

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ
ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З.ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ
ІМЕНІ ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: «Обґрунтування параметрів парового культиватора КПК-4 для виконання
основного обробітку ґрунту»

Виконав: студент VI курсу групи Аін-61

Спеціальності 208 «Агроінженерія»
(шифр і назва)

Павло БУРДАН
(Ім'я та прізвище)

Керівник: д.ф., доцент Оксана БЕРЕЗОВЕЦЬКА
(Ім'я та прізвище)

ДУБЛЯНИ 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ
ІМЕНІ ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА

Освітній Ступінь «Магістр»
Спеціальність 208 «Агроінженерія»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____
(підпис)

к.т.н., доцент Шарибура А.О.
“ ” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу студенту

БУРДАН ПАВЛУ АНДРІЙОВИЧУ

1. Тема роботи: «Обґрунтування параметрів парового культиватора КПК-4 для виконання основного обробітку ґрунту»

Керівник роботи: Березовецька Оксана Георгіївна, д. ф., в.о. доцента
Затверджена наказом по університету №140/к-с від 28.02.2025 року

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 10.12.2025 року

3. Вихідні дані до роботи: технічні характеристики культиватора КПК-4; ширина захвату агрегату – 4 м; робоча швидкість руху - до 12 км/год; продуктивність – 2,5...4,5 га/год; глибина обробітку до 25 см; кількість обслуговуючого персоналу – 1 особа; питомий опір ґрунту – 15 кН/м; довідкова література, каталоги, методики, інструкції з охорони праці.

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

4.1. Стан питання і завдання досліджень

4.2. Обґрунтування конструкції та параметрів модернізованого культиватора

4.3. Дослідження роботи котків комбінованого агрегата

4.4. Охорона праці та захист довкілля

Висновки і пропозиції

5. Перелік графічного ілюстраційного матеріалу:

Графічна частина до кваліфікаційної роботи оформляється у вигляді презентації.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3	<i>Березовецька О.Г., д.ф., в.о. доцента кафедри агроінженерії та технічного сервісу ім. проф. О. Семковича</i>			
4	<i>Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва</i>			

7. Дата видачі завдання «28» лютого 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	<i>Стан питання та задачі досліджень</i>	28.02.25-25.04.25	
2	<i>Обґрунтування конструкції та параметрів модернізованого культиватора</i>	28.04.25-27.06.25	
3	<i>Дослідження роботи котків комбінованого агрегата</i>	30.06.25-29.08.25	
4	<i>Охорона праці та захист довкілля</i>	01.09.25-26.09.25	
5	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	29.09.25-31.10.25	
6	<i>Оформлення графічної частини</i>	03.11.24-10.12.25	

Студент _____ Павло БУРДАН
(підпис)

Керівник роботи _____ Оксана БЕРЕЗОВЕЦЬКА
(підпис)

УДК 631.316:62-83

Обґрунтування параметрів парового культиватора КПК-4 для виконання основного обробітку ґрунту.

Бурдан П.А. Кафедра агроінженерії та технічного сервісу імені Олександра Семковича. Дубляни, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, 2025.

64 стор., табл. 2; рис. 17; бібліогр. джерел 15.

У даній кваліфікаційній магістерській роботі викладено теоретичні основи безполицевого обробітку ґрунту та обґрунтовано доцільність використання комбінованих ґрунтообробних агрегатів у системі сучасного землеробства. Проведено аналіз існуючих конструкцій культиваторів і комбінованих агрегатів, їхніх технічних характеристик, а також методів інженерних розрахунків робочих органів. Розглянуто шляхи вдосконалення базової конструкції парового культиватора КПК-4 та запропоновано конструктивні зміни, спрямовані на підвищення якості основного обробітку ґрунту.

Розглянуто методики розрахунку, конструктивні особливості та геометричні параметри робочих органів культиватора і прикочувальних рубчастих котків, а також їхній вплив на ефективність процесів розпушування, подрібнення грудок, вирівнювання та ущільнення ґрунту. Запропоновано оптимальні параметри котків і схему їх розміщення в складі комбінованого агрегата, що забезпечує формування якісного посівного ложа, збереження вологи та покращення агрофізичних властивостей орного шару.

Проведено аналіз виробничих небезпек під час експлуатації культиватора КПК-4 у складі машинно-тракторного агрегата, оцінено рівні запиленості, шуму та вібрації, а також обґрунтовано заходи з охорони праці та захисту довкілля, спрямовані на зниження ризиків травматизму та негативного впливу на навколишнє середовище.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	9
1.1. Аналіз знарядь для обробітку ґрунту	9
1.2. Об'єкт проєктування	23
1.3. Обґрунтування теми магістерської кваліфікаційної роботи.....	25
Висновки до розділу 1	26
2. ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПАРАМЕТРІВ МОДЕРНІЗОВАНОГО ПАРОВОГО КУЛЬТИВАТОРА КПК-4.....	27
2.1. Обґрунтування зміни розробленої конструкції парового культиватора	27
2.2 Розрахунки параметрів робочих органів модернізованого парового культиватора КПК-4.....	30
2.3. Обґрунтування параметрів удосконаленого механізму культиватора	35
Висновки до розділу 2	39
3. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КОТКІВ КОМБІНОВАНОГО АГРЕГАТА НА БАЗІ КУЛЬТИВАТОРА КПК-4.....	41
3.1. Агротехнічна доцільність використання комбінованих агрегатів на базі культиватора КПК-4.....	41
3.2. Обґрунтування параметрів котків у складі комбінованого культиватора	43
3.3 Взаємодія удосконаленого культиваторного котка з ґрунтовою грудкою в процесі перекочування.....	44
3.4 Динаміка руху котка та умови виникнення ковзання	48
3.5 Взаємодія поверхні котка з ґрунтом при ущільненні	50
Висновки до розділу 3	53
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ	56
4.1 Загальні положення з охорони праці.....	56
4.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори	56

4.3 Заходи безпеки перед початком роботи.....	57
4.4 Вимоги безпеки під час виконання робіт	57
4.5 Вимоги безпеки після закінчення роботи	58
4.6 Заходи з охорони навколишнього середовища	58
4.7 Захист ґрунтів від деградації.....	59
4.8 Оцінка рівня запиленості, шуму та вібрації при роботі культиватора КПК-4 у агрегаті з трактором ХТЗ-17021	59
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	63

ВСТУП

Сучасне землеробство характеризується широким використанням енергоємних і ресурсоємних технологій вирощування сільськогосподарських культур, більшість із яких сформувалися ще понад століття тому. Основою таких технологій є перевертання пласта ґрунту під час обробітку, що призводить до руйнування його природної структури, втрати вологи, органічної речовини та мікробіологічної активності. Унаслідок цього погіршуються фізико-хімічні властивості ґрунту, зменшується його родючість і знижується екологічна стійкість.

Традиційна технологія полицевого обробітку ґрунту передбачала повне загортання післяжнивних решток, що порушує природні процеси ґрунтоутворення. Натомість сучасні безполицеві технології пропонують залишати рослинні рештки на поверхні поля у вигляді мульчі. Такий підхід сприяє збереженню структури ґрунту, накопиченню вологи, зменшенню випаровування, активізації корисної мікрофлори та покращенню повітряно-водного режиму орного шару.

Однією з найгостріших проблем сучасного землеробства є прогресуюча деградація орних земель, зумовлена нераціональним використанням техніки, надмірним ущільненням ґрунту, інтенсивним застосуванням полицевого обробітку та впливом змін клімату. Зростання частоти посух, інтенсивності опадів і вітрових навантажень призводить до посилення водної та вітрової ерозій. Для запобігання цим процесам усе ширше впроваджуються технології мінімального та нульового обробітку, що забезпечують збереження рослинних решток і утворення захисного покриву на поверхні поля.

Такі екологічно орієнтовані підходи потребують відповідного технічного забезпечення.

Машини й знаряддя для безполицевого обробітку повинні не лише ефективно розпушувати ґрунт на необхідну глибину, а й забезпечувати рівномірний розподіл решток, запобігаючи надмірному ущільненню. Саме тому особливого значення набуває вдосконалення конструкцій культиваторів, які виконують основний обробіток у системі безполицевого землеробства.

Вітчизняна с.г техніка, орієнтована на потреби аграрного сектору, має спрямовувати свої зусилля на створення енергоощадних, технологічно надійних і екологічно безпечних машин. Нові розробки повинні враховувати агрофізичні властивості ґрунтів різних регіонів України, особливості клімату та сучасні вимоги агротехнологій. Використання традиційних полицевих плугів у сучасних умовах не забезпечує належної якості обробітку, що підтверджено численними науковими дослідженнями. Тому перехід до безполицевої системи, зокрема із застосуванням парових культиваторів, є науково обґрунтованим і економічно доцільним.

Актуальність теми дослідження полягає у необхідності вдосконалення конструкції парового культиватора КПК-4 для забезпечення високої якості обробітку ґрунту, зменшення енерговитрат, підвищення продуктивності машинно-тракторних агрегатів і покращення екологічних показників технологічного процесу.

Об'єкт дослідження - процес основного обробітку ґрунту під час роботи парового культиватора.

Предмет дослідження - параметри та конструктивні особливості робочих органів культиватора КПК-4, що впливають на якість обробітку ґрунту.

Мета роботи - обґрунтування оптимальних параметрів і удосконалення конструкції парового культиватора КПК-4 для ефективного виконання основного обробітку ґрунту в умовах сучасного землеробства.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналіз знарядь для обробітку ґрунту

Комбіновані ґрунтообробні машини та агрегати призначені для виконання кількох технологічних операцій одночасно або послідовно під час підготовки ґрунту до сівби сільськогосподарських культур. Такий підхід дає змогу підвищити ефективність використання енергетичних засобів, із якими агрегуються знаряддя, що особливо важливо при проведенні малоефективних або енергозатратних операцій.

Застосування комбінованих агрегатів є доцільним також на полях зі складним рельєфом, де використання великогабаритних одноопераційних машин утруднене або економічно невиправдане.

Зменшення кількості проходів агрегатів по полю позитивно впливає на структуру ґрунту, знижує рівень його ущільнення, скорочує втрати часу на холості ходи та переїзди між ділянками. Крім того, це сприяє зменшенню непродуктивних енергетичних витрат під час транспортування агрегатів та руху тракторів.

Під час проектування або комбінування ґрунтообробних машин в єдиний агрегат необхідно враховувати низку важливих чинників [4, 5, 8, 10]: терміни виконання польових робіт, погодні умови, технічну придатність і наявність відповідних енергетичних засобів, а також конструктивну сумісність робочих органів ґрунтообробних і посівних машин.

Комбіновані агрегати дають змогу поєднувати декілька технологічних операцій за один прохід поля. Зокрема, можливо одночасно здійснювати основний обробіток із внесенням добрив або меліорантів, проводити комплекс передпосівного обробітку, а також поєднувати передпосівне розпушування із сівбою культур.

У кожному з цих напрямів створено низку конструкцій комбінованих машин, які вже знайшли широке застосування на практиці, проте потенціал їх вдосконалення залишається значним.

Удосконалення може стосуватися як раціональнішої комплектності робочих органів, так і покращення енергоефективності, зниження тягового опору та підвищення якості виконання технологічних операцій.

Одними з найпоширеніших у вітчизняному виробництві є комбіновані агрегати для основного обробітку ґрунту, які поєднують декілька типів робочих органів. Наприклад, комбінований агрегат типу АКП - 5 (рис. 1.1) застосовується для поверхневого безполицевого обробітку ґрунту на глибину 8-14 см, залежно від типу ґрунту та агротехнічних вимог, розпушуючи верхній шар ґрунту без обертання пласта, знищуючи бур'яни, закриває вологу, а також підготовлює поле під сівби або другий обробіток стерні після жнив. Його використовують при підготовці поля під посів озимих культур, післяжнивних і післяукісних посівів після непарових попередників.

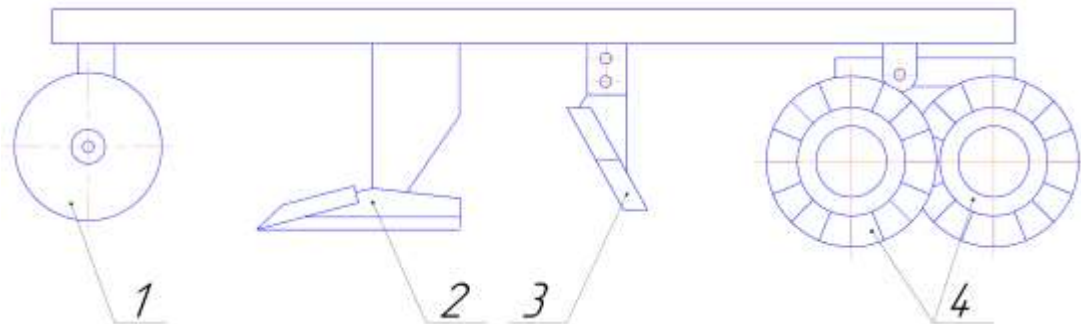


Рисунок 1.1 – Схема розташування робочих органів комбінованого агрегату типу АКП - 5

1 - дисковий лушпильник, який здійснює поверхневе різання та часткове перемішування рослинних решток; 2 - плоскорізальні лапи, що розпушують ґрунт на задану глибину без його обертання; 3 - вирівнювальний шлейф, який забезпечує остаточне планування поверхні; 4 - кільчасто-шпорові котки, що виконують прикочування та подрібнення грудок.

За один прохід агрегат АКП - 5 здійснює розпушування верхнього шару ґрунту, часткове вирівнювання поверхні та розподіл рослинних решток, що забезпечує якісне підготування посівного ложа, виконуючи цілу низку технологічних операцій: розпушує верхній і нижній шари ґрунту з одночасним повним підрізанням бур'янів і післяжнивних решток; ущільнює нижній шар, забезпечуючи якісне прикочування; подрібнює грудки й брили у верхньому горизонті; розпушує дрібнозернисту фракцію та вирівнює поверхню поля. Завдяки комплексній дії робочих органів досягається висока якість обробітку й оптимальні умови для проростання насіння та розвитку рослин.

Для виконання кожної з технологічних операцій у складі агрегату передбачено окремий тип робочих органів [3, 6].

Комбіновані агрегати подібного типу забезпечують зменшення кількості проходів по полю, покращують структуру ґрунту та скорочують енергетичні витрати. Для поверхневого та передпосівного обробітку найчастіше застосовують машини комбінованої дії, які можуть бути створені за принципом агрегатів типу «Європак» (рис. 1.2). Такі знаряддя поєднують у собі елементи розпушування, вирівнювання, коткування і підготовки посівного ложа, що дозволяє проводити кілька технологічних процесів одночасно та підвищує загальну продуктивність польових робіт. Ці агрегати відзначаються високою продуктивністю, можливістю адаптації до різних типів ґрунтів і здатністю забезпечувати однорідну структуру поверхневого шару. Їх використання дозволяє скоротити кількість технологічних проходів, підвищити якість передпосівного обробітку та зменшити витрати енергоресурсів. Для якісного передпосівного обробітку ґрунту в сучасному землеробстві широко застосовуються комбіновані агрегати типу «Європак», які поєднують у своїй конструкції декілька функціональних вузлів і робочих органів. Завдяки цьому забезпечується комплексна дія на ґрунт - від розпушування до вирівнювання й остаточного ущільнення верхнього шару.

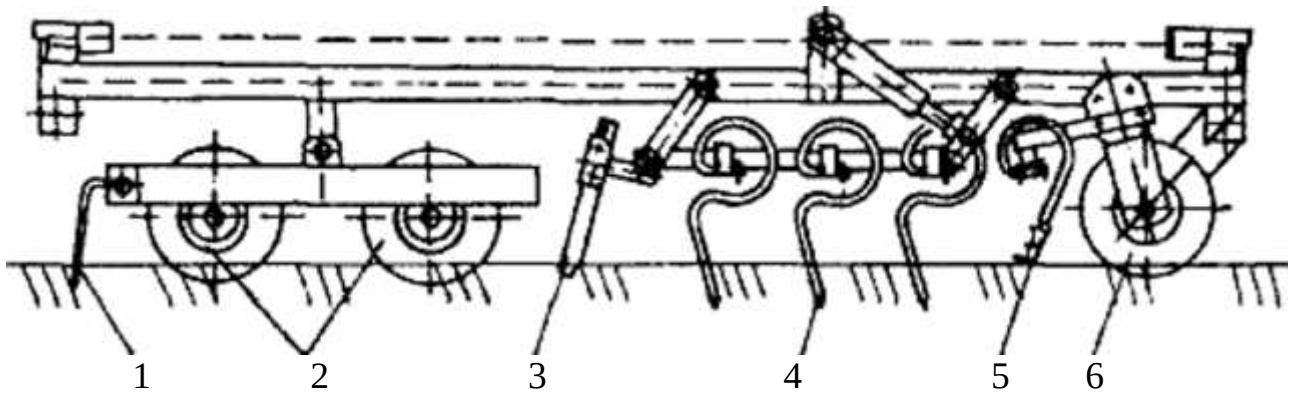


Рисунок 1.2 - Схема розміщення робочих органів комбінованого ґрунтообробного агрегату типу «Європак» [2]

У конструкцію агрегатів цього типу входять такі основні робочі елементи: 1 - розпушувальний коток, який забезпечує подрібнення грудок і попереднє вирівнювання поверхні; 2 - фронтальна волокуша на пружинному стояку, що розрівнює мікронерівності та частково руйнує ущільнені ділянки; 3 - пружинні розпушувальні зуби, призначені для інтенсивного обробітку верхнього шару ґрунту з перемішуванням рослинних решток; 4 - центральна волокуша, яка остаточно вирівнює поверхню поля після основного розпушування; 5 - тандемний розпушувальний коток, що забезпечує ущільнення та формування оптимальної структури посівного ложа; 6 - легкі пружинні зуби, які виконують фінішне кришіння ґрунту й дрібне планування поверхні.

Багатоопераційний ґрунтообробний агрегат АМП-3 (рис. 1.3, а) призначений для безвідвального обробітку ґрунту в усі періоди виконання польових робіт. Його застосовують під час підготовки ґрунту до сівби озимих, ярих і післяукісних культур, при зяблевому обробітку, весняній підготовці ґрунту, а також для обробітку парів [1].

За один прохід агрегат забезпечує обробіток ґрунту на глибину від 8 до 18 см, здійснює подрібнення та ущільнення ґрунту, його кришення, підрізання бур'янів і вирівнювання поверхні поля. Завдяки поєднанню декількох

технологічних операцій в одному робочому проході досягається підвищення продуктивності та зниження енерговитрат на обробіток ґрунту.

Конструктивно агрегат складається з траверси 1, дишла 2, стояка 3, секції культиваторних стрілчастих лап шириною 340 мм 4, секції зірочок 5, секції культиваторних лап-пер шириною 60 мм 6, шасі 7 та секції зірочок 8.

Агрегат виконаний у напівнавісному виконанні та агрегується з тракторами тягового класу 30 кН (ХТЗ-17021).

Комбінований ґрунтообробний агрегат АПК-3,9 (рис. 1.3, б) призначений для комплексної підготовки ґрунту під посів різних сільськогосподарських культур із використанням енергозберігаючих технологій. Агрегат може ефективно застосовуватися в усі періоди проведення польових робіт: під час підготовки ґрунту під посів озимих, ярих і післяукісних культур, при зяблевому обробітку, а також як альтернатива традиційній весняній оранці [1].

Конструктивне поєднання кількох робочих органів в одному агрегаті забезпечує виконання основних технологічних операцій за один робочий прохід, що дозволяє суттєво зменшити кількість проходів агрегатів по полю, знизити витрати пального та підвищити загальну продуктивність обробітку ґрунту.

Комбінований ґрунтообробний агрегат АПК-3,9 одночасно виконує кілька технологічних операцій: здійснює розроблення ґрунту дисковими батареями із загортанням подрібнених рослинних решток попередників і знищених бур'янів на глибину до 10 см, розпушує ґрунт на глибину до 16 см без обороту пласта, підрізає бур'яни, кришить і сепарує поверхневий шар ґрунту, подрібнює грудки до оптимальної структури на глибину до 5 см, мульчує, вирівнює та ущільнює поверхневий шар ґрунту. Після обробітку агрегатом АПК-3,9 ґрунт за один прохід повністю підготовлений до сівби [1].

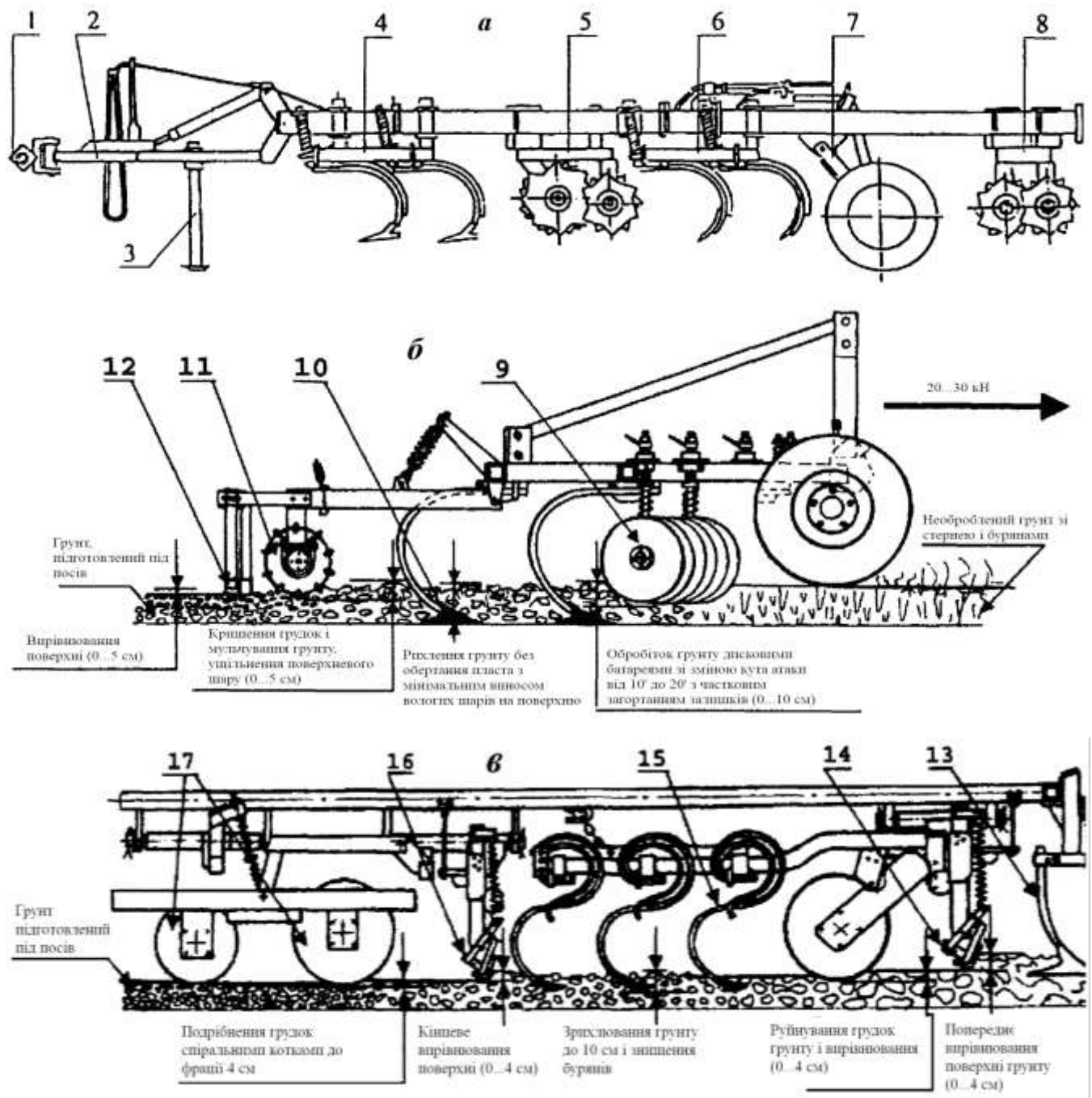


Рисунок 1.3 - Комбіновані агрегати: а – багатоопераційний ґрунтообробний агрегат АМП-3; б – комбінований ґрунтообробний агрегат АПК-3,9; в – комбінований широкозахватний агрегат АКШ-6Г; 1 – траверса; 2 – дишло; 3 – стійка; 4 – культиваторна секція (стрілчасті лапи); 5 – секція зірочок; 6 – культиваторна секція (лапи-пера); 7 – шасі; 8 – секція зірочок; 9 – дискові батареї; 10 – стрілчасті лапи; 11 – планчато-зубчасті котки; 12 – заравнювальні пристрої; 13 – слідорозпушувачі; 14, 16 – вирівнювачі; 15 – розпушувачі; 17 – здвоєні прикочувальні котки.

Конструктивно агрегат складається з дискових батарей 9 діаметром 450 мм, які подрібнюють рослинні рештки та бур'яни і загортають їх на глибину до 10 см, стрілочастих лап 10 шириною 410 мм, закріплених на пружних стійках, що створюють вібрацію і сприяють інтенсивнішому подрібненню ґрунту, а також зубчастих котків 11 та заравнювальних пристроїв, які одночасно подрібнюють, мульчують і ущільнюють верхній шар ґрунту, забезпечуючи формування оптимальної для посіву рослин пошарової структури ґрунту [1].

Агрегат АПК-3,9 агрегатується з тракторами тягового класу 20...30 кН

Комбінований широкозахватний агрегат АКШ-6Г рис. 1.3, в призначений для остаточного суцільного передпосівного обробітку ґрунту під посів технічних і зернових культур після весняної та осінньої оранки і культивації. За один прохід агрегат розпушує слід трактора слідорозпушувачами, попередньо вирівнює та подрібнює грудки вирівнювачами, руйнує і подрібнює ґрунт котком, здійснює розпушування ґрунту на глибину до 10 см віброуючими розпушувальними лапами на пружній стійці, остаточо вирівнює рельєф поля другим вирівнювачем, а також подрібнює й ущільнює ґрунт здвоєними котками.

Конструктивно агрегат АКШ-6Г складається зі слідорозпушувачів 13, вирівнювачів 14 і 16, розпушувачів 15 та здвоєних котків 17.

Агрегат АКШ-6Г агрегатується з трактором тягового класу 30 кН [1].

Агрегати, сконструйовані за подібною схемою, забезпечують якісну підготовку ґрунту на глибину 3...12 см. У процесі роботи вони одночасно виконують кілька операцій - розпушування, подрібнення, вирівнювання та ущільнення орного шару. У результаті формується дрібногрудкувата структура, оптимальна для проведення сівби сільськогосподарських культур [2].

Використання потужних тракторів як енергетичних засобів дає змогу об'єднувати в одному агрегаті два, три або навіть чотири типи ґрунтообробних знарядь у різних комбінаціях [6]. Такий підхід істотно скорочує кількість проходів

по полю, зменшує витрати часу та пального, а також сприяє зниженню ступеня ущільнення ґрунту від коліс або гусениць тягового засобу.

Серед комбінованих машин, призначених для основного обробітку ґрунту без перевертання скиби, а також для виконання допоміжних операцій, ефективно зарекомендував себе агрегат АКП - 2,5 (рис. 1.4). Він забезпечує якісну підготовку посівного поля за один робочий прохід, поєднуючи кілька технологічних процесів у межах одного агрегату [1, 2].

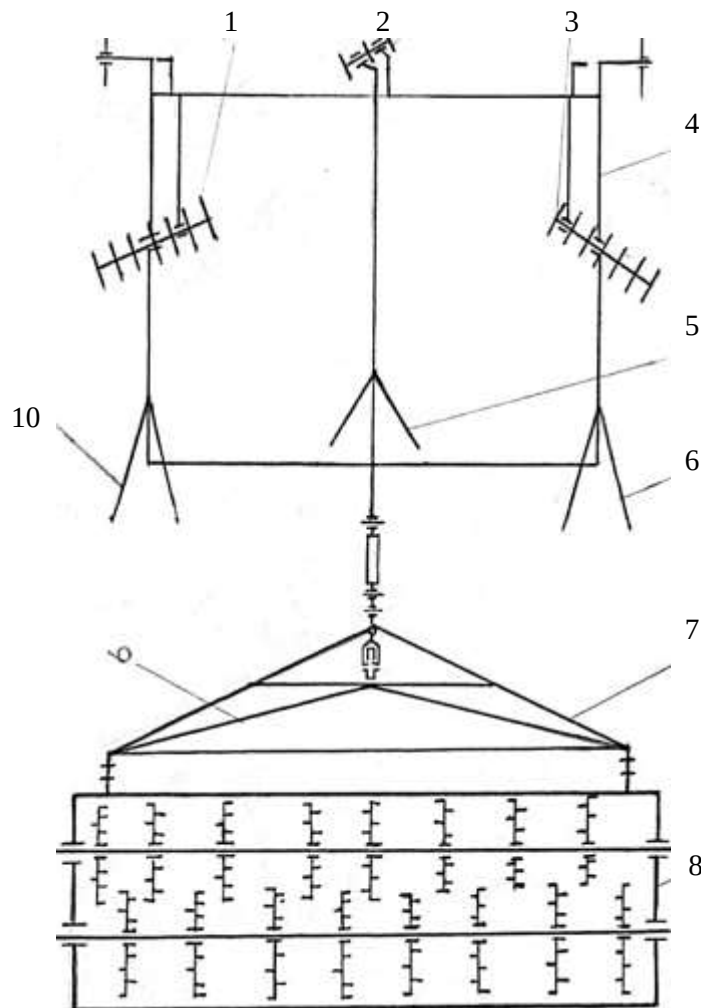


Рисунок 1.4 - Схема комбінованого агрегату АКП-2,5

1, 2 і 3 - дискові батареї; 4 - рама; 5, 6 і 10 - плоскорізальні робочі органи; 7 - ступиця катка; 8 - спарений кільчасто шпоровий каток; 9 - волокуша вирівнювач

Дискові батареї 1, 2 і 3 здійснюють поверхнєве розпушування ґрунту на глибину 6...8 см, одночасно подрібнюючи стерньові рештки та верхній ущільнений шар. Лапи-плоскорізи 5, 6 і 10 підрізають кореневу систему бур'янів і розпушують нижні горизонти ґрунту до глибини 16 см, сприяючи покращенню водно-повітряного режиму. Вирівнювач 9 формує рівну поверхню поля, а кільчасто-шпорові котки 8 подрібнюють грудки й брили, забезпечуючи оптимальне ущільнення нижнього шару з одночасним розпушенням верхнього. Така комплексна дія робочих органів дає змогу підготувати поле до сівби за один прохід агрегату [5].

Комбіновані ґрунтообробні агрегати [5] можуть оснащуватися як приводними, так і не приводними робочими органами, що підвищує їх універсальність. Культиваторні лапи монтують на жорстких, пружних або підпружинених стояках залежно від типу ґрунту та технологічних умов. Такі машини часто комплектують зубовими чи дисковими боронами, котками різних конструкцій, шлейфами тощо, що дозволяє гнучко змінювати конфігурацію агрегату під конкретні завдання.

Найефективнішими вважаються комбіновані агрегати, які поєднують дві-три операції основного обробітку ґрунту (розпушування, перемішування, підрізання бур'янів) та три-чотири операції передпосівної підготовки (подрібнення грудок, знищення бур'янів, вирівнювання й ущільнення поверхні) [3, 5, 6].

Під час проєктування й експлуатації комбінованих машин необхідно враховувати низку факторів, що визначають їх ефективність [5-7]. До них належать: енергоємність процесу, продуктивність, надійність у роботі, пристосованість до різних умов експлуатації, а також економічні витрати у порівнянні з одноопераційними знаряддями. Не менш важливим показником ефективності є підвищення врожайності сільськогосподарських культур, яке має перевищувати результати, отримані при використанні традиційних агрегатів.

Доцільно застосовувати комбіновані ґрунторозпушувачі, створені на базі сучасних плугів. Такі машини забезпечують пошаровий обробіток ґрунту з одночасною підготовкою поля до сівби за один робочий прохід. Технологічний процес здійснюється завдяки ярусному розміщенню важких культиваторних лап і послідовно встановленого за ними додаткового обладнання (рис. 1.5). До нього можуть належати голчасті або кільчасто-шпорові котки, зубові гребінки чи борони з планчастими похилими зубами, а також пруткові шлейфи [6, 7].

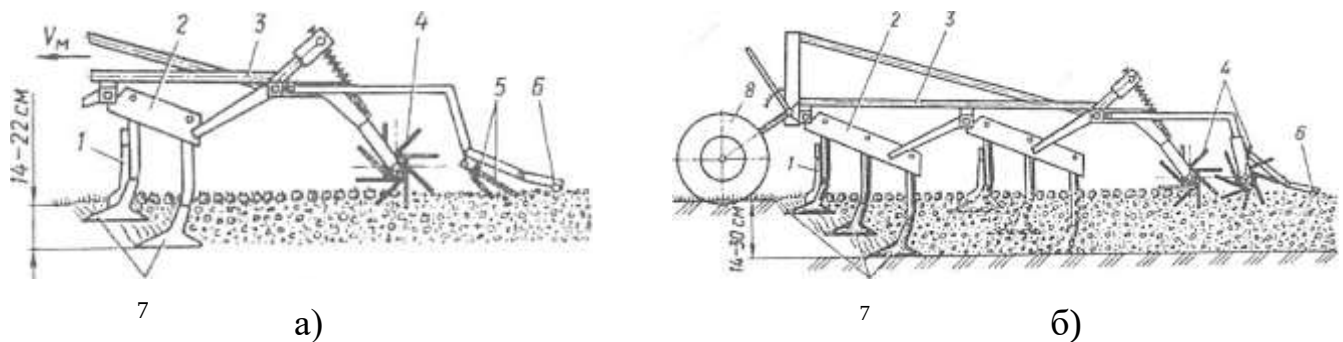


Рисунок 1.5 - Схеми розроблених комбінованих ґрунторозпушувачів: а) з двоярусним плугом; б) з троярусним плугом: 1 - ніж; 2 - гряділь; 3 - рама; 4 - голчастий коток; 5 - гребінка; 6 - шлейф; 7 - стрілчасті лапи; 8 - опорне колесо.

Конструкції таких агрегатів можуть виконуватись у двоярусному (а) або троярусному (б) варіантах залежно від глибини обробітку та необхідної інтенсивності розпушування ґрунту.

Основні складові агрегату включають: 1 - ніж, який забезпечує первинне різання шару ґрунту; 2 - гряділь, що слугує несучим елементом для кріплення робочих органів; 3 - рама, на якій змонтовані всі вузли конструкції; 4 - голчастий коток, який виконує функцію подрібнення грудок і часткового ущільнення ґрунту; 5 - гребінка, що розрівнює поверхню поля після розпушування; 6 - шлейф, який додатково вирівнює і частково ущільнює верхній шар ґрунту; 7 - стрілчасті лапи,

призначені для глибшого підрізання бур'янів і перемішування ґрунтової маси; 8 - опорне колесо, яке стабілізує робочу глибину та положення агрегату під час руху.

Такі комбіновані знаряддя забезпечують пошаровий обробіток ґрунту, поєднуючи у собі переваги плуга і культиватора. Завдяки конструкції з двома або трьома ярусами робочих органів досягається глибоке розпушування без обертання скиби, збереження структури орного шару, ефективне подрібнення післяжнивних решток і вирівнювання поверхні поля. Це дозволяє за один прохід здійснювати комплекс операцій, необхідних для якісної підготовки поля до сівби.

Основними конструктивними елементами ґрунтообробних машин, призначених для безполицевого обробітку, є гряділі, інтегровані у раму знаряддя. На кожному гряділі може бути закріплено одну або дві робочі лапи, що забезпечують послідовне або паралельне розпушування ґрунту [2, 4, 5].

Голчасті котки виконують функцію додаткового подрібнення грудок, часткового ущільнення й вирівнювання розпушеного шару. Зубові гребінки забезпечують більш інтенсивне кришіння ґрунту та формування рівномірної поверхні, а пруткові шлейфи остаточно вирівнюють поле, готуючи його до посіву [3]. Виконання технологічного процесу такими комбінованими агрегатами відповідає агротехнічним вимогам, ступінь кришіння ґрунту оцінюється як високий - у структурі розпушеного шару і становить приблизно 80 %, розміром до 25 см, що задовольняє вимоги для сівби зернових культур [4]. Під час підготовки важких ґрунтів під озимі культури доцільно забезпечити інтенсивне подрібнення верхніх шарів, а також самоочищення голчастих котків від рослинних решток, застосовуючи з двома послідовно розташованими котками ґрунто-розпушувачі (рис. 1.5, б), що підвищує якість подрібнення і вирівнювання.

Передпосівний обробіток ґрунту забезпечується компонованням комбінованих агрегатів на базі інтегральних енергозасобів, коли частину робочих органів розміщують на передній, а частину - на задній навісці трактора. Така

компоновка дозволяє одночасно виконувати кілька операцій і зменшити кількість проходів по полю.

Найбільш ефективними вважаються системи зі спареними голчастими котками, особливо під час проведення основного обробітку навесні. У цей період структура ґрунту сприятлива для формування посівного ложа за один прохід агрегату. Одночасно скорочуються строки підготовки поля і проведення сівби, що сприяє збереженню вологи та покращенню умов проростання насіння.

Ґрунтові розпушувачі, що використовуються для основного або передпосівного обробітку, легко адаптуються до роботи в режимі поверхневого розпушування. Для цього на гряділях залишають лише по одній передній лапі, що дає змогу виконувати ощадний обробіток без надмірного перемішування шарів ґрунту [3, 4].

Підготовка поля до сівби ускладняються в разі, коли на поверхні залишаються значні рослинні рештки - зокрема після вирощування соняшнику, кукурудзи на зерно, або під час використання зчісувальних жаток при збиранні зернових культур. Подібні труднощі виникають також на полях, сильно засмічених високорослими бур'янами. У таких умовах перед проведенням оранки доцільно виконати попередній обробіток у два сліди важкими дисковими бородами, що забезпечує подрібнення стебел і часткове перемішування рослинних решток із верхнім шаром ґрунту.

Для ефективнішої передпосівної підготовки ґрунту використовують начіпні комбіновані агрегати з різними варіантами додаткового оснащення, зокрема голчасто-планчастими котками, зубовими гребінками та прутковими шлейфами.

Котки голчасто-планчасті складаються з ряду окремих елементів - так званих «їжачків», насаджених на спільний вал і зафіксовані штирями. Кожен їжак утворений із маточини, до фланців якої з обох боків приварені металеві прутки, а після монтажу на вал до прутків додаються кутники. Довжина одного котка, як

правило, не перевищує 1 м, що забезпечує якісне копіювання мікрорельєфу поверхні поля.

Шарнірно закріплені до рами знаряддя у два ряди комбінованих агрегатів дають змогу уникнути необроблених смуг та гарантує рівномірне прилягання кожного котка до ґрунту.

Під час роботи котки за допомогою голок і планок подрібнюють грудки, частково ущільнюють і водночас вирівнюють розпушений шар. Зубові гребінки забезпечують додаткове кришіння менших грудок і покращують вирівнювання поверхні, тоді як пруткові шлейфи виконують остаточне планування поля, створюючи рівномірну дрібно-грудкувату структуру верхнього шару.

Для обробітки важких ґрунтів за один прохід, коли необхідне інтенсивне кришіння верхніх шарів та ефективне самоочищення робочих органів від рослинних решток, застосовують ґрунторозпушувачі з двома послідовно встановленими котками. При цьому голки переднього котка виготовляють із круглого профілю, а заднього - з пластинчастого. Поперечні ряди пластинчастих голок заднього котка розташовуються у проміжках між рядами круглого профілю переднього, що забезпечує активне взаємне очищення та якісне подрібнення грудок. Стабільне притискання котків до поверхні ґрунту передбачено пружини натискних штангів, які компенсують нерівності рельєфу та підтримують постійний контакт із ґрунтом [3, 4]. Застосування подвійної комбінації котків виявляється особливо ефективним у випадках, коли основний обробіток ґрунту доводиться проводити навесні, тоді фізичний стан ґрунту дозволяє забезпечити якісну підготовку посівного ложа під будь-які сільськогосподарські культури за один робочий прохід агрегату, що істотно скорочує тривалість підготовчих робіт і сприяє раціональнішому використанню техніки, зменшенню втрат вологи та підвищенню продуктивності технологічного процесу. Водночас додаткове оснащення комбінованих агрегатів елементами для поверхневого розпушення,

зокрема голчастими котками або гребінками, може призводити до збільшення тягового опору, де приріст опору перевищує значення ярусу лап.

Полеві експерименти з використання комбінованих агрегатів, що складаються з розпушувальних лап, голчастих котків і гребінок, показали такі результати за показником якості кришіння ґрунту (вміст грудок розміром до 25 мм у загальному об'ємі розпушеного шару): при роботі одного ярусу лап $C = 61 \%$; при двоярусному розташуванні лап $C = 78 \dots 80 \%$; при одноярусному виконанні з голчастими котками та гребінками $C = 78 \%$; при двоярусній системі з голчастими котками та гребінками $C = 90 \%$.

Отже, комбіновані знаряддя із двома ярусами лап і додатковими котками забезпечують найвищу якість подрібнення ґрунту, створюючи дрібно-грудкувату структуру, що відповідає агротехнічним вимогам до сівби більшості культур. Основний обробіток ґрунту виконують в системах безполіцевого землеробства, застосовуючи комбіновані ґрунтообробні машини типу ґрунторозрихлювачів ГРН-2,9 і ГРН-3,9 (рис. 1.6). Ці агрегати забезпечують безполіцеве розпушування на 28 см в глибину, а також виконують культивуацію на 12 см глибини, поєднуючи декілька технологічних операцій в одному робочому циклі.



Рисунок 1.6 - Ґрунторозрихлювачі ГРН-2,9 та ГРН-3,9

Процес роботи ґрунторозрихлювання цього типу включає послідовний підріз ґрунту, його інтенсивне кришіння та подрібнення, вирівнювання поверхні і часткове ущільнювання верхнього горизонту. В результаті формується дрібногрудкувата структура орного шару, що повністю відповідає агротехнічним вимогам підготовки поля до сівби більшості сільськогосподарських культур [4].

Застосування глибокорозпушувачів типу ГРН-2,9 і ГРН-3,9 дозволяє значно скоротити строки виконання польових робіт. Зокрема, підготовку поля під озимі культури можна розпочинати за 3 – 4 дні до сівби, оскільки такі агрегати забезпечують якісну обробку за один робочий прохід, на відміну від традиційних технологій, що включає кілька операцій - оранку, дискування, культивацію та посів, враховуючи щоб ґрунт не був перезволожений або ж промерзлий на 2-3 см.

З урахуванням конструктивних особливостей двоярусної причіпної безполицевої агрегації ґрунторозрихлювач може бути легко трансформований у культиватор шляхом демонтажу заднього ряду лап із гряділів. На основі такого переобладнаного культиватора можливо формувати аналогічні комбіновані агрегати, які виконують повний цикл підготовки ґрунту під посів за один цільний прохід поля [4].

Залежно від умов роботи ці машини агрегатують із трактором тягового класу 1,4 або ж 2, що забезпечує стабільну роботу та достатній запас тягової потужності при виконанні глибокого безполицевого розпушування.

1.2. Об'єкт проєктування

Підвищення родючості ґрунтів і забезпечення сприятливих умов для росту сільськогосподарських культур забезпечують зменшенням ступеня їхнього ущільнення, покращуючи водопроникність, загальну та некапілярну пористість. Оптимальні фізико-механічні властивості орного шару створюють передумови для активізації мікробіологічних процесів, інтенсифікації фізіологічної діяльності рослин і підвищення ефективності внесення мінерального добрива. Досягти таких показників можливо шляхом використання сучасних культиваторів із високопродуктивними робочими органами, що забезпечують рівномірне розпушення та якісну підготовку ґрунту.

У даній кваліфікаційній роботі розглядається питання удосконалення конструкції культиватора типу КПК-4 з метою його адаптації для виконання основного обробітку ґрунту. Метою вдосконалення є підвищення якості розпушування, забезпечення рівномірної глибини обробітку, зменшення енергоємності процесу та покращення екологічних показників експлуатації машини.

Комбінованим розпушувачем є культиватор КПК-4 із робочою шириною захвату 4 м, призначеним для обробітку важких і середніх ґрунтів, що не містять великого каміння. Його застосовують і у весняний, і в осінній період. Основними технологічними завданнями машини є розпушення орного шару, часткове заробляння в ґрунт органічних і мінеральних добрив, покращення аерації та підготовка поля до сівби відповідно до агротехнічних вимог.

Робочі органи культиватора забезпечують рівномірне розкришення та перемішування ґрунту без його перевертання, що дозволяє зберегти структуру орного шару та запобігти розвитку ерозійних процесів. Завдяки конструкції рами, зручному розташуванню лап і котків культиватор може агрегатуватися з тракторами класу 1,4 -2,0, забезпечуючи високу продуктивність і низьке енергоспоживання, а удосконалення конструкції культиватора КПК-4 спрямоване на підвищення його технологічної надійності, покращення якості виконання обробітку та розширення функціональних можливостей під час основного розпушування ґрунту. Агрегатується культиватор КПК-4 з тракторами, що мають тяговий клас 3 або 4, (навіть 5). Причіпним способом агрегування забезпечується стабільність руху агрегату та рівномірність глибини обробітку. Машина може ефективно працювати на ухилі 8° із вологістю ґрунту - 20 % та твердості до 3,5 МПа. Перехід культиватора з робочого положення у транспортне і навпаки здійснюється безпосередньо з кабіни тракториста за допомогою гідросистеми трактора, що спрощує експлуатацію й зменшує час на операції.

Регулювання глибини обробітку здійснюється за допомогою гвинтового механізму. Обертання гвинта змінює положення коліс щодо рами, що дозволяє точно встановити необхідну глибину розпушування на 15 мм, забезпечуючи високу точність налаштування технологічного процесу. Культиватор КПК-4 ефективно експлуатується в усіх ґрунтових зонах, окрім гір, тобто від 8° розрихлювач починає підтягувати трактор вбік, втрачається стабільність прямолінійного ходу, з'являється ризик бокового зсуву на схилі [5]. Проте, його конструкція дає змогу проводити як передпосівний, так і основний обробіток ґрунту, спрямований на збереження вологи, поліпшення структури орного шару та зниження енергоємності технологічного процесу.

1.3. Обґрунтування теми магістерської кваліфікаційної роботи

Підвищення ефективності агроінженерного технологічного процесу, в точному землеробстві забезпечує використання комбінованих ґрунтообробних агрегатів, зменшуючи витрати паливно-мастильних матеріалів, скорочуючи тривалість виконання обробітку, кількість проходів агрегатів по полю зменшуючи та впливаючи на зниження ступеня переущільнення родючого ґрунтового шару. Покращуються умови росту та розвитку культурних рослин, що сприяє підвищенню врожаю. Наприклад, безполицеві технології обробітку ґрунту мають низку суттєвих переваг порівняно з традиційними. Вони забезпечують збереження структури орного шару, підвищення волого-накопичення, зменшення втрат поживних речовин і запобігання ерозійним процесам. У зв'язку з цим тема кваліфікаційної роботи «Обґрунтування параметрів парового культиватора КПК-4 для виконання основного обробітку ґрунту» є актуальною як з наукової, так і з практичної точки зору, адже відповідає сучасним тенденціям розвитку екологічно збалансованого землеробства.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати існуючі конструкції культиваторів і технології основного обробітку ґрунту;
- дослідити вплив конструктивних параметрів робочих органів культиватора на агротехнічні показники;
- виконати розрахунок силових і енергетичних характеристик культиватора КПК-4;
- розробити рекомендації щодо удосконалення конструкції та підвищення її ефективності.

Тема магістерської роботи є актуальною з огляду на сучасні тенденції розвитку енергозберігаючих і природоорієнтованих технологій обробітку ґрунту, а також відповідає стратегічним завданням модернізації сільського господарства в Україні.

Висновки до розділу 1

Аналіз наукових досліджень, спрямованих на вдосконалення технологій обробітку ґрунту з метою збереження його родючості та запобігання надмірному пересушуванню орного шару, показує, що інтенсивне та часте оброблення землі традиційними знаряддями призводить до руйнування природної структури ґрунту, зменшення волого-запасів і погіршення аераційного режиму [11]. Одним із ефективних напрямів часткового розв'язання цієї проблеми є впровадження чизельного способу основного обробітку ґрунту.

Сутність чизельного обробітку полягає у глибокому розпушуванні ґрунту без обертання скиби, що забезпечує кращу аерацію, водопроникність і накопичення вологи в орному горизонті. При цьому у верхньому шарі зберігається мульчувальне покриття з подрібнених рослинних решток, яке зменшує випаровування води та захищає поверхню поля від дії вітрової й водної ерозії.

2. ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПАРАМЕТРІВ МОДЕРНІЗОВАНОГО ПАРОВОГО КУЛЬТИВАТОРА КПК-4

2.1. Обґрунтування зміни розробленої конструкції парового культиватора

Вивчаючи і провівши аналіз удосконалення технологій обробітку ґрунту та зменшенню його пересушування за умов багаторазового механічного впливу [9, 11], дає можливість окреслити ефективний напрям покращення цього процесу. Йдеться про застосування чизельного способу основного обробітку, який забезпечує інтенсивне глибоке розпушування орного шару та формування на поверхні поля захисного мульчувального покриття із подрібнених рослинних решток. Такий підхід сприяє зменшенню проявів водної й вітрової ерозії, накопиченню вологи протягом осінньо-зимового періоду і створенню сприятливих умов у подальшій вегетації.

Серед знарядь, що можуть бути технічно адаптовані для глибокого безполицевого обробітку, особливе місце займають важкі парові культиватори, зокрема культиватор паровий комбінований КПК-4. У базовій комплектації він оснащений важкими культиваторними лапами, змонтованими на жорстких стояках. Аналіз конструкції КПК-4 свідчить про можливість його ефективної модернізації шляхом встановлення чизельних робочих органів на пружинних стояках, що зменшує ударні навантаження, підвищує довговічність вузлів і забезпечує стабільність глибини розпушування навіть на ділянках із мінливою щільністю ґрунту. Монтаж нових робочих органів може виконуватися безпосередньо на поперечні бруси рами за допомогою болтових з'єднань через спеціальні посилювальні накладки та необхідно перемістити опорні колеса за ходом руху агрегату для правильного розміщення чизельних лап і забезпечення симетричного розподілу навантажень на раму [6, 10].

Опорна система повинна зберігати повну функціональність, тобто гідравлічний механізм переведення культиватора з робочого у транспортне положення та гвинтовий механізм точного регулювання глибини обробітку повинні залишатися доступними й ефективними після внесених змін [10].

Модернізований культиватор із чизельними робочими органами може ефективно застосовуватися для основного виконання обробітку важких і середніх за механічним складом ґрунтів (без каміння). Його робота забезпечує збереження ґрунтової вологи, зменшення енерговитрат витрат, скорочення трудомісткості технологічного процесу, що є важливими критеріями енергоефективного точного землеробства.

Модернізований культиватор КПК-4 має причіпну конструкцію і включає такі основні складові: раму; ходову систему (колеса); приєднувальний тягово-зчіпний пристрій культиватора (сницю), для утримування правильної позиції машини під час роботи й транспортування забезпечуючи керованість агрегату і передавання тягового зусилля трактора; стояки для кріплення робочих органів та оборотні лапи. Така компоновка забезпечує високу жорсткість конструкції, рівномірність глибини обробітку та стабільну роботу агрегату навіть у складних польових умовах. Глибину обробітку ґрунту здійснюємо з допомогою гвинтової пари, що дозволяє точно встановлювати робочу позицію коліс відносно рами культиватора. Це дає змогу отримати стабільну якість розпушування на заданій глибині. Основними робочими органами культиватора є оборотні лапи із шириною захвату 65 мм, які мають індивідуальне кріплення до стояків. Завдяки цьому кожна лапа може самостійно копіювати мікрорельєф поля, забезпечуючи рівномірне заглиблення та якісне руйнування ущільненого шару ґрунту [6].

Для подальшого підвищення ефективності роботи та покращення якості обробітку запропоновано доповнити конструкцію культиватора рубчастими котками, що встановлюються позаду робочих лап.

Вони призначені для додаткового подрібнення грудок і вирівнювання розпушеного шару ґрунту. Котки розташовуються по всій ширині захвату агрегату, забезпечуючи рівномірну обробку поверхні та формування дрібногрудкуватої структури, оптимальної для подальшої сівби [8].

Використання рубчастих котків у складі модернізованого культиватора КПК-4 дозволяє зменшити кількість технологічних операцій, скоротити час підготовки поля та забезпечити кращу якість обробітку ґрунту за один прохід. Такий підхід відповідає сучасним тенденціям підвищення технологічної надійності та екологічної ефективності ґрунтообробних машин. Удосконалена рама спрямована на забезпеченні можливості приєднання додаткових робочих органів - рубчастих котків. У конструкції передбачено механізм регулювання тиску котків на поверхню ґрунту, що дозволяє адаптувати інтенсивність їх дії залежно від умов роботи, використовуючи натискні штанги з пружинами, які створюють необхідне притискне зусилля й компенсують нерівності мікрорельєфу поля. Така конструктивна схема забезпечує оптимальне подрібнення грудок і рівномірне вирівнювання поверхні, не порушуючи структури орного шару. Модернізований культиватор КПК-4, оснащений розробленими у даній роботі робочими органами, які доцільно застосовувати для основного обробітку ґрунту після просапних культур під час підготовки поля до посіву озимих. Крім того, машина може ефективно використовуватися і для весняного обробітку під ярі культури, особливо на староорних, легких, незабур'янених ґрунтах, де забезпечується висока якість розпушування та збереження вологи.

Експлуатація модернізованого культиватора сприяє підвищенню врожайності зернових і просапних культур завдяки кращому водно-повітряному режиму, збереженню ґрунтової вологи й запобіганню ерозійним процесам. Застосування такої техніки є особливо доцільним на староорних землях, де необхідно підтримувати та відновлювати природну родючість ґрунту [6].

Використання модернізованого парового удосконаленого культиватора КПК-4 забезпечує виконання основного обробітку ґрунту в оптимальні агротехнічні строки, із максимальним збереженням вологи та мінімальними витратами часу і паливно-мастильних матеріалів у порівнянні з традиційними полицевими технологіями. Це дозволяє підвищити енергоефективність процесу, зменшити навантаження на ґрунт і забезпечити сталі показники агровиробництва у різних ґрунтово-кліматичних зонах України [6].

2.2 Розрахунки параметрів робочих органів модернізованого парового культиватора КПК-4

З врахуванням щільності ґрунту, робочі органи парового культиватора КПК-4, у процесі роботи переміщуються створюючи складний напружено-деформований стан у зоні взаємодії. Оборотна лапа рухаючись на глибині a (рис. 2.1), здійснює сколювання ґрунту під певним кутом зсуву τ , утворюючи зону розпушування перед собою. Внаслідок дії сили різання виникають горизонтальні та вертикальні компоненти опору, які визначають енергетичні витрати агрегату [2, 4, 5].

Механізм руйнування ґрунту оборотними лапами істотно відрізняється від дії корпусу плуга, який формує борозну з чітко визначеними межами зліва і справа. На відміну від плуга, у якого розріз шару ґрунту обмежується ножом і стінкою борозни, у культиваторі ці межі визначаються механічною властивістю ґрунту, геометричними параметрами та взаємним розташуванням робочих органів. Ширина смуги ґрунту, яка піддається руйнуванню, залежить від форми і розмірів лапи, а також від кута атаки, під яким вона входить у ґрунтову масу.

Рисунок 2.1 - Схема дії оборотної лапи на ґрунт

Для спрощення інженерного аналізу можна припустити, що кут робочої поверхні лапи α та кут тертя ґрунту, тобто φ по її поверхні є величинами, які практично збігаються, $\alpha \approx \varphi$. У такому випадку справедливе наближення,:

$$\tau = 90^\circ - \frac{\alpha + \varphi + \varphi_1}{2} \quad (2.1)$$

або

$$\tau = 90^\circ - \left(\alpha + \frac{\varphi_1}{2} \right) \quad (2.2)$$

де φ_1 - кут тертя внутрішньої сторони скиби ґрунту, $\varphi_1 = 50^\circ$

α - кут скиби при підніманні, $\alpha = 25^\circ$

При розрахунку отримаємо:

$$\tau = 90^\circ - \left(25^\circ + \frac{50^\circ}{2} \right) = 40$$

Орієнтовно зробивши переріз скиби ґрунту зробленої оборотною лапою парового культиватора (рис. 2.2), розглянемо трапецієподібну форму, з основою b_0 , $b_0 = 65$ мм - нижня ширина, що відповідає ширині лапи, а верхня ширина b розпушеного шару ґрунту на поверхні поля. Кут δ , розташований у площині

сколювання ґрунту, дорівнює половині внутрішнього кута тертя обробленого ґрунту [6, 7, 9].

$$\delta = \frac{\varphi_1}{2} \quad (2.3)$$

Рисунок 2.2. – Культиваторна оборотна лапа

Визначаємо верхню довжину основи трапеції b

$$b = b_0 + \frac{2 a \cdot \operatorname{tg} \delta}{\sin \tau} = b_0 + \frac{2 a \cdot \operatorname{tg} \delta}{\cos \left(\alpha + \frac{\varphi}{2} \right)} \quad (2.4)$$

де a - глибина обробітку ґрунту, $a = 200$ мм

Підставляємо дані в формулу 2.4

$$b = 65 + \frac{2 \cdot 200 \cdot \operatorname{tg} 25^{\circ}}{\cos 50^{\circ}} \approx 355$$

$$b \approx 355 \text{ мм}$$

Визначаємо дії лап на ґрунт в повздовжніх напрямках:

$$C = a \cdot \operatorname{ctg} \tau \approx a \cdot \operatorname{tg} (\alpha + \varphi / 2) \quad (2.5)$$

Підставляємо дані в формулу 2.5, отримаємо :

$$C = 200 \cdot \operatorname{tg} (25^{\circ} + 25^{\circ}) = 238$$

$$A \approx b_0 + \frac{2 \cdot a \cdot \operatorname{tg} \varphi / 2}{\cos(\alpha + \varphi)} \quad (2.6)$$

Підставивши дані в формулу 2.6, отримуємо :

$$A \approx 65 + \frac{2 \cdot 200 \cdot 0,414}{\cos 50^\circ} = 334$$

Враховуючи необхідність забезпечення відповідності гребенистої поверхні обробленого ґрунту, мікрорельєфу підорного шару та агротехнічним нормам встановлюємо відстань між лапами 150 мм.

Рисунок 2.3 - Схематичне зображення лап для розпушування ґрунту

Відстань між рядами лап [6]

$$L > a \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + C \quad (2.7)$$

Відповідно

$$L > 200 \cdot \operatorname{tg}(25^\circ + 25^\circ) + 238 = 476$$

Встановлюємо відстані між рядами лап, спереду 890 мм, і ззаду 870 мм за конструктивними вимогами.

Встановлені параметри для парового культиватора КПК - 4 мають забезпечувати якісне розпушування.

За наведеною формулою знаходимо агрегатну ширину захвату:

$$B = \frac{\eta \cdot P_T}{q} \quad (2.8)$$

Для забезпечення стабільної роботи при основному обробітку ґрунту приймається оптимальне значення коефіцієнта використання тягового зусилля на рівні $\eta = 0,8$.

У процесі обґрунтування технічних параметрів культиватора, який агрегатується з трактором тягового класу 3, враховано коефіцієнт ефективного використання тягового зусилля машино-тракторного агрегату.

Згідно з вихідними даними, при русі з робочою швидкістю 9 км/год трактор тягового класу 3 розвиває тягове зусилля $P_T = 29$ кН [6].

Оскільки конструкція культиватора передбачає наявність рубчастих котків, що збільшує загальний опір ґрунту, питомий опір на 1 м ширини захвату агрегата приймається на рівні $q = 5,5$ кН/м [6].

Визначимо максимально допустиму ширину захвату культиватора:

$$B = 0,8 \cdot 29 / 5,5 = 4,21 \text{ м}$$

Враховуючи конструкційні обмеження, пов'язані з умовами транспортування, агрегатну ширину захвату приймається $B = 4,0$ м.

У складі культиватора робочі органи у вигляді долотоподібних лап розміщуються в три ряди для забезпечення рівномірного розпушення оброблюваного шару ґрунту. Орієнтовну кількість робочих органів

$$n = B / b \quad (2.9)$$

де B - ширина захвату, з формули 2.8, $B = 4000$ мм;

b - робоча ширина одного лапового робочого органа, приймаємо $b = 150$ мм.

На основі відношення повної ширини захвату до ширини, що обробляється одним робочим органом, визначаємо кількість лап

$$n = 4000 / 150 = 26,6$$

Враховуючи цілність, приймаємо кількість лап $n = 26$. Розташування доцільно оптимізувати відповідно до вимог агротехніки - у три ряди по 9, 9 і 8 лап.

2.3. Обґрунтування параметрів удосконаленого механізму культиватора

Розрахунок механізму підймання вдосконаленої конструкції культиватора типу КПК-4 виконується за встановленою інженерною послідовністю, що забезпечує правильний розподіл навантажень у транспортному та робочому положеннях.

Зміну висоти підйому робочого органа парового культиватора залежно від кута повороту важеля підйимального механізму, тобто плавне зростання висоти в результаті обертового руху важеля, що характерно для механізмів із шарнірно-важільною передачею, часто використовуються в сільськогосподарській техніці для транспортувального або робочого переведення робочих органів (лап, котків, тощо).

Для оцінки напруженого стану елементів піднімального механізму було побудовано моментну діаграму важеля, що сприймає навантаження під час транспортувального або робочого переведення культиватора. Максимальне значення згинального моменту спостерігається в основі важеля (на опорі) і становить

$$M_{max} = F \cdot L = 100 \text{ Н} \cdot 1,0 \text{ м} = 100 \text{ Н}$$

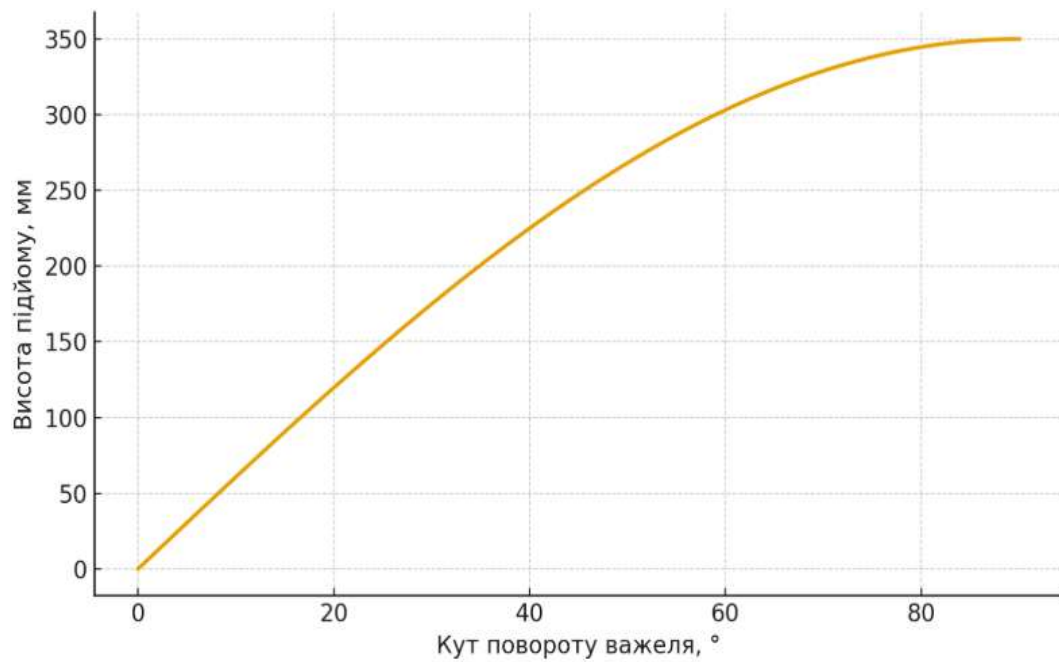


Рисунок 2.4 - Графік залежності висоти підйому від кута зміни положення робочого органу культиватора КПК - 4.

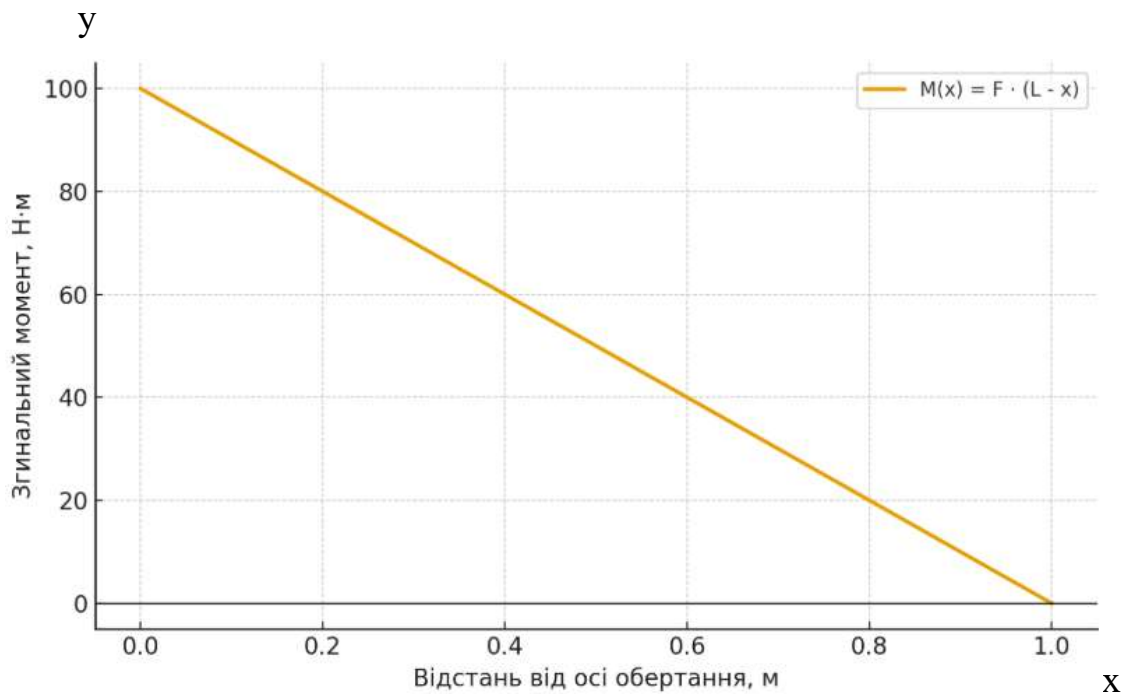


Рисунок 2.6 - Діаграма моментів для важеля підіймального механізму культиватора: вісь (X): відстань від осі обертання (опори важеля), м; вісь (Y): згинальний момент, Н·м.

Згинальний момент лінійно зменшується до нуля на протилежному кінці важеля, що відповідає класичній схемі навантаження консольного елемента.

Аналіз графіка підйому робочого органу залежно від кута повороту важеля свідчить про плавний характер переміщення, що забезпечує стабільність піднімання без різких навантажень на вузли механізму. Максимальна висота підіймання на рівні приблизно 350 мм досягається при повороті важеля на 90° , що задовольняє вимоги до транспортного та робочого положень лап культиватора типу КПК-4.

З врахуванням ваги конструкції, сили тиску ґрунту на робочі органи, а також зусиль, пов'язаних із відривом оброблюваного шару ґрунту, виконуємо розрахунок рівнодіючої сили

На першому етапі розрахунку удосконаленого механізму визначаємо реакції у точках на ходових колесах і у вузлі приєднання культиватора до транспортного засобу.

На рис. 2.5 подана кінематична силова схема реакцій на колесах піднімального механізму, відповідно до якої виконуються подальші інженерні розрахунки удосконаленого парового культиватора КПК - 4 .

Рисунок 2.5 - Силова схема розвантаження рами культиватора

Розрахунок рівнодіючої сили, яка діє на раму та робочі органи удосконаленого культиватора, виконується з урахуванням ваги конструкції, сили тиску ґрунту на робочі органи, а також зусиль, пов'язаних із відривом

оброблюваного шару ґрунту. Згідно з [6, 7], рівнодіюча сила визначається за формулою:

$$F = G + Q + Q_1 \quad (2.10)$$

де G - маса культиватора, Н;

Q - вага ґрунту, що знаходиться на робочих органах, Н;

Q_1 - зусилля, витрачене на відрив шару ґрунту.

Приймається зусилля шару ґрунту на відрив, умовно рівним вазі самого ґрунту:

$$Q_1 \approx Q. \quad (2.11)$$

якщо

$$F = G + 2Q \quad (2.12)$$

Тоді

$$F = G + 2 \left(\frac{a+b}{2} \cdot ctg\alpha \cdot \gamma \cdot q \cdot \frac{n}{2} \right) = G + \frac{(a+b) \cdot ctg\alpha \cdot \gamma \cdot q \cdot n}{2} \quad (2.13)$$

де $G = 15000 \text{ Н}$

a - глибина обробітку, $a=0,2 \text{ м}$ (верхня основа)

b - ширина лапи, захват, $b = 0,15 \text{ м}$ (нижня основа)

α – кут природного скосу ґрунту, $\alpha=38,3^\circ \Rightarrow ctg\alpha \approx 1,27^\circ$;

γ - коефіцієнт, що враховує форму перерізу, $\gamma = 0,65$;

q - питома вага ґрунту, $q=15000 \text{ Н/м}^3$;

n - кількість лап, $n = 26$

$$\begin{aligned} F &= 15000 + \frac{(0,2 + 0,15) \cdot 1,28 \cdot 0,65 \cdot 15000 \cdot 26}{2} \\ &= 15000 + 56340,38 \approx 70565 \text{ Н} \end{aligned}$$

Реакції на колесах і серзі визначаємо за формулою:

$$P_K = F(I_1 + I_2) / I_1 \quad (2.14)$$

$$P_C = F \cdot I_2 / I_1 \quad (2.15)$$

де F – рівнодіюча вертикальних сил, $F=70565$ Н

l_1 – відстань від центра ваги до осі коліс; $l_1=3000$ мм

l_2 – відстань від центра ваги до серги; $l_2=522$ мм

Реакція P_K

$$P_K = \frac{70\,565 \cdot (3000 + 522)}{3000}$$

$$P_K = \frac{70\,565 \cdot 3522}{3000}$$

$$P_K \approx 82\,850 \text{ Н} = 82,9 \text{ кН}$$

Реакція на колесах P_C

$$P_C = \frac{70\,565 \cdot 522}{3000}$$

$$P_C \approx 12\,280 \text{ Н} = 12,3 \text{ кН}$$

Висновки до розділу 2

Запропоноване технічне вдосконалення конструкції КПК-4 створює передумови для формування високоякісного агрофону, зменшення енерговитрат і підвищення ефективності основного обробітку ґрунту у сучасних ресурсних технологіях точного землеробства, а запропоновані зміни забезпечують покращення агротехнічних показників, підвищення ефективності обробітку ґрунту, скорочення кількості технологічних проходів і зниження енергоємності процесу, що є важливими складовими підвищення продуктивності машинно-тракторних агрегатів у системі сучасного землеробства [4].

Серед сільськогосподарських машин, які можна порівняно просто переобладнати, особливий інтерес становлять важкі парові культиватори, зокрема культиватор паровий комбінований КПК-4. Його конструктивні особливості дозволяють легко адаптувати базову схему до роботи з новими робочими органами, оскільки основними елементами є важкі культиваторні лапи, змонтовані

на жорстких стояках, для підвищення якості обробітку ґрунту та розширення функціональних можливостей машини.

Пропонується обладнати культиватор КПК-4 чизельними робочими органами, закріпленими на пружинних стояках (відповідно до графічної частини роботи). Така модернізація дозволяє зменшити динамічні навантаження на раму, підвищити довговічність вузлів і забезпечити стабільну глибину розпушування навіть за змінного опору ґрунту. Кріплення нових робочих органів до конструкції культиватора здійснюється болтовими з'єднаннями через спеціальні накладки, що дає змогу зберегти міцність з'єднань і спростити технічне обслуговування.

Для правильного розміщення чизельних лап передбачено часткове зміщення опорних коліс за ходом руху машини, що покращує балансування агрегату під час роботи. Опорні колеса обладнуються гідравлічними механізмами переведення культиватора з робочого у транспортне положення та гвинтовими пристроями для точного регулювання глибини обробітку.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КОТКІВ КОМБІНОВАНОГО АГРЕГАТА НА БАЗІ КУЛЬТИВАТОРА КПК-4

3.1. Агротехнічна доцільність використання комбінованих агрегатів на базі культиватора КПК-4

В умовах аграрного виробництва особливого значення набуває розвиток комбінованих ґрунтообробних агрегатів, які дозволяють об'єднувати кілька технологічних операцій в одному робочому циклі. Такий підхід сприяє не лише зменшенню кількості проходів по полю, а й забезпечує оптимальні умови для подальших агротехнічних заходів.

Ефективність одночасного виконання кількох операцій підтверджена як теоретичними розрахунками, так і практичними дослідженнями. Суміщення основного обробітку ґрунту з передпосівною підготовкою дозволяє якісніше загортати насіння у вологий і структурований оброблений шар, що значно покращує показники польової схожості та формує сприятливі умови для розвитку культур.

Удосконалення культиватора типу КПК-4 полягає у його переобладнанні в комбінований агрегат, який здатен виконувати основний обробіток ґрунту з одночасним вирівнюванням і дробленням грудок. Робочі органи складаються з трьох рядів долотоподібних оборотних лап шириною захвату 65 мм, що індивідуально закріплені на рамі й забезпечують якісне розпушування на задану глибину. За лапами встановлюються рубчасті котки по всій ширині захвату, які виконують функцію вторинного подрібнення та часткового вирівнювання поверхні поля.

Запропонована конструкція забезпечує ефективне виконання основного обробітку ґрунту під ярі культури як навесні, так і восени. Найбільшу

ефективність агрегат демонструє на рівних не кам'янистих легких староорних ґрунтах, які не надмірно засмічені бур'янами.

Аналіз залежності показника кришіння ґрунту від комплектації комбінованого агрегата свідчить, що застосування двоярусного розміщення лап у поєднанні з прикочувальними котками та гребінками забезпечує найвищий показник якості кришіння ґрунту, зокрема, вміст ґрунтових агрегатів розміром до 25 мм, який досягає близько 90 %.

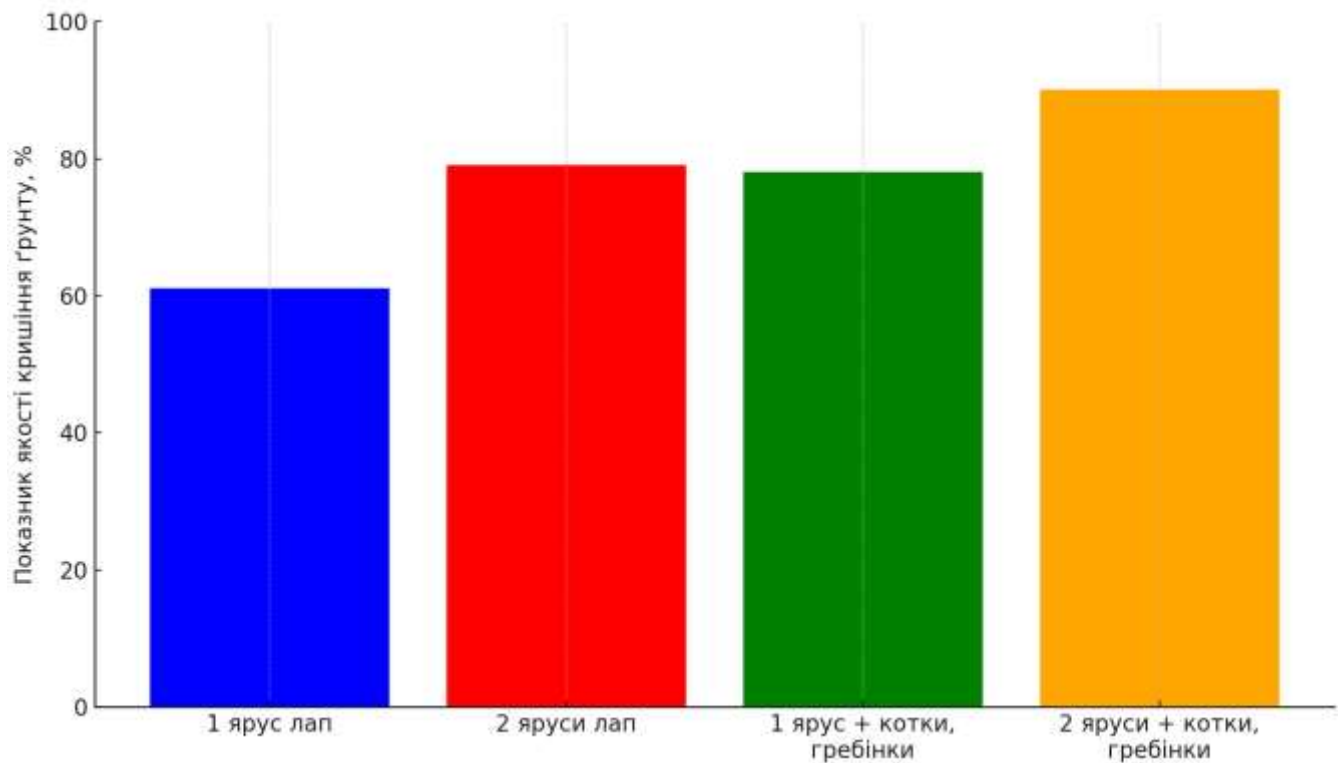


Рис. 3.6 – Вплив комплектації комбінованого агрегата на інтенсивність кришіння ґрунту

При використанні лише одного ярусу лап цей показник становить близько 61 %, що підтверджує недостатню ефективність такого варіанта для формування якісного посівного шару. Отримані результати доводять доцільність застосування двоярусної схеми робочих органів у поєднанні з котками для підвищення якості передпосівного обробітку ґрунту.

3.2. Обґрунтування параметрів котків у складі комбінованого культиватора

Об'єднання котків у конструкцію комбінованого культиватора є виправданим агроінженерним рішенням, яке дозволяє покращити якість обробітку ґрунту та оптимізувати його структуру. Котки не лише вирівнюють поле, а й забезпечують зворотне ущільнення розпушеного шару, сприяючи збереженню вологи та поліпшенню контакту насіння з ґрунтом після сівби.

Залежно від агротехнічної функції, котки можуть мати різну конструкцію - від гладких і циліндричних до зубчастих або кільчасто-шпорових. У цьому проекті застосовано рубчасті котки, які монтуються за кожним рядом лап. Їхнє розташування дозволяє ефективно дробити грудки після проходження лап і формувати якісний посівний шар.

Особливості взаємодії котків з поверхнею поля полягають у тому, що під час руху агрегата коток має перекочуватися через ґрунтові грудки, не проштовхуючи їх уперед. Це досягається правильним співвідношенням діаметра котка і розміру грудок. Основні зусилля, що виникають при перекочуванні, включають силу нормального тиску N та сили тертя між поверхнями котка, грудки й поля, що повинні задовольняти умову:

$$N > F_1 + F_2 \cdot \cos \alpha, \quad (3.1)$$

При іншій умові:

$$F_1 + F_2 \cdot \cos \alpha > N' \quad (3.2)$$

де: F_1 - сила тертя між грудкою та полем,

F_2 - сила тертя між котком і грудкою,

α - кут контакту котка з грудкою,

N' - проєкція сили тиску на напрям дії.

$$N' = N \cdot \sin \alpha \quad (3.3)$$

Розрахунок цих сил дозволяє визначити оптимальні геометричні параметри котків (зокрема, діаметр і довжину), що забезпечує їх ефективну роботу при різних умовах щільності й вологості ґрунту.

3.3 Взаємодія удосконаленого культиваторного котка з ґрунтовою грудкою в процесі перекочування

Культиватор КПК-4 удосконалюється саме за рахунок встановлення рубчастих котків позаду лап, тобто котки є інтегрованими в агрегат і виконують ключову роль у його комбінованій дії забезпечують якісне завершення обробітку за один прохід.

Розглянемо механізм взаємодії рубчастого котка з ґрунтовою грудкою, яка розташована на поверхні поля. Додатковий робочий орган - коток, встановлюється позаду основних лап культиватора й виконує такі функції: подрібнення грудкуватого ґрунту після розпушення; вирівнювання поверхні поля; часткове прикочування (ущільнення) ґрунту; збереження вологи у посівному шарі; підготовка ґрунту під сівбу за один прохід.

У процесі руху агрегату коток накочується на грудку, і в цій точці виникає система силових взаємодій, яка суттєво впливає на ефективність дроблення та структурування ґрунтового шару (рис. 3.1).

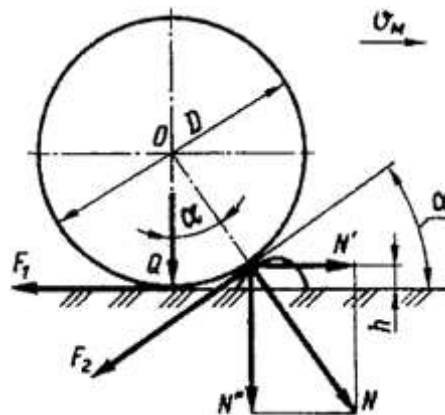


Рисунок 3.1 – Схематичні дії сили при коткуванні

Підставивши дані у формули отримаємо:

$$F_1 = Q \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 \quad (3.4)$$

$$F_2 = N \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \quad (3.5)$$

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \operatorname{tg}(\varphi_1 + \varphi_2) \quad (3.6)$$

$$Q = N'' + F_2 \cdot \sin \alpha = N \cdot \cos \alpha + N \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \cdot \sin \alpha \quad (3.7)$$

При зустрічі з ґрунтовою грудкою виникає система сил, що впливає на її подальшу поведінку - роздроблення, втиснуття в ґрунт, чи зрушення вперед, щоб грудка не переміщувалась попереду котка, а була надійно зафіксована між поверхнею котка та полем, повинна виконуватись відповідна нерівність рівноваги, виведена з умови (3.2) з урахуванням сил тертя та тиску [7]

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \frac{(\operatorname{tg} \varphi_1 + \operatorname{tg} \varphi_2)}{(1 - \operatorname{tg} \varphi_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2)} \quad (3.8)$$

$$(\tan \varphi_2 - \tan \varphi_1) \cdot \tan \alpha \leq \tan \varphi_1 + \tan \varphi_2 \quad (3.9)$$

Після перетворення ця умова спрощується до:

$$\tan \alpha \leq \tan(\varphi_1 + \varphi_2) \Rightarrow \alpha \leq \varphi_1 + \varphi_2 \quad (3.10)$$

де α - кут нахилу сили тиску N до вертикалі при перекочуванні;

φ_1 - кут тертя ґрунту по ґрунту; (наприклад, 25°);

φ_2 - кут тертя грудки по котку (метал по ґрунту (наприклад, 20°);

Ця умова означає, що грудка залишиться нерухомою (не буде зміщена вперед), якщо нахил прикладеної сили менший або дорівнює сумі кутів тертя. Чим більшими є кути тертя (тобто вищі шорсткість і зчеплення), тим ефективніше грудка буде роздавлюватися чи втискатися в ґрунт, а не прокочуватися.

Розрахунок цієї умови дозволяє оптимізувати параметри котків (масу, діаметр, форму ребер) так, щоб уникати «згруджування» ґрунту. Використання рубчастих котків із достатньою масою і діаметром дозволяє формувати рівномірне насіннєве ложе без зайвого ущільнення або поштовхів грудок

Важливою взаємодією котка з ґрунтовим середовищем є здатність котка ефективно долати нерівності, зокрема грудки, - не переміщаючи їх уперед. Щоб грудка була подрібнена або втиснута в поверхню поля, а не зсувалась під дією котка, необхідно враховувати геометричні параметри - зокрема, висоту грудки h та діаметр котка D , відповідно кут перекочування $\cos \alpha$ з рис. 3.1.

$$\cos \alpha = \frac{(r - h)}{r} = \frac{(D - 2h)}{D} = 1 - \frac{2h}{D} \quad (3.11)$$

Однак для розрахунків краще використовувати тангенс кута α , що пов'язаний із висотою грудки наступним чином:

$$\operatorname{tg} \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} / \cos \alpha \quad (3.12)$$

а саме:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\left(2\sqrt{h \cdot D - h^2}\right)}{(D - 2h)} \quad (3.13)$$

Щоб коток не переміщував грудку вперед, а перекочувався через неї, має виконуватись така умова:

$$\tan \alpha \leq \tan \varphi_1 + \tan \varphi_2, \text{ або ж } \alpha \leq \varphi_1 + \varphi_2 \quad (3.14)$$

Звідси виводиться формула для максимально допустимої висоти грудки

$$h \leq \frac{D \cdot \tan \varphi_1 + \tan \varphi_2}{2 + \tan \varphi_1 + \tan \varphi_2} \quad (3.15)$$

де D - діаметр котка; $D = 400 \text{ мм} = 0,4 \text{ м}$,

$\varphi_1 = 25^\circ = 0,4363 \text{ рад}$, $\tan \varphi_1 \approx 0,4663$

$\varphi_2 = 20^\circ = 0,3491 \text{ рад}$, $\tan \varphi_2 \approx 0,3640$

Обчислюємо суму тангенсів

$$\tan \varphi_1 + \tan \varphi_2 = 0,4663 + 0,3640 = 0,8303$$

Підставивши в формулу

$$h \leq \frac{0,4 \cdot 0,4663 + 0,3640}{2 + 0,4663 + 0,3640} = \frac{0,4 \cdot 0,8303}{2 + 0,8303} = \frac{0,3321}{2,8303} \approx 0,1173 \text{ м}$$

Цей показник є критично важливим для оцінки ефективності подрібнення та вирівнювання поля в умовах мінімізації кількості проходів агрегату. Розрахункове значення висоти грудки дозволяє інженерно обґрунтувати доцільність вибору діаметра котка в складі комбінованого агрегату, з урахуванням типу ґрунтів та їхньої структури.

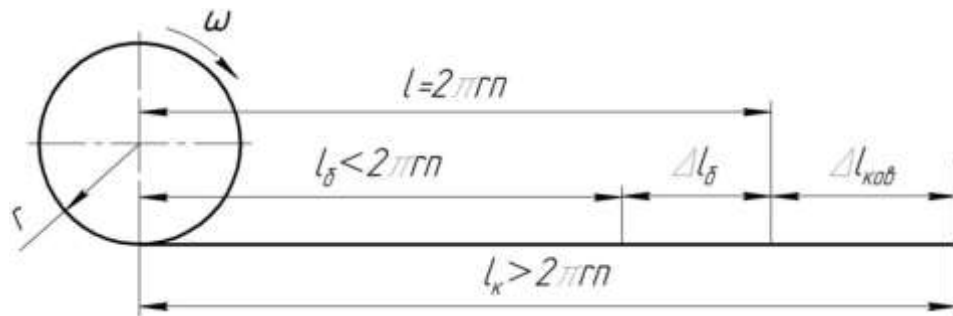


Рисунок 3.2 - Схема характеру руху котка

У разі ідеального кочення без втрат, шлях, пройдений шлях котком l , визначається добутком довжини колової дуги та кількості його обертів n

$$l = 2\pi r \cdot n \quad (3.16)$$

де r - радіус котка, м;

n - кількість обертів котка.

У більшості практичних випадків рух котків по поверхні поля не є ідеально кочувальним. Навіть при дотриманні умов без ковзання та буксування, коток

частково проходить шлях за рахунок мікросковзання. Це явище характерне для більшості прикочувальних пристроїв і ведених коліс ґрунтообробної техніки (рис. 3.2).

З практичної точки зору, навіть при наближенні до ідеального кочення, частина переміщення котка відбувається через сковзання, що варто враховувати при оцінці агротехнічного ефекту ущільнення та подрібнення ґрунту. У такому режимі точка на поверхні котка бере участь одночасно в переносному русі разом із агрегатом і у відносному (обертовому) русі навколо осі котка. При цьому переносна та відносна швидкості мають однакову величину, але різні напрями.

3.4 Динаміка руху котка та умови виникнення ковзання

Абсолютна швидкість визначається як векторна сума цих двох складових і змінюється як за напрямком, так і за значенням протягом руху (рис. 3.3).

Рисунок 3.3 - Схема котка без буксування

Однак у польових умовах часто спостерігається буксування котків, тобто ситуація, коли фактичний шлях, пройдений котком l_b , менший за довжину дуги його кола, помножену на кількість обертів [6]

$$l \leq 2\pi r \cdot n \quad (3.17)$$

У такому випадку частина енергії витрачається на ковзання, що призводить до втрати ефективності прикочування. Цей режим характерний для приводних (ведучих) котків та коліс, зокрема у самохідних або буксированих агрегатах, які працюють на нерівномірно зволожених чи ущільнених ділянках поля.

Під час плоско-паралельного руху котка по поверхні поля точка C , розташована в нижній частині вертикального діаметра котка, займає особливе положення. У цій точці вектори відносної та переносної швидкостей співпадають за напрямком, але протилежні за орієнтацією, тому їх геометрична сума дорівнює нулю. Ця точка відома в механіці як миттєвий центр швидкостей.

При русі котка без ковзання та буксування миттєвий центр швидкостей розташований у точці дотику котка з поверхнею поля. Всі інші точки поверхні котка в абсолютному русі обертаються відносно цієї точки, а їхні швидкості визначаються добутком кутової швидкості обертання ω на відстань від центра C

$$V_B = \omega \cdot \rho_B \quad (3.18)$$

де ρ_B - відстань від точки C до довільної точки B на ободі котка;
 ω - кутова швидкість котка.

Якщо з миттєвого центру провести радіус-вектор до точки B і побудувати перпендикуляр до нього в напрямку обертання, цей напрям покаже вектор абсолютної швидкості точки B (рис. 3.3).

3.5 Взаємодія поверхні котка з ґрунтом при ущільненні

У випадку, коли коток переміщується по поверхні поля із утворенням борозни, але без проявів ковзання чи буксування, має місце безпосередня передача сили тиску з точки на поверхні котка на грудку ґрунту, з якою ця точка контактує. Сила N , яка прикладається у цій точці, розкладається на дві складові:

N_a - компонента в напрямку швидкості точки;

N_T - компонента вздовж дотичної до поверхні котка у точці дотику.

З рис. 3.4 маємо

$$N_T = N \cdot \operatorname{tg} \xi \quad (3.19)$$

де ξ - кут нахилу сили відносно вертикалі.

Якщо сила тертя F , що виникає між грудкою та котком, задовольняє умову

$$F = N_T \leq N \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

де φ - кут тертя між грудкою і поверхнею котка, ковзання не відбувається, оскільки сила тертя дорівнює збурювальній силі N_T , але не перевищує свого граничного значення.

У цьому випадку грудка рухається разом із точкою поверхні котка в напрямку її миттєвої швидкості V_a , тобто відбувається ущільнення ґрунту без ковзання. Цей режим є найоптимальнішим для прикочування, оскільки забезпечує максимальну передачу тиску без розриву контакту між ґрунтом і котком. Він реалізується тоді, коли співвідношення між кутом сили ξ і кутом тертя φ відповідає умовам нерівності $\xi \leq \varphi$, тобто ковзання не має, а саме

$$N_T = N \cdot \operatorname{tg} \xi \leq F_{\max} = N \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (3.20)$$

Рисунок 3.4 – Схеми котка з утворенням колії, без ковзань: а – діючі сили на каток; б - дії сил у точці контакту котка з грудкою; в - переміщення ґрунту при ущільненні та зони його ущільнення.

Таблиця 3.1 - Залежності ковзання від співвідношення кутів

Кут сили ξ , °	$\varphi = 15^\circ$	$\varphi = 20^\circ$
5	ні	ні
10	ні	ні
15	ні	ні
20	так	ні
25	так	так
30	так	так
35	так	так
40	так	так
45	так	так

В таблиці 3.1 показано значення для різних кутів ξ та φ , що демонструють межу виникнення ковзання, наприклад при нерівності $\xi \geq \varphi$ грудка починає ковзати.

$$N \cdot \operatorname{tg} \xi \geq N \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (3.21)$$

У ситуаціях, коли сила тертя досягає свого граничного значення F_{max} , але не спроможна зрівноважити дотичну складову нормального тиску N_T ущільнення ґрунту під дією нормальної сили N_V супроводжується виникненням ковзання між робочою поверхнею котка та частинками ґрунту. Величина сили, що зумовлює ковзання, визначається за виразом [6]:

$$N_T - F_{max} = N(tg \xi - tg \varphi) \quad (3.22)$$

З рис. 3.4, в видно, що кут обхвату ξ змінюється в діапазоні від 0° у нижній точці контакту (точка C) до 90° у верхній (точка A). Протягом цього інтервалу значення кута ξ досягає величини кута внутрішнього тертя ґрунту φ , тобто $0 \leq \varphi \leq \pi/2$. При $\xi = \varphi$ у точці a , відбувається розділення зони контакту на дві ділянки: вище точки a (дуга aB), де $\xi > \varphi$ - ущільнення супроводжується ковзанням; нижче точки a (дуга aC), де $\xi < \varphi$ - ковзання відсутнє, і відбувається ущільнення з коченням.

Під впливом дотичної складової N_T , яка спричиняє поступальне переміщення частинок ґрунту, на поверхні поля перед котком формується валок. Його висота залежить від глибини колії h та радіуса котка r ; чим більша маса котка і менший його діаметр, тим інтенсивніше утворюється валок.

З метою мінімізації деструктивного зсуву ґрунту, що порушує його структуру, рекомендовано обмежити кут охоплення котка не більше ніж $\alpha = 15^\circ \dots 20^\circ$. Діаметр котка визначається як [6, 7].

$$D \geq \frac{2b}{(1 - \cos \alpha)} \quad (3.23)$$

де b - довжина округлості котка.

Силове навантаження котка на ґрунт обчислюється як:

$$q = \frac{2Q}{b \cdot l} \quad (3.24)$$

де l - ширина контакту з ґрунтом (хорда)

$$l = 2\sqrt{h_1(D - h_1)} \quad (3.25)$$

Оптимальний тиск для ефективного ущільнення ґрунту становить $q = 3 \dots 4$ Н/см².

Сила P опору перекочуванню:

$$P = \mu \cdot Q \quad (3.26)$$

де μ - коефіцієнт перекочування:

$$\mu = 0,86 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q}{q_0 \cdot b \cdot D^2}} \quad (3.27)$$

де q_0 - коефіцієнт об'ємного зминання. $q_0 = 2 \dots 4$ Н/см²

Для котків із нерівною робочою поверхнею (як у вдосконаленому паровому культиваторі), коригуючий коефіцієнт:

$$P_{H.P} = \varepsilon \cdot P \quad (3.28)$$

де $\xi = 1.1 \dots 1.3$ - з урахуванням збільшення опору через шорсткість поверхні.

При $\alpha = 20^\circ$ діаметр котка становить $D=425$ мм. За умови $b = 700$ мм отримуємо глибину колії $h_1 = 30$ мм.

Результати розрахунків підтверджують доцільність конструктивного удосконалення парового культиватора КПК-4 для ефективного ущільнення ґрунту без надмірного руйнування його структури.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі виконано агротехнічне та інженерне обґрунтування доцільності використання комбінованого агрегата на базі модернізованого культиватора КПК-4 з установленими рубчастими котками. Доведено, що поєднання в одному агрегаті операцій глибокого розпушування, подрібнення

грудок, вирівнювання поверхні та часткового прикочування ґрунту дозволяє суттєво зменшити кількість технологічних проходів, скоротити витрати часу, енергоресурсів і паливно-мастильних матеріалів, а також підвищити якість передпосівного обробітку.

Встановлено, що застосування двоярусного розміщення лап у поєднанні з рубчастими котками забезпечує найвищі показники кришіння ґрунту, зокрема вміст ґрунтових агрегатів розміром до 25 мм на рівні близько 90 %, що є оптимальним для формування якісного насінневого ложа. Це підтверджує ефективність запропонованого компоновання робочих органів порівняно з однорядними схемами.

Виконаний аналіз взаємодії котка з ґрунтовою грудкою показав, що процеси перекочування, ущільнення та подрібнення ґрунту визначаються співвідношенням кута прикладення сили тиску та кутів тертя між ґрунтом і поверхнею котка. Отримані умови рівноваги дозволили інженерно обґрунтувати параметри котка, за яких забезпечується ефективне руйнування грудок без їхнього зсування вперед.

Розрахунок максимально допустимої висоти грудок показав, що для котка діаметром 400 мм граничне значення становить приблизно 0,12 м, що підтверджує доцільність вибору даного діаметра для умов основного обробітку середніх і легких ґрунтів. Також проаналізовано умови кочення без ковзання, режими буксування та вплив ковзання на ефективність ущільнення, що дало змогу встановити оптимальні діапазони кутів контакту та тиску котка на поверхню поля.

Визначено, що для забезпечення якісного ущільнення без надмірного руйнування структури ґрунту оптимальний тиск котка повинен становити 3–4 Н/см², а кут охоплення не перевищувати 15–20°. Розрахункові параметри підтвердили, що за таких умов формується рівномірна поверхня поля без утворення надмірного валка перед котком.

Отримані результати підтверджують доцільність конструктивного удосконалення парового культиватора КПК-4 шляхом оснащення його рубчастими котками та використання у складі комбінованого агрегата. Запропоновані технічні рішення забезпечують підвищення агротехнічної якості обробітку, стабільність роботи агрегата в різних ґрунтово-кліматичних умовах та створюють передумови для підвищення ефективності сучасних ресурсозберігаючих технологій землеробства.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

4.1 Загальні положення з охорони праці

Охорона праці при експлуатації сільськогосподарських машин, зокрема культиваторів, є важливим складником забезпечення безпечних умов праці механізаторів та обслуговувального персоналу. Вимоги безпеки регламентуються Законом України «Про охорону праці», державними стандартами, правилами безпечної експлуатації машин та галузевими нормативними документами. Робота з ґрунтообробними агрегатами здійснюється в умовах підвищеної запиленості, шуму, вібрації та за наявності відкритих рухомих робочих органів, що створює підвищену небезпеку травмування. До виконання робіт допускаються лише працівники, які пройшли обов'язковий медичний огляд, вступний та первинний інструктажі, навчання безпечним методам роботи і перевірку знань [12].

Культиватори як клас машин широко застосовуються для основного, передпосівного та міжрядного обробітку ґрунту, тому до них висувуються підвищені вимоги з позицій безпеки. Особлива увага приділяється справності гідравлічної системи, навісного або причіпного механізму, а також технічному стану робочих органів [13].

4.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Під час експлуатації ґрунтообробних агрегатів на механізатора впливають небезпечні та шкідливі виробничі фактори, серед яких рухомі й обертові частини машин – лапи, стояки, котки, дискові батареї, зчіпні пристрої. Додаткову небезпеку створюють підвищені навантаження на навісну систему і гідропривід, підвищений рівень шуму та вібрації, запиленість повітря робочої зони, підвищена температура поверхонь машин у літній період, можливі витіки гідравлічної

рідини під тиском, а також небезпека перекидання агрегату під час роботи на схилах та нерівному рельєфі [13].

4.3 Заходи безпеки перед початком роботи

Перед початком роботи з культиватором необхідно здійснити зовнішній огляд технічного стану трактора та агрегату, перевірити справність гальмівної системи, рульового керування, світлової і звукової сигналізації, а також герметичність гідросистеми. Особливу увагу слід звертати на надійність кріплення лап, стояків, котків і зчіпного пристрою, стан болтових з'єднань і відсутність тріщин у зварних швах. Усі рухомі та обертові елементи повинні бути огорожені захисними кожухами. Запуск агрегату дозволяється тільки після подачі звукового сигналу та переконання у відсутності сторонніх осіб у небезпечній зоні [13].

4.4 Вимоги безпеки під час виконання робіт

Під час виконання ґрунтообробних робіт забороняється здійснювати регулювання, очищення, змащування або ремонт робочих органів на ходу агрегату. Не допускається перебування людей у зоні дії лап, котків, дискових батарей і зчіпних елементів. Заборонено здійснювати різкі повороти на підвищених швидкостях, рух заднім ходом без стороннього спостерігача, а також перевезення людей на рамі культиватора. Швидкість руху повинна відповідати агротехнічним вимогам і стану ґрунту. Під час роботи на схилах необхідно обмежувати швидкість та уникати різких маневрів [13].

Паровий культиватор КПК-4, як комбінований ґрунтообробний агрегат зі значною масою та великою кількістю робочих органів, створює додаткові джерела небезпеки. Під час агрегування КПК-4 із трактором ХТЗ-17021 необхідно

особливо ретельно контролювати фіксацію зчїпного пальця, наявність запобіжних шплїнтів, справність гїдравлічних рукавів. Забороняється перебування людей між трактором і культиватором під час піднімання агрегату в транспортне положення та виконання розворотів [13].

4.5 Вимоги безпеки після закінчення роботи

Після завершення роботи культиватор необхідно очистити від ґрунту та рослинних решток, опустити робочі органи на рівну поверхню, заглушити двигун трактора і перекрити подачу пального. Далі виконується зовнішній огляд агрегату з метою виявлення можливих пошкоджень, ослаблення кріплень та витоків паливно-мастильних матеріалів [13]. Зберігання культиватора повинно здійснюватися у спеціально відведених місцях або під навісами для захисту від атмосферних опадів і зменшення корозії.

4.6 Заходи з охорони навколишнього середовища

Під час експлуатації культиваторів важливе значення має дотримання екологічних вимог, спрямованих на зменшення негативного впливу на довкілля. Основними екологічними проблемами є ущільнення ґрунту під дією рушійних систем тракторів, запилення атмосферного повітря, викиди відпрацьованих газів і можливе забруднення ґрунтів нафтопродуктами. Для зниження негативного впливу застосовуються енергозберігаючі технології обробітку ґрунту, скорочується кількість проходів агрегатів по полю, забезпечується справний технічний стан двигуна, паливної та гідравлічної систем [14, 15].

Застосування культиватора КПК-4 дозволяє виконувати кілька технологічних операцій за один прохід, що сприяє зменшенню ущільнення ґрунту,

скороченню витрат пального та зниженню викидів шкідливих речовин у атмосферу.

4.7 Захист ґрунтів від деградації

Раціональне використання культиваторів, зокрема КПК-4, сприяє збереженню агрофізичних властивостей ґрунту. Безвідвальна схема обробітку зменшує інтенсивність ерозійних процесів, забезпечує краще збереження вологи, знижує руйнування структурних агрегатів та покращує водно-повітряний режим орного шару. Дотримання оптимальних режимів роботи за швидкістю та глибиною обробітку запобігає надмірному ущільненню ґрунту та сприяє підвищенню його родючості [14, 15].

4.8 Оцінка рівня запиленості, шуму та вібрації при роботі культиватора КПК-4 у агрегаті з трактором ХТЗ-17021

Під час роботи культиватора КПК-4 в агрегаті з трактором ХТЗ-17021 основним джерелом запиленості є руйнування ґрунтових агрегатів робочими органами та піднімання пилових частинок колесами трактора. Концентрація пилу визначається за формулою [13]

$$C = G_p / Q,$$

де C – концентрація пилу, мг/м³;

G_p – маса пилу, що виділяється за 1 с, мг;

Q – об'єм повітря, що проходить через робочу зону, м³/с.

Об'єм повітря визначається як $Q = v \cdot S$. Для умов роботи приймаємо $v = 2,2$ м/с, $S = 2,5$ м², тоді $Q = 5,5$ м³/с. За інтенсивності пиловиділення $G_p = 180$ мг/с

отримаємо $C = 32,7 \text{ мг/м}^3$. Гранично-допустима концентрація пилу становить 10 мг/м^3 , отже фактичне значення перевищує норматив більш ніж утричі.

Основними джерелами шуму є двигун ХТЗ-17021, трансмісія та взаємодія лап із ґрунтом [13]. Орієнтовні рівні шуму становлять відповідно 90, 84 і 82 дБ. Сумарний рівень шуму обчислюється за формулою (4.1) і становить приблизно 93 дБ. Гранично допустимий рівень шуму на робочому місці механізатора – 80 дБ, отже норматив перевищено.

$$L = 10 \cdot \log_{10}(10^{0,1L_1} + 10^{0,1L_2} + 10^{0,1L_3}) \quad (4.1)$$

де L – сумарний рівень шуму, дБ;

L_1, L_2, L_3 – рівні шуму окремих джерел, дБ.

Прискорення вібрації визначається за формулою (4.2)

$$a = (2\pi f)^2 \cdot A. \quad (4.2)$$

де a – прискорення вібрації, м/с^2 ;

f – частота коливань, Гц;

A – амплітуда коливань, м.

За значення $A = 0,0035 \text{ м}$ та $f = 4 \text{ Гц}$ отримуємо $a \approx 2,2 \text{ м/с}^2$. Гранично допустиме значення становить $2,0 \text{ м/с}^2$, отже рівень вібрації близький до граничного.

Таким чином, під час роботи агрегата ХТЗ-17021 + КПК-4 концентрація пилу та рівень шуму перевищують допустимі значення, а рівень вібрації знаходиться на межі нормативу, що обґрунтовує необхідність застосування респіраторів, протишумових навушників, амортизованих сидінь та дотримання регламентованих перерв у роботі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На основі проведеного аналізу агрокліматичних умов зони Лісостепу України та вимог до сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур, встановлено, що одним із ключових обмежувальних чинників для отримання сталих високих урожаїв є дефіцит вологи в орному шарі ґрунту. Це зумовлено не лише кліматичними особливостями, а й чинниками водної та вітрової ерозії, а також негативним впливом традиційного полицевого обробітку, що призводить до руйнування структури ґрунту та утворення дрібнозернистих пилоподібних частинок.

У зв'язку з цим доцільним є використання енергоощадних технологій обробітку ґрунту на основі безполицевих і комбінованих агрегатів, які забезпечують високу якість обробітку при мінімальних витратах пального та ресурсів. Такий підхід дозволяє зменшити інтенсивність ущільнення ґрунту, зберегти його вологозапас і підвищити продуктивність обробітку.

У межах даного дослідження проаналізовано існуючі конструкції комбінованих знарядь для основного й передпосівного обробітку ґрунту, на підставі чого розроблено модернізований варіант культиватора типу КПК-4. Конструкція передбачає можливість його використання для підготовки посівного поля як під озимі, так і під ярі культури.

Вдосконалений культиватор обладнано трьома рядами робочих органів типу оборотних лап на пружинних стояках, а також прикочувальними рубчастими котками для додаткового поверхневого ущільнення. Опорні колеса та гідроциліндри дозволяють швидко переводити агрегат у транспортне положення, що сприяє підвищенню маневреності та зменшенню простоїв у польових умовах. У роботі виконано інженерні розрахунки щодо взаємного розміщення елементів нової конструкції культиватора, перевірено на міцність вузол стояка лапи, а також змодельовано кінематику механізму підіймання рами.

Проведено аналіз взаємодії прикочувальних котків із ґрунтом і розраховано параметри, що забезпечують оптимальний рівень ущільнення без руйнування агрегатної структури орного шару. На основі енергетичного аналізу обґрунтовано доцільність агрегування з тракторами тягового класу 3.0 (зокрема ХТЗ-17021), які забезпечують ефективну роботу агрегата при ширині захвату 4 м, робочій швидкості до 12 км/год та глибині обробітку до 25 см.

Запропоноване конструктивне рішення дозволяє підвищити продуктивність основного обробітку ґрунту, забезпечити якісне передпосівне розпушення та часткове вирівнювання поверхні поля при одночасному зменшенні навантаження на ґрунт і техніку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гевко Р. Б., Ткаченко І. Г., Павх І. І. Машини сільськогосподарського виробництва. Тернопіль, 2005. 228 с.
2. Сисолін П. В., Сало В. М., Кропівний В. М. Сільськогосподарські машини. Київ : Урожай, 2001. 382 с.
3. Сисолін П. В., Сало В. М. Український комплекс нових ґрунтообробних машин для гнучких ґрунтозахисних технологій. Кіровоград, 2007. 58 с.
4. Сисолін П. В. Конструкторські розробки нових вітчизняних універсальних машин для екологічнобезпечних та енергозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських культур в Україні. Кіровоград, 2009. 128с.
5. Ковцун Ю. М., Рак О. В. Комбіновані агрегати для обробітку ґрунту // Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доп. IX Міжнар. наук.-техн. конф. (м. Тернопіль, 25–27 листопада 2020 р.). Тернопіль : ТНТУ, 2020. С. 118–119.
6. Сільськогосподарські машини : теоретичні основи, конструкція, проектування. Кн. 1 : Машини для рільництва / П. В. Сисолін, Т. І. Рибак, В. М. Кропівний ; за ред. М. І. Черновола. Київ : Урожай, 2001. 382 с.
7. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : підручник / Д. Г. Войтюк, В. М. Барановський, В. М. Булгаков та ін.; за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Вища освіта, 2005. 464 с.
8. Бурдан П., Березовецька О., Максимчук А., Березовецький С. Дослідження параметрів та конструкційних особливостей машин для подрібнення рослинних решток. Львівський національний університет ветеринарної медицини і біотехнологій імені С. З. Гжицького. Львів. 2025.

9. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Т. 1, ч. 1 : Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. Харків : Око, 2001. 444 с.
10. Довбуш Т. А., Хомик Н. І., Довбуш А. Д. Методи проектування сільськогосподарських машин : навч.-метод. посіб.. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2019. 72 с.
11. Хомик Н. І., Гаврон Н. Б., Рубінець Н. А. Технологія виробництва і переробки сільськогосподарської продукції : курс лекцій. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2016. 248 с.
12. Пістун І. П., Березовецький А. П., Березовецький С. А. Охорона праці в галузі сільського господарства (тваринництво, птахівництво) : навч. посіб. / І. П. Пістун, А. П. Березовецький, С. А. Березовецький. Суми : Університетська книга, 2018. 503 с.
13. Пістун І. П., Березовецький А. П., Березовецький С. А. Охорона праці в галузі сільського господарства (рослинництво) : навч. посіб. / І. П. Пістун, А. П. Березовецький, С. А. Березовецький. Суми : Університетська книга, 2018. 367 с.
14. Гогіташвілі Г. Г., Лапін В. М. Основи охорони праці. Львів : Новий світ, 2000. 230 с.
15. Цивільна оборона : підручник / за ред. В. С. Франчука. Київ : Знання, 2001. 256с.