

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра агроінжинірингу

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри

Шуляк М.Л.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Обґрунтування режимів роботи та конструктивних параметрів
катка-подрібнювача для експлуатації в органічному землеробстві»

Виконав:

_____ (підпис)

_____ (Прізвище, ініціали)

Група:

Науковий керівник:

_____ (підпис)

_____ (Прізвище, ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний

Кафедра агроінжинірингу

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність **208 Агроінженерія**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

агроінжинірингу

_____ Шуляк М.Л.

“__” _____ 202_ року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ (МАГІСТЕРСЬКУ) РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** Обґрунтування режимів роботи та конструктивних параметрів
катка-подрібнювача для експлуатації в органічному землеробстві _____ .

керівник роботи: Мікуліна Марина Олександрівна, к.е.н., доцент _____ .

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “__” _____ 202_ року
№ _____

2. **Строк подання здобувачем роботи:** “__” _____ 202_ року.

3. **Вихідні дані до роботи:** методичні матеріали, нормативні документи, наукові
статті та монографії вітчизняних та зарубіжних дослідників _____ .

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

_____.

5. **Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:** _____

_____.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці			
Економічна частина			

7. Дата видачі завдання: “ ___ ” _____ 202_ року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної (магістерської) роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної (магістерської) роботи	Погоджено з керівником кваліфікаційної (магістерської) роботи
1.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики та написання вступу		
2.	Підготовка розділу «Розділ 1»		
3.	Підготовка розділу «Розділ 2»		
4.	Підготовка розділу «Розділ 3»		
5.	Підготовка розділу «Розділ 4»		
6.	Підготовка розділу «Розділ 5» та написання висновків		
7.	Подання роботи на перевірку унікальності		
8.	Подання роботи до експертної ради факультету		
9.	Подання роботи на рецензування		
10.	Подання до попереднього захисту		

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної (магістерської) роботи

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційного проекту на 55 с машинописного тексту, 25 рис., 2 табл., 20 літературних джерел, __ додаток(ки).

КАТОК-ПОДРІБНЮВАЧ; ОРГАНІЧНЕ ЗЕМЛЕРОБСТВО; РОСЛИННІ РЕШТКИ; МУЛЬЧУВАННЯ ҐРУНТУ; КОНСТРУКТИВНІ ПАРАМЕТРИ; ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС; ОХОРОНА ПРАЦІ; ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ

Об'єктом дослідження є технологічний процес роботи катка-подрібнювача в органічному землеробстві.

Предметом дослідження є вдосконалення конструктивних параметрів катка-подрібнювача для покращення якості подрібнення рослинних решток та збереження родючості ґрунту.

В результаті дослідження розроблено нову конструкцію катка-подрібнювача з регульованим кутом ріжучих планок відносно осі обертання барабана. Ця модифікація дозволяє досягти оптимальної траєкторії різання в різних умовах експлуатації. Проведені експерименти підтвердили ефективність та надійність нової конструкції.

Наведено: Типова конструкція реберчасто-планчатого катка; Розрахункова схема до аналітичної моделі взаємодії ножа зі стовбуром грубостеблової культури; Загальний вид дослідного зразка катка; Типова поверхня поля із частково подрібненими й укладеними на поверхню рештками стебел кукурудзи; Типовий стан поверхні зі стоячими залишками стебел; Укладання стебел гірчиці катком при швидкості менше за 7 км/год; Економічна ефективність проекту.

Розробка може потенційно покращити існуючу технологію мульчування та обробки ґрунту, підвищивши якість подрібнення і структуроутворення поверхневого шару, що позитивно вплине на збереження вологи та родючості ґрунту, а також підвищить економічну ефективність агротехніки.

Розроблені заходи з охорони праці.

Проведено аналіз економічної доцільності.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ, ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ТА ДОСЛІДЖЕНЬ	6
1.1 Використання рослинних решток та сидератів в якості органічного добрива	6
1.2 Огляд конструкцій катків	10
1.3 Огляд аналітичних досліджень	16
РОЗДІЛ 2. ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	23
2.1 Обґрунтування конструктивних параметрів планки	24
2.2 Обґрунтування раціонального співвідношення діаметра барабану та діаметра описаного кола леза планок	27
2.3 Аналітична модель взаємодії з середовищем, що оброблюється	28
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	35
3.1 Конструкція дослідного катка-подрібнювача	35
3.2 Результати експериментальних досліджень	35
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	44
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	47
ВИСНОВКИ	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	52
ДОДАТКИ	55

ВСТУП

Сучасний розвиток сільського господарства в Україні та світі все більше спрямований на впровадження екологічно чистих технологій, що забезпечують сталий розвиток аграрного сектору. В умовах глобальних кліматичних змін, виснаження ґрунтів і зростаючого попиту на органічну продукцію дедалі актуальнішим стає застосування органічного землеробства. Однією з ключових проблем органічного землеробства є забезпечення ефективної обробки ґрунту без використання хімічних препаратів та мінімізація негативного впливу на його структуру і родючість.

Катки-подрібнювачі відіграють важливу роль в органічному землеробстві, оскільки їх використання дозволяє подрібнювати рослинні рештки, залишаючи їх на поверхні поля, що сприяє природному збереженню вологи, покращенню структури ґрунту і боротьбі з бур'янами. Однак для досягнення максимальної ефективності використання таких агрегатів необхідно оптимізувати режими їх роботи та конструктивні параметри відповідно до специфічних умов експлуатації. Це дозволяє підвищити продуктивність обробки ґрунту, зменшити енерговитрати та забезпечити високу якість подрібнення рослинних залишків.

Актуальність даної теми для України особливо зростає в умовах сучасних викликів: необхідності відновлення деградованих земель, перехід на органічні методи землеробства з метою збереження довкілля та підвищення конкурентоспроможності вітчизняної сільськогосподарської продукції на світовому ринку. Крім того, в Україні набуває популярності органічне сільське господарство, що зумовлено як вимогами Європейського Союзу до експортної продукції, так і зростаючим попитом на екологічно чисті продукти серед населення.

Таким чином, дослідження технологічних параметрів катків-подрібнювачів для їх оптимального використання в умовах органічного землеробства є важливою науково-практичною задачею.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПРОБЛЕМИ, ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ТА ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Використання рослинних решток та сидератів в якості органічного добрива

Каток-подрібнювач — це спеціально розроблена машина, яка використовується для поверхневої обробки рослинних залишків, наприклад стерні. Ця обробка необхідна для полегшення подальшого обробітку ґрунту або посіву за допомогою передових нульових технологій. Машина працює шляхом подрібнення рослинних решток, часткової обробки верхнього шару ґрунту, зрізання та сплющування стебел. Сплющені стебла залишають на поверхні поля, забезпечуючи їхній щільний контакт із ґрунтом, що сприяє активізації мікроорганізмів у поверхневому шарі. Механічне зрізання та подрібнення стебел є ефективним методом боротьби зі шкідниками та хворобами. Наприклад, обробка кукурудзи подрібнювачем знищує кукурудзяного метелика, одного з найбільш небезпечних шкідників цієї культури. Також машина вирівнює та рівномірно розподіляє рештки по поверхні поля, таким чином локалізуючи осередки водної, вітрової та повітряної ерозії ґрунту. Окрім цього, машина сприяє накопиченню вологи в ґрунті, утворенню органічних і мінеральних добрив, а також прискорює процес розкладання рослинних залишків або сидератів. Вона також стимулює проростання бур'янів, що згодом призводить до їх вимерзання.

Наприклад, при врожайності пшениці в 4 тонни зерна, додатково утворюється 4,5-5 тонн солом'яних залишків. Ці залишки містять цінні поживні речовини, зокрема 20 кг азоту, 10 кг фосфору, 140 кг калію та кальцію, 8-10 кг сірки і понад 400 г мікроелементів. Такі елементи живлення еквівалентні кількості 660 кг нітроамофоски, 100 кг хлористого калію, 30 кг аміачної селітри, 60 кг сульфату магнію та 6-8 кг висококонцентрованих мікродобрив [1].

Кожен сидерат має свої унікальні властивості. У той час як відомо, що деякі сорти сприяють аерації ґрунту через свою подовжену кореневу систему,

інші здатні захищати від хвороб, одночасно збагачуючи ґрунт великою кількістю азоту. Незважаючи на те, що сидерати зазвичай демонструють як позитивні, так і негативні властивості, існують також більш універсальні культури з співвідношенням переваг 4:1.

Немає єдиного сидерату, який можна було б вважати універсально ефективним на всіх типах ґрунтів і в будь-який сезон, але при цьому сумісний з усіма видами вирощування сільськогосподарських культур. Необхідно зробити компроміс і вибрати з наступних варіантів:

Сидеральні бобові культури охоплюють різноманітні види рослин, такі як горох, сочевиця, люцерна, квасоля, люпин, конюшина, соя, вика, нут, конюшина. Основна перевага цих культур полягає в їхній чудовій здатності виробляти значну кількість азоту в ґрунті. Враховуючи, що більшість овочевих культур гостро вразливі до азоту, бобові сидерати широко віддають перевагу фермерам і виробникам.

Зернові покривні культури, такі як пшениця, ячмінь, овес, жито та сорго, характеризуються високою концентрацією білків, багатих поживними речовинами, і значними запасами калію. Примітно, що ці культури мають здатність процвітати на різних типах ґрунтів, що сприяє їх частковій незалежності від конкретних ґрунтових умов.

До сидератів хрестоцвітих відносять ряд культур, наприклад дикий ріпак, гірчицю білу та сіру, хрін, редьку. Ці культури є ідеальним органічним добривом і здатні забезпечити значний поштовх будь-якому підходу на основі гною. Варто відзначити потужну кореневу систему цих культур, яка дозволяє рости в різних температурних діапазонах. Доведено, що ці культури є особливо стійкими до шкідників і фактично мають фітосанітарні властивості, які додатково підвищують їх корисність [2].

Гречка – єдиний представник, який може похвалитися рядом переваг. До них відноситься швидкий ріст рослини, її здатність ефективно аерувати ґрунт і його здатність покращувати рівень кислотності ґрунту.

Фацелія є зразком виду рослини, що володіє унікальними властивостями. Ця рослина має здатність збагачувати ґрунт значною кількістю зеленої біомаси, тим самим покращуючи структуру ґрунту. Крім того, цей вид виявляє стійкість до низьких температур і адаптується до широкого діапазону типів ґрунтів. Крім того, фацелія здатна процвітати в умовах слабкого освітлення, що робить її ідеальним кандидатом для вирощування в місцях з обмеженим сонячним світлом. Нарешті, важливо зазначити, що фацелія виробляє складні квіти як частину свого репродуктивного процесу.

Амарант має надзвичайну здатність активізувати основні функції корисних мікроорганізмів, тим самим сприяючи їх росту та активності. Крім того, він дуже стійкий до низьких температур і виявляє чудову стійкість до багатьох шкідників і хвороб. Крім того, він також здатний забезпечувати постійне постачання азотом, що робить його ідеальним кандидатом для сільськогосподарського вирощування.

Традиційний підхід до поводження з пожнивними залишками передбачає повернення матеріалу назад у ґрунт. Однак цей процес передбачає тривалий період розкладання приблизно від 2,5 до 3 років, протягом якого мікроорганізми витягують лише 10 кг мінерального азоту з гумусу на рік на кожну 1 тонну соломи [3]. Це виснаження азоту може призвести до того, що наступні культури страждатимуть від дефіциту азоту. Крім того, коли вноситься еквівалентна кількість мінерального азоту, розкладання прискорюється, але баланс азоту для наступної культури залишається незмінним. Нерівномірне розкладання соломи під час обробітку призводить до утворення високої щільності мікробів і грибків у певних місцях, особливо біля робочих органів, які виділяють ферменти, що містять шкідливі фенольні речовини, що шкодять росту рослин. Обробіток ґрунту

також стимулює розмноження як корисних, так і шкідливих бактерій та грибів, що збільшує патогенний тиск на ґрунт і сприяє розвитку хвороб рослин. До того ж, розкладання заораної соломи прискорює процес нітрифікації, але водночас знижує утворення гумусових компонентів. Після закінчення оранки починається процес розкладання соломи. Під час цього процесу вуглець, присутній у залишках соломи, перетворюється на метан, а не на вуглекислий газ. Ця хімічна реакція має величезне значення для виживання та росту ґрунтових мікроорганізмів. Примітно, що таке перетворення вуглецю в метан створює оптимальні умови для розвитку мікроорганізмів. Такі умови включають оптимальну температуру ґрунту та наявність вологи, які є важливими для природного життєвого циклу мікроорганізмів.

Було виявлено, що процес подрібнення та змішування з ґрунтом позитивно впливає на рівномірне розміщення рослинних решток у верхньому шарі ґрунту. Також було встановлено, що ця практика створює більш сприятливі умови для аеробних мікроорганізмів, що призводить до покращеного проникнення води та збереження вологи в ґрунті. Але слід зазначити, що високі температури можуть негативно впливати на життєдіяльність облігатних бактерій, які найкраще працюють в оптимальних температурних діапазонах $+18...28^{\circ}\text{C}$, а вологість повітря становить 40-60% від вологості ґрунту [4].

Підхід подрібнення та рівномірного розподілу органічних матеріалів по поверхні ґрунту без змішування з ґрунтом зазвичай використовується в системах No-till та Strip-till. Ця техніка служить для захисту ґрунту від надмірного перегріву та покращення проникнення води та утримання вологи в ґрунті, а також захисту від вітрової ерозії та стоку води після опадів. Поділ між ґрунтом і поверхнею органічних залишків сприяє активізації життєдіяльності аборигенних мікроорганізмів. Однак важливо зазначити, що такий підхід має й деякі недоліки, зокрема підвищену активність шкідників і патогенів, фіксацію поживних речовин

у верхньому шарі ґрунту, повільне розкладання решток і незначне зниження врожайності під час першої обробки. років реалізації.

1.2 Огляд конструкцій катків

В даний час котки можна класифікувати на два основних види: гладкі і ребристі. Гладкі були першим, які представлені в історії, і в основному використовувалися для подрібнення великих грудок, які утворилися внаслідок оранки, а також для ущільнення та вирівнювання верхнього шару ґрунту.

Робочі органи з планками та ребрами за вагою можна розділити на дві групи: легкі та важкі. Більш легкі котки зазвичай використовуються для коткування ґрунту до та після посіву озимого ріпаку, люцерни та зернових культур. Ґрунтообробні машини також часто оснащують котками для підготовки ґрунту перед посівом польових культур, особливо дрібнонасінних. Ці ролики встановлені вздовж основних робочих органів машини. Конструкція всіх котків має схожу схему (як показано на рис. 1.1): циліндричний барабан із встановленими по його периметру планками або ребрами. Ці планки або ребра можуть мати різну форму, наприклад круглу, прямокутну або хвилясту. Прямокутні планки можуть бути прямими, містити вирізи або зубці.

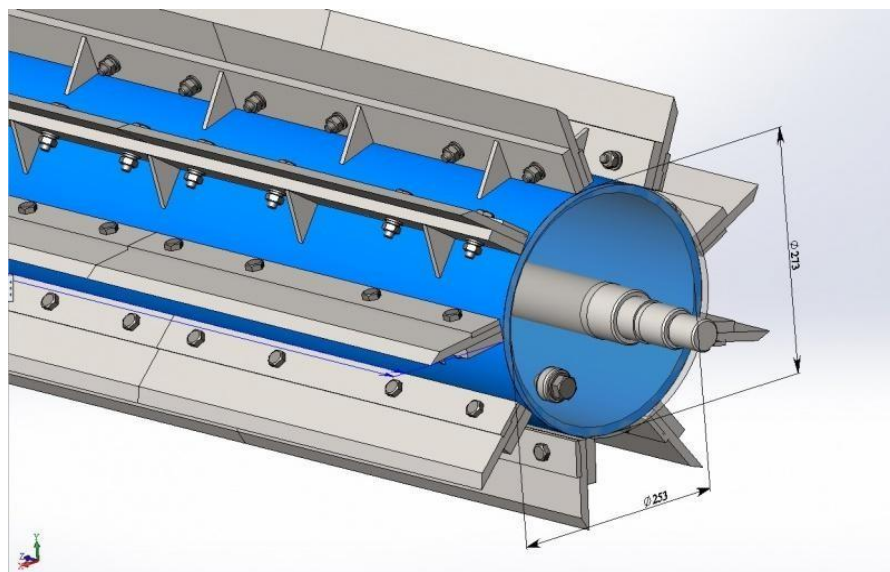


Рисунок 1.1 - Типова конструкція реберчато-планчатого катка [5]

Конструктивно ефективною альтернативою суцільному барабану є використання вала з восьмисторонніми опорами, які залишаються зафіксованими на місці. Вищезазначені опори служать точками кріплення для прямолінійних планок, які прикріплюються до них (наочне представлення дивіться на малюнку 1.2).



Рисунок 1.2 – Найбільш поширена конструкція реберчасто-планчатого катка

Конструкційна простота ролика заслуговує на увагу. Має найменші допустимі розміри і часто використовується як складовий елемент комбінованих ґрунтообробних агрегатів.

Друга конфігурація (як показано на рис. 1.3), що включає спіралеподібні рейки, дозволяє ґрунту рухатися вільніше, що призводить до більш ефективного створення поверхневого шару мульчі. Механіка цього процесу нагадує роботу шнекового конвеєра.



Рисунок 1.3 – Каток з планками спіралевидного типу

Коли мова йде про будівництво обох конструкцій, проблема полягає у використанні сталі 65Г для планок. Для цього конкретного типу сталі потрібен унікальний процес зварювання, однак переваги використання цього матеріалу з лишком компенсують додаткові зусилля [6].

При появі на поверхні насаджень грубостебельних рослинних решток використовують важкі катки з подрібнювальною здатністю. Прикладом такого катка може бути рубаючий каток КПП- 6 «Отаман» (зображення на малюнку 1.4).

Барабанний компонент цієї машини складається з рифлених дисків, відлитої для зручності виробництва. Ці диски закінчуються Т- або Г-подібною формою. У процесі коткування диски буквально розрівнюють рослинний матеріал, поки він не стане мульчею. Для досягнення оптимальної продуктивності машина повинна працювати зі швидкістю 12-15 км/год, що, враховуючи вагу машини (понад 1200 кг), робить процес досить енергоємним. Одним із недоліків машини є те, що стебла рослин виділяють вологу під час процесу переходу. Отримана суміш із ґрунту та вологих залишків підвищує липкість, тим самим знижуючи ефективність робочого органу.



Рисунок 1.4 - Каток рублячий КПП-6 «Отман»

Компактне розташування дисків у заданому просторі забезпечує високу щільність встановлення. По суті, окружну поверхню дисків можна розглядати як суцільний ребристий диск, що полегшує розробку аналітичної моделі для вивчення їх взаємодії з навколишнім ґрунтовим середовищем.

Поточна конструкція використовується майже виключно як окремий об'єкт, враховуючи його значну масу, що ускладнює регулювання комбінованого блоку.

Конструкцію, яку показано на рис. 1.5 можна сприймати як легкий каток, що створений на основі пакетного встановлення дисків.



Рисунок 1.5 – Секція катка плоских рифлених дисків

Основною передумовою цієї конструкції є використання плоских дисків. Ці диски прикріплені до окремого валу і виконують скоординований обертальний рух як група. Примітно, що диски можуть бути суцільними або з насічкою. Крім того, варто відзначити, що сама конструкція відносно легка, важить 600-700 кг. Ця конструкція здатна досягати значної глибини, що вимагає високих швидкостей щонайменше $V \geq 20-22$ км/год під час роботи, і сумісна лише зі стеблами, які були вкорінені в землі, або зі стернею зернових культур. Основна перевага цієї конструкції полягає в обертальному русі дисків, що дозволяє ковзати під час процесу різання, тим самим зменшуючи загальне споживання енергії.

Як правило, спіральні ролики складаються з спіралевидних котків, з труби діаметром 25-400 мм. Діаметр самої намотки спіралі становить 500-600 мм. Слід зазначити, що цей тип котків не може виконувати подрібнення самостійно, а замість цього використовується разом із подрібнювачем, таким як турбодисковий культиватор, для полегшення створення однорідного шару мульчі (як показано на малюнку 1.6). Крім того, цей робочий орган служить опорним елементом для всієї машини.

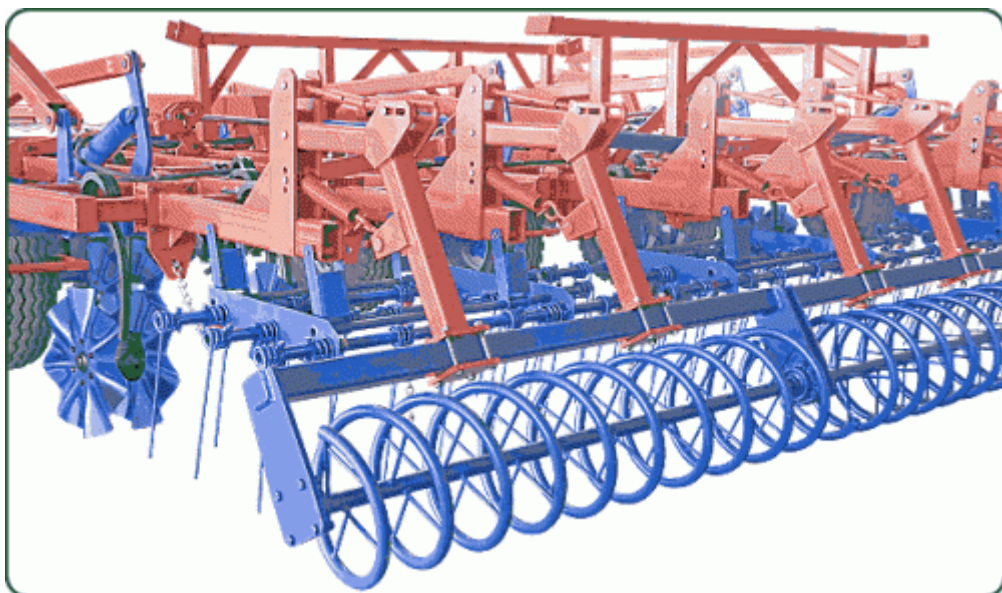


Рисунок 1.6 - Спіральний каток в складі комбінованого турбодискового агрегату

За певних обставин, особливо для культур з невеликою глибиною посіву, рослинні залишки можуть вимагати більш ретельного подрібнення. Для досягнення найвищої якості процесу використовується комбінація робочих органів із змінним діаметром барабана та відстанню між планками. Приклад цього можна спостерігати в сегменті ребристого котка ґрунтообробного агрегату серії AGK (рис. 1.7).

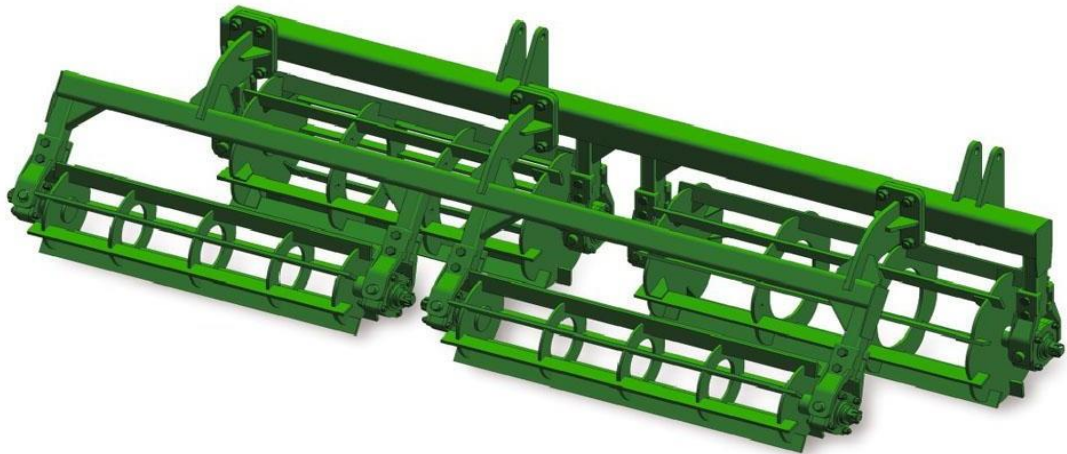


Рисунок 1.7 – Секція ребристо - планчатих котків ґрунтообробного агрегату серії AGK

Важливо підкреслити, що фундамент для всіх вищезгаданих конструкцій ґрунтується на стандартному рівному катку, наповненому водою (як показано на малюнку 1.8).

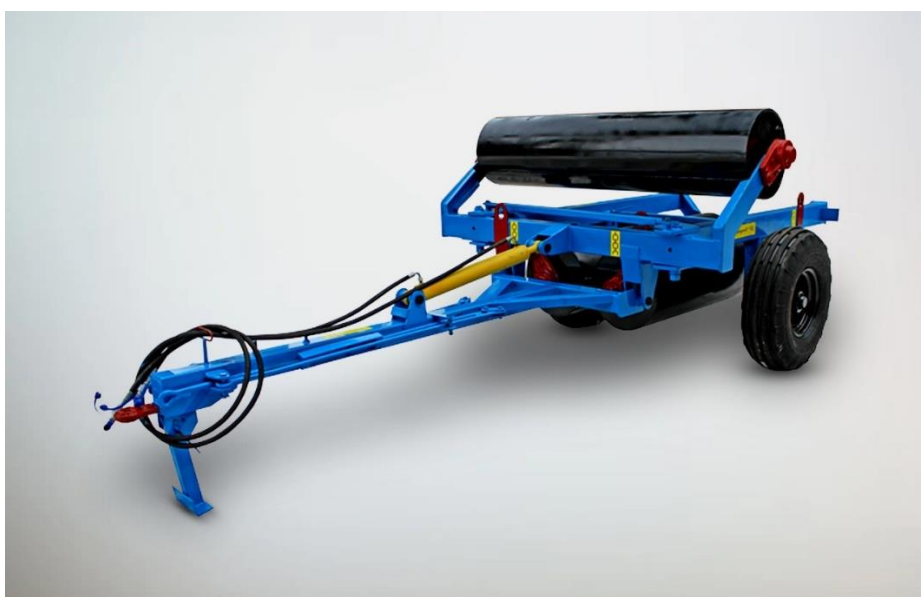


Рисунок 1.8 - Каток гладкий водоналивний гідрофікований КН - 6Г

1.3 Огляд аналітичних досліджень

Після проведення ретельного огляду літературних джерел було виявлено кілька досліджень, які вивчали раціоналізацію конструктивних параметрів барабана, а також математичну взаємодію між барабаном і оточуючим ґрунтовим середовищем [7]. На малюнку 1.9 представлена розрахункова схема для аналізу зусиль, що діють барабаном котка на ґрунт. Між тим, малюнок 1.10 ілюструє схему, яка використовується для визначення мінімального радіуса барабана, необхідного для того, щоб він ефективно прокочувався через великі грудки.

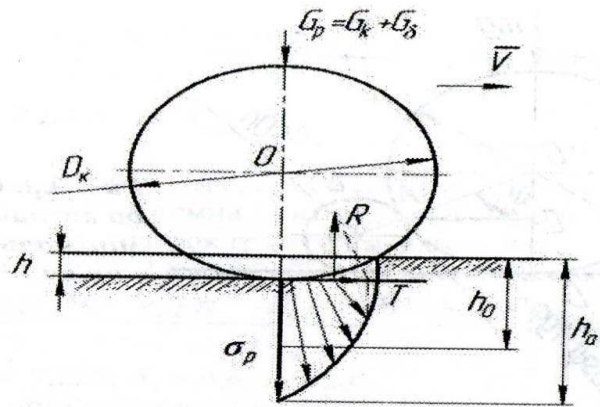


Рисунок 1.9 - Розрахункова схема до силового аналізу впливу барабану катка на ґрунт [8]

За результатами розрахунків досягається рівномірний розподіл щільності на певній глибині під впливом ролика.

$$H_0 = 0,014 \tau \frac{\Delta}{\Delta_{кр}} \overline{q \cdot D}, \quad (1.1)$$

де D – діаметр барабану;

q – питомий тиск на ґрунт

Δ – питома вологість ґрунту;

$\Delta_{кр}$ - критична вагова вологість [5].

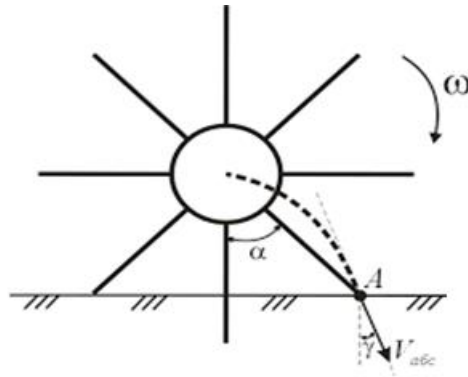


Рисунок 1.11 – Кінематична схема руху голки диска [14]

За допомогою аналітичних досліджень, проведених за представленою схемою (рис. 1.12), обґрунтовано конструкцію голки. Кінець голки під час своєї траєкторії рухається лопатоподібно. Рубильний ніж катка також можна оглянути за подібною схемою.

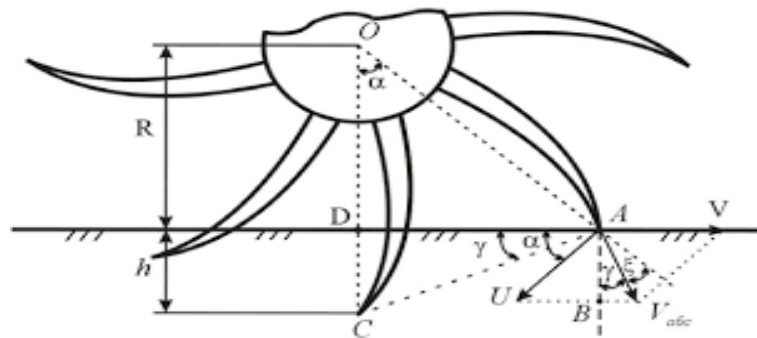


Рисунок 1.12– Загальний вид голки, запропонованої Л.Ф.Бабицьким [15]

Важливим параметром, який також слід враховувати, є кількість лопатей, наявних на барабані. Для визначення ідеальної кількості лопатей рекомендується схема розрахунку, викладена в [16]. Ця схема, представлена на малюнку 1.13, служить основою для цього визначення.

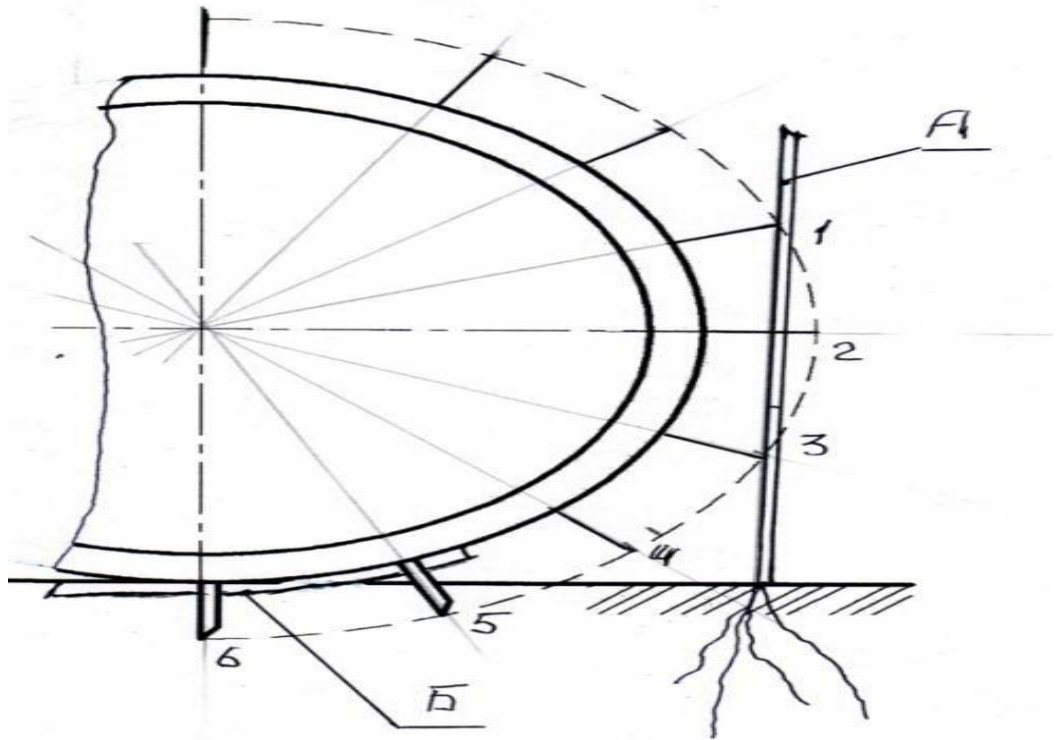


Рисунок 1.13 – Розрахункова схема до визначення кількості планок (ножів) на барабані [17]

Тривалість часу, необхідна для одного повного оберту ріжучого леза:

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

Інтервал часу між послідовними положеннями ножа:

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

Після початкового розрізу, зробленого попереднім ножом, зокрема в точці А1, ніж потім від'єднався від стовбура. Отже, тепер можна визначити довжину відокремленої частини стовбура.

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

Логічний і методичний підхід передбачає використання триножової системи. Перший ніж призначений для проникнення в рослинну масу, а другий ніж активно розрізає її. Третій ніж відповідає за вихідний етап процесу. Крім того,

ножі чотири, п'ять і шість використовуються для подрібнення рослинного матеріалу, що залишився на поверхні.

Для того, щоб дотримуватися цього методу вкрай важливо, щоб перетин лопатей було встановлено рівно 22,5 градусів. Максимальна ефективність різання досягається, коли леза досягають найвищої швидкості в напрямку руху пристрою.

Швидкість зміни рівняння траєкторії пропорційна швидкості лопаті в заданому напрямку. Ця кореляція є фундаментальною для розуміння зв'язку між траєкторією леза та його швидкістю. Отже, можна зробити висновок, що швидкість лопаті в певному напрямку може бути точно визначена шляхом обчислення першої похідної рівняння траєкторії.

$$V_x = \frac{dx}{d\varphi} = (R - a_T \sin\varphi)_T \cos\varphi - (R + a_T \cos\varphi)_T \sin\varphi + V \quad (1.6)$$

Процес сегментації стебел включає введення ножів у стоячу масу стебел, які потім продовжують розрізати стовбури на кілька сегментів. Довжина кожного сегмента залежить від кроку установки ножів і робочої швидкості.

Після початкової стадії залишки осідають на нижній поверхні, де потім піддаються ріжучому впливу ножів завдяки допоміжному ріжучому механізму.

Занурення ножів у ґрунт виконується максимально доти, поки барабан не торкнеться поверхні землі. Ця дія служить для відкладення нескошених залишків на верхній шар ґрунту.

Коли барабан торкається поверхні, він тисне на останні залишки сміття та стискає верхній шар. Присутність плюща має велике значення, оскільки він підриває структурну цілісність захисного шару, що огортає стебло рослини, тим самим збільшуючи швидкість гуміфікації.

Модель аналізу містить компоненти, які узгоджуються з вищезгаданими фазами.

Слід зазначити, що модель, реалізована в цьому дослідженні, використовує кут внутрішнього тертя ґрунтового середовища, який помітно

відрізняється від кута консолідованого ґрунту. Зокрема, при насиченні ґрунту рослинними рештками цей кут приймає проміжне значення між кутами ущільненого та розпушеного ґрунту. У наступному розділі ми представляємо методологію визначення цього кута.

Висновки

Основним призначенням подрібнювачів є подрібнення залишків рослинної маси різних сільськогосподарських культур, таких як соняшник, кукурудза, бобові, зернові, сидерати та бур'яни, з одержанням таким чином органічних добрив. Потім ці добрива рівномірно розподіляються по всьому полю. Процес рівномірного розподілу цих добрив створює захисний шар мульчі, який ефективно стримує втрату вологи, водну та вітрову ерозію, а також перешкоджає росту бур'янів.

Подрібнювач рослинних залишків соняшнику має діаметр барабана 470 мм, що вважається достатнім для подрібнення зазначених залишків на сегменти розміром від 5 до 12 см.

Для якісного подрібнення рослинних залишків кукурудзи подрібнювач повинен бути оснащений потужнішою та міцнішою конструкцією з діаметром барабана 550 мм або 880 мм. Оскільки стебла кукурудзи мають щільнішу та менш гнучку структуру, стандартної маси котка може бути недостатньо для виконання цього завдання.

Для подрібнення пожнивних решток зазвичай використовують водонаповнені катки-подрібнювачі — барабани з широкою порожнистою трубою, яку можна заповнити водою. Ці моделі класифікуються як водонаповнені подрібнювальні валики і часто використовуються фермерами як агрегати для вертикальної обробки. Здійснюючи два проходи по діагоналі, можна розпушити ґрунт на глибину до 5 см, що достатньо для посіву озимих культур. Такий спосіб передпосівної підготовки поля значно скорочує витрати на паливо та час.

Можна виділити кілька невирішених проблем:

Відсутність аналітичних доказів кореляції між радіусом барабана та радіусом кола, описаного ножами, залишається помітною проблемою.

Дослідження впливу співвідношення між радіусом барабана та довжиною стебла рослини на технологічну надійність, особливо щодо сидератів, залишається невивченим.

Сучасний стан досліджень щодо раціональної тривалості подрібнення різних пожнивних решток є недостатнім.

Одним із основних обмежень сучасного стану технологічних процесів є відсутність доступних методик оцінки якості їх виконання. Цей недолік створює серйозну проблему для тих, хто прагне оптимізувати та підвищити загальну ефективність технологічних процесів.

РОЗДІЛ 2

ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розглянувши різні конструкції, викладені в розділі 1, можна зробити висновок, що вдосконалення технологічного процесу можна досягти шляхом вдосконалення пруткового ножа. Це покращення можна досягти шляхом стратегічного розміщення ножа на барабані, як показано на агромашині КМ-6 «Степ», як показано на малюнку 2.1.



Рисунок 2.1 – Каток-подрібнювач КМ-6 «Степ»

Розташування прямолінійного плоского ножа під кутом до осі обертання барабана збільшує перемішування поверхневого шару, в результаті чого середовище стає більш однорідним. Конструкція, запропонована нами, та розрахункова схема зображені на рисунку 2.2. Ми вирішили використовувати плоскі прямолінійні ножі, наслідуючи прийнятий прототип. Однак функціональність конструкції залежить від оптимальних значень основних структурних параметрів, які повинні бути обґрунтовані аналітичними

дослідженнями, як показано на рисунку 2.2. Параметри конструкції, що потребують аналітичного обґрунтування, наступні:

Діаметр барабана, позначений D_B .

Довжина барабана, позначена L_B .

Висота ножа, позначена як h .

Орієнтація ножа відносно осі обертання барабана, кут α .

2.1 Обґрунтування конструктивних параметрів планки

На основі емпіричних даних встановлено, що оптимальна висота штанги для ефективної роботи знаходиться в межах 100-120 міліметрів. Довжина бруска обмежується довжиною барабана, зазвичай вона становить 2,0-2,1 метра.

Наш підхід передбачає перевірку параметрів виходячи з умов технологічного процесу. Зокрема, ми проводимо аналогію зі звичайною садовою лопатою, яка розкопує та переносить ґрунт на певну відстань. Цей процес може бути досягнутий з мінімальним зсувом шару ґрунту на поверхні бруска, згідно з розрахунковою схемою, зображеною на малюнку 2.2.

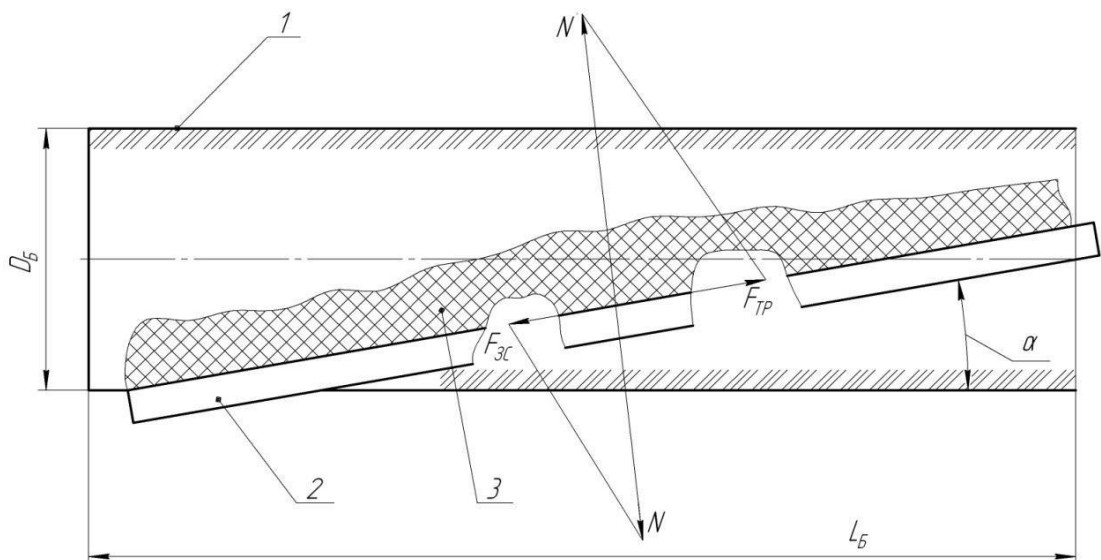


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема для визначення кута постановки планки до осі обертання барабану: 1) барабан, 2) планка, 3) шар ґрунту.

Величина діючих сил у цьому випадку не має значення.

$$F_{TP} = N_r \operatorname{tg}\varphi_1$$

де φ_1 – кут тертя ґрунту об робочі органи

$$F_{3C} = N_r \operatorname{tg}\alpha$$

Умова процесу підривного різання в поєднанні з видаленням підробленого шару з борозни, виконується лише тоді, коли кут α менший або дорівнює значенню φ_1 , яке, у свою чергу, менше або дорівнює 25.

Мінімальний кут тертя ґрунтового середовища по сталі, позначають як $\varphi_1 = 25$. Незважаючи на це, кут кріплення стержня обмежений технологічно. Зокрема, неможливо досягти повного зчеплення краю шини з поверхнею барабана, навіть за допомогою L-подібних кронштейнів (як показано на малюнку 2.3). Таким чином, необхідно оцінити допустимий кут α на основі мінімально допустимого зазору. Змінити планку відповідно до її розміру не є життєздатним рішенням, оскільки вона складається зі стандартної смуги та вимагатиме складної операції штампування. Для визначення контактного кута планки для ширини зазору "с" слід застосувати наступний розрахунок:

$$\alpha = \operatorname{arctg}\frac{c}{l}$$

Розмір отвору обмежується рухом неуцільненого ґрунту через отвір. Ґрунтообробне обладнання сконструйовано для обробки ґрунту на глибину до 10 см, утворюючи область, де рослина буде висіяна та почне свою початкову стадію росту. Отже, дрібні агрегати рекомендується розміщувати ближче до поверхні, а великі агрегати на максимальній глибині цього шару. Це дозволить розміщувати агрономічно значущі агрегати зі зменшеним діаметром від 0,25 до 10 мм через отвір між штангою та барабаном.

Оцінка витікання матеріалу через попередньо сформований отвір може бути наближена за допомогою фундаментальних принципів А.М. Теорія Панченка про витікання матеріалу через отвори.

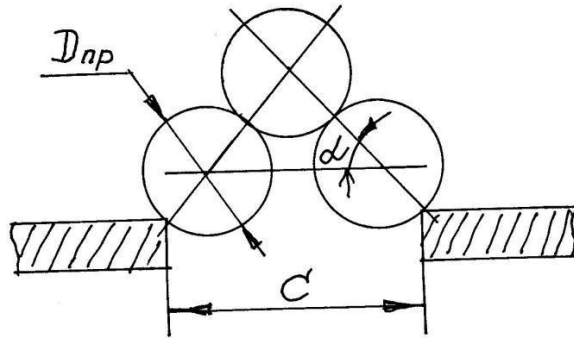


Рисунок 2.3 – Розрахункова схема витікання ґрунтових агрегатів через простір між планкою та барабаном

Якщо ми вважаємо, що ґрунтові агрегати мають розмір, подібний до кульок з діаметром $D_{гр}$, їх розміщення можна визначити кутом укладання, позначеним як α . Найбільш стабільне розташування відбувається, коли α дорівнює 60 градусам, тоді як найменш стабільне розташування відбувається при $\alpha = 90$ градусів. Однак малоймовірно, щоб агрегати розташовувалися в будь-якому з цих положень. Таким чином, можна очікувати, що кут укладання буде в певному діапазоні:

$$60^\circ < \alpha < 90^\circ$$

Відповідно до вказівок, представлених у [18], ми вирішили використовувати проміжний варіант у наших розрахунках, $\alpha = 73$ градуси. Діаметр заповнювачів було встановлено в межах максимально допустимої межі $D_{гр}$ 10 мм.

Допустиме значення розриву можна виразити як:

$$C = 3 \cdot D_{гр} \cdot \cos 74 = 3 \cdot 10 \cdot 0,275 = 8,25 \text{ мм.}$$

Гранично допустимий кут нахилу планок відносно осі обертання визначається наступним чином:

$$\alpha = \arctg \frac{C}{l} = 8,5^\circ$$

Довжина окремого сегмента ножа представлена змінною "l" і становить 500 мм. Це пов'язано з труднощами, пов'язаними з виготовленням єдиного

бруска зі стрічки Ст65 для всього барабана. Як наслідок, багато виробників вирішують використовувати вузол леза, який розділений на секції по 500 мм, оскільки такий підхід є економічно ефективнішим і простішим у реалізації, незалежно від будь-яких додаткових монтажних кронштейнів, які можуть знадобитися.

2.2 Обґрунтування раціонального співвідношення діаметра барабану та діаметра описаного кола леза планок

При аналізі більшості документованих конструкцій стає очевидним, що до функціонального призначення барабана підходять по-різному. Це пов'язано з технологічним процесом робочого органу, який представлений двома різними варіантами.

Для підготовки ґрунту до посадки початковим рядом планок-ножів зрізають стоячі стовбури рослин. Ці нарізані рослини потім поміщають на поверхню ґрунту. На наступному етапі рослинні рештки катком розплющують їх масою з наступним зануренням розплющених решток у ґрунт другим рядом планок, які енергійно перемішують отриману суміш. Примітно, що діаметр барабана, задіяного в цьому процесі, помітно збільшений і становить від 450 до 600 мм.

Процес зрізання та розміщення рослинної маси в ґрунті досягається за допомогою ножових планок, розташованих у першому ряду. Ці планки-ножі відповідають за зрізання стовбурів рослин і розміщення їх на поверхні ґрунту. Після цього другим рядом ножів використовується для подрібнення решти рослинних залишків і закладання їх у ґрунт. Розмір барабана в цьому процесі не має значення, тому зазвичай використовується вал, що охоплює всю ширину ручки. Самі ножі кріпляться на дискових опорах, а для забезпечення жорсткості конструкції замість вала може використовуватися труба діаметром 150-250 мм.

Слід зазначити, що така труба також служить протиризальною опорою для ножів у випадках високої стерні.

Для цієї кваліфікаційної роботи ми обрали використання труби діаметром 220 міліметрів. Цей конкретний діаметр є стандартним профілем, який зазвичай виробляється промисловістю. Розміри планок, які ми вибрали, були ретельно розглянуті та визначені як придатні для використання з трубою такого розміру. Обґрунтування вибору цих конкретних розмірів планок було детально пояснено та обґрунтовано в нашому дослідженні.

У більшості конструкцій барабанних подрібнювачів рейки або ножі зазвичай встановлюються на висоті від 100 до 120 мм, незалежно від діаметра барабана. Незважаючи на великий аналіз літературних джерел, не вдалося знайти жодної аналітичної аргументації для виправдання цього конкретного розміру. Цілком імовірно, що цей стандарт зумовлений загальними розмірами металевих смуг, що випускаються промисловістю.

Запропонований нами метод передбачає встановлення висоти ножа на максимальний діаметр стебла під час процесу різання. Такий підхід забезпечує контакт хвостовика з трубою, що забезпечує успішне відділення ріжучих частин. Згідно з літературою, максимальний вимірний діаметр стебла кукурудзи становить 70 мм. Тому ми рекомендуємо використовувати висоту ножа 70 мм для досягнення оптимальних результатів.

Діаметр вищезгаданого кола, що стосується леза ножа, такий:

$$D_H = 220 + 140 = 360 \text{ мм.}$$

Співвідношення діаметрів:

$$K = 360 / 220 = 1,64,$$

Фундаментальний параметр для створення прототипу машини належним чином вважається надзвичайно важливим.

2.3 Аналітична модель взаємодії з середовищем, що оброблюється

Аналітична структура складається з трьох окремих компонентів, кожен з яких відповідає послідовному виконанню технологічної процедури, яка конкретно включає лише лопаті ролика.

- 1) Акт подрібнення стебел рослин, які залишаються у вертикальному положенні.
- 2) Часткове подрібнення стебла та розподілення їх поверх ґрунту.
- 3) Поверхнева обробка шару ґрунту.

Розмірковуючи над проектом розробленої системи, дуже важливо враховувати процес взаємодії між стеблами як грубоствольної культури, так і трав'янистих видів, таких як гірчиця, як двох окремих одиниць. Акт різання в обох випадках не передбачає жодної форми підтримки. Однак трав'янисті рослини через їх меншу жорсткість вимагають більш швидкого ходу ножа, тому потрібен механізм приводу, який наразі відсутній у нашій конструкції. При відсутності приводного механізму подрібнення залишків рослинної сировини ножом відбувається в стані опорного різання, при цьому ніж лежить на поверхні ґрунту.

На малюнку 2.4 показано методологію обчислення, яка використовується для ситуації з культурами, які мають товщі стебла.

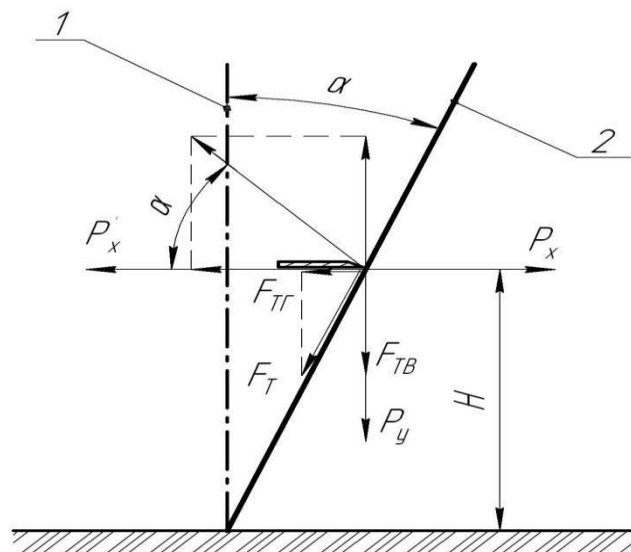


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема для аналітичної моделі взаємодії ножа з стовбуром грубо стеблової культури: 1) вихідне положення стебла до початку різання, 2) положення на момент перерізання

$$P_x = N_r \cos\theta + F_r \sin\theta = N_r (\cos\theta + \operatorname{tg}\varphi_r \sin\theta), \quad (2.1)$$

$$F = N_r \operatorname{tg}\varphi,$$

Звідси:

$$P_x = N_r [\cos\theta + \operatorname{tg}\varphi_r \sin\theta + \cos\theta + \operatorname{tg}\varphi_r \sin\theta],$$

При великому прогині балки:

$$N = \frac{2 \cdot E \cdot J \cdot \sin\theta}{H^2} \quad (2.2)$$

Силу, яка витрачається під час різання стебла, можна розділити на дві основні складові: вертикальну та горизонтальну сили. У цьому контексті увага буде зосереджена на останньому компоненті, зокрема на горизонтальній силі, яка діє під час процесу різання:

$$P_x = \frac{2 \cdot E \cdot J \cdot \sin\theta}{H^2} \cdot [\cos\theta + \operatorname{tg}\varphi_r \sin\theta + \cos\theta + \operatorname{tg}\varphi_r \sin\theta], \quad (2.3)$$

На основі аналізу різноманітних досліджень [19] можна зробити висновок, що найбільш ефективним за енерговитратами способом обробки ґрунту є використання лопати в технологічному процесі (як показано на рис. 2.5). Цей процес складається з декількох етапів, включаючи відрив і підйом шару ґрунту, а також його укладання на спеціально відведеному місці. Слід зазначити, що первинні етапи процесу здійснюються за допомогою використання лопати з нижнього положення. Це тому, що міцність ґрунту на стиск нижча, ніж міцність на розтяг, що дозволяє лопаті ефективно подрібнювати та розпушувати ґрунт. Щоб глибше дослідити ефективність лопати, ми можемо порівняти її з дією рейки ролика, як показано на рис. 2.6, де зображено фази абсолютного руху бруска під

час взаємодії з землею. Хоча обидва процеси мають певну схожість, вони також мають різні етапи.

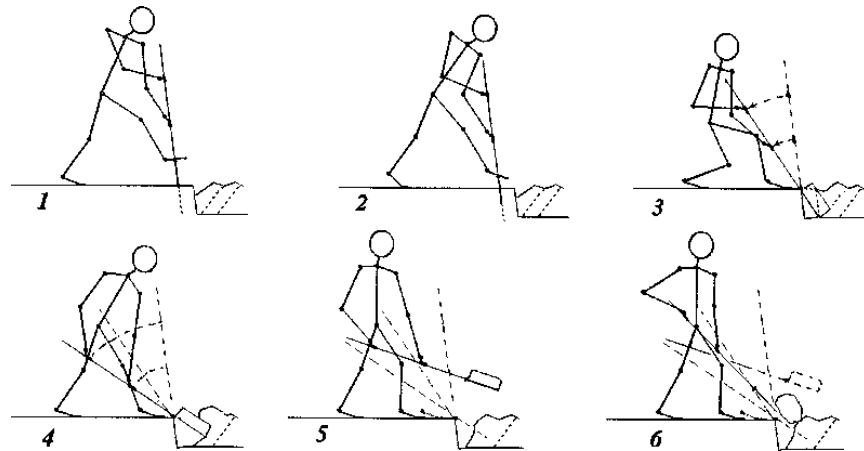


Рисунок 2.5 – Фази процесу ручного копання:

1) установка лопати у вихідне положення; 2) занурення у ґрунт; 3) відокремлення скиби; 4) зсув скиби; 5) підйом скиби; 6) укладання скиби

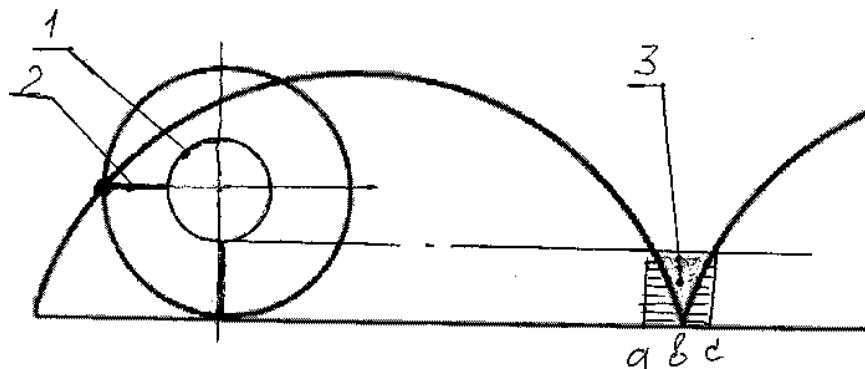


Рисунок 2.6 – Абсолютна траєкторія руху леза планки: 1) барабан, 2) планка, 3) об'єм розпушеної частини ґрунту

Рух стрижня можна розділити на дві окремі частини: поступовий рух машини та обертний рух валика. Лезо планки, з іншого боку, слідує циклоїдній траєкторії.

Невідповідність технологічних процесів пояснюється способом проникнення бруса в ґрунт, а саме площею бічної поверхні та початковою фазою деформації. У цьому процесі ґрунт стискається, що призводить до розпушення. Як тільки стрижень зупиняється у своєму мінімальному положенні, він починає

вертикальний рух, відокремлюючи полоз від маси та кладучи його на поверхню з поверхнею бруска. Таким чином, зміна технологічних процесів виникає виключно на початковій стадії, де замість різання використовується стиснення.

Щоб з'ясувати загальні витрати енергії, необхідно розрахувати об'єм спресованого ґрунту.

$$V = b_{\tau} \int_a^b f(x)_{\tau} dx, \quad (2.4)$$

Витрати енергії, пов'язані з процедурою, можна визначити, враховуючи таке співвідношення:

$$P = K_{3M} \tau b_{\tau} \int_a^b f(x)_{\tau} dx, \quad (2.5)$$

Функція дошки полягає в подрібненні стебел рослин, які розташовані на поверхні ґрунту. Особливістю цього способу є те, що він складається з двох етапів: початкового стиснення стебла, яке здійснюється тиском бічної поверхні леза, з подальшим остаточним надрізом леза в напрямку, близькому до вертикального. Розглядаючи зрізання окремого стебла перед тим, як екстраполювати ці дані на всю популяцію рослин, важливо взяти до уваги ймовірне положення кожного стебла. Однак зробити це практично неможливо. Таким чином, залишки, які покладені на поверхню, розглядаються як суцільна маса, яка розташована на поверхні шаром товщиною «h». Параметр 'h' можна оцінити шляхом експериментальних досліджень. Агротехнічні норми не вимагають визначення ступеня зминання. Залишковий шар зрізається вагою робочого органу, який ми пропонуємо визначати виходячи з:

$$P = \sigma_{p\tau} h_{\tau} L_{\tau} \delta, \quad (2.6)$$

Обов'язково потрібно враховувати показник, який показує співвідношення між тяговим опором і робочою швидкістю агрегату. У більшості аналітичних досліджень, присвячених ґрунтообробним машинам, залежність між тяговим опором і швидкісним напором визначають за формулою Ветрова [20]. Ця

формула отримана шляхом стохастичного моделювання співвідношення між тяговим опором і робочим органом будь-якої геометричної форми. Ми адаптували цю формулу до робочого органу, зробивши в моделі наступні припущення: клин рухається в напрямку вектора кругової швидкості рейки, а готове коло рейки розбивається на елементарні ділянки. Миттєві значення напрямку руху завжди збігаються з дотичною елементарної ділянки до дуги. Застосовуємо рівняння Ветрова до кожної з цих елементарних ділянок і підсумовуємо отримані значення для всіх ділянок.

$$P_V = \frac{\gamma \cdot a \cdot L \cdot \sin \alpha \cdot \cos \theta}{\sin \alpha + \theta} \cdot v^2, \quad (2.7)$$

де γ – питома вага ґрунту;

α – кут постановки планки до осі обертання;

θ – задній кут леза планки;

a – глибина занурення планки у ґрунт;

L – довжина планки;

V – робоча швидкість.

Аналітична залежність, що регулює визначення загального тягового опору, виражається таким чином:

$$P_{\Sigma} = P_{\Pi} + P_V + P_X \quad (2.8)$$

Сила зминання шару ґрунту є невід’ємним фактором у визначенні величини опору коченню, якого відчуває коток.

Розрахунки, виконані за цією методологією, описані в розділі №3, де вони порівнюються з вимірюваннями, отриманими під час експериментальної фази.

Необхідно визнати, що:

Методика враховує виключно ті складові, які гарантують успішне виконання технологічного процесу.

Методика, про яку йдеться, не враховує вплив вібрації барабана та машини на загальний технологічний процес.

Висновки

Після ретельного вивчення існуючих технічних рішень у цьому розділі обґрунтовується конструкція та методологія розрахунку для обраної агромашини.

Пропозиція полягає в тому, щоб відмовитися від використання барабана зі значним діаметром і замість нього використовувати стандартну трубу діаметром 220 мм. Конструкція підкреслює оптимальне використання компонентів, які вже є в типовій подрібнювальній агромашині.

У цьому дослідженні проводиться ретельний аналіз взаємодії між ріжучою планкою та обробленим середовищем, при цьому кожен етап процесу детально аналізується. На основі цих висновків були розроблені аналітичні моделі для подальшого покращення нашого розуміння цього процесу. Крім того, було введено новий підхід для оцінки очікуваного тягового опору, який є цінним інструментом для прогнозування та оптимізації продуктивності цієї техніки.

Вихідні параметри диференціювали за різним ступенем їх впливу на технологічний процес. Визначено подрібнення стоячих стебел і перекопування шару ґрунту в першу чергу впливає робоча швидкість. З іншого боку, маса котка має значний вплив на подрібнення стебел, які розміщені на поверхні.

Відношення радіусів барабана до описаного кола леза прутка було визначено як 1,64.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Конструкція дослідного катка-подрібнювача

Для проведення польових експериментів був створений попередній зразок котка (рисунок 3.1). В основу прототипу покладено вживаний серійний зразок машини, який відпрацював свій ресурс і більше не використовувався в технічному процесі. Була запозичена рама, яку довелося укріпити через значний знос, а також отримані самі ролики. Кронштейни для кріплення планок (ножі) розігрівали згідно з розрахунковою схемою.



Рисунок 3.1 – Загальний вид дослідного зразка катка

3.2 Результати експериментальних досліджень

Візуальними спостереженнями встановлено, що агрегат успішно виконав технологічний процес на всіх агрофонах без технічних та експлуатаційних збоїв. Коефіцієнт доступності $K_T=0,92$, вказує на ймовірність того, що машина буде у функціональному стані в будь-який момент часу.

Помічено, що блок під час роботи не створює будь-яких коливань вібраційного характеру. В результаті ці вібрації не поширюються на трактор.

Допустимий діапазон бокового повороту агрегату вважається прийнятним з запасом до 10 см. Агрегат сумлінно забезпечує стійкість траєкторії.

Несправностей значної величини не спостерігалось.

Процес регулювання агрегату залишається незмінним порівняно з серійними машинами.

Коефіцієнт використання тривалості робочої зміни знаходився в межах від 0,88 до 0,91. Такий результат в першу чергу можна віднести до організаційного етапу роботи.

Зважаючи на те, що показники якості виконання технологічного процесу залежать від агрофону, дослідження проводилися на трьох різних агрофонах, доступних на території ТОВ «Альфа-Агро» Петриківського району Дніпропетровської області. Проаналізовані агрофони включали подрібнені та стоячі стебла кукурудзи, а також сидерати, зокрема гірчицю.

Агрофон — техніка в сільському господарстві, яка передбачає подрібнення стебел кукурудзи та укладання їх на поверхню ґрунту. Було встановлено, що цей підхід має потенційні переваги щодо покращення якості ґрунту та придушення бур'янів.

На рисунку 3.2 показаний типовий стан поверхні поля.



Рисунок 3.2 – Типова поверхня поля із частково подрібненими й укладеними на поверхню рештками стебел кукурудзи

Агрофон - стебла кукурудзи, що лежать на поверхні ґрунту.

Атрибути умов експерименту такі:

Площа 56 га.

Було виміряно адгезію між частинками ґрунту, яка становить 1,9 кілоньютона на квадратний метр.

Рівень твердості 5 кг/см².

Межа несучоспроможності становить 385 кілоньютонів на квадратний метр.

Довжина рослинних решток коливається від 10 до 36 сантиметрів.

Середня відстань між вузлами стебла становить приблизно 25 сантиметрів.

Середній діаметр стебла 45 міліметрів.

Максимальна межа міцності на зсув для цього матеріалу була визначена в діапазоні від 170 до 185 Ньютонів.

Встановлено, що коефіцієнт тертя по сталі коливається від 56 до 64.

Коефіцієнт структури ґрунту в борозні, створеній ножем, дорівнює 0,51-0,58.

Коефіцієнт дроблення для структурованих агрегатів коливається від 64 до 73.

Ефективність подрібнення рослинних залишків кількісно визначається коефіцієнтом, який знаходиться в діапазоні від 0,66 до 0,74.

Агрофоновий спосіб мульчування стерні кукурудзи має коефіцієнт якості формування поверхневого шару Кп від 0,5 до 0,6, а коефіцієнт якості формування шару мульчі Км – від 0,78 до 0,85.

Агрофон – стерня кукурудзи у вертикальному положенні.

Вивчивши літературні джерела, встановлено, що оптимальним підходом до збирання врожаю таких культур, як кукурудза та соняшник, є збір лише зернової частини із залишенням стебла в зимовий період. Ця методологія не лише дає економічну вигоду, але й допомагає утримувати вологу в зимові місяці та служить превентивним заходом проти ерозії ґрунту.

Площа 92 га.

Згідно з останніми дослідженнями, механічні та технологічні характеристики ґрунту відрізняються від наведених вище завдяки нижньому шару мульчі меншої щільності.

Встановлено, що адгезія частинок ґрунту на певному рівні становить 2,1 кілоньютона на квадратний метр.

Рівень твердості було виміряно та кількісно визначено на рівні 5,4 кг/см².

Максимальна межа несучої здатності визначена рівною 395 кН на квадратний метр. Характеристики рослинних залишків залишаються однорідними в усіх напрямках. Також оцінено показники якості роботи.

Коефіцієнт структурності ґрунту всередині створеної ножем борозни становить -0,48-55.

Було визначено, що коефіцієнт фрагментації для структурованих агрегатів коливається від 70 до 82.

Коефіцієнт подрібнення рослинних решток, що позначається Кпд, визначено в діапазоні від 0,60 до 0,66.

Поверхневий шар Кп має коефіцієнт якості формування від 0,45 до 0,51. З іншого боку, шар мульчі Км має коефіцієнт якості формування, який коливається від 0,75 до 0,83. Ці коефіцієнти служать індикаторами ступеня якості формування, досягнутого відповідними шарами.

При дослідженні якісних показників переробки рослинних решток встановлено, що варіант із стоячими стеблами дає первинні показники на 5-7 %. Однак важливо зазначити, що ця невідповідність не є критичною проблемою для всього технологічного процесу. Крім того, переваги альтернативного варіанту, у якому стебла залишаються стоячи, достатньо значні, щоб компенсувати будь-які недоліки, пов'язані з попереднім підходом.



Рисунок 3.3 – Типовий стан поверхні зі стоячими залишками стебел Гірчиця як сидерат.

Унікальний аспект досліджень, проведених у цьому конкретному сільськогосподарському середовищі, пов'язаний із надзвичайно зниженою жорсткістю стебел. Ілюстрацію крутного моменту, необхідного для подрібнення сидератів, можна побачити на малюнку 3.4.

Для початку варто визнати, що не всі агротехнології вимагають подрібнення сидератів перед оранкою. Існують вагомі аргументи для того, щоб заорювати сидерати в неподрібненому стані. Однак у нашому дослідженні – відповідно до теми визначеної магістерської роботи – досліджується варіант подрібнення. Обґрунтування цього запиту ґрунтується на використанні гірчиці в звичайній сільськогосподарській практиці перед посадкою таких культур, як помідори та баклажани, які мають дрібне насіння та не підходять для тривалого витримування рослинних залишків.

Необхідно визнати, що визначена робоча швидкість, яка була підтверджена емпіричними експериментами, представляє помітні відмінності між різними варіантами, які досліджуються.

Один із прийомів розміщення рослинних залишків на поверхні ґрунту передбачає варіант горизонтального розміщення. Використання опорних ріжучих ножів має вирішальне значення для успіху цього методу, а вага знаряддя відіграє значну роль у його ефективності. Припущене значення швидкості для цього

підходу в основному визначається економічними міркуваннями, причому в попередніх експериментах повідомлялося про максимальне порогове значення 9 км/год. Крім того, було досліджено альтернативний підхід, що передбачає використання стоячих стебел кукурудзи. Хоча цей метод не вимагає використання опорного різання, висока жорсткість стебел вимагає збільшення робочої швидкості для досягнення успіху. Зокрема, експериментальні умови вимагали робочої швидкості приблизно 15 км/год.

Саме цей варіант сидератів характеризується відсутністю опори для зрізання. Стовбур має помітно низький ступінь жорсткості. Щоб компенсувати це, робочу швидкість довелося збільшити до 20 кілометрів на годину.

Під час вивчення варіацій стебел кукурудзи, знайдених у штаті, було помічено, що робоча швидкість відіграла незначну роль у процедурі. Це пов'язано з допоміжним різанням, яке полегшують ножі, тоді як вага ролика в першу чергу визначає загальний процес. Експериментально досліджено процес в діапазоні швидкостей від 12 до 20 км/год.

Коли кукурудзяна стерня залишається стояти, це ускладнює процес зрізання, оскільки не має опори. Щоб ефективно прорізати стерню, необхідна швидкість $V = 15$ км/год.



Рисунок 3.4- Робочій момент по агрофону гірчіці

У цьому звіті описано визначальні характеристики умов експерименту. По-перше, рівень навантаження встановили на рівні 90 га. По-друге, були досліджені механічні та технологічні властивості ґрунту, у тому числі питоме зчеплення часток ґрунту 2,5 кН/м², твердість ґрунту 5,8 кг/см² та визначена межа його несучої здатності. 435 кН/м². По-третє, були проаналізовані властивості стебел рослин, виявивши, що їх довжина становить 50-65 см, середній діаметр 9-12 мм, міцність на розрив 90-105 Н, а також коефіцієнт тертя об сталь повинна бути між 58-69. Ці висновки дають детальну основу для експериментальних умов, у яких проводилося дослідження.

Якісні показники роботи можна оцінити за кількома коефіцієнтами. До них відноситься коефіцієнт структурності ґрунту в межах утвореної ножем борозни, який коливається від -0,50 до -55. Іншим важливим коефіцієнтом є коефіцієнт фрагментації структурованих агрегатів, який знаходиться в діапазоні від 68 до 79. Крім того, коефіцієнт ефективності подрібнення рослинних залишків, який коливається від 0,71 до 0,75, також є вирішальним фактором, який слід враховувати. Коефіцієнт якості формування поверхневого шару $K_{\text{П}}$ знаходиться в межах від 0,45 до 0,6, а коефіцієнт якості формування шару мульчі $K_{\text{М}}$ – від 0,73 до 0,81.

За результатами перевірки отриманих результатів встановлено, що установка працює на повну потужність і забезпечує допустимі для технологічного процесу показники.

Щоб підтвердити нашу робочу гіпотезу щодо значного впливу маси робочих органів на подрібнення рослинних решток, було проведено серію досліджень на агромашини-подрібнювачі, який мав легку конструкцію. Але планки пристрою були встановлені під запропонованим нами кутом нахилу. Досліди проводили на агрофоні гірчиці, який можна віднести до категорії відносно легких (див. рис. 3.5).

За допомогою серії експериментів, проведених на гірчичному агрофоні, було встановлено, що коли каток рухається зі швидкістю $V \leq 7$ км/год, стебло встромлюється в землю без подрібнення котком (як показано на малюнку 3.6). Це відкриття свідчить про потенційний метод створення шару мульчі за допомогою цього процесу.



Рисунок 3.5 – каток облепшеного конструктивного виконання



Рисунок 3.6 – Укладання стебел гірчиці катком при швидкості менше за 7 км/год

Висновки

Обране напрямлення вдосконалення конструктивних параметрів катка-подрібнювача є виправданим.

Застосування котка для подрібнення врожаю більше підходить для культур з підвищеною жорсткістю стебла. Тим не менш, впровадження зазначеного засобу є ефективним і по сидератам.

Розроблена конструкція демонструє вищу продуктивність у порівнянні з серійною моделлю. Зокрема, це дозволяє більш ефективно формувати структуру поверхневого шару ґрунту, а також створювати шар мульчі. Важливо відзначити, що всі інші показники технологічного процесу практично однакові, що підкреслює надійність обраного конструктивного рішення.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці є важливим аспектом забезпечення безпечних умов роботи в сільськогосподарському виробництві, особливо під час експлуатації катків-подрібнювачів та інших механізмів, що застосовуються в органічному землеробстві. Робота з агротехнікою пов'язана з низкою потенційних небезпек і ризиків, які можуть загрожувати здоров'ю та життю працівників. Тому дотримання правил охорони праці та вжиття відповідних запобіжних заходів є обов'язковими умовами безпечної експлуатації сільськогосподарських агрегатів.

Основні небезпеки та ризики під час роботи з катком-подрібнювачем

1. Механічні травми:

- **Небезпека:** Робота з катком-подрібнювачем передбачає рухомі частини, які можуть призвести до травм через необережне поводження. Це стосується як оператора техніки, так і працівників, які знаходяться поруч. До можливих механічних травм належать удари, здавлення, порізи та ушкодження кінцівок.

- **Запобігання:** Для уникнення травм слід дотримуватися правил безпеки, не допускати контакту з рухомими частинами під час роботи агрегату. Важливо використовувати захисні кожухи на робочих елементах та стежити за справністю захисних систем. Оператори повинні бути навчені безпечному керуванню машиною і не допускати випадкового ввімкнення механізмів.

2. Шумове та вібраційне навантаження:

- **Небезпека:** Під час роботи катка-подрібнювача утворюються підвищені рівні шуму та вібрації, які можуть негативно вплинути на слух і загальний стан здоров'я оператора. Довготривалий вплив цих факторів може призвести до захворювань опорно-рухового апарату та нервової системи.

- **Запобігання:** Для зменшення негативного впливу шуму та вібрації необхідно використовувати спеціальні засоби індивідуального захисту (беруші,

антифони, рукавиці з віброізоляцією). Важливо також регламентувати тривалість робочих змін та організувати регулярні перерви для зменшення навантаження на організм.

3. Пил та аерозолі:

- **Небезпека:** Під час подрібнення рослинних залишків та роботи на сухих ґрунтах утворюється велика кількість пилу, який може негативно впливати на органи дихання та очі працівників. Частки рослинного походження можуть спричинити алергічні реакції або подразнення слизових оболонок.

- **Запобігання:** Для захисту від пилу необхідно використовувати захисні маски та окуляри. Важливо також контролювати рівень запиленості робочого простору та, за можливості, проводити зволоження ґрунту перед роботою.

4. Ризик перекидання техніки:

- **Небезпека:** Під час роботи на нерівних або схилових ділянках існує ризик перекидання катка-подрібнювача, що може призвести до серйозних травм оператора та пошкодження техніки.

- **Запобігання:** Для запобігання перекиданню необхідно дотримуватись вимог щодо експлуатації на крутих схилах, контролювати швидкість руху та навантаження на агрегат. Оператор повинен завжди бути пристебнутим ременем безпеки в кабіні трактора та дотримуватись обмежень щодо експлуатації на складних рельєфах.

5. Електричний струм:

- **Небезпека:** Використання електрообладнання під час обслуговування або ремонту катків-подрібнювачів може призвести до ураження електричним струмом через несправності або недотримання правил електробезпеки.

- **Запобігання:** Перед виконанням будь-яких робіт з електричним обладнанням необхідно впевнитися в його вимкненні та відсутності напруги. Працівники повинні бути ознайомлені з правилами електробезпеки та використовувати діелектричні рукавички та інші засоби захисту.

Загальні заходи з охорони праці

Для забезпечення безпечної експлуатації катка-подрібнювача в органічному землеробстві необхідно:

1. Навчання персоналу: Всі працівники повинні пройти відповідне навчання щодо правил безпечної експлуатації техніки та надання першої допомоги у випадку нещасного випадку.

2. Регулярні інструктажі та перевірки: Проведення інструктажів з охорони праці та періодичних перевірок стану техніки дозволить знизити ризики нещасних випадків.

3. Медичні огляди: Працівники, які працюють з технікою, повинні проходити регулярні медичні огляди для виявлення можливих протипоказань до роботи в умовах підвищеного шумового, вібраційного та пилового навантаження.

Дотримання цих правил та рекомендацій дозволить мінімізувати ризики виникнення небезпечних ситуацій і забезпечить безпеку працівників під час роботи з катками-подрібнювачами в органічному землеробстві.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Техніко-економічні показники розраховуються шляхом порівняння методів суцільного та смугового обробітку ґрунту. Фундаментальна відмінність між цими двома методами полягає в тому, що модернізована ґрунтообробна машина відчуває менший тяговий опір, що дозволяє їй працювати з більшою швидкістю та, як наслідок, досягати вищого рівня продуктивності. У таблиці 5.1 подано огляд первинних даних, використаних у цих розрахунках.

Таблиця 5.1 - Вихідні дані до техніко-економічних розрахунків

№	Показник	Розмірність	Технологічна машина	
			Серійна	Модернізована
1	Річний обсяг роботи	га	200	200
2	Продуктивність	га/год	4,5	4,9
3	Витрати ПММ	кг/га	5,81	4,92
4	Вартість:	грн		
	- Трактора		170000	170000
	- Машини		16500	18500
	- Всього		186500	188500
5	Кількість обслуговуючого персоналу		1	1

Нормо-години в обсязі робіт:

$$K_{\text{нг}}^{\text{б}} = \frac{W_{\text{сез}}}{W_{\text{год}}} \quad (5.1)$$

Витрати праці:

$$B_{\text{п}}^{\text{б}} = K_{\text{нг}} \cdot n \quad (5.2)$$

Витрати, понесені в процесі експлуатації об'єкта, класифікуються як операційні витрати, які охоплюють як основну, так і додаткову винагороду,

відрахування на амортизацію, витрати на паливно-мастильні матеріали, а також витрати на утримання, ремонт і зберігання об'єкта.

Заробітна плата з надбавками:

$$\Pi = \frac{C_T}{W_{\text{ГОД}}} \cdot K_1 \cdot K, \quad (5.3)$$

Амортизаційні відрахування:

Норма для енергозасобів складає 17.5%.

Нормативне навантаження в році для трактора 1550 годин, для автомобіля 580 годин.

Витрат на ПММ:

$$B_{\text{ПММ}}^{\text{б}} = C_{\text{ПММ}} \cdot V_{\text{ПММ}} \quad (5.4)$$

Витрати на ТО, зберігання та ПР:

Норма витрат на ПР, ТО і зберігання:

- $\alpha_{\text{ТО}} = 11\%$ - норма відрахувань на ТО;
- $\alpha_3 = 0,2\%$ - норма відрахувань на зберігання;
- $\alpha_{\text{ТР}} = 8\%$ - норма відрахувань на ремонт.

$$B = \frac{B_B \cdot (\alpha_{\text{ТО}} + \alpha_3 + \alpha_{\text{ТР}})}{100 \cdot K_{\text{НГ}} \cdot W_{\text{ГОД}}} \cdot K, \quad (5.5)$$

Капітальні витрати на 1 га:

$$K_B^{\text{б}} = \frac{B_B}{W_{\text{СЕЗ}}} \quad (5.6)$$

Приведені витрати на гектар:

$$\Pi_B = E_B + 0,15 \cdot K_B \quad (5.7)$$

Річний економічний ефект:

$$E_E = 91324 - 87033 = 3391 \text{ грн.}$$

Строк окупності у такому разі складе:

$$n = \frac{2000}{3391} = 0,59$$

Таблиця 5.2 – Економічна ефективність проєкту

№	ПОКАЗНИКИ	Варіант	
		Базовий	Проект
1	Вид роботи	Поверхневий обробіток	
2	Об'єм роботи, га	200	200
3	Склад агрегату: Трактор Машина	Т-150К КТД-4	Т-150К КТД-4М
4	Продуктивність, га/год	4,0	4,8
5	Балансова вартість, грн: - трактора - машини	170000 16500	170000 18500
6	Експлуатаційні витрати, грн./га В тому числі: Основна і додаткова заробітна плата Амортизаційні відрахування Витрати на ПММ Витрати на ТО, ТР, зберігання	316,82 4,40 5,38 127,82 179,22	298,29 4,04 5,06 108,24 180,95
7	Капітальні вкладення, грн./га	932,5	942,5
8	Приведені затрати, грн./га На весь обсяг роботи, грн.	456,62 91324	439,665 87033
9	Річний економічний ефект, грн.		3391
10	Строк окупності додаткових капітальних вкладень, років		0,59

На основі даних, наведених у розрахунках, можна зробити висновок, що оновлене обладнання має підвищену ефективність і тому є рекомендованим до впровадження.

На основі аналізу оцінено, що прогнозований річний економічний ефект становить 3391 грн. У цьому прогнозі враховано сезонне навантаження, яке охоплює площу 200 га.

Згідно з нашим аналізом, період часу, необхідний для повернення інвестицій для будь-яких додаткових капіталовкладень, становить приблизно 0,59 сезону.

ВИСНОВКИ

Провівши огляд відповідних літературних джерел, встановлено, що ефективним способом збереження родючості ґрунту та запобігання непродуктивному випаровуванню вологи може бути використання катків-подрібнювачів для подрібнення поверхневого шару ґрунту з наступним зануренням у цей же шар рослинних решток. Конструктивно подрібнювальні агромашини складаються з гладкого барабана з встановленими по периметру ножовими планками для різання. Проте аналіз також виявляє ряд проблем, які негативно впливають на якість технологічного процесу. По-перше, сучасна конструкція агромашин-подрібнювачів розрахована на широкий спектр сільськогосподарських культур, що обмежує досягнення оптимальної якості роботи в конкретних умовах використання. По-друге, немає єдиної думки щодо ідеальної кінцевої довжини залишків, отриманих у процесі подрібнення.

У цій роботі запропоновано новий підхід до покращення конструктивних параметрів подрібнювальної агромашини. Зокрема, пропозиція передбачає впровадження регульованого кута ріжучої планки відносно осі обертання барабана. Впровадження цієї модифікації конструкції дозволяє досягти оптимальної траєкторії під час різноманітних сценаріїв експлуатації.

Проведеними експериментальними дослідженнями було підтверджено, що розроблена конструкція забезпечує більш якісне структуроутворення поверхневого шару ґрунту та створення шару мульчі порівняно із серійною моделлю. Незважаючи на таке покращення, інші показники виконання технологічного процесу залишаються практично рівними, що свідчить про надійність обраного проектного рішення.

Успішно розроблено модель для аналізу взаємодії між роликом і оброблюваним середовищем. Щоб підтвердити точність моделі, були проведені експерименти в типових умовах експлуатації машини. Ці експериментальні дослідження підтвердили адекватність аналітичної моделі.

Після проведення техніко-економічних розрахунків підтверджено ефективність інтеграції запропонованої розробки у виробничий процес. Розрахунковий річний економічний ефект становить 3391 грн, при навантаженні 200 га. Ці цифри свідчать про ефективність цього впровадження та його потенціал для отримання значних економічних вигод.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Устюянов, П. Д., Домуші, Д. П., Супрунюк, В. П., & Гуславський, А. В. (2022). ОСНОВНІ НАПРЯМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОГО СТАНУ ТЕХНІКИ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ. *науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників та*, 309.
2. Лесюк, В. С., & Калініченко, О. В. (2020). ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ. *Редакційна колегія: ОГ Бондар, доктор юридичних наук, професор*, 274.
3. Адамчук, В., Камінський, В., Булгаков, В., & Надикто, В. (2022). Теоретичне дослідження та розроблення нового показника інтенсивності впливу ходових систем машинно-тракторних агрегатів на ґрунт. *Вісник аграрної науки*, 100(4), 57-63.
4. Адамчук, В., Булгаков, В., Надикто, В., Троханяк, О., & Чорна, Т. (2023). Теоретичне дослідження стійкості руху асиметричного посівного машинно-тракторного агрегату. *Вісник аграрної науки*, 101(5), 57-64.
5. Товстенко, В. (2021). Удосконалення технічного обслуговування та ремонту машинно-тракторного парку в майстерні фермерського господарства «Славутич» Веселівського району Запорізької області: пояснювальна записка до дипломної роботи здобувача СВО Бакалавр.
6. Домуші, Д. П., Яковенко, А. М., Осадчук, П. І., Ліпін, А. П., Житков, С. С., & Павлішин, П. М. (2020). РЕМОНТ ТРАКТОРІВ І АВТОМОБІЛІВ: навч. посібн.: у 2-х кн.–Кн. 1.
7. Іванов, Б. О., & Тітова, Л. Л. (2022). СТАН СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄ НАДІЙНІСТЬ ЙОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ. *Збірник тез доповідей I Міжнародної науково-*

практичної конференції «HSEAgro–2022». 8-9 лютого 2022 року. МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Науково-виробничий журнал «Промислова безпека», Державна служба України з питань праці. Київ. 2022. 186 с., 119.

8. Василенко, М. О., Шаповал, Л. І., & Соколенко, О. М. (2017). Обґрунтування строків проведення ремонтно-обслуговуючих робіт мобільної сільськогосподарської техніки з використанням стратегії адаптивного технічного обслуговування і ремонту. *Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха*, 245-255.

9. Барабаш, Р. І. (2021). *Обґрунтування виробничої структури пунктів технічного обслуговування тракторів ХТЗ* (Doctoral dissertation, Львівський національний аграрний університет).

10. Труханська, О. О. (2020). Підвищення якості ремонту і технічного обслуговування сільськогосподарської техніки. *Техніка, енергетика, транспорт АПК.-Вінниця, 2018.-№ 3 (102)-С. 52-61.*

11. Борисюк, Д. В., & Зелінський, В. Й. (2017). Методика розрахунку економічної ефективності впровадження технічного діагностування тракторів. *Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики*, (5), 135-142.

12. Грицаєнко, Г. І., & Грицаєнко, І. М. (2020). РОЗВИТОК АГРАРНОГО ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ТА РИНКУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ УКРАЇНИ. *Редакційна колегія: ОГ Бондар, доктор юридичних наук, професор*, 105.

13. Аулін, В. В., & Замота, О. М. (2017). *Економічна ефективність системи технічного обслуговування і ремонту мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки з елементами прогнозування* (Doctoral dissertation, ТНТУ).

14. Галич, І. В. (2019). Аналіз джерел вібрацій та коливань елементів машинно-тракторного агрегату. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*, (30), 72-79.

15. Антощенко, Р. В., & Антощенко, В. М. (2016). Дослідження енергетичних параметрів функціонування багатоелементних машинно-тракторних агрегатів. *Інженерія природокористування*, (2), 105-112.

16. Сіренко, Ю. В., & Сілюченко, В. М. (2022). ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ МАШИНО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали IV Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Запоріжжя, 01-25 листопада 2022 р.)/ТДАТУ: ред. кол., СВ Кюрчев, ВМ Кюрчев, ВТ Надикто, ОГ Скляр [та ін.]– Запоріжжя: ТДАТУ, 2022.–239 с. У збірнику представлені матеріали міжнародної науково-практичної, 56.*

17. Антощенко, Р. В., Лебедєв, А. Т., & Антощенко, В. М. (2017). Керування енергетичними витратами машинно-тракторного агрегата. *Науковий журнал «Технічний сервіс агропромислового лісового та транспортного комплексів»*, (7), 172-179.

18. Адамчук, В., Булгаков, В., Надикто, В., Кюрчев, В., & Камінський, В. (2022). Дослідження впливу ширини захвату машинно-тракторного агрегату на його експлуатаційні показники. *Вісник аграрної науки*, 100(10), 29-36.

19. Dnes, V., Kudrynetskyi, R., & Skibchyk, V. (2020). Методичні засади визначення ефективності використання техніки під час обробітку ґрунту, внесення добрив і сівби ярих культур за енергетичним показником. *Bulletin of Lviv National Environmental University. Agroengineering Research*, (24), 77-82.

20. Бакляк, І. В. (2021). ПЛАНОВО-ЗАПОБІЖНА СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ МАШИН. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*, 465.

ДОДАТКИ

Додаток А