]. Проте складність полягає в невизначеності механіко-технологічних характеристик оброблюваного ґрунтового середовища. Ґрунт у цьому випадку є армованим паростками кореневої системи, що підвищує його міцнісні характеристики. Однак методика визначення ступеня цього зміцнення досі не має точної формалізації.

Для врахування підвищеної міцності середовища згідно з рекомендаціями [14] вводиться коефіцієнт, який враховує вплив армування кореневою системою.

Через невизначеність вихідних параметрів результати розрахунків можуть бути лише приблизними. Для проведення аналізу використовується базова формула, наведена в [6]:

(3.7)

Під час розробки конструкції передбачається, що ножі катка виконують переважно вертикальний обробіток ґрунту, тому горизонтальна ділянка руху є настільки малою, що її розміри можна вважати незначними. Особливістю розрахунків є змінний характер кута різання α_p . У зв'язку з цим розрахунки виконуються для точок X_0 , зазначених у таблиці 3.1, з подальшим підсумовуванням отриманих проміжних результатів.

Для прийнятого в попередніх розрахунках питомого зчеплення часток ґрунту $S_p = 1,8 \text{ кН/м}^2$ і межі несучої спроможності $K' = 380 \text{ кН/м}^2$, проводиться оцінка тягового опору. Через невизначеність числових значень вихідних даних встановлюються їх можливі діапазони в умовах ґрунтів Дніпропетровської області. Виконавши розрахунки за формулою (3.7) для низки випадкових комбінацій вихідних параметрів, визначається ймовірний діапазон значень тягового опору.

Таблиця 3.3

Прогнозовані значення вихідних даних для оцінки тягового опору

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗУБІВ

Міцнісні дослідження у *SolidWorks Simulation* починаються з вибору геометричної моделі конструкції, яка буде підлягати аналізу. Далі визначаються матеріали, що будуть використовуватись для моделювання, із зазначенням їхніх фізико-механічних характеристик, таких як модуль пружності, границя текучості, міцність на розрив тощо. Наступним кроком є застосування навантажень і граничних умов, які відображають реальні експлуатаційні ситуації. Це можуть бути статичні або динамічні навантаження, температурні впливи або ж обмеження руху конструкції.

Після налаштування вказаних параметрів виконується дискретизація моделі, тобто створення кінцево-елементної сітки (рис. 4.1). Розмір елементів і їхня щільність визначають точність розрахунків і швидкість їх виконання. Результати аналізу, такі як розподіл напружень, деформацій і коефіцієнтів запасу міцності, дозволяють оцінити здатність конструкції витримувати задані навантаження. Ці результати візуалізуються у вигляді кольорових графіків і числових значень, що допомагає ідентифікувати критичні зони, які потребують удосконалення або підсилення.

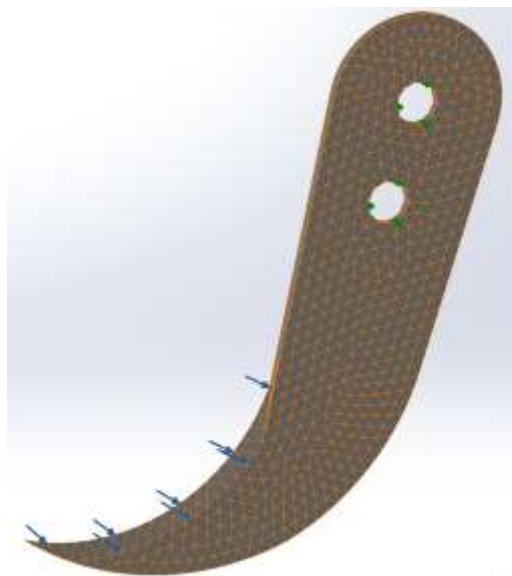


Рис. 4.1 – Накладання кінцево-елементної сітки та прикладених навантажень

Дослідження проводились для сталей наступних марок: сталь конструкційна ресорно-пружинна 50ХГ; сталь конструкційна легована 40Х; сталь інструментальна легована 9ХС; листовая вуглецева сталь 1023 (SS).

Результати міцнісних характеристик вищеперелічених матеріалів сталей показано на рис. 4.2-4.5.

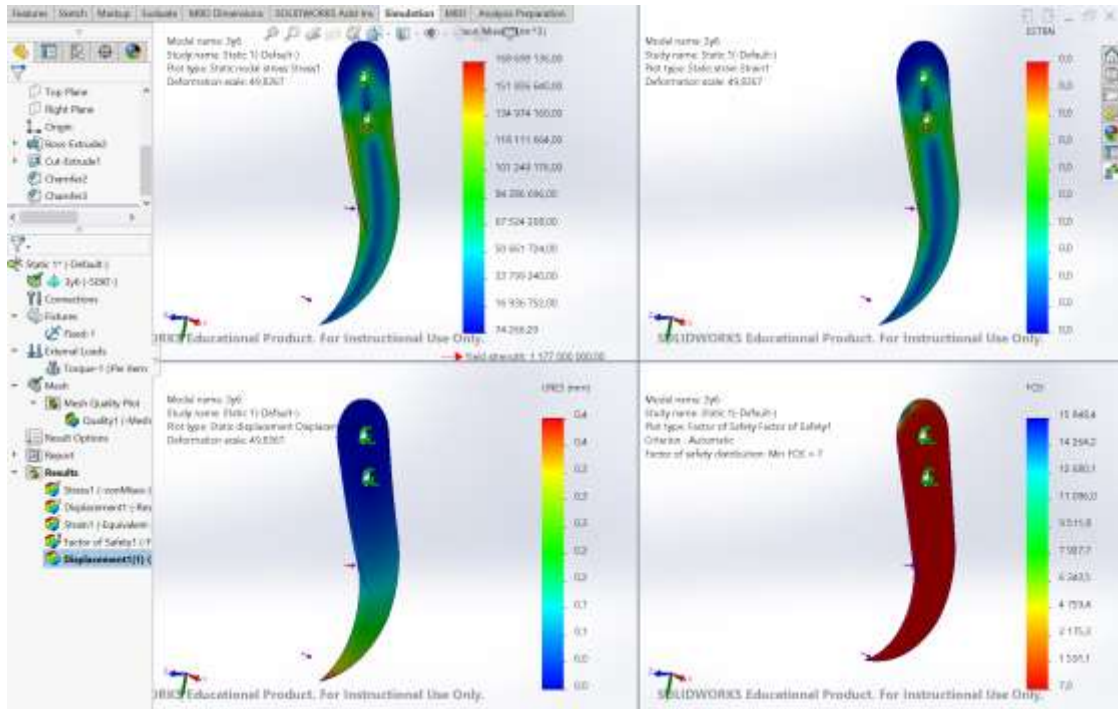


Рис. 4.2. Результати моделювання конструкційної ресорно-пружинної сталі 50ХГ

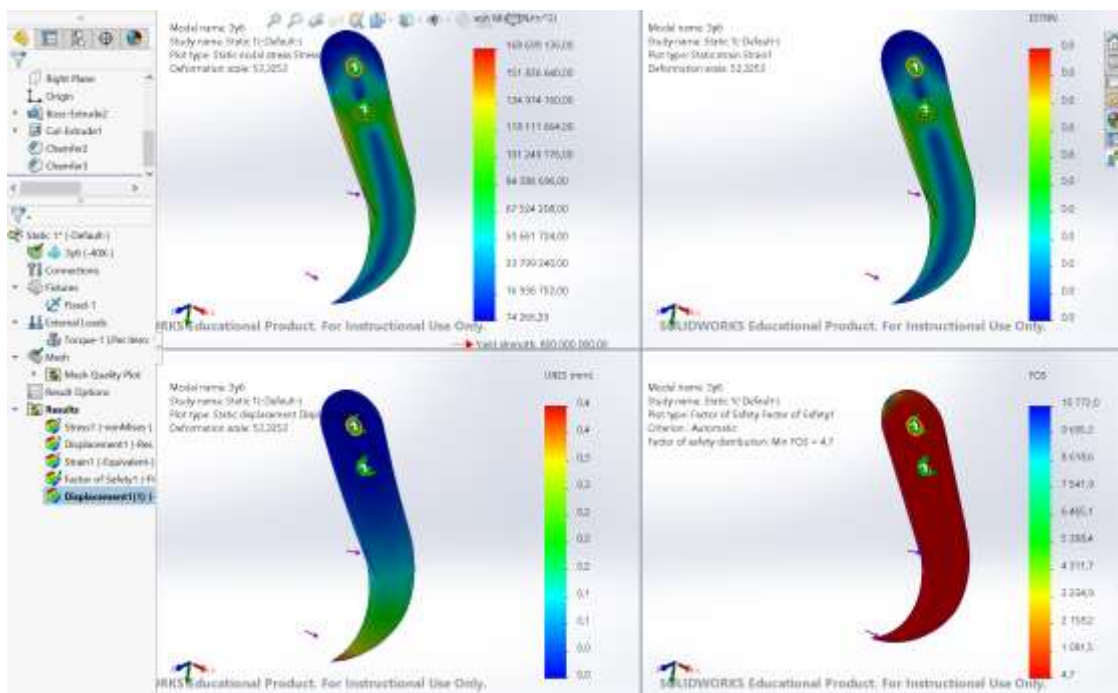


Рис. 4.3. Результати моделювання конструкційної легованої сталі 40Х

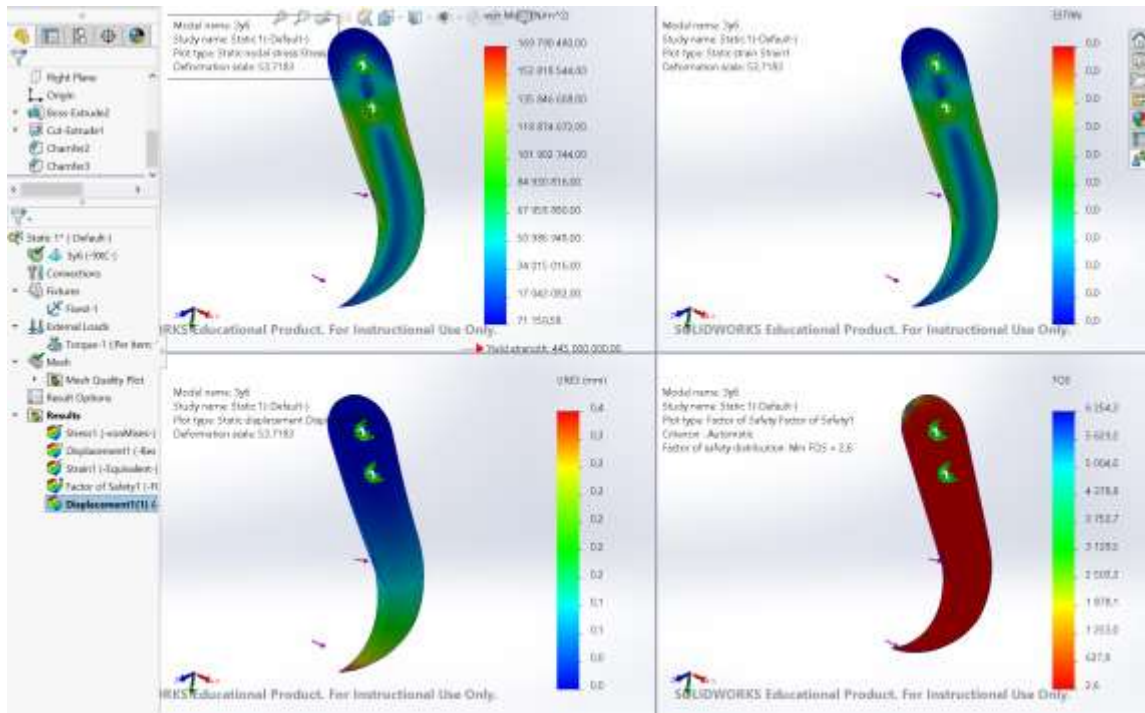


Рис. 4.4. Результати моделювання конструкційної інструментальної сталі 9XC

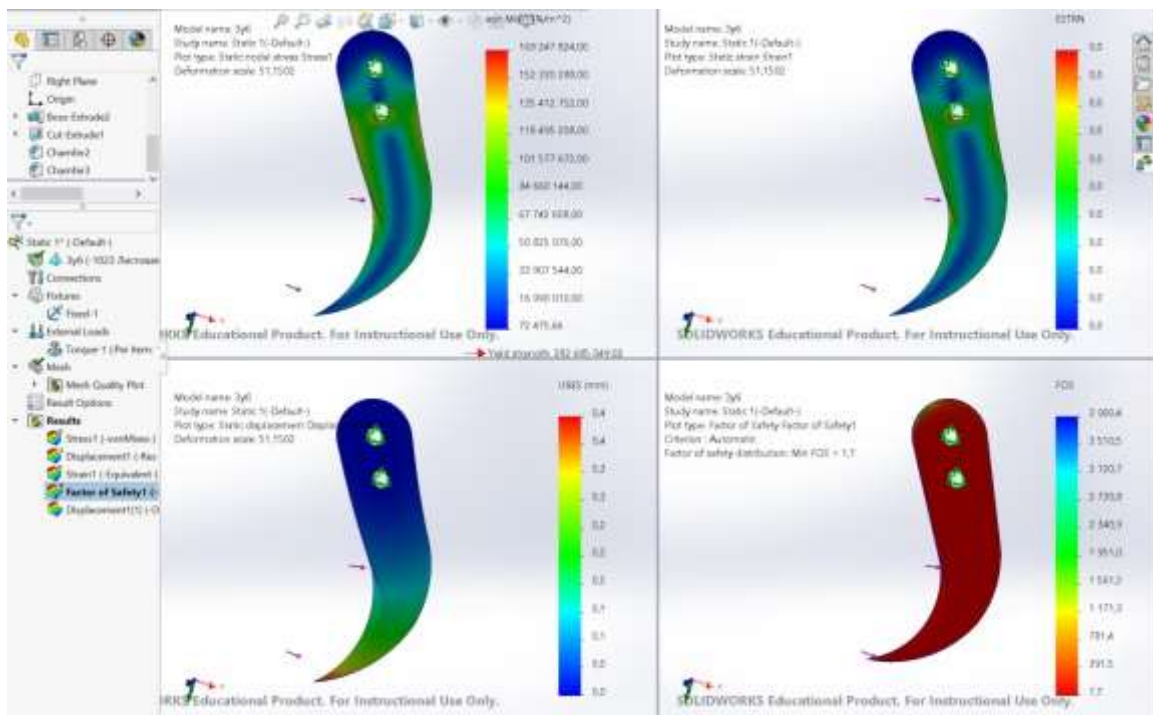


Рис. 4.5. Результати моделювання листової вуглецевої сталі 1023 (SS)

На основі проведеного моделювання у *SolidWorks Simulation* із застосуванням різних матеріалів, було оцінено напруження, коефіцієнти запасу міцності та деформації для заданої конструкції. Моделювання дозволило

визначити оптимальні матеріали, що забезпечують високу стійкість конструкції до навантажень, а також визначити обмеження для використання певних матеріалів. Результати моделювання відображені у табл. 4.1.

Таблиця 3.3 – Основні характеристики досліджуваних матеріалів

Матеріал	Максимальні напруження, МПа	Коефіцієнт запасу міцності (мінімальний)	Максимальна деформація, мм
Сталь 9ХС	169790480	2.6	0.4
Сталь 40Х	168699136	4.7	0.4
Сталь 50ХГ	168699136	7.0	0.4
Сталь листова 1023	169742824	1.7	0.4

Аналіз результатів (табл. 4.1) дозволяє ефективно вибрати матеріал для конструкції залежно від умов експлуатації та необхідних характеристик.

Сталь 9ХС - цей матеріал продемонстрував високий рівень напружень у критичних зонах конструкції, що свідчить про значну концентрацію навантаження. Мінімальний коефіцієнт запасу міцності дорівнює 2.6, що забезпечує обмежений рівень надійності. Деформація становить 0.4 мм, що є стандартним показником для досліджуваних матеріалів.

Сталь 40Х - рівень напружень у сталі 40Х є зниженим у порівнянні з іншими матеріалами, що забезпечує рівномірніший розподіл навантажень. Коефіцієнт запасу міцності становить 4.7, що свідчить про значно вищу надійність. Деформація також знаходиться на рівні 0.4 мм.

Сталь 50ХГ - цей матеріал виявився найкращим у проведеному аналізі. Напруження мінімізовані, а коефіцієнт запасу міцності дорівнює 7.0, що є найвищим серед досліджуваних матеріалів. Сталь 50ХГ забезпечує оптимальну міцність і довговічність конструкції.

Сталь листова 1023 - листова вуглецева сталь продемонструвала найвищі рівні напружень і мінімальний коефіцієнт запасу міцності (1.7). Цей матеріал має найнижчий рівень жорсткості та виявився найменш ефективним у

дослідженні. Використання цього матеріалу варто обмежити лише для конструкцій, які зазнають мінімальних навантажень.

Графік коефіцієнта запасу міцності (рис. 4.6) демонструє значну перевагу сталі 50ХГ над іншими матеріалами. Листова сталь 1023 має найнижчий показник, що обмежує її застосування.

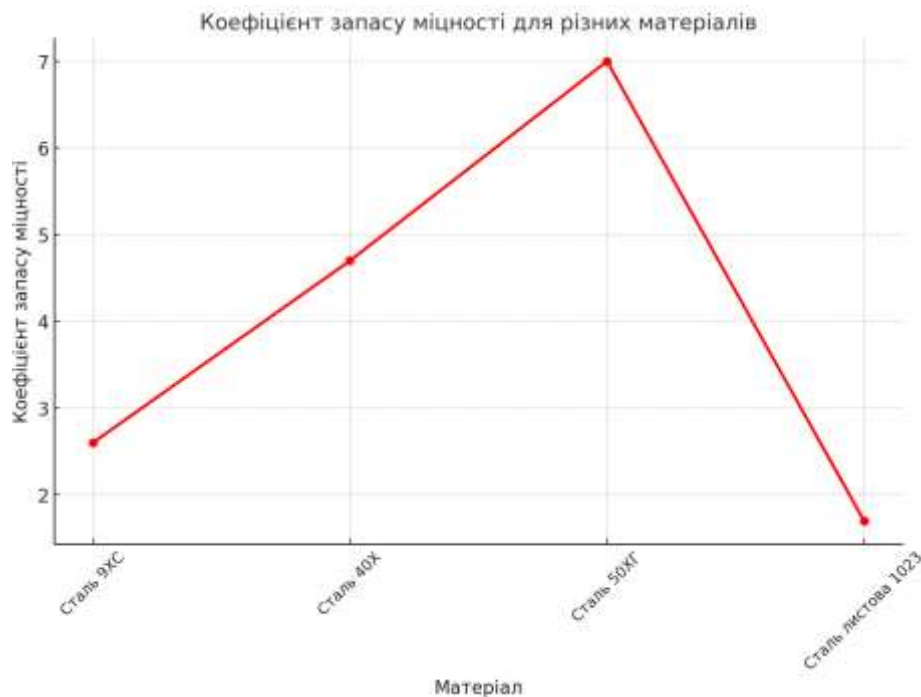


Рис. 4.6 - Графік коефіцієнта запасу міцності для різних матеріалів

Найбільш оптимальним матеріалом для даної конструкції є сталь 50ХГ, яка демонструє найвищий коефіцієнт запасу міцності та низький рівень напружень. Сталь 40Х є універсальним вибором із помірним рівнем міцності та надійності, що дозволяє використовувати її у конструкціях із середнім рівнем навантажень. Сталь 9ХС може бути використана для конструкцій, які працюють у помірних умовах навантаження. Листова вуглецева сталь 1023 має обмежене застосування через низький коефіцієнт запасу міцності та високі рівні напружень.

Для конструкцій, що зазнають високих навантажень, слід використовувати сталь 50ХГ, а для менш навантажених частин конструкцій слід використовувати сталі 40Х та 9ХС.

В подальших дослідженнях потрібно провести додатковий динамічний аналіз для оцінки поведінки матеріалів при циклічних навантаженнях.

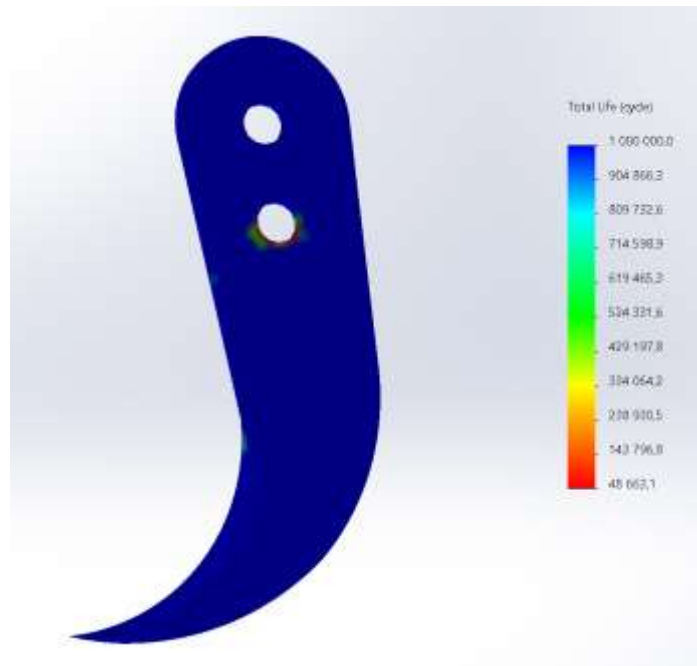


Рис. 4.7. Результат термін служби конструкції залежно від циклічних навантажень

Максимальний термін служби (рис. 4.7) спостерігається у зоні з мінімальними напруженнями (темно-синій колір) і перевищує 1000000 циклів. У ділянках із жовтим і зеленим маркуванням термін служби зменшується до діапазону 238930–714599 циклів, що вказує на середній рівень навантаження. Найбільш критичними є зони, позначені червоним кольором, де термін служби конструкції скорочується до мінімуму – 48663 циклів. Це свідчить про локалізовані напруження, які можуть призвести до руйнування.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1. Оцінка умов праці та забезпечення безпеки у ТзОВ «Сталь Майстер»

В господарстві відповідальність за охорону праці несе директор та спеціаліст з охорони праці, вони і визначають стратегічні цілі та політику охорони праці на підприємстві. Спеціаліст з охорони праці проводить оцінку ризиків на робочих місцях, виявляє потенційні небезпеки та розробляє заходи для їх усунення або зниження.

Відповідальний за охорону праці здійснює ознайомлення нових працівників, які надходять на підприємство для працевлаштування. Під час цього ввідного інструктажу він також реєструє їх у спеціальному журналі.

Періодичний інструктаж проводить раз у півроку для всіх працівників, але для робітників, які працюють на небезпечних участках, інструктаж проводиться кожні три місяці. Усі робітники підприємства отримують спецодяг, який міняється відштовхуючись від погодних умов.

Керівник ділянки також несе відповідальність за організацію та контроль за безпекою праці в межах своєї ділянки. Слідкує за впровадженням положень з ОП, забезпечує належне навчання працівників та контролює дотримання вимог безпеки на робочому місці, стежить за дотриманням правил користування обладнання та інструкцій з безпеки. Виконуючи модернізацію катка використовуються такі інструменти :

- молоток;
- кутова шліфувальна машина;
- дріль для створення отворів в металі;
- заклепковий прес;
- балон з пропаном для нагрівання заклепок;

При здійсненні робіт на ділянці з модернізації навісного обладнання необхідно дотримуватися таких правил з охорони праці:

До роботи не допускаються несправні інструменти з причин безпеки.

Несправний інструмент може бути небезпечним для працівника, оскільки його функціонування може бути непередбачуваним. Наприклад, якщо рукоятка молотка тріснула або пошкоджена, її може бути важко контролювати під час виконання роботи, що може призвести до втрати контролю над інструментом та потенційної травми. Якщо робітником було виявлено несправність будь-якого інструменту він повинен сповістити про це керівнику.

Електричні інструменти які вийшли з ладу можуть призвести до нещасних випадків на робочому місці. Наприклад, якщо в болгарці є пошкодження електричних проводів, це може призвести до електричного ураження для працівника, який використовує цей інструмент, тому перед початком зміни працівники ретельно оглядають інструменти якими будуть працювати.

Неполадки в роботі механізму може не забезпечувати якісне та ефективне виконання роботи. Якщо дрель має пошкоджені затискачі або перебої в роботі мотора, це може ускладнити процес свердління та знизити якість отворів, час на виконання роботи збільшиться, а якість зменшиться. При роботі з гарячими деталями необхідно вживати ряд заходів безпеки для запобігання опікам та травмам. Перш за все, працівники повинні носити відповідний захисний спецодяг, який включає термостійкі рукавиці, одяг з високою термостійкістю та захисні окуляри або шолом. Це допоможе зменшити ризик отримання опіків та пошкоджень шкіри при контакті з гарячими деталями. Треба використовувати ізольовані інструменти або рукавиці з теплоізоляційним покриттям для захисту від тепла та опіків під час роботи з гарячими предметами. Також важливо належно організувати робоче місце, уникати контакту з гарячими деталями та забезпечити належну вентиляцію для зменшення теплового впливу на працівників. Додатково, рекомендується встановлювати теплоізоляційні матеріали або покриття на ручки, поверхні або конструкції, які можуть нагріватися, щоб зменшити передачу тепла та ризик опіків. Забезпечення доступу до охолоджувальних систем або джерел води також є важливим, для

швидкого охолодження гарячих деталей та забезпечення комфорту працівників в умовах високої температури.

Слід встановлювати попереджувальні знаки та сигналізацію, які вказують на небезпеку гарячих деталей, а також навчати працівників про правила безпеки при роботі з гарячими деталями.

Техніка безпеки під час тестування агрегату у робочому середовищі При роботі з катком подрібнювачем в полі необхідно дотримуватися ряду заходів безпеки, щоб запобігти травмам та забезпечити безпечну та ефективну роботу.

По-перше, переконатись, що каток належним чином підготовлений до роботи. Перевірте стан інструменту, ніжок та інших деталей, щоб упевнитися в їхній справності. Забезпечте правильне налаштування тиску та швидкості роботи залежно від умов ґрунту та завдань. Перед початком роботи, огляньте робочу ділянку на полі не повинно бути зайвих предметів. Видаліть зайві перешкоди, такі як камені, дерев'яні брухти або інші небезпечні об'єкти, які можуть пошкодити каток або спричинити аварійну ситуацію.

Не забувайте про особисту безпеку. Носіть відповідний захисний спецодяг, включаючи рукавиці, захисні окуляри, вушні протектори та відповідний одяг.

Уникайте носити вільні або обертові предмети, які можуть зачепитися за рухомі частини катка.

Завжди дотримуйтеся правил безпеки під час використання катка. Треба тримати дистанцію від інших осіб та об'єктів, уникайте похибок у керуванні та раптових зупинок. Регулярно контролюйте роботу катка та переконайтеся, що він функціонує належним чином.

Модернізована конструкція катка з додатково закріпленими до катка спеціальних ножів вимагає більш відповідального підходу до експлуатації. Це означає, що під час роботи катка, особливу увагу потрібно приділяти стану цих ножів і їх правильній фіксації. При роботі каток обертається з достатньо високою швидкістю і ножі які закріплені на катку перші занурюються в землю

(б'ються об неї) і приймають на себе найбільше навантаження тому перевірі кріплень (заклепок) цих ножів перед роботою треба приділити особливу увагу.

Окрім того, операторам катка необхідно мати достатні знання та навички для роботи з цією модернізованою конструкцією. Вони повинні бути навчені правильному використанню катка та вміти вчасно виявляти будь-які проблеми з ножами або їхніми кріпленнями.

У разі виникнення аварійної ситуації або травми треба негайно припинити роботу та звернутись до медичної допомоги.

Захищаючий каркас на тракторі є невід'ємною частиною безпеки при роботі з катком подрібнювачем в полі. Він має на меті захистити оператора та оточуючих від можливих травм та ушкоджень. Каркас створює бар'єр між катком і оператором, запобігаючи потраплянню рослинних решток або інших матеріалів до робочої зони. Він також допомагає захистити від можливих ударів обривами гілок або каміння, що можуть піднятися під час роботи. Захищаючий каркас має бути належним чином встановлений та підтримуватись у справному стані. Його наявність є важливою для забезпечення безпеки під час роботи з катком подрібнювачем в полі.

5.2. Зберігання катка після виконаної роботи

Зберігання катка подрібнювача рослинних решток вимагає врахування ключових аспектів для забезпечення його довговічності, безпеки та готовності до подальшого використання. Для цього необхідно вибрати відповідне місце зберігання, яке має бути сухим та захищеним від впливу погодних умов. Найкраще підходять складські приміщення або гаражі з вентиляцією. Важливо уникати контакту катка з вологою, яка може спричинити корозію, та впливу прямих сонячних променів, що можуть пошкодити гумові та пластикові елементи.

Перед зберіганням каток слід розташувати на рівній поверхні для запобігання перекосам або падінню. Рекомендується використовувати дерев'яні або металеві підставки, які захищатимуть обладнання від контакту з вологою

підлогою. Додатково можна використовувати тримачі або стопори для забезпечення нерухомості катка.

Каток необхідно ретельно очистити від залишків рослинних матеріалів, пилу та бруду, які можуть стати причиною корозії або механічних пошкоджень. Важливо перевірити стан ріжучих елементів, підшипників та інших деталей, замінивши пошкоджені або зношені компоненти. Рухомі частини слід змастити згідно з рекомендаціями виробника.

Для захисту від корозії металеві поверхні катка необхідно покрити мастилом або консерваційним маслом. Якщо приміщення для зберігання має підвищену вологість, доцільно використовувати осушувачі повітря або спеціальні антикорозійні чохла.

Доступ до катка має бути організований таким чином, щоб виключити можливість його використання неповнолітніми чи сторонніми особами. Для цього рекомендується обмежити доступ до приміщення та розмістити на видимому місці попереджувальні таблички з правилами безпеки.

Навіть під час тривалого зберігання необхідно періодично перевіряти стан катка на наявність пошкоджень, корозії чи ослаблених кріплень. За необхідності слід виконати додаткові заходи обслуговування або повторного захисту. Дотримання цих рекомендацій допоможе зберегти каток у належному стані, мінімізувати зношення деталей під час простою та забезпечити його ефективність у майбутньому використанні.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Робота спрямована на вдосконалення конструкційних рішень для катків-подрібнювачів рослинних залишків, зокрема грубостеблових культур. Аналіз досліджень підтвердив важливість та актуальність процесу деструкції кореневої системи стерні грубостеблових культур. Для вирішення цього завдання було розроблено технічне рішення, яке дозволяє ефективно здійснювати подрібнення кореневих залишків. Робочий орган катка спроектовано таким чином, щоб забезпечувати вертикальне різання в напрямку до поверхні ґрунту, що сприяє якісному виконанню агротехнічних завдань.

Конструкція робочого органа базується на механіко-біологічному моделюванні із застосуванням принципу функціональної аналогії. Це дало змогу адаптувати конструктивні особливості до специфічних умов експлуатації та підвищити ефективність роботи з грубостебловими культурами.

Проведені розрахунки показали, що запропонована конструкція забезпечує деструкцію кореневої системи виключно у визначеному верхньому шарі ґрунту, не впливаючи негативно на його глибинні шари. Такий підхід дозволяє зберегти структуру ґрунту, покращити його родючість та оптимізувати подальші агротехнічні процеси.

В результаті дослідження отримано низку значущих результатів, які підтверджують ефективність запропонованих технічних рішень.

1. Модернізований каток продемонстрував покращену якість подрібнення рослинних залишків, досягнувши коефіцієнта структурності 0,38 проти 0,16 для серійного зразка при однаковому коефіцієнті подрібнення (0,4–0,44).

2. Експериментально підтверджено, що конструкція забезпечує деструкцію кореневої системи на глибині 6–8 см, не порушуючи глибших шарів ґрунту, що сприяє збереженню його родючості.

3. Найбільш ефективним матеріалом для робочих органів катка виявилася сталь 50ХГ із коефіцієнтом запасу міцності 7,0, що значно перевищує показники інших сталей (40Х - 4,7, 9ХС - 2,6).

4. Застосування сталі 50ХГ забезпечує оптимальну довговічність конструкції при значному зниженні зношуваності. Інтенсивний режим роботи спричиняє затуплення леза ріжучого периметру, що є небажаним для якісного перерізання кореневої системи. Існує технічне рішення, яке пропонує створення локального зміцнення профілю шляхом нанесення смуг зносостійкого матеріалу (наприклад, сормайту). Це забезпечує ефект самозаточування леза через різну інтенсивність зношування профілю. Недоліком такого підходу є технологічна складність процесу, високий відсоток браку при виготовленні та значна собівартість. Для усунення цих недоліків пропонується виконати поверхневе зміцнення ножів за допомогою лазерного опромінення.

5. Зменшення тягового опору завдяки оптимальному розташуванню ножів і їх геометрії дозволяє знизити енерговитрати на 25% у порівнянні з традиційними конструкціями. Розроблений робочий орган має додаткову перевагу у вигляді зменшення тягового опору завдяки оптимальному розташуванню ножів та їх вдало підібраним геометричним параметрам. Це значно скорочує енерговитрати, що важливо як з економічної, так і з екологічної точки зору.

6. Запропоновані зміни можна впровадити без значних модифікацій базової конструкції, що мінімізує витрати на переоснащення.

7. Технологія підходить для обробітку ґрунтів із різними характеристиками, що підтверджує її універсальність.

Робота доводить необхідність подальшого вдосконалення технологій подрібнення рослинних залишків, акцентуючи увагу на застосуванні високоякісних матеріалів і зниженні енерговитрат. Результати дослідження сприятимуть підвищенню ефективності агротехнічних процесів і забезпеченню сталого розвитку аграрного сектору.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Кропивницький: ЦНТУ, 2021. Вип. 51. С. 70–77.
2. Богатирьов Д. В., Сало В. М. Аналіз господарських випробувань котка-подрібнювача рослинних решток соняшника // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Кіровоград: КНТУ, 2013. Вип. 43, ч. 1. С. 12–17.
3. Кобець А. С., Волик Б. А., Пугач А. М. Ґрунтообробні машини: теорія, конструкція, розрахунок: монографія. Дніпропетровськ: Свідлер А. Л., 2011. 140 с.
4. Довідник з машиновикористання в землеробстві / В. І. Пастухов, А. Г. Чигрин, В. Ю. Ільченко та ін.; за ред. В. І. Пастухова. Харків: Веста, 2001. 347 с.
5. Основи наукових досліджень в агрономії: підручник / В. О. Єщенко, П. Г. Копитко, В. П. Опришко, П. В. Костоґриз; за ред. В. О. Єщенка. Київ: Дія, 2005. 288 с.
6. Енергоємність технологій в рослинництві: метод. рекомендації для курсового і дипломного проектування / В. І. Пастухов, В. Д. Лютинський. Харків: Навчально-методичний центр заочного навчання сільськогосподарських ВЗО України, 2004. 53 с.
7. Машиновикористання в землеробстві / В. Ю. Ільченко, Ю. П. Нагірний, П. А. Джолос та ін.; за ред. В. Ю. Ільченка і Ю. П. Нагірного. Київ: Урожай, 1996. 384 с.
8. Цилюрик Я. Поверхневий обробіток і рослинні рештки [Електронний ресурс]. URL: <https://www.zerno-ua.com/journal/2019/may-2019-god/poverhneviyobrobitok-i-roslinni-reshtki>.

9. Афанасьєва О. В., Лалазарова Н. О., Федоренко Є. П. Лазерна поверхнева обробка матеріалів. Харків: ФОП Панов А. М., 2020. 100 с.
10. Бізнес-планування механізованих процесів у рослинництві / О. О. Красноручський, О. Ю. Бобловський, Г. Є. Мазнєв та ін. Харків, 2008.
11. Коновий А. В., Волик Б. А. Обґрунтування конструкції катка-подрібнювача для роботи по агрофону рослинних решток грубостеблових культур // Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали I Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Мелітополь, 01–24 квітня 2020 р.). Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 167–171.
12. Михайлов Є. В., Волик Б. А., Теслюк Г. В., Коновий А. В. Обґрунтування конструктивної схеми стрільчастої лапи на основі біологічного прототипу // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2019. Вип. 19, т. 3. С. 37–46. DOI: 10.31388/2078-0877-19-3-37-45.
13. Пугач А. М. Обґрунтування параметрів культиваторних лап, оснащених елементами локального зміцнення: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. Вінниця, 2010. 20 с.
14. Дипломне проектування у вищих навчальних закладах Мінагрополітики України: навч.-метод. посіб. / за ред. Т. Д. Іщенко, І. М. Бендера. Київ: Аграрна освіта, 2006. 256 с.
15. Практикум з використання машин у рослинництві / В. Ю. Ільченко, А. С. Кобець, В. П. Мельник, П. І. Карасьов, П. М. Кухаренко, А. В. Ільченко. Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2002. 212 с.