МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
“__” _____ 2025р.
Зав. кафедри к.т.н., доцент___
(науковий ступінь, вчене звання)
_____А.В. Войтік___
(підпис) (ініціали, прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (дипломний проект)
бакалавр
(назва освітнього ступеня)

тема роботи **«Обгрунтування параметрів котка-подрібнювача рослинних решток до дискової борони»**

Виконав: студент 3 курсу, групи 32к-ім
освітньої програми __бакалавр_____
спеціальності_____
208 «Агроінженерія»
Скотар Я.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н. доцент Шевчук В.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2025 рік

ЗМІСТ

ВСТУП 6

РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ 7

1.1. Чинники, що обумовлюють впровадження котків-подрібнювачів у сучасні технології виробництва сільськогосподарської продукції 7

1.2. Аналіз конструкційно-технологічних особливостей існуючих комбінованих знарядь із котком-подрібнювачем 10

РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТНО-ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА 19

2.1. Аналіз роботи ножів котка-подрібнювача за умов його кочення по ґрунту 19

2.2. Результати визначення впливу вертикальної складової сили на показники якості подрібнення стебел соняшнику 32

2.3. Результати досліджень з визначення впливу швидкості руху на показники якості подрібнення стебел соняшнику 41

Висновки до другого розділу 42

РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ 44

3.1. Охорона праці при роботі та обслуговуванні знарядь для обробітку ґрунту 44

3.2. Рекомендації по використанню сільськогосподарських знарядь 45

3.3. Висновки до третього розділу 45

РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНОВАНИХ АГРЕГАТІВ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ І ЗАГОРТАННЯ ПОЖНИВНИХ РЕШТОК ГРУБОСТЕБЛОВИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР 46

Висновки до п’ятого розділу 48

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 49

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 50

ВСТУП

Технологічні операції подрібнення рослинних решток кукурудзи, соняшнику, ріпаку, сидеральних культур та інших грубостеблових сільськогосподарських рослин здійснюються із застосуванням спеціалізованих машин. Одним із найбільш ефективних рішень на таких агрофонах є комбіноване використання котка-подрібнювача та дискової борони. Це знаряддя не лише забезпечує подрібнення та часткове загортання рослинних решток у ґрунт, але й формує добре замульчований поверхневий шар ґрунту з агрономічно цінною структурою. Такий підхід покращує мікроклімат ґрунту, зменшує випаровування вологи та сприяє активному біологічному розкладанню органіки.

Рівномірне перемішування залишків із ґрунтом є важливим не лише для прискорення їх мінералізації, але й для створення сприятливих умов для наступного посіву та профілактики ранньої забур’яненості. Це дозволяє зменшити витрати на гербіциди й оптимізувати весь агротехнологічний цикл.

Слід також відзначити, що зміни клімату дедалі більше впливають на активність і поширення шкідників і хвороб сільськогосподарських культур. Зокрема, при вирощуванні кукурудзи аграрії все частіше зіштовхуються зі шкодочинністю кукурудзяного стеблового метелика, проти якого хімічні засоби захисту часто виявляються малоефективними або недоступними. Практика показує, що подрібнення стебел кукурудзи є одним із найрезультативніших способів боротьби з цим шкідником, оскільки знищує місця його зимівлі та перешкоджає розмноженню [6, 35].

Якість подрібнення залишків грубостеблових культур визначається комплексом агротехнічних вимог. Ефективне виконання цієї операції можливе лише за умови урахування залежності між якісними показниками подрібнення та технологічними параметрами машин. Ці взаємозв’язки є ключовими під час проєктування нових знарядь і вдосконалення наявних конструкцій [5, 7]. Зокрема, необхідно враховувати швидкість руху агрегату, тип і форму ножів, зусилля на робочі органи, а також характеристики ґрунту й біомаси, що обробляється.

РОЗДІЛ 1
СТАН ПИТАННЯ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Чинники, що зумовлюють актуальність впровадження котків-подрібнювачів у сучасні агротехнології

Сучасне землеробство стикається з низкою викликів, основними серед яких є зміни клімату, деградація ґрунтів, дефіцит вологи та зростання біотичних загроз. Особливо актуальним є зменшення доступної вологи у літні періоди на орних землях України, що обумовлює необхідність переходу до більш адаптивних технологій обробітку ґрунту. Одним із ефективних рішень виступає впровадження мінімального та нульового обробітку, який передбачає збереження мульчі на поверхні поля. Наявність рослинних решток знижує випаровування вологи, захищає ґрунт від ерозії, сприяє накопиченню гумусу та створює сприятливі умови для розвитку ґрунтової біоти.

Особливу роль у цьому процесі відіграють котки-подрібнювачі, які забезпечують подрібнення стерні та рівномірне її перемішування з поверхневим шаром ґрунту. Це не лише сприяє прискореному розкладанню органіки, а й утворює агрономічно цінну структуру ґрунту з високою водоутримувальною здатністю.

Нагальним залишається також питання біологічної безпеки сільгоспугідь. Розширення ареалу шкідників, зокрема кукурудзяного метелика, є прямим наслідком потепління клімату. Хімічні методи боротьби не забезпечують належного ефекту, тому механічне знищення біотопів шкідника, зокрема подрібнення стебел кукурудзи, є критично важливим. Навіть після оранки значна частина непошкоджених стебел залишається на полі, що створює загрозу для наступного врожаю. Саме тому використання подрібнювачів є виправданим як при традиційному, так і при безвідвальному обробітку ґрунту.

Крім кукурудзи, подрібнювачі ефективно застосовуються при обробці залишків ріпаку, соняшнику, зернових культур та сидератів. У поєднанні з

дисковими боронами вони утворюють мульчувальний шар, який акумулює вологу, прискорює проростання падалиці та створює умови для контролю забур'яненості. Рівномірне розміщення решток у верхньому шарі ґрунту також сприяє активізації аеробної мікрофлори, покращує повітрообмін і водопроникність.

Традиційна практика заорювання соломи, хоч і дає короткостроковий ефект, має низку суттєвих недоліків. Тривалий період розкладання (до 3 років), зв'язування доступного азоту та виділення шкідливих для рослин речовин у місцях концентрації валків негативно впливають на наступні культури. Крім того, при анаеробному розкладанні решток утворюється метан, який не бере участі у живленні мікроорганізмів, на відміну від вуглекислого газу.

Таким чином, механізоване подрібнення із частковим або повним перемішуванням решток з ґрунтом є агротехнічно виправданим способом, що забезпечує комплексний позитивний ефект – від збереження вологи до зменшення патогенного навантаження на ґрунт.

1.2. Аналіз конструкційно-технологічних особливостей сучасних агрегатів із котками-подрібнювачами

Сучасний ринок сільськогосподарської техніки пропонує широкий спектр агрегатів для подрібнення та загортання рослинних залишків, зокрема кукурудзяної стерні. Особливий інтерес викликають комбіновані агрегати, до складу яких входять котки-подрібнювачі в поєднанні з дисковими робочими органами. Такі агрегати класифікують як дискові борони, лущильники, культиватори тощо.

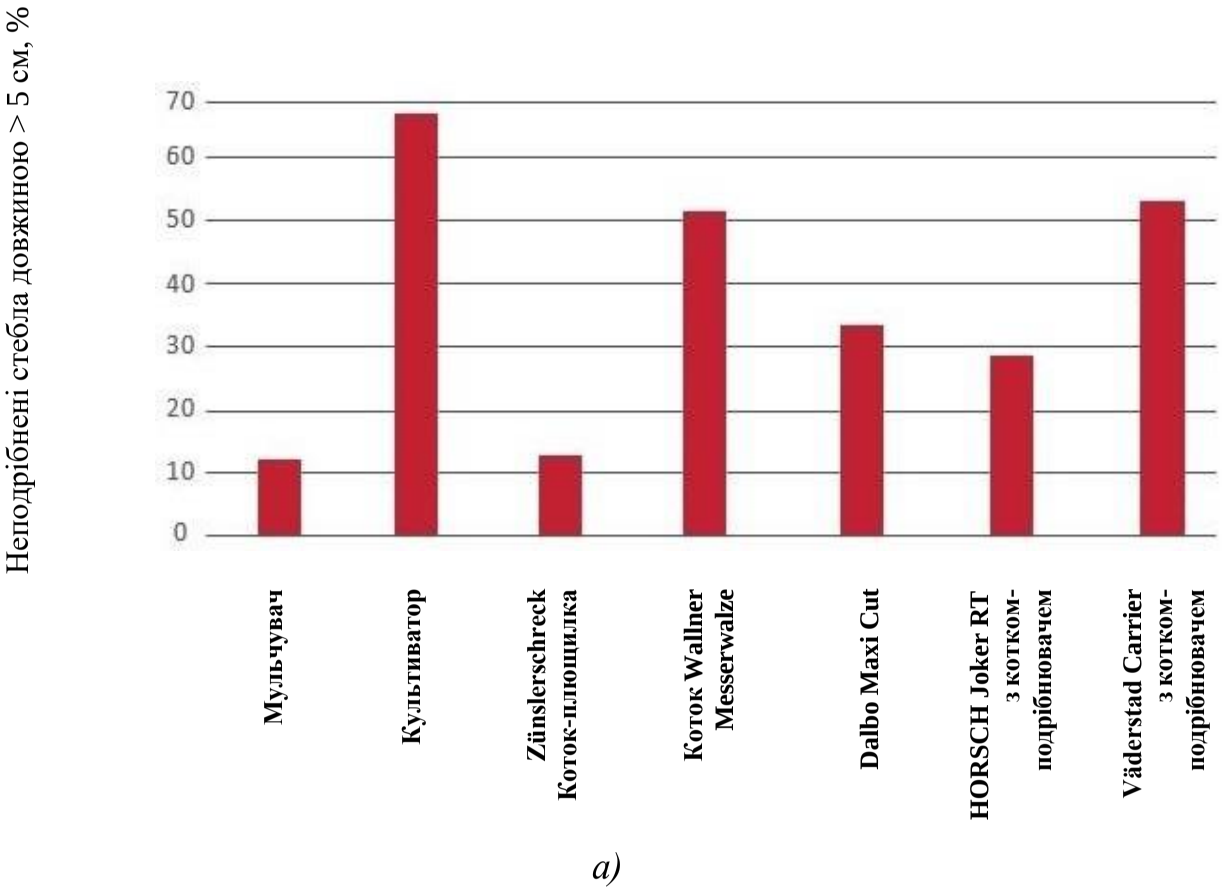
Аналіз експлуатаційних характеристик свідчить, що дискові або ротаційні борони при самостійному використанні не забезпечують належної якості подрібнення грубостеблових культур. Натомість комбіновані машини, які містять у своїй конструкції котки-подрібнювачі або котки-плющилки, як-от *Zünslerschreck, Dalbo Maxi Cut, HORSCH Joker RT, Väderstad Carrier*

Crosscutter, демонструють високі показники ефективності як у сухих, так і у вологих умовах.

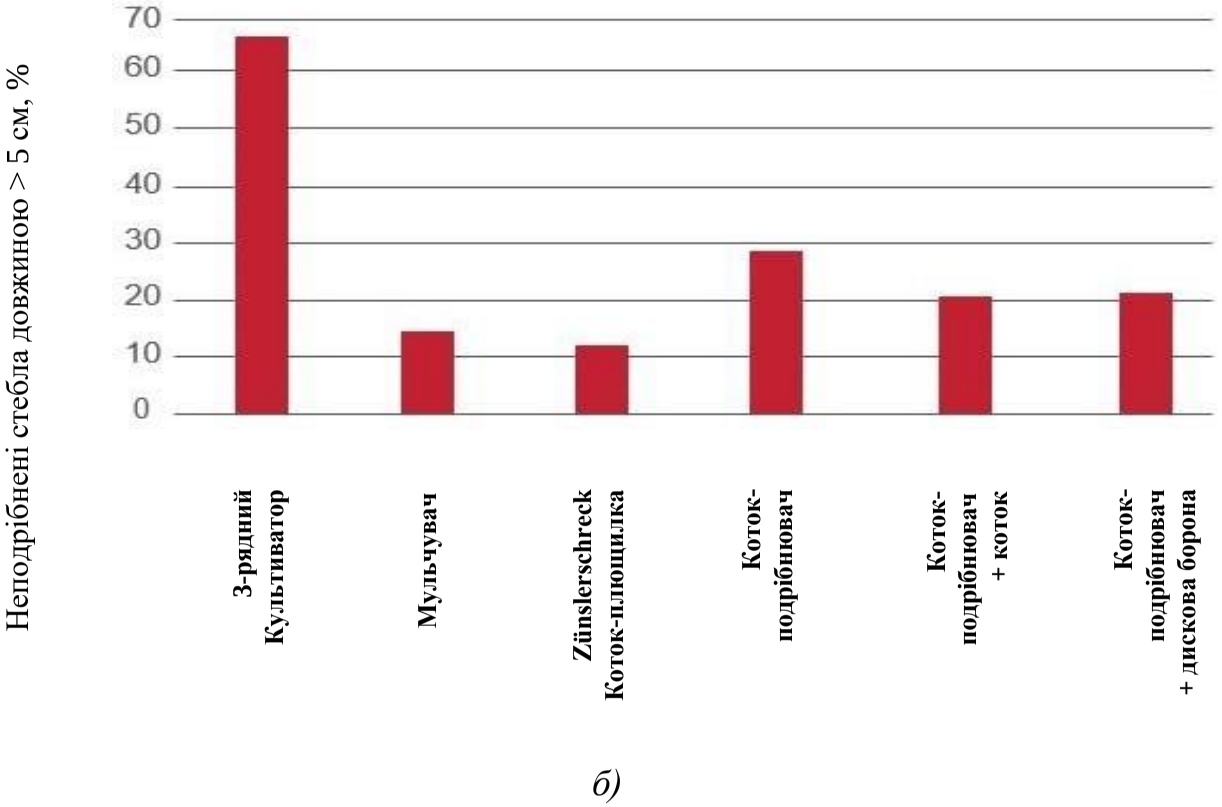
Ці агрегати забезпечують не лише руйнування стебел, а й загортання їх у ґрунт, що дозволяє уникнути накопичення надмірної маси на поверхні поля. Особливої ефективності досягають конструкції, в яких коток працює поперек напрямку руху, а диски – уздовж, як це реалізовано в агрегаті на базі важкої дискової борони БДВП-3,8 зі змінним модулем котка-подрібнювача. Така схема забезпечує глибину зароблення до 25 см, що критично важливо для нейтралізації життєздатних фрагментів стебел.

Результати досліджень показали, що ефективність руйнування стебел доцільно оцінювати за кількістю фрагментів довжиною понад 5 см, що залишаються непошкодженими. Цей критерій дозволяє прогнозувати ризик перезимівлі личинок кукурудзяного метелика, які нерівномірно розміщуються по довжині стебла. За правильного вибору висоти зрізу та ефективного подрібнення можна зменшити чисельність популяції шкідника щонайменше на 50%.

Отже, застосування котків-подрібнювачів у складі комбінованих агрегатів є не лише агротехнічним, а й економічно доцільним рішенням. Воно сприяє підвищенню ефективності обробітку, зменшенню витрат пального, зниженню навантаження на ґрунт і, що важливо, забезпечує комплексну фітосанітарну безпеку посівів.



а)



б)

Рисунок 1.1 – Результати оцінки якості подрібнення:

а) стебел кукурудзи; *б)* обробітку стерні кукурудзи [125-126]

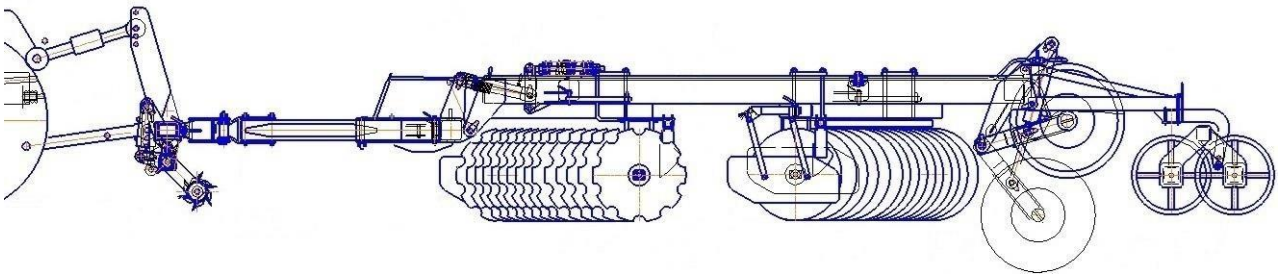


Рисунок 1.2 – Експериментальний зразок комбінованого агрегату що містить каток-подрібнювач структурно функціональна схема комбінованого агрегату;

Борона причіпна БП-6 2-х рядна з ріжучими котками “Схід”.

Одним із вітчизняних зразків ефективного агрегату для обробітку пожнивних залишків є причіпна дворядна борона БП-6 з ріжучими котками “Схід” (рис. 1.3). Цей агрегат призначений для виконання комплексу технологічних операцій: подрібнення та дискування стерні, часткового мульчування, а також вирівнювання поверхні ущільнених ґрунтів різного гранулометричного складу після збирання соняшнику, кукурудзи та інших культур.

Основною особливістю конструкції є наявність ріжучих котків-подрібнювачів з ножами, які встановлені на пустотілих барабанах у шаховому порядку. Таке розташування забезпечує інтенсивне подрібнення залишків та знижує налипання ґрунту, що є важливим фактором при роботі у вологих умовах.

Для досягнення високої якості обробітку борона оснащена системою регулювання кута атаки робочих органів. Кожен ряд дисків може налаштовуватись окремо в межах від 15° до 30°, що дозволяє адаптувати роботу агрегату до різних агрофізичних умов ґрунту та типу рослинних решток.

Робочі органи борони виготовлено з високоякісної сталі 30MnB5 (виробництво — Фінляндія), що характеризується підвищеною зносостійкістю. Твердість матеріалу становить HRC 50–52, а товщина дисків досягає 6 мм, що

забезпечує їхню довговічність та ефективність при роботі з твердими або перезволоженими залишками.

Завдяки поєднанню ріжучих котків та дискових батарей агрегат БП-6 забезпечує ефективне перемішування подрібнених решток з верхнім шаром ґрунту, формує мульчувальний покрив і сприяє вирівнюванню мікрорельєфу поля. Це дозволяє не лише зберігати вологу, а й створювати сприятливі умови для проростання наступних культур і зменшення шкоди від шкідників.



Рисунок 1.3 – Борона причіпна БП-6 2-х рядна з ріжучими котками “Схід” [13]

Компактна дискова борона серії KRONOS 4.

Одним із сучасних високопродуктивних агрегатів для поверхневого та передпосівного обробітку ґрунту є компактна дискова борона серії *KRONOS 4* (рис. 1.4). Цей агрегат забезпечує інтенсивне розпушування верхнього шару ґрунту з одночасним підрізанням пожнивних залишків і подрібненням ґрунтових грудок, сприяючи створенню сприятливих умов для сівби.

Робочі органи борони виконані у вигляді тандемних дисків, які закріплені на рамі за допомогою гумових амортизаторів. Таке рішення забезпечує ефективне гасіння вібрацій і зниження динамічних навантажень на підшипникові вузли, що підвищує довговічність конструкції та зменшує енерговитрати при роботі. Відстань між дисками становить 220 мм (з

перекриттям 110 мм по сліду), а встановлений кут атаки 17° забезпечує суцільне підрізання пожнивних решток і ґрунту, підвищуючи якість обробітку.

Однією з важливих складових конструкції є коток, що виконує функцію зворотного ущільнення ґрунту після його розпушення. Завдяки цьому зберігається волога у верхньому шарі, знижується ризик пересихання, а також створюється щільний посівний шар, необхідний для рівномірного проростання насіння.

Борона KRONOS 4 також обладнана механізмом копіювання рельєфу поля, який опирається на коток. Це дозволяє точно дотримуватися заданої глибини обробітку по всій ширині захвату, що є особливо важливим для підготовки посівного ложа.

Використання компактної дискової борони сприяє збереженню структури ґрунту, підвищенню його біологічної активності, активізації процесів перегнивання рослинних решток, а також зменшенню втрат вологи. Усе це позитивно впливає на родючість ґрунту і формує оптимальні умови для проростання бур’янів, які в подальшому знищуються в наступних обробітках.

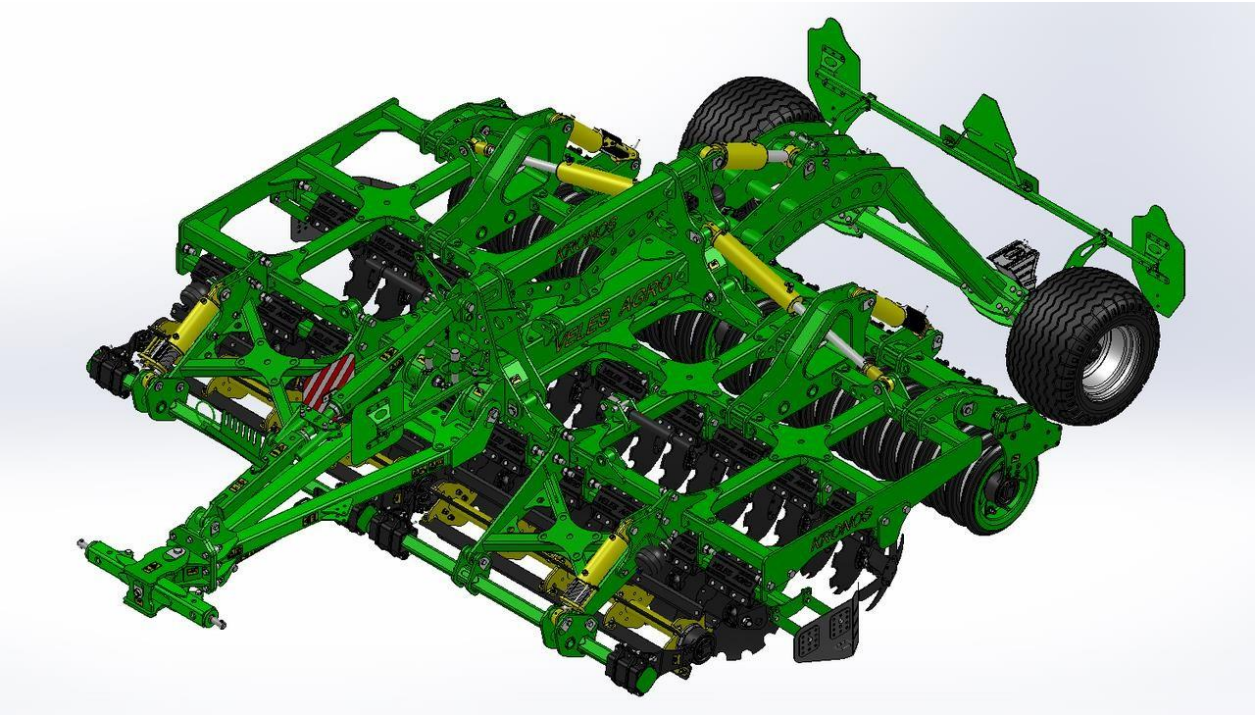


Рисунок 1.4 – Дискова борона KRONOS 4 з ножовими котками

Коток VELES AGRO та дисковий лущильник ЛДП-6 "Слобода".

Компанією *VELES AGRO* було розроблено інноваційний ножовий коток, який встановлюється попереду дискових робочих органів. Така компоновка дозволяє досягати подрібнення рослинних залишків у двох напрямках одночасно: поперечному — за рахунок ножового котка, та поздовжньому — завдяки дискам агрегату. Основне призначення такого рішення полягає в ефективному подрібненні грубостеблових пожнивних залишків, таких як кукурудза, соняшник, ріпак. Це значно полегшує подальший обробіток поля та прискорює процеси перегнивання решток у ґрунті.

Регулювання глибини роботи ножового котка здійснюється за допомогою гідроциліндра, а точна фіксація положення забезпечується накидними шайбами. Для зменшення впливу вібраційних та ударних навантажень під час роботи, стійки котка кріпляться до рами через амортизатори. Така конструкція сприяє підвищенню надійності та довговічності агрегату, зменшуючи навантаження на вузли з'єднання.

Дискові лущильники на пружинних стійках типу *ЛДП-6 "Слобода"* (рис. 1.5) також є ефективним інструментом для виконання поверхневого стерньового та передпосівного обробітку ґрунту. Вони демонструють високу продуктивність як при роботі по мульчі, так і після оранки. Основними функціями лущильника є стимулювання проростання падалиці, переривання капілярної системи ґрунту з метою збереження вологи, закладення та перемішування пожнивних залишків, сидеральних культур і формування посівного горизонту.

Робочі органи змонтовані на індивідуальних пружинних стійках із пружинного профілю 90×14 мм. У базовій комплектації агрегат оснащений вирізними дисками діаметром 460 мм. Завдяки конструктивним особливостям пружинні стійки забезпечують стабільну роботу навіть у важких умовах: на полях із великою кількістю рослинних залишків або каміння. Вібрації, що виникають під час роботи, сприяють самоочищенню дисків від налиплого ґрунту та залишків, що підтримує постійну ефективність обробітку. У

порівнянні з м’якими гумовими демпферами, пружинні стійки мають вищу зносостійкість і довший термін служби.



Рисунок 1.5 – Лущильник ЛДП-6 Слобода [24]

Дискові лущильники та передпосівні агрегати.

Дисковий лущильник *ЛДП-6 «Слобода»* забезпечує високу продуктивність при низьких витратах пального та дозволяє працювати на підвищених швидкостях до 18 км/год. Він здатен ефективно проводити обробіток ґрунту на глибину до 12 см, що відповідає агротехнічним вимогам до поверхневої культивації. Робоча ширина захвату агрегату становить 6 м, що дозволяє обробляти великі площі за короткий проміжок часу. Для повноцінної роботи агрегат потребує трактора з потужністю не менше 150 к.с., що є оптимальним варіантом для господарств середнього рівня механізації.

До сучасного покоління дискових лущильників належить *компактний дисковий лущильник SWIFTER DISC XO 6000 PROFI* (рис. 1.6), який входить до нової модельної лінійки машин, призначених для виконання післяжнивного лущення та передпосівної підготовки ґрунту. Для ефективного перемішування та закладення рослинних залишків агрегат може комплектуватись зубчастими або агресивними дисками діаметром 520×5 мм або 560×5 мм. Завдяки цьому досягається якісне зрізання стерні, перемішування рослинної маси з ґрунтом та створення сприятливих умов для її мінералізації.

Задні котки агрегату ущільнюють ґрунт, вирівнюють оброблювану поверхню та створюють умови для рівномірного проростання бур’янів і зернових культур. Особливістю SWIFTER DISC XO PROFI є найбільша в своєму класі відстань між переднім і заднім рядами дискових секцій — 140 см. Такий показник дозволяє вільне проходження ґрунтової маси з великою кількістю рослинних залишків. Кліренс рами становить 60 см, що дає змогу вносити велику кількість органічних речовин або гною без забивання робочих органів.

Для формування ідеального посівного ложа широко застосовуються *передпосівні культиватори та компактори*, які скорочують час між завершенням обробітку та сівбою. За один прохід такі агрегати виконують одразу декілька операцій: вирівнювання рельєфу, розпушення, покращення аерації, створення дрібнозернистої структури, прикочування важким котком та закриття вологи у верхньому шарі. Це дозволяє не лише зменшити кількість проходів по полю, а й забезпечити оптимальні умови для проростання насіння культур.

Таблиця 1 – Технічні характеристики технічних засобів для подрібнення та зароблення рослинних решток у ґрунт, в складі яких є котки-подрібнювачі

Вітчизняні комбіновані агрегати				
	Дискові борони		Дисковий лущильник	Культиватор
	Борона БДВП-3,8	Борона БП-6	Лущильник ЛДП-6 Слобода	КВО-5 “СВОБОДА”
Тип агрегата	Причіпний	Причіпний	Причіпний	Причіпний
Глибина обробітку ґрунту агрегатом (см)	до 25	до 18	до 12	до 18
Робоча швидкість аргегату (км/год)	до 10	12-15	18	12
Агрегатування з трактором (к. с.)	180	280	160	150
Кількість рядів ножів котка (шт.)	6	6	6	6
Діаметр ріжучого котка (мм)	330	530	430	430
Конструкційна особливість барабану котка	пустотілий	пустотілий	пустотілий	пустотілий
Спосіб розміщення ножів барабану котка	шахматний	шахматний	шахматний	шахматний
Розміщення ножа на барабані котка (º)	похилі 12	похилі 5-10	прямі	прямі
Закордонні комбіновані агрегати				
	Дискова борона	Дисковий лущильник	Культиватор	
	KRONOS 4	SWIFTER DISC XO 6000 PROFI	Väderstad Carrier XL 525	
Тип агрегата	Причіпний	Причіпний	Причіпний	
Глибина обробітку ґрунту агрегатом (см)	12	14	12	
Робоча швидкість агрегату (км/год)	8-20	15	10-15	
Агрегатування з трактором (к. с.)	6	6	6	
Кількість рядів ножів котка (шт.)	220	250-320	210	
Діаметр ріжучого котка (мм)	300	310	380	
Конструкційна особливість барабану котка	пустотілий	пустотілий	пустотілий	
Спосіб розміщення ножів барабану котка	шахматний	спіралеподібний	шаблеподібний	
Розміщення ножа на барабані котка (º)	прямі	похилі	похилі	

Перспективність застосування котків-подрібнювачів у складі комбінованих агрегатів.

Серед сучасних технічних засобів для подрібнення пожнивних решток все більшого поширення набувають комбіновані агрегати, зокрема такі, що оснащені ножовими котками. Яскравим прикладом є ножовий коток *Cross Cutter Knife*, інтегрований у конструкцію культиватора *Carrier L/XL 425-725*. Такий агрегат забезпечує подрібнення рослинних залишків у двох напрямках – поперечному та поздовжньому, що значно підвищує ступінь подрібнення та рівномірність розподілу біомаси по поверхні ґрунту.

Застосування комбінованих агрегатів із котками-подрібнювачами особливо актуальне у технологіях вирощування грубостеблових культур, таких як кукурудза, соняшник, ріпак тощо. Подрібнення залишків цих культур є необхідною умовою для прискорення їх розкладання, зменшення фітосанітарного навантаження та забезпечення якісного обробітку ґрунту перед наступною культурою.

Незважаючи на численні переваги, ступінь ефективності таких технічних рішень, зокрема якість подрібнення стебел кукурудзи, вимагає додаткового дослідження в умовах конкретних ґрунтово-кліматичних зон. Саме тому доцільно проводити експериментальні випробування з метою уточнення оптимальних режимів роботи, енерговитрат та агротехнічної ефективності цих агрегатів.

Незаперечним є той факт, що сучасні технології обробітку ґрунту потребують нових техніко-технологічних рішень, спрямованих на зниження енергетичних витрат без погіршення якості виконання операцій. Дослідження перспективності використання котків-подрібнювачів як окремих елементів або у складі комбінованих агрегатів відкриває нові можливості для удосконалення технологічних процесів у рослинництві.

Висновки

1. Котки-подрібнювачі є ефективними знаряддями для подрібнення пожнивних залишків грубостеблових культур (кукурудза, соняшник, ріпак тощо), що значно покращує якість наступних технологічних операцій, таких як лущення, культивація або сівба.

2. Розміщення ножів у шаховому порядку, як у котках типу "Схід", забезпечує краще подрібнення рослинних залишків і знижує налипання ґрунту та рослинної маси на робочі органи, що підвищує ефективність агрегату в умовах підвищеної вологості.

3. Комбіноване застосування котків із дисковими боронами або лущильниками (наприклад, у конструкції агрегатів VELES AGRO або SWIFTER DISC) дозволяє одночасно здійснювати подрібнення, перемішування й часткове зароблення пожнивних решток у ґрунт, підвищуючи продуктивність та агротехнічну якість обробітку.

4. Зменшення енергетичних витрат є ключовою перевагою котків-подрібнювачів завдяки їх простоті конструкції, меншій потребі в тяговому зусиллі та можливості роботи на підвищених швидкостях (до 18 км/год у деяких агрегатах).

5. Наявність амортизаторів і гідравлічних систем регулювання глибини дозволяє забезпечити стабільну роботу котків навіть на нерівному або складному рельєфі, а також точне дотримання агротехнічних вимог.

6. Перспективним напрямом є експериментальне дослідження ефективності роботи котків-подрібнювачів у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах, що дозволить уточнити їх оптимальні параметри та режими експлуатації.

7. Застосування котків-подрібнювачів сприяє збереженню структури ґрунту, утриманню вологи, пришвидшенню мінералізації органічної маси, що позитивно впливає на родючість ґрунту та урожайність наступних культур.

РОЗДІЛ 2
ПРОЕКТНО-ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

2.1. Аналіз роботи ножів котка-подрібнювача за умов його кочення по ґрунту

Розроблені котки-подрібнювачі пожнивних решток ґрунтуються на відомих конструктивних рішеннях і працюють у поздовжньо-вертикальній площині шляхом перекочування. Під час руху агрегату кожен ножовий барабан обертається навколо своєї осі, яка жорстко закріплена на рамі. Така конструкція забезпечує стабільну висоту розташування ножів відносно поверхні поля при русі котка по ґрунту. Це характерно для варіанту з жорстко з’єднаними осями барабанів.

Інша кінематична схема виникає, якщо кожен барабан має незалежне кріплення й вісь його обертання не зв’язана з загальним тримачем. У такому випадку характер руху змінюється — кожен барабан має певну ступінь свободи, що впливає на траєкторію обертання та заглиблення ножів.

Розглянемо варіант, за якого ніж барабана незначно занурюється в рослинно-ґрунтову масу. Припустимо, що барабан з ножами рухається ліворуч по рівній, однорідній поверхні, яка не містить твердих включень, таких як каміння.

Проведений теоретичний розрахунок роботи ножів котка-подрібнювача за умов його кочення по ґрунту представлений в додатку А.

Якщо припустити, що положення точки CV залишається незмінним протягом певного інтервалу часу руху котка, то це призводить до поступового опускання центра мас барабана відносно початкового положення (див. рис. 2.1).

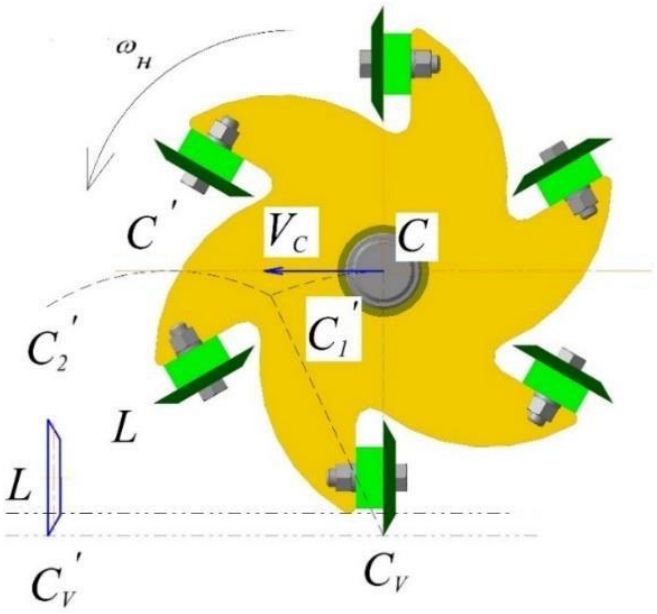
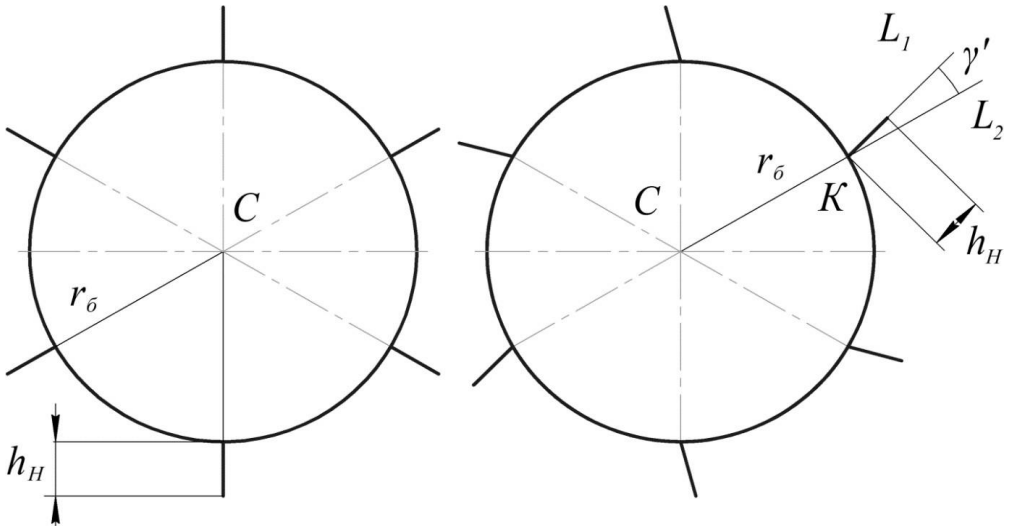


Рисунок 2.1 – Схема, що ілюструє коливальний рух центра *C* котка у поздовжньо-вертикальній площині

Послідовна зміна положення центру мас **С** залежить від кількості рядів ножів, а також від глибини їх проникнення в рослинно-ґрунтове середовище. Цей показник, у загальному випадку, визначається конструктивними параметрами ножів (зокрема висотою), товщиною шару рослинних решток і щільністю чи твердістю ґрунту.

Якщо конструкція котка передбачає таку кількість рядів ножів і такі їх геометричні параметри, за яких довжина дуги між верхівками суміжних ножів приблизно дорівнює висоті ножа (тобто максимальній глибині його занурення), то центр мас **С** буде здійснювати хвилеподібний рух — почергове опускання і піднімання. Це відбувається за умови безперервного контакту ножів з середовищем: коли один ніж завершує фазу виходу, інший уже вступає у фазу заглиблення.

У разі, якщо відстань між верхівками ножів перевищує ширину одного ножа, між фазами контакту з ґрунтом виникає інтервал, під час якого центр **С** повертається у положення стійкого прямолінійного руху. З початком нового контакту — коли черговий ніж входить у рослинно-ґрунтове середовище — напрямок руху центру **С** змінюється: він знову починає зміщуватися вниз відносно попереднього положення.



а) *б)*

Рисунок 2.2 – Схема барабана котка-подрібнювача із встановленими ножами на продовженні радіусів барабана (*а*) та повернутих у напрямку обертання барабана на кут γ' (*б*)

Описані закономірності руху центру мас **С** спостерігаються як при незначному заглибленні ножів у ґрунт, так і при роботі на великих глибинах. Таким чином, коливальний характер траєкторії центру **С** є типовим явищем для різних режимів роботи котка.

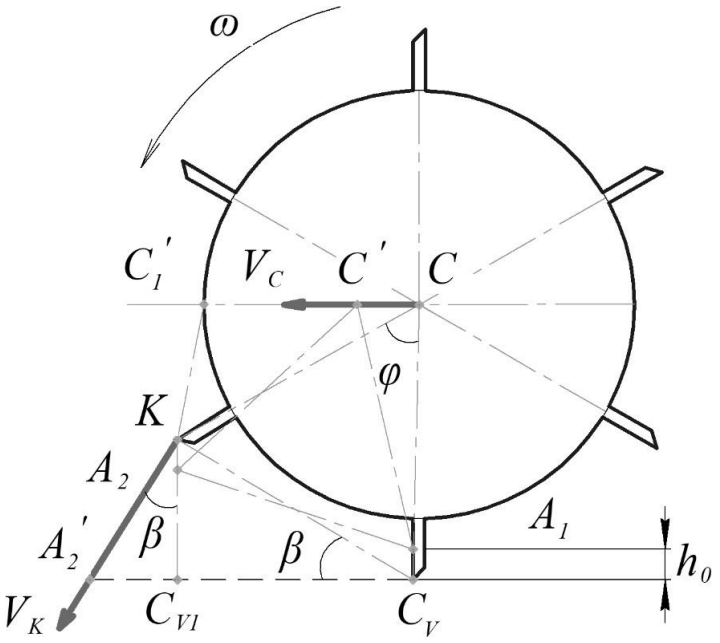


Рисунок 2.3 – Схема проникнення у рослинно-ґрунтове середовище ножа, встановленого на продовженні радіуса барабана

Описаний вище коливальний рух центру мас **С** характерний для котків із короткими барабанами та відносно невеликою власною масою. У випадках, коли барабан додатково навантажується зовнішніми чинниками або прикладеними силами, результуюча швидкість центру мас **VC** набуває горизонтального напрямку (див. рис. 2.3).

Максимальна глибина проникнення ножа в рослинно-ґрунтове середовище досягається тоді, коли відповідні радіальні елементи (ножі) встановлюються у вертикальне положення. Слід зазначити, що як у першому випадку (рис. 2.2, а), так і в другому (рис. 2.2, б), ножі при наближенні до вертикального положення входять у середовище та поступово заглиблюються в нього.

Загалом, збільшення глибини проникнення ножів супроводжується підвищенням навантаження на них. Це зумовлено тим, що зростає площа контакту та, відповідно, зона руйнування рослинно-ґрунтової маси. Така закономірність має важливе значення при конструюванні та налаштуванні робочих органів котка, оскільки впливає на ефективність його роботи й зносостійкість ножів.

Проаналізуємо варіант встановлення ножа під певним кутом γ' до напрямку умовного радіуса, на кінці якого встановлено ніж (рис. 2.6).

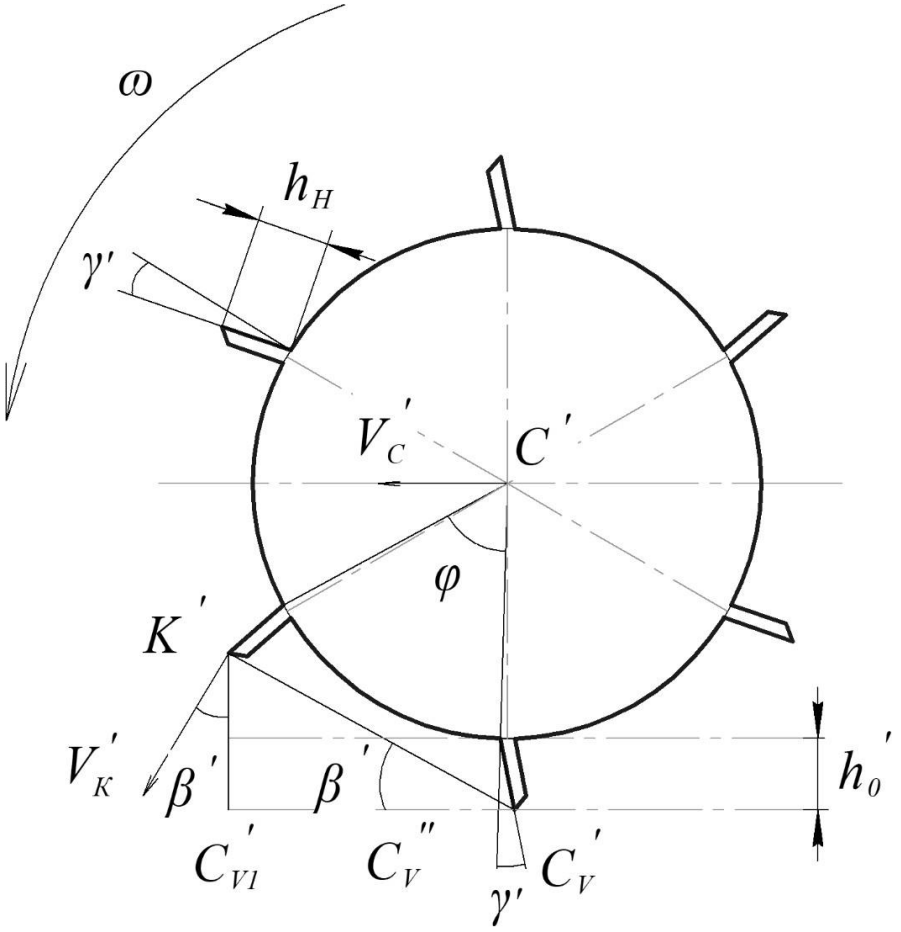


Рисунок 2.6 – Схема взаємодії ножа, зміщеного на кут γ' в бік обертання барабана, із рослинно-ґрунтовим середовищем

На рис. 2.6 наведено схему котка із встановленими під кутом γ' ножами. Кількість рядів ножів шість. Центр мас котка C' переміщується ліворуч зі швидкістю V_C'.

2.2 Результати визначення впливу вертикальної складової сили на показники якості подрібнення стебел соняшнику

Метою проведеного дослідження було встановлення впливу вертикальної складової сили на якісні показники технологічного процесу подрібнення рослинних решток соняшнику за допомогою котка-подрібнювача, з урахуванням різних схем розташування ножів на барабані.

Для створення вертикального навантаження на коток використовували додаткову масу, яку забезпечували шляхом заповнення спеціальної ємності рідиною. Ємність була розміщена симетрично відносно поздовжньої осі котка, у його центральній частині, що дозволяло рівномірно розподіляти навантаження. Залежно від обсягу залитої води змінювалася прикладена сила: використовували масу 800 кг, 600 кг та 400 кг, що відповідало навантаженням 7,84 кН, 5,88 кН та 3,92 кН відповідно. Окрім того, експериментальні дослідження проводили також у варіанті без додаткової вертикальної складової сили (див. рис. 2.7).

Таким чином, експериментальний підхід дозволив оцінити ефективність подрібнення залежно від ступеня довантаження котка та особливостей розміщення ножових елементів.



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд тензотрактора Т-150К і експериментальної установки котка-подрібнювача в роботі

Оцінювання ефективності подрібнення стебел здійснювалося на основі аналізу накопиченої частоти подій, тобто кількості часток певних розмірів, що потрапляли в задані інтервали довжин (див. рис. 2.8). Використані діапазони розмірів були узгоджені з тими, що застосовувалися в попередніх експериментальних дослідженнях [11, 21–23], що забезпечує порівнянність результатів.

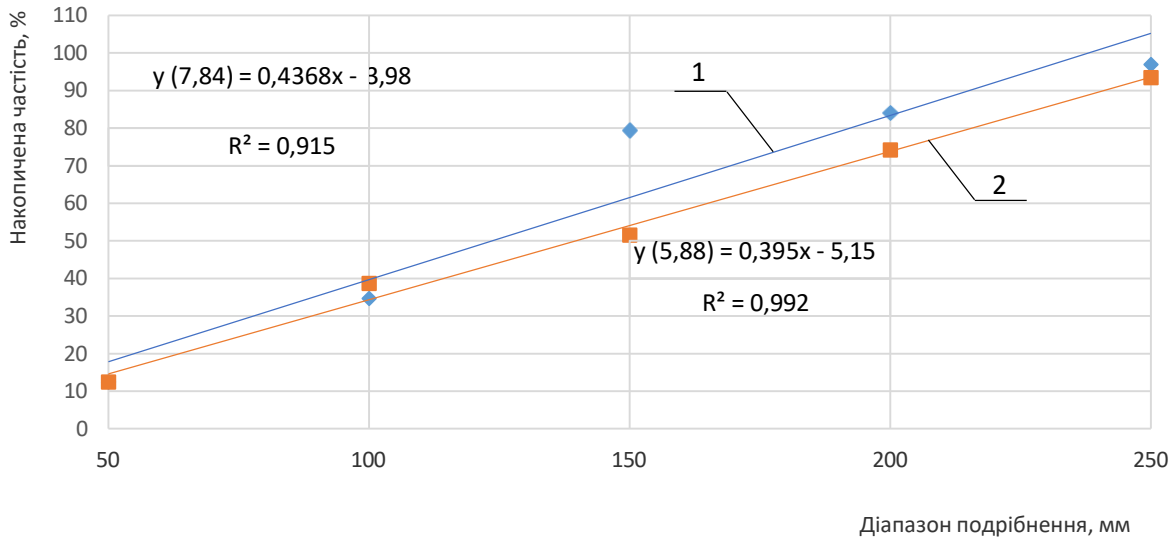


а) *б)*

Рисунок 2.8 – Загальний вигляд рослинних решток на поверхні поля
а) – стан поля до обробітку; *б)* – стан поля після одноразового обробітку котком-подрібнювачем

Зразки рослинних решток відбирали після проходження агрегату з котком-подрібнювачем по залишках грубостеблових культур, таких як соняшник і кукурудза. Після збору матеріал ретельно сортували за розмірами відповідно до затвердженої методики. Виділялися наступні фракції: до 50 мм, 51–100 мм, 101–150 мм, 151–200 мм та понад 201 мм. Такий підхід дозволив об’єктивно оцінити якість подрібнення шляхом аналізу розподілу часток за довжиною.

На рисунку 2.9 – 2.10 наведено відсоток подрібнених стебел соняшника за середньої швидкості руху та схемою 2 розташування кута заточування ножа.



Рисунку 2.9 – Залежність діапазону подрібнення стебел рослинних решток соняшнику від накопиченої частості за значенням 7,45 км/год швидкості руху енергозасобу з котком-подрібнювачем та вертикальних складових сил: 1 – 7,84 кН; 2 – 5,88 кН, за схемою 2 розташування ножів

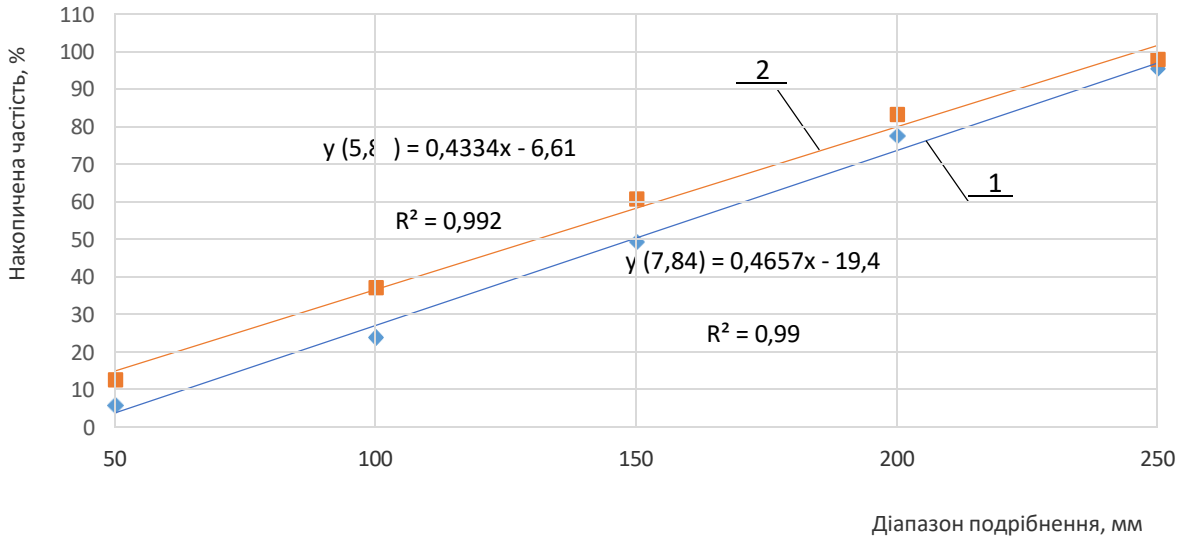


Рисунок 2.10 – Залежність діапазону подрібнення стебел рослинних решток соняшнику від накопиченої частості за значенням 13,6 км/год швидкості руху енергозасобу з котком-подрібнювачем та вертикальних складових сил: 1 – 7,84 кН; 2 – 5,88 кН, за схемою 2 розташування ножів

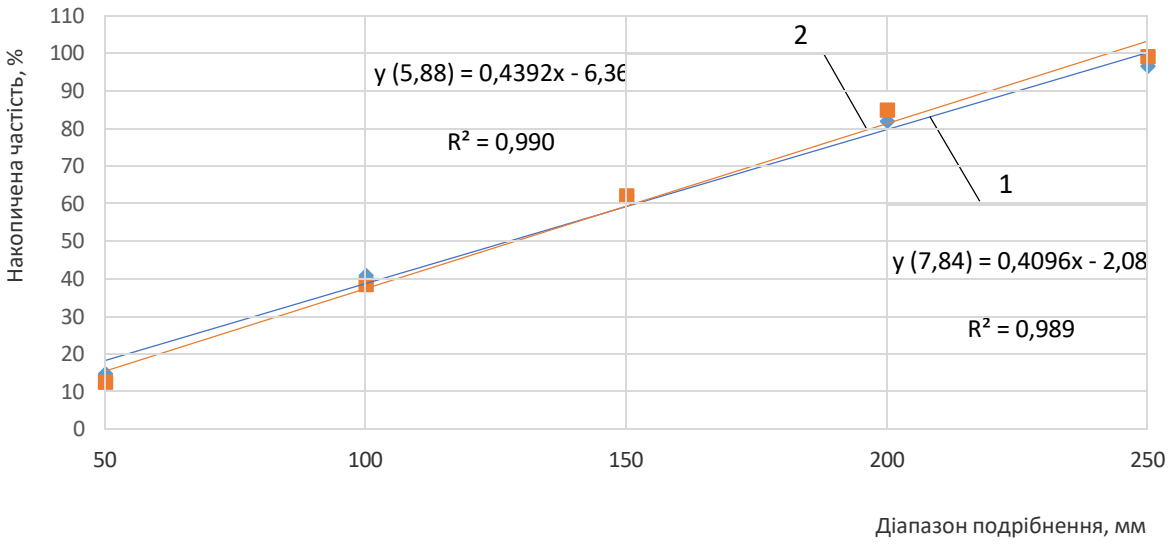


Рисунок 2.11 – Залежність діапазону подрібнення стебел рослинних решток соняшнику від накопиченої частості за значенням 22,0 км/год швидкості руху енергозасобу з котком-подрібнювачем та вертикальних складових сил: 1 – 7,84 кН; 2 – 5,88 кН, за схемою 2 розташування ножів

Підвищення вертикального навантаження на коток до 7,84 кН за швидкості руху 7,45 км/год спричинило зростання частки подрібнених стебел у діапазонах довжин 101–150 мм, 151–200 мм та понад 201 мм. У діапазоні до 50 мм максимальний відсоток подрібнення (20,2%) зафіксовано при швидкості 18,6 км/год для котка з вертикальною силою 7,84 кН.

Найвищий сумарний відсоток подрібнених решток у межах 0–200 мм для цієї сили (84,1%) спостерігався при швидкості 7,45 км/год. Це значення перевищує результати за інших швидкостей: у 1,08 раза більше ніж за 13,6 км/год, у 1,05 раза — за 10,08 км/год, у 1,01 раза — за 18,6 км/год, і в 1,03 раза — за 22,0 км/год.

За умов вертикального навантаження 5,88 кН у діапазоні до 50 мм найбільший відсоток (18,6%) подрібнених часток зафіксовано при швидкості 10,08 км/год. Сумарно, в діапазоні 0–50 мм, результати розподілилися наступним чином:

- 7,45 км/год — 51,6%,
- 10,08 км/год — 72,6%,

- 13,6 км/год — 60,8%,
- 18,6 км/год — 67%,
- 22,0 км/год — 62,2%.

Для вертикальної сили 7,84 кН найбільше значення у діапазоні до 50 мм (20,2%) досягнуто при швидкості 18,6 км/год. Цей показник є вищим у 1,08 раза, ніж відповідне значення для сили 5,88 кН при швидкості 10,08 км/год, і перевищує показники для сили 3,92 кН (12,3%) та відсутності вертикального навантаження (10%).

Максимальні сумарні значення у фракції 0–150 мм були зафіксовані:

- 79,4% — при 7,45 км/год та силі 7,84 кН;
- 72,6% — при 10,08 км/год та силі 5,88 кН;
- 54,7% — при 13,6 км/год і 3,92 кН;
- 43% — при 7,45 км/год без навантаження.

У фракції 0–200 мм:

- 88,5% — при 10,08 км/год (5,88 кН),
- 84,1% — при 7,45 км/год (7,84 кН),
- 79,2% — при 13,6 км/год (3,92 кН),
- 73,1% — при 22,0 км/год без вертикальної сили.

- Найкращі результати для сили 5,88 кН досягнуто при швидкості 10,08 км/год (72,6% у 0–150 мм та 88,5% у 0–200 мм).
- Для сили 7,84 кН найкращі показники спостерігались при 7,45 км/год (79,4% у 0–150 мм та 84,1% у 0–200 мм).
- Без навантаження або при меншій вертикальній складовій результативність подрібнення була суттєво нижчою.

Також встановлено, що при малій швидкості (7,45 км/год) і найбільшому навантаженні (7,84 кН) забезпечується найстабільніший контакт ножів з ґрунтом, що підвищує ефективність подрібнення. При зростанні швидкості спостерігається зниження точності копіювання поверхні, можливе навіть проковзування, що негативно впливає на якість обробки.

Результати поділу фракцій при встановленні схеми 1 розміщення ножів відображено в таблицях 2.1 (для 7,84 кН) та 2.2 (для 5,88 кН).

Таблиця 2.1 – Узагальнені результати досліджень розподілення фракцій решток соняшнику котком-подрібнювачем із вертикальною складовою силою 7,84 кН.

Фракція	7,45 км/год	10,08 км/год	13,6 км/год	18,6 км/год	22,0 км/год
	Відсоток	Відсоток	Відсоток	Відсоток	Відсоток
За схемою 2 розташування ножів					
Менше 50	12,5	13,1	5,9	20,2	14,8
51 – 100	34,7	37,7	23,96	53,6	41
101 – 150	79,4	57,4	49,3	72,6	62,3
151 – 200	84,1	80,3	77,6	83,3	82
Понад 201	97	96,7	95,5	97,6	96,7
За схемою 1 розташування ножів					
Менше 50	12.4	11	13	10,5	15,9
51 – 100	36.5	26	37	32,9	41,3
101 – 150	60.6	37	60	52,6	63,5
151 – 200	84.1	63	85	76,3	85,7
Понад 201	97.3	89	-	96,1	98,4

Аналіз даних, наведених у таблицях 2.1 та 2.2, показує, що в діапазоні часток менше 50 мм найвищий відсоток подрібнення стебел соняшнику (31,6%) спостерігався при швидкості руху 22,0 км/год за вертикального навантаження 5,88 кН.

Збільшення вертикальної складової сили з 5,88 кН до 7,84 кН не забезпечувало стабільного зростання частки подрібнених стебел у досліджених діапазонах швидкості. Наприклад, за швидкості 7,45 км/год частка подрібнених часток при силі 5,88 кН становила 14,5%, тоді як при 7,84 кН — лише 12,4%. Подібна тенденція спостерігалась і на інших швидкостях:

- **10,08 км/год**: 21% (5,88 кН) проти 11% (7,84 кН) — перевага у 1,9 раза;
- **13,6 км/год**: 22,4% проти 15,6% — у 1,44 раза;
- **18,6 км/год**: 28,2% проти 14,4% — у 1,96 раза;
- **22,0 км/год**: 31,6% проти 15,9% — у 1,99 раза.

Зростання швидкості руху, як для навантаження 5,88 кН, так і для 7,84 кН, сприяло збільшенню частки подрібнених стебел. У фракції 51–100 мм найвищі результати зафіксовані при:

- **5,88 кН** — 50,6% при швидкості 13,6 км/год;
- **7,84 кН** — 41,3% при швидкості 22,0 км/год.

Таблиця 2.2 – Узагальнені результати досліджень розподілення фракцій решток соняшнику котком-подрібнювачем із вертикальною складовою силою 5,88 Кн

Фракція	7,45 км/год	10,08 км/год	13,6 км/год	18,6 км/год	22,0 км/год
	відсоток	відсоток	відсоток	відсоток	відсоток
За схемою 2 розташування ножів					
Менше 50	12,9	18,6	12,7	16,4	12,6
51 – 100	38,7	50,4	37,2	43	38,6
101 – 150	51,6	72,6	60,8	67,0	62,2
151 – 200	74,2	88,5	83,3	86,0	85,0
Понад 201	93,5	98,2	98,0	97,5	99,2
За схемою 1 розташування ножів					
Менше 50	14,5	21	18,8	20,6	31,6
51 – 100	30,3	50	50,6	53,2	43,0
101 – 150	56,6	69	75,3	72,3	67,1
151 – 200	81,6	88	90,6	89,4	88,0
Понад 201	96,1	98	98,8	-	98,7

Приріст частки подрібнених стебел при переході з діапазону <50 мм у фракцію 51–100 мм становив від 15% до 25,4%. Найбільший приріст (25,4%) відмічено при навантаженні 7,84 кН і швидкості 22,0 км/год.

Цей приріст перевищив найбільший зафіксований відсоток для того ж самого режиму на 19% (1,19 раза). Варто підкреслити, що в сумарному діапазоні 0–150 мм подрібнювач із вертикальною складовою силою 5,88 кН продемонстрував кращі результати, ніж аналогічна система з навантаженням 7,84 кН.

Таблиця 2.3 – Узагальнені результати досліджень розподілення фракцій решток соняшнику котком-подрібнювачем із вертикальною складовою сили 3,92 кН

Фракція	7,45 км/год	13,6 км/год	22,0 км/год
	відсоток	відсоток	відсоток
Менше 50	10,3	12,3	11,5
51 – 100	28,2	34	30,4
101 – 150	43,6	54,7	45,9
151 – 200	74,4	79,2	75,7
Понад 201	98,7	95,3	99,3

Таблиця 2.4 – Узагальнені результати досліджень розподілення фракцій решток соняшнику котком-подрібнювачем без вертикальної складової сили

Фракція	7,45 км/год	13,6 км/год	22,0 км/год
	відсоток	відсоток	відсоток
Менше 50	8,6	10	6,7
51 – 100	26,6	24,4	23,9
101 – 150	43	33,3	42,5
151 – 200	63,3	63,3	73,1
Понад 201	98,7	95,3	99,3

Аналіз динаміки приросту відсотка подрібнених стебел у встановлених фракційних діапазонах залежно від швидкості руху показує наступні результати:

При вертикальному навантаженні 5,88 кН:

- **7,45 км/год**: 15,8%, 26,3%, 25%, 14,5%;
- **10,08 км/год**: 29%, 19%, 19%, 10%;
- **13,6 км/год**: 31,8%, 24,7%, 15,3%, 8,2%;
- **18,6 км/год**: 32,6%, 19,1%, 17,1%;

- **22,0 км/год**: 11,4%, 24,1%, 20,9%, 10,7%.

Ці дані свідчать про нерівномірний приріст у межах діапазонів, що може бути пов’язано з нестабільністю контакту ножів із середовищем при зміні швидкості руху.

Для навантаження 7,84 кН спостерігається більш рівномірний розподіл:

- **7,45 км/год**: 24,1%, 24,1%, 23,5%, 13,2%;
- **10,08 км/год**: 15%, 11%, 26%, 26%;
- **13,6 км/год**: 24%, 23%, 25%;
- **18,6 км/год**: 22,4%, 19,7%, 23,7%, 19,8%;
- **22,0 км/год**: 25,4%, 22,2%, 22,2%, 12,7%.

Зазначене свідчить про чітко виражену рівномірність подрібнення стебел у діапазоні до 200 мм при збільшеному навантаженні (7,84 кН) на всіх швидкостях. Водночас, кількість часток у фракції понад 201 мм при цьому навантаженні істотно менша порівняно з результатами за 5,88 кН.

Таким чином, підвищення вертикальної складової сили з 5,88 до 7,84 кН забезпечує не тільки кращу рівномірність подрібнення у фракціях до 200 мм, а й зменшує частку надто довгих решток (понад 201 мм). У середньому, це дозволяє підвищити сумарний рівень подрібнення у діапазоні 0–201 мм у 1,5 раза у порівнянні з результатами для навантаження 5,88 кН.

2.3 Результати досліджень з визначення впливу розташування кута заточення ножа на показники якості подрібнення стебел соняшнику

Аналіз результатів, наведених у таблицях 2.1–2.4, свідчить про підвищення ефективності подрібнення при застосуванні схеми 2 розташування ножів на барабані котка. Незалежно від досліджуваного інтервалу, ця схема демонструвала вищі показники відсотку подрібнених фракцій порівняно зі схемою 1.

Зокрема:

- у фракції **до 50 мм** середній відсоток подрібнених часток за схемою 2 становив **12,46%**, тоді як за схемою 1 — **10,52%**;
- у діапазоні **51–100 мм** — **34,7%** (схема 2) проти **30,2%** (схема 1);
- у межах **101–150 мм** — **62,4%** проти **52,9%** відповідно.

Сумарно у фракційному діапазоні **0–150 мм** перевищення ефективності подрібнення за схемою 2 становило близько **18%**.

Загальна перевага схеми 2 над схемою 1 за всіма досліджуваними інтервалами в середньому склала **4%**, що є суттєвим з огляду на технологічну доцільність її використання. Зазначені показники отримано при вертикальному навантаженні **7,84 кН** та швидкості руху **7,45 км/год** — умовах, що забезпечують стабільний контакт ножів із середовищем.

Висновки

Результати експериментальних досліджень засвідчили, що у фракційному діапазоні до 50 мм частка подрібнених стебел кукурудзи та соняшнику була вищою у випадках, коли кут заточування ножів був спрямований у бік, протилежний до напрямку обертання. У порівнянні з ножами, заточеними за напрямком обертання, перевищення становило:

- **20%** відносно загальної кількості часток;
- **58%** — у розрахунку на загальну масу подрібнених фрагментів.

Максимальне значення накопиченої ймовірності подрібнення стебел соняшнику у межах 0–150 мм досягнуто при швидкості 7,45 км/год і вертикальному навантаженні 7,84 кН. Це значення було:

- у **1,09 раза** вищим, ніж за 5,88 кН при 10,08 км/год;
- у **1,45 раза** — порівняно з 3,92 кН при 13,6 км/год;
- у **1,85 раза** — вище за показники без додаткового навантаження при тій же швидкості (7,45 км/год).

На всіх досліджених швидкостях за умови вертикальної складової сили 7,84 кН спостерігалося вище математичне сподівання розподілу часток у ножів із заточуванням *у напрямку обертання*. Проте, найнижче математичне сподівання серед ножів з протилежним напрямком заточування було зафіксовано при швидкості 18,6 км/год. Різниця між цим значенням і найбільшим математичним сподіванням для ножів із протилежною заточкою склала 41%, що свідчить про помітну залежність якості подрібнення від геометрії леза та умов його взаємодії з середовищем.

Зростання вертикальної складової сили спричинило відповідне підвищення середнього тягового опору на всіх досліджуваних швидкостях. При фіксованих значеннях швидкості було зафіксовано збільшення тягового опору внаслідок підвищення вертикальної складової сили. Різниця між теоретичними значеннями рушійної сили та експериментально визначеними середніми значеннями тягового зусилля при швидкості 13,6 км/год становила 13,7%. За результатами експериментів встановлено, що в комбінованого агрегата, у якого кут заточування ножів котка спрямований у протилежний бік від напрямку його обертання, середня кількість подрібнених часток стебел кукурудзи довжиною до 50 мм була на 13,6% більшою порівняно з агрегатом, у якого кут заточування ножів збігається з напрямком обертання.

РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1. Загальні положення

Забезпечення безпечних умов праці є важливою складовою будь-якої виробничої діяльності, особливо у сфері сільськогосподарського машинобудування та експлуатації ґрунтообробної техніки. Робота котка-подрібнювача, оснащеного ножами, вимагає підвищеної уваги до безпеки, оскільки поєднує в собі динамічні механічні процеси, взаємодію з ґрунтом та потенційно травмонебезпечні елементи. Метою даного розділу є аналіз факторів ризику, пов’язаних із роботою котка-подрібнювача за умов його кочення по ґрунту, та розробка заходів щодо створення безпечних умов праці.

3.2. Ідентифікація шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Під час експлуатації котка-подрібнювача в польових умовах можуть виникати наступні небезпечні та шкідливі фактори:

- Механічні травми — контакт з ножами котка під час обслуговування або ремонту, особливо в разі їх обертання чи застрягання в ґрунті.
- Рухомі та обертові частини — високий ризик потрапляння одягу або кінцівок до зони дії обертових ножів.
- Нестійкість агрегата на ґрунті — на нерівній місцевості можливі просідання, ковзання або перекидання агрегата.
- Шум і вібрації — постійна дія на оператора протягом робочого дня може спричинити хронічне перевантаження слухового апарату та нервової системи.
- Запилення повітря — при роботі на сухих ґрунтах можливе утворення пилу, що може призводити до респіраторних захворювань.
- Високий рівень фізичних навантажень — при ручному обслуговуванні чи заміні ножів.

- Хімічні ризики — у разі обробки посівів пестицидами до роботи агрегата.

3.3. Заходи безпеки

Щоб забезпечити безпечні умови праці під час роботи з котком-подрібнювачем, необхідно дотримуватись таких заходів:

- Перед початком роботи**:**
  - Провести технічний огляд агрегата, перевірити кріплення ножів та справність механізмів.
  - Провести інструктаж з охорони праці для операторів і технічного персоналу.
  - Перевірити наявність засобів індивідуального захисту (ЗІЗ).
- Під час роботи**:**
  - Заборонено перебування сторонніх осіб в радіусі дії агрегата.
  - Оператор повинен слідкувати за рівномірністю руху агрегата та відсутністю сторонніх предметів у зоні подрібнення.
  - При виявленні незвичних шумів або вібрацій негайно зупинити агрегат і перевірити його технічний стан.
- Після завершення роботи**:**
  - Зупинити агрегат, дочекатися повної зупинки обертових елементів.
  - Провести очищення та технічний огляд за умови повного вимкнення живлення.
  - Зберігати агрегат у спеціально відведеному місці, захищеному від вологи та доступу неуповноважених осіб.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)ператор та обслуговуючий персонал повинні бути забезпечені:

Засіб захисту	***Призначення***
Спецодяг	Захист від порізів, пилу
Захисні окуляри або щиток	Захист очей від частинок та пилу
Проти пиловий респіратор	Захист дихальних шляхів
Протишумові навушники	Захист слуху
Рукавиці з захистом від порізів	Захист при заміні ножів

3.4. Висновки до розділу

Аналіз умов праці при експлуатації котка-подрібнювача вказує на наявність комплексу небезпечних факторів, що потребують системного підходу до їх усунення або мінімізації. Запропоновані технічні, організаційні та санітарно-гігієнічні заходи спрямовані на підвищення безпеки оператора та ефективності функціонування агрегата. Дотримання вимог охорони праці є обов’язковою умовою для недопущення нещасних випадків та збереження здоров’я працівників.

РОЗДІЛ 4
ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНОВАНИХ АГРЕГАТІВ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ І ЗАГОРТАННЯ ПОЖНИВНИХ РЕШТОК ГРУБОСТЕБЛОВИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Використання котків-подрібнювачів як ґрунтообробного знаряддя, яке забезпечує подрібнення та часткове загортання рослинних решток, вирівнювання поверхні поля, знищення сходів бур’янів і виправлення недоліків попередніх агротехнічних операцій, є ефективним прийомом, що сприяє підвищенню продуктивності рільництва. Така обробка позитивно впливає на водний режим ґрунту, що має важливе значення у фазах активного росту й розвитку культурних рослин.

Одним із ключових параметрів, який визначає ефективність дії котка-подрібнювача, є навантаження на одиницю ширини захвату, що вимірюється у кг/см. Цей показник характеризує здатність агрегата руйнувати та обробляти ґрунт. Підвищення інтенсивності дії досягається шляхом додаткового вертикального навантаження, тобто збільшенням вертикальної складової прикладеної сили.

Таблиця 4.1 – Аналіз значень інтенсивності зусиль котків-подрібнювачів

№ п/п	Марка знаряддя, виробник	Ширина захоплення, м	Діаметр барабана, мм	Маса без довантаження/маса з додатковим вертикальним довантаженням, кг/кг
1	2	3	4	5
1	Коток-подрібнювач "Орехівсільмаш"	6		2200/2500
2	КПС-6.0-01 (05КРН-6П)	6	680	2300/2600
3	ППР-6 (Деметра)	6		1800/2100
4	КП-6-560П "ТОВ Апостолівагромаш"	6	560	1800/2250
5	КП-4.5 ПП Савицький М.І.	4,5	800	4100/4550
6	Експериментальний Коток-подрібнювач	4,2	330	1250/2050

До основних переваг експериментального котка-подрібнювача варто віднести можливість завдяки зміненню у широкому діапазоні вертикальних складових сил варіювати режими роботи знаряддя.

До ключових переваг експериментального котка-подрібнювача належить здатність варіювати режими його роботи завдяки широкому діапазону регулювання вертикальної складової сили, що прикладається до знаряддя. Така конструктивна особливість забезпечує гнучкість в експлуатації та дозволяє досягати максимального руйнівного впливу на рослинно-ґрунтове середовище за умови раціонального вибору наперед заданого значення вертикального навантаження.

Однією з конструктивних переваг також є спрощена процедура заповнення довантажувальної ємності робочою рідиною — завдяки наявності чітко промаркованих позначок оператор легко може забезпечити необхідне значення додаткового навантаження.

Раціональний підбір значень вертикальної складової сили відповідно до фізико-механічного стану ґрунту та кількості рослинних решток дозволяє істотно знизити витрати пального (енерговитрати) під час виконання технологічних операцій подрібнення та часткового загортання післяжнивних залишків, при цьому зберігаючи високий рівень якості обробітку.

Річний економічний ефект від експлуатації ХТЗ-17221.09 + БДВП-3,8 + коток-подрібнювач з урахуванням кількості та якості виконаних технологічних операцій ($E_р$) у гривнях визначали за формулою [12]:

$$E_р = [(Н_б + КЕ_{нб}) - (Н_н + КЕ_{нн})] \cdot В_З =$$
$$[(3889,6 - 2831,3)] \cdot 529,2 = 560052,4 \text{грн.}$$

$В_з$ – річний обсяг наробітку новою машиною, га;

$К$ – коефіцієнт ефективності (за прийнятими нормативами для механізації сільського господарства беруть у межах 0,15-0,20)

$H_б, H_н$ – сукупні витрати на одиницю наробітку, по базовій і новій машині, грн./од.наробітку;

$E_{нб}, E_{нн}$ – прямі капітальні вкладення базової та нової машини, грн/га.

Таким чином, річний економічний ефект від експлуатації комбінованого агрегата з урахуванням кількості і якості продукції буде складати 560052,4 грн.

Результати розрахунків наведено у таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Ефективність застосування комбінованого агрегата, що містить БДВП-3,8 + коток-подрібнювач

Показник	Варіанти для порівняння			
	ХТЗ-17221.09 + БДВП-3,8 + коток	ХТЗ-17221.09 + БДВП-3,8	МТЗ-82.1.26 + коток	3 + 4
1	2	3	4	5
Базова ціна машини, грн	1800+710	1800+530	860+180	
Загальне річне завантаження, год - на подрібненні стебел соняшнику - на подрібненні стебел кукурудзи	90 140	90 140	90 140	
Швидкість руху, км/год	12	12	12	
Річний обсяг наробітку в одиницях наробітку, га - на подрібненні стебел кукурудзи	241	241	241	
Заробітна плата, грн/га	15,6	15,6	14,44	30,04
Амортизаційні відрахування на реновацію, грн/га.	1481,29	1324,14	739,94	2064,08
Відрахування на ремонт і ТО, грн/га	188,66	163,01	45,54	208,55
Затрати на ПММ, грн/га	434,28	429,34	202,33	631,67
Прямі експлуатаційні затрати, грн/га	**2119,83**	**1932,10**	**1002,1**	**2934,1**
Прямі капітальні вкладення, грн/га	457	457	207	664
Прямі затрати, грн/га	2576,83	2389,1	1209,26	3598,36
Річний економічний ефект, одержаний за рахунок змінення кількості та якості продукції із розрахунку на 1 га, грн/га	**814,27**			

Ефективність застосування такого знаряддя підтверджується результатами виробничих досліджень: використання комбінованого агрегата ХТЗ-17221.09 + БДВП-3,8 + коток-подрібнювач для виконання операцій подрібнення та загортання рослинних решток грубостеблових сільськогосподарських культур дозволяє досягти економії паливно-мастильних матеріалів на рівні **45,5%** у порівнянні з поопераційним виконанням тих самих операцій окремими агрегатами — спочатку МТЗ-82.1.26 + коток, а потім ХТЗ-17221.09 + БДВП-3,8.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У ході проведених досліджень взаємодії ножів котка-подрібнювача з рослинно-ґрунтовим середовищем отримано такі основні наукові результати та практичні висновки:

1. Інтенсивність технологічного процесу подрібнення та загортання часток грубостеблових рослин безпосередньо залежить від конструкційно-технологічної схеми знаряддя. Зокрема, ефективність обробки зростає за раціонального поєднання геометричних параметрів ножів та режимів роботи агрегата.

2. Обґрунтовано оптимальні конструкційні та технологічні параметри котка-подрібнювача, які забезпечують високу якість подрібнення:– радіус барабана — у межах 0,15–0,20 м;– кількість рядів ножів на барабані — 6 шт.;– висота ножів — 8 см.

3. Установлено ефективність зворотного заточування ножів: за умови, коли кут заточування ножів орієнтовано у бік, протилежний напрямку обертання барабана, спостерігається покращення якості подрібнення. У діапазоні довжини часток до 50 мм кількість подрібнених стебел кукурудзи та соняшнику зросла на 20% від загальної кількості та на 58% — від загальної маси в порівнянні з традиційною орієнтацією заточування.

4. Максимальна накопичена ймовірність подрібнення стебел соняшнику у межах довжини часток до 150 мм досягнута за швидкості руху агрегата 7,45 км/год і вертикальної складової сили 7,84 кН, що свідчить про високу ефективність такого режиму роботи.

5. За однакових умов роботи, у комбінованого агрегата, ножі якого мають зворотне заточування, середня кількість подрібнених часток стебел кукурудзи довжиною до 50 мм виявилася на 13,6% більшою, ніж у агрегата з традиційним напрямком заточування ножів.

6. Річний економічний ефект від застосування комбінованого агрегата (ХТЗ-17221.09 + БДВП-3,8 + коток-подрібнювач) при виконанні операцій подрібнення і загортання рослинних решток грубостеблових культур становить 814,3 грн/га. Така ефективність досягається завдяки зменшенню кількості проходів техніки, зниженню енергоспоживання та підвищенню якості обробітку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адамчук В. В., Сидорчук О. В., Днесь В. І. Стратегічний напрям розвитку вітчизняної агроінженерної системи. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. – Глеваха, 2016. Вип 4 с. 10 – 19.

2. Бабицький Л. Ф. Теоретичне визначення параметрів противаги ножа торсіонно-ударного розпушувача ґрунту. *ВІСНИК Полтавської державної аграрної академії.* 2011. №4. С. 151 – 155.

3. Баєв І. В. Обґрунтування параметрів різака-мульчувача рослин. *Механізація та електрифікація сільського господарства* : зб. наук. пр. Глеваха, 2010. Вип.94. С. 139 – 149.

4. Бевз М. І. Удосконалена конструкція котка-подрібнювача рослинних решток. *Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції :* матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (11-13 квітня 2018 р. м. Кропивницький). Кропивницький: ЦНТУ. 2018. С. 28 – 35. Режим доступу: http://www.kntu.kr.ua/doc/zbirnyki/teachers/2018/4.pdf (дата звернення: 14.03.2020)

5. Безуглий, М. Д., Гриник, І. В., Булгаков, В. М. Науково-практичні підходи до використання соломи та рослинних решток. *Вісник аграрної науки*. 2010. №3. С. 5 – 8.

6. Безуглий М. Д., Адамчук В. В. Стратегія техніко-технологічного переоснащення агропромислового виробництва. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. – Глеваха, 2011. Вип 95 с. 12-27.

7. Богатирьов Д. В. Обґрунтування перспективних напрямів конструкцій подрібнювачів рослинних решток / Д. В. Богатирьов, В. М. Сало, В. І. Носуленко, Д. В. Мартиненко. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*: Зб. наук. праць. Кіровоград: КНТУ, 2012. Вип. 42. С. 39 – 44.

8. Васильковський О. М., Лещенко С. М., Васильковська К. В., Петренко Д. І. Підручник дослідника: навч. посібник. Х.: Мачулін, 2016. 204 с.

9. Василенко М. О., Буслаєв Д. О., Матвійченко В. С. Покращення ресурсних показників відновлення робочих органів ґрунтообробних машин. «*Механізация та електрифікація сільского господарства*». Глеваха, 2012. Вип 96 с. 533-541

10. Васильчук Н. В. Огляд новітніх конструкцій жаток для збирання соняшнику. *Сільськогосподарські машини.* – Луцьк, 2021. Вип 47, с. 15-24. https://doi.org/10.36910/acm.vi47.617

11. Васильчук Н. В. Дослідження площинного розподілу стебел соняшнику на полі в залежності від висоти. *Сільськогосподарські машини.* – Луцьк, 2018. Вип 40, с. 16-21

12. Василенко М. О., Буслаєв Д. О., Калінін О. Є., Кононогов Ю. А. Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин, адаптованих до ґрунтів різних типів. «*Механізация та електрифікація сільского господарства*». Глеваха, 2018. Вип 7(106) с. 164-172.

13. Василенко М. О., Буслаєв Д. О., Калінін О. Є., Кононогов Ю. А. Обґрунтування способів та матеріалів для кріплення змінних зносостійких елементів до поверхонь ґрунтообробних робочих органів для підвищення їхньої довговічності. «*Механізация та електрифікація сільского господарства*». Глеваха, 2018. Вип 8 с. 190-197.

14. Гуков Я. С. Механіко-технологічне обгрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку грунту в умовах України : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.20.01 / Я.С. Гуков ; Ін-т механізації та електрифікації сіл. госп-ва, Укр. акад. аграр. наук. - К., 1998. - 386 с.

15. Давидюк В. Експериментальні дослідження мульчування ґрунту фрагментами стебел кукурудзи дисковим знаряддям. *Техніко-технологічн іаспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*: зб. наук. пр. Дослідницьке, 2014.

16. Ермантраут Е. Р., Малиновський А. С., Дідора В. Г. Методика наукових досліджень в агрономії: навч. посіб. Житомир: ЖНАЕУ 2010. 124 с.

17. Заєць М. Л. Результати дослідження впливу рівномірності розподілу пожнивних решток на глибину сівби та урожайність сільськогосподарських культур. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*: зб. наук. пр. Кіровоград, 2021р. Вип. 51. С. 36 – 45.

18. Іващенко О. О. Шляхи адаптації землеробства в умовах зміни клімату. *Вісник аграрної науки*. 2008. № 4. С. 15 – 21.