

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Технічної механіки та сільськогосподарських машин

(повна назва кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Обґрунтування параметрів культиватора для  
основного обробітку ґрунту

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МСЗм-61  
спеціальності \_\_\_\_\_

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

Ковцун Ю.М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Хомик Н.І.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Довбуш А.Д.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Гевко Р.Б.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2020

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)

Кафедра Технічної механіки та сільськогосподарських машин  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Гевко Р.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Ковцуну Юрію Мирославовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Обґрунтування параметрів культиватора для  
основного обробітку ґрунту

Керівник роботи Хомик Надія Ігорівна, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 01 » вересня 2020 року № 4/7-614

2. Термін подання студентом завершеної роботи 24 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи культиватор КПК-4; ширина захвату агрегату – 4 м;  
швидкість руху: робоча до 12 км/год, на поворотах – 7 км/год, транспортна до 15 км/год;  
продуктивність за 1 год основного часу – 2,5...4,5 га; глибина обробітку до 25 см;  
кількість обслуговуючого персоналу – 1 особа; питомий опір ґрунту – 5,5 кН/м.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Реферат. Вступ. 1. Аналіз особливостей об'єкту проектування. 2. Обґрунтування  
основних параметрів об'єкту розробки. 3. Дослідження параметрів об'єкту розробки.

4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях. Загальні висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Культиватор причіпний комбінований. Складальне креслення (1А1).

2-3. Культиватор причіпний комбінований удосконалений. Складальне креслення (1А1, 1А0).

4. Рама культиватора. Складальне креслення (1А1). 5. Деталювання (1А1).

6. Розрахункові схеми (1А1). 7. Кінематична схема удосконаленого культиватора (1А2).

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та	Окіпний І.Б., доцент		
безпека у надзвичайних ситуаціях	Клепчик В.М., ст.викл.		

7. Дата видачі завдання

01 вересня 2020 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз особливостей об'єкту проектування	до 20.11.20	
2	Обґрунтування основних параметрів об'єкту розробки	до 01.12.20	
3	Дослідження параметрів об'єкту розробки	до 05.12.20	
4	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	до 08.12.20	
9	Реферат. Вступ. Висновки.	до 10.02.20	
10	Графічна частина. Специфікації	до 12.12.20	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Ковцун Ю.М.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Хомик Н.І.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

**Автор роботи** – Ковцун Юрій Мирославович

**Тема роботи** – «Обґрунтування параметрів культиватора для основного обробітку ґрунту».

Робота виконана на кафедрі технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

**Керівник роботи** – Хомик Надія Ігорівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин.

**Структура роботи.** Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (25 найменувань), 3 додатків. Загальний обсяг текстової частини – 47 сторінок, на яких є 14 рисунків. Додатки розміщені на 6 сторінках. Графічна частина складається з 7 аркушів формату А1.

### **Актуальність теми роботи**

Удосконалення сільськогосподарських машин, які випускає вітчизняне машинобудування або розробка нових сільськогосподарських машин, повинні бути направлені на покращення якості традиційних технологічних процесів роботи машин на полях або узгоджені з вимогами нових, сучасних, екологічно безпечних, регіональних технологій вирощування сільськогосподарських культур.

Використання комбінованих ґрунтообробних агрегатів дозволяє зекономити паливно-мастильні матеріали, час обробітку, зменшити кількість проходів агрегатів, що знижує переущільнення родючого шару ґрунту і згодом відображається на врожайності.

## **Мета роботи**

Дослідження параметрів удосконаленого парового культиватора як комбінованого ґрунтообробного знаряддя, яким можна виконувати основний обробіток ґрунту після просапних культур під посів озимих.

## **Завдання дипломної роботи магістра:**

- проаналізувати конструкції комбінованих знарядь для ґрунтообробки;
- проаналізувати особливості об'єкту проектування – парового культиватора;
- обґрунтувати зміни внесені у конструкцію парового культиватора;
- виконати розрахунок взаємного розташування робочих органів парового культиватора та розрахунок механізму його підймання;
- виконати кінематичні розрахунки удосконаленого парового культиватора;
- виконати розрахунок на міцність стояка оборотної лапи парового культиватора;
- виконати енергетичний розрахунок – правильність вибору трактора за тяговим зусиллям;
- дослідити умови роботи та параметри котків комбінованого агрегата на базі парового культиватора;
- розробити вимоги безпеки при експлуатації, підготовці до роботи, технічному обслуговуванні і транспортуванні комбінованих ґрунтообробних агрегатів;
- відзначити невідкладні аварійно-рятувальні роботи на підприємствах агропромислового комплексу в осередках ураження.

## **Об'єкт, методи та джерела дослідження**

*Об'єкт дослідження.* Конструктивні елементи парового культиватора для основного обробітку ґрунту.

*Предмет дослідження.* Технологічні, силові, енергетичні розрахунки та розрахунки на міцність конструктивних елементів парового культиватора удосконаленої конструкції.

*Методи дослідження.* Теоретико-емпіричний, теорії міцності, графічний, порівняльний, математичного моделювання.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

Доведено можливість використання парового культиватора з удосконаленими робочими органами для виконання основного обробітку ґрунту. Обґрунтовано вибір конструкції лап, стояків, котків та кінематику культиватора для забезпечення стійкості ходу.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

Використання парового культиватора з удосконаленими робочими органами забезпечує основний обробіток ґрунту після просапних культур під посів озимих.

**Апробація.** Окремі результати роботи доповідались на ІХ Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, ТНТУ, 25-26 листопада 2020 року).

**Ключові слова:** паровий культиватор, оборотна лапа, пружинна стійка, рама рубчасті котки, основний обробіток ґрунту, трактор.

## ЗМІСТ

	Стр.
ВСТУП .....	8
1. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ .....	9
1.1. Аналіз комбінованих знарядь для грунтообробки .....	9
1.2. Аналіз об'єкту проектування .....	20
1.3. Обґрунтування теми дипломної роботи магістра .....	22
2. ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТУ РОЗРОБКИ .....	24
2.1. Обґрунтування змін, внесених у конструкцію парового культиватора .....	24
2.2. Розрахунок взаємного розташування робочих органів парового культиватора .....	30
2.3. Розрахунок механізму підймання удосконаленого парового культиватора .....	36
2.4. Кінематичні розрахунки удосконаленого парового культиватора .....	38
2.5. Розрахунок на міцність стояка оборотної лапи парового культиватора .....	42
2.6. Енергетичний розрахунок. Перевірка правильності вибору трактора за тяговим зусиллям .....	46
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТУ РОЗРОБКИ.....	48
3.1. Обґрунтування застосування комбінованих агрегатів .....	48
3.2. Дослідження умов роботи та параметрів котків комбінованого агрегата на базі парового культиватора .....	49

4.	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	58
4.1.	Вимоги безпеки при експлуатації комбінованих грунтообробних агрегатів .....	58
4.2.	Вимоги безпеки при підготовці до роботи, технічному обслуговуванні і транспортуванні комбінованих агрегатів .....	59
4.3.	Невідкладні аварійно-рятувальні роботи на підприємствах агропромислового комплексу в осередках ураження .....	61
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	66
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	67
	ДОДАТКИ.....	69



## ВСТУП

У сучасному землеробстві в основному застосовують енерго- і ресурсоємні технології вирощування сільськогосподарських культур, основи яких були розроблені більше як століття назад. Вони базуються на перевертанні скиби, на найбільш нелогічному відношенні до ґрунту, яке порушує всі екологічні його параметри як природного тіла. Класична технологія обробітку ґрунту полицевими знаряддями передбачала повне загортання усіх рослинних решток на полі, при новій безполицевій – навпаки, рослинні рештки повинні повністю залишатися на поверхні ґрунту.

Найгостріша проблема, як світового, так і українського землеробства, – це прогресуюча деградація земель, на яких вирощують польові сільськогосподарські культури. Через зміну кліматичних умов виникла ще одна загроза для виробництва продукції рослинництва – це водна та вітрова ерозія, яка посилюється через неправильні підходи до обробітку ґрунту. Для запобігання цим негативним явищам у землеробстві розроблено нові технології вирощування сільськогосподарських культур, які базуються на застосуванні безполицевого обробітку ґрунту, залишаючи стерньовий або покритий подрібненими рослинними рештками (мульчою) поверхневий шар ґрунту на полях. Такий стан поверхні поля покращує накопичення та збереження вологи та поживних органічних речовин у верхньому шарі ґрунту, значно зменшує, або взагалі запобігає водній та вітровій ерозіям ґрунту.

Удосконалення сільськогосподарських машин, які випускає вітчизняне машинобудування або розробка нових сільськогосподарських машин, повинні бути направлені на покращення якості традиційних технологічних процесів роботи машин на полях або узгоджені з вимогами нових, сучасних, екологічно безпечних, регіональних технологій вирощування сільськогосподарських культур. Для забезпечення якісної агротехніки при застосуванні цих технологій традиційними машинами та знаряддями для основного обробітку ґрунту полицевими плугами досягнути неможливо, тому науково доведено необхідність переходу в Україні до безполицевого обробітку ґрунту.

# 1. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ

## 1.1. Аналіз комбінованих знарядь для ґрунтообробки

Комбіновані машини та агрегати, які використовують для обробітку ґрунту, можуть одночасно або послідовно виконувати декілька технологічних операцій у системі вирощування сільськогосподарських культур. Завдяки цьому забезпечується раціональне завантаження енергозасобів, з якими їх агрегатують. Це суттєво на малоенергоємних операціях, а також на полях, де ускладнене через географічні та інші особливості використання широкозахватних одноопераційних машин. Скорочення кількості проходів ґрунтообробних агрегатів на полях зменшує час на холості ходи і переїзди. Також зменшується ущільнення ґрунту та непродуктивні затрати енергії на переміщення тракторів і агрегованих з ними знарядь.

Для комбінування ґрунтообробних машин в один агрегат необхідно враховувати такі фактори [8, 10, 12, 15-17]: терміни виконання робіт, погодні умови, наявність відповідних енергозасобів та пристосованість (конструктивні особливості) робочих органів ґрунтообробних знарядь і посівних машин.

Під час обробітку ґрунту комбінованими агрегатами, можна поєднувати окремі з них так, щоб суміщати такі операції: основний обробіток з внесенням меліорантів; увесь комплекс передпосівного обробітку; передпосівний обробіток водночас із сівбою.

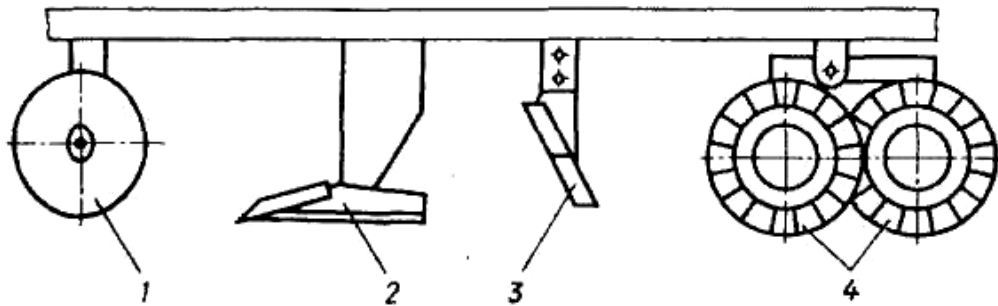
У кожному із цих напрямів є розроблені відповідні конструкції машин, але є й можливості для їх удосконалення.

Найпоширеніші і конструктивно відпрацьовані комбіновані машини для основного обробітку ґрунту з різним комбінуванням робочих органів.

Комбінований агрегат типу АКП-5 (рисунок 1.1) призначений для основного обробітку ґрунту на глибину 8...14 см без обертання скиби. Використовують його під час підготовки під сівбу озимих зернових, післяжнивних та післяукісних культур після непарових попередників. За один прохід полем такий агрегат виконує операції розпушування верхнього і

нижнього шарів ґрунту з повним підрізанням бур'янів і післяжнивних решток; прикочування і ущільнення нижніх шарів ґрунту з додатковим подрібненням груд і брил у верхньому шарі та кришіння ґрунту і вирівнювання поверхні поля.

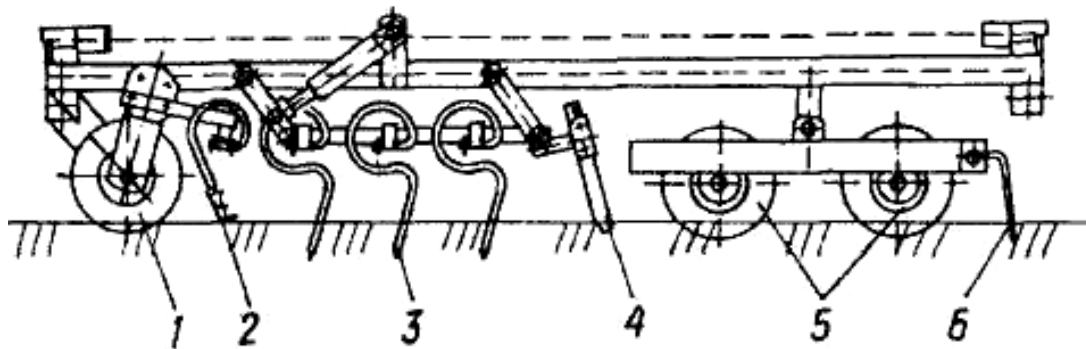
Для виконання кожної з операцій у складі агрегату є відповідний тип робочих органів.



- 1 – дисковий луцильник, 2 – плоскорізальна лапа, 3 – вирівнювальний шлейф,  
4 – кільчасто-шпорові котки

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

Для поверхневого передпосівного обробітку ґрунту застосовують переважно комбіновані агрегати. Часто їх проектують за принципом конструкцій типу «Європак» (рисунок 1.2).



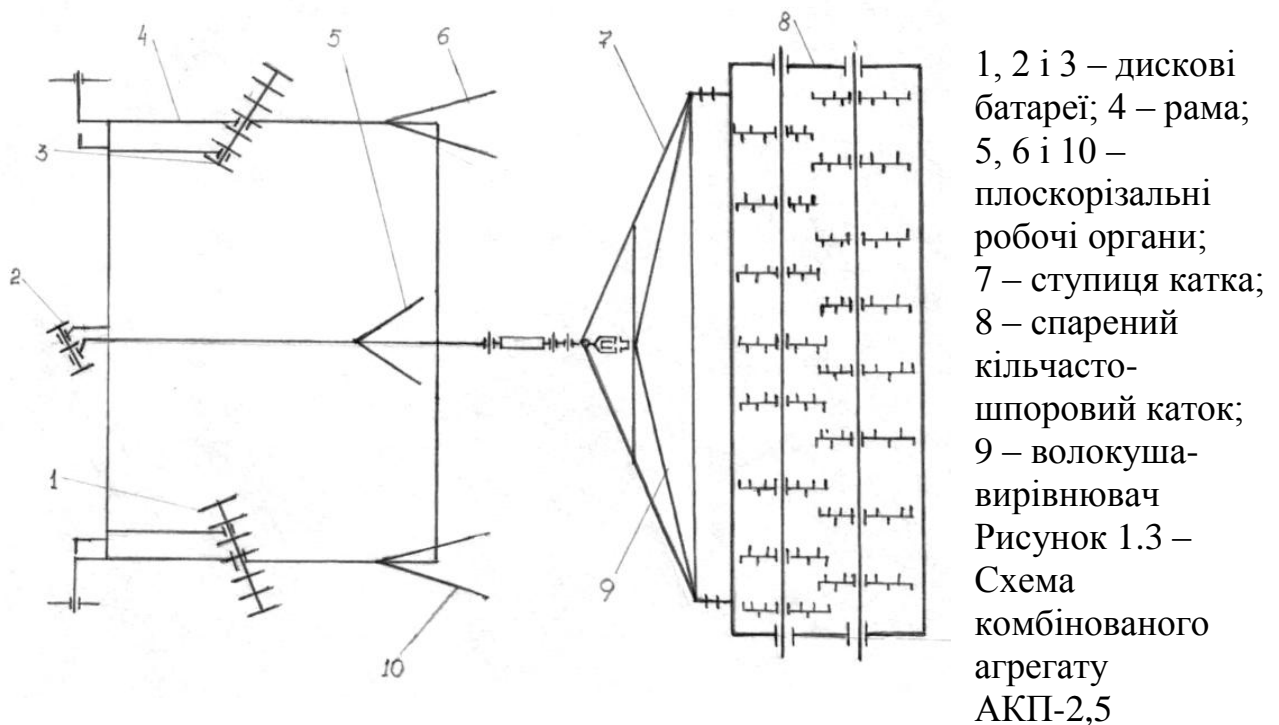
- 1 – розпушувальний коток; 2 – фронтальна волокуша на пружинному стояку;  
3 – пружинні розпушувальні зуби; 4 – центральна волокуша;  
5 – тандемний розпушувальний коток; 6 – легкі пружинні зуби

Рисунок 1.2 – Схема розміщення робочих органів комбінованого ґрунтообробного агрегату типу «Європак»

Агрегати побудовані за такою чи подібною схемами готують ґрунт на глибину 3...12 см, а саме, розпушують, кришать, вирівнюють та ущільнюють ґрунт, створюючи тим самим дрібно грудочкувату структуру для сівби.

Завдяки потужним тракторам в одному ґрунтообробному агрегаті можна суміщати у різній комбінації два і навіть чотири типи знарядь. Завдяки цьому передпосівний обробіток здійснюють скороченим числом робочих проходів.

Ефективний комбінований агрегат для основного обробітку ґрунту без обертання скиби і допоміжного обробітку – це АКП-2,5 (рисунок 1.3). Готує ґрунт для сівби за один прохід агрегату.



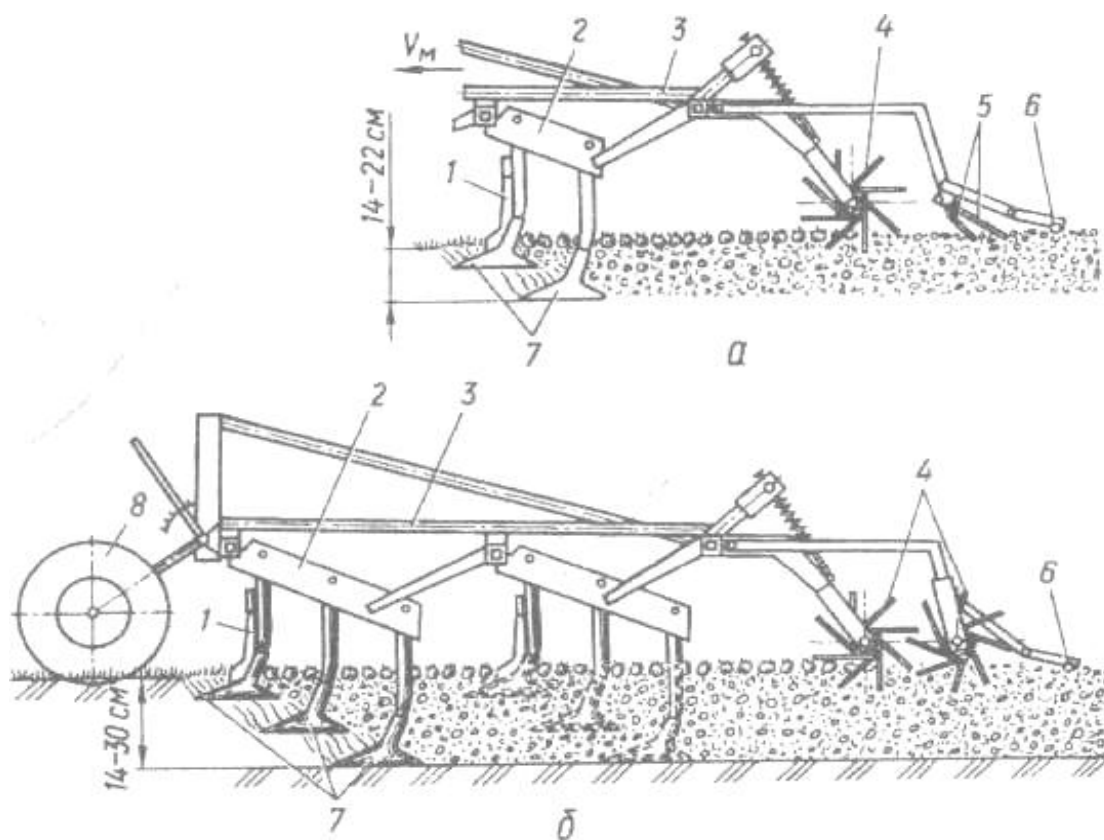
Дискової батареї 1, 2 і 3 розпушують верхній шар ґрунту на глибину 6...8 см, подрібнюють рештки стерні. Лапи-плоскорізи 5, 6 і 10 підрізають бур'яни і подрібнюють ґрунт на глибину до 16 см. Вирівнювач 9 вирівнює поверхню ріллі, кільчасто-шпорові котки 8 розпушують грудки і брили, ущільнюють ґрунт, залишаючи розпушеним верхній шар.

Комбіновані ґрунтообробні агрегати обладнують як приводними, так і неприводними робочими органами. Культиваторні лапи встановлюють на жорсткі, гнучкі або підпружинені стійки. Такі знаряддя комплектують також зубовими або дисковими боронами, різними типами котків та ін.

Найдоцільніше суміщати дві-три операції основного і три-чотири операції передпосівного обробітку ґрунту (подрібнення грудок, знищення бур'янів, вирівнювання та ущільнення поверхні) [8, 10, 12, 15-17].

Під час конструювання та використання комбінованих машин та агрегатів, щоб досягти ефективного їх застосування необхідно враховувати [8, 10, 12, 15]: енергоємність, продуктивність, пристосованість до умов роботи, затрати на виконання технологічного процесу порівняно з одноопераційними знаряддями. Також важливим є отримуваний рівень врожайності, він має бути вищим ніж при використанні звичайних знарядь.

Для основної зони землеробства нашої країни, а саме лісостепу, доцільним є застосування комбінованих ґрунторозпушувачів, які можна виготовляти на базі нових плугів. Вони здійснюють пошаровий обробіток ґрунту і підготовку поля для сівби за один прохід. Виконується це роботою ярусно розміщених важких культиваторних лап і додаткового обладнання, яке послідовно встановлюють за лапами (рисунок 1.4). Це можуть бути голчасті чи інші котки, зубові гребінки, тобто зубові борони з планчастими похилими зубами і пруткові шлейфи [16, 18].



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

Рисунок 1.4 – Схеми комбінованих ґрунторозпушувачів, розроблених в Кіровоградському національному технічному університеті

Базовими елементами таких ґрунтообробних машин для безполицевого обробітку ґрунту є гряділі, конструктивно вписані в конструкцію рами знаряддя. На гряділях закріплюють одну або дві лапи.

Голчасті котки додатково подрібнюють грудки, дещо ущільнюють і вирівнюють розпушений шар ґрунту. Зубові гребінки додатково подрібнюють грудки і також розрівнюють поверхневий шар ґрунту. Пруткові шлейфи вирівнюють поверхню поля [16, 18].

Якість виконання технологічного процесу за агротехнічними вимогами, зокрема за інтенсивністю кришіння ґрунту, добра. Це простежується за вмістом ґрунтових агрегатів розміром до 25 см у загальному об'ємі розпушеного ґрунту (понад 80 %), цього достатньо для підготовки ґрунту під сівбу більшості зернових культур [16, 18].

Для сівби озимих, щоб забезпечити якісну підготовку важких ґрунтів за один прохід, необхідним є інтенсивне кришіння верхніх шарів та ефективне самоочищення голчастих котків від рослинних решток. Для цього можна використати ґрунторозпушувач із двома послідовно встановленими котками (рисунок 1.4б).

Комбіновані агрегати для передпосівного обробітку ґрунту можна компонувати на базі інтегрального енергозасобу, приєднуючи робочі органи на передню і задню навіску трактора.

Ефективнішими є використання спарених голчастих котків при вимушеній необхідності проведення основного обробітку ґрунту навесні. Стан ґрунту в даний період дозволяє забезпечити гарантовану його підготовку під сівбу будь-яких сільськогосподарських культур за один прохід. Крім того, з'являється можливість суттєво скоротити терміни підготовки ґрунту і сівбу, що позитивно впливає на збереження вологи у ґрунті.

ґрунторозпушувачі, які використовують для основного і передпосівного обробітку ґрунту, можна легко перебудувати у комбіновані машини для поверхневого обробітку ґрунту. На гряділях залишають по одній передній лапі [16, 18].

Складніші умови для підготовки поля під сівбу, на якому залишилися великі стебла рослин (після соняшнику, кукурудзи на зерно, або при застосуванні зчісувальних жаток при збиранні зернових, або взагалі поле дуже засмічене високорослими бур'янами). Перед оранкою такі поля обробляють у два сліди важкими дисковими боронами.

Розглянемо конструкції начіпних комбінованих агрегатів з різною комплектацією додаткового обладнання, наприклад, голчасто-планчасті котки, зубові гребінки і пруткові шлейфи.

Голчасто-планчасті котки складаються з набору їжаків, закріплених на валу і зафіксованих на ньому штирями. Такий їжак складається з маточини, до фланця якої з обох боків приварені прутки. Після набору їжаків на вал, до їх прутків приварюють кутники. Довжина котка не більше 1 м для задовільного копіювання рельєфу поля. У складі комбінованого агрегату котки прикріплюють до рами плуга шарнірно у два ряди для уникнення огріхів і забезпечення вільного копіювання рельєфу поля кожним котком.

Під час роботи котки своїми голками та планками подрібнюють грудки, які лежать на поверхні поля, дещо ущільнюють і вирівнюють розпушений шар ґрунту. Зубові гребінки додатково подрібнюють вже менші грудки і також розрівнюють поверхневий шар ґрунту на полі. Пруткові шлейфи кінцево вирівнюють поверхню поля.

Для якісної підготовки важких ґрунтів за один прохід та з метою інтенсивного кришіння верхніх шарів, а також забезпечення ефективного самоочищення голчастих котків від рослинних решток, використовують ґрунторозпушувачі з двома послідовно встановленими котками. У переднього котка голки виконані з круглого профілю, у заднього котка голки виконані пластинчастими. Поперечні ряди пластинчастих голок заднього котка входять у проміжки між поперечними рядами голок переднього котка, завдяки цьому досягається необхідний ефект від роботи цих котків. Для надійного притискання котків до поверхні поля є пружини натискних штанг [16, 18].

Така комбінація котків ефективна при вимушеному виконанні основного обробітку ґрунту весною, коли його стан може забезпечити гарантовану

підготовку поля під сівбу будь-яких сільськогосподарських культур за один прохід. Крім того, з'являється можливість суттєво скоротити терміни підготовки ґрунту і сівбу, що позитивно впливає на збереження вологи.

Додаткове обладнання для поверхневого ретельнішого розпушення ґрунту, наприклад, у вигляді голчастих котків та гребінок, дає інколи більший приріст тягового опору ніж другий (задній) ярус лап на гряділі [16, 18].

Полеві дослідження комбінованих агрегатів, що складаються із розпушувальних лап, голчастих котків та гребінок, дали такі показники якості обробітку ґрунту: при роботі одного ярусу лап якісний показник кришіння (вміст грудок розміром до 25 мм у загальному об'ємі розпушеного ґрунту) становив  $C=61\%$ ; при двоярусному –  $C=78\ldots 80\%$ ; при одноярусному з голчастими котками і гребінками –  $C=78\%$ ; при двоярусному з голчастими котками і гребінками –  $C=90\%$  [16, 18].

Для основного обробітку ґрунту можна використовувати комбіновані ґрунтообробні машини – ґрунторозрихлювачі ГРН-2,9, ГРН-3,9 (рисунок 1.5), які забезпечують безполицевий обробіток ґрунту на глибину до 28 см і культивуацію на глибину до 12 см.



Рисунок 1.5 – Ґрунторозрихлювачі ГРН-2,9 і ГРН-3,9

Технологічний процес ґрунторозрихлювачів: підрізання шару ґрунту, інтенсивне його кришіння і подрібнення, вирівнювання поверхні ґрунту і



часткове ущільнення, підготовку під посів більшості сільськогосподарських культур відповідно з агротехнічними вимогами.

Використовуючи такі глибокорозрихлювачі почати підготовку поля під посів озимих культур можна набагато пізніше, безпосередньо за 3...4 дні перед посівом, готують її за один прохід на відміну від традиційної технології – оранки, дискування, культивації і сівби.

Враховуючи конструктивні особливості причіпної двошарової безполицевої машини, тобто ґрунторозпушувача, її можна легко перетворити на одноярусну, тобто культиватор, знявши з гряділів задні лапи.

На базі такого причіпного культиватора можна скласти такі ж комбіновані агрегати, як і на базі ґрунторозпушувача, тобто для підготовки поля під сівбу за один прохід. Агрегатують з тракторами класу 1,4 або 2.

## **1.2. Аналіз об'єкту проектування**

Для забезпечення розуцільнення родючого шару ґрунту, збільшення його водопроникливості, загальної і некапілярної пористості, створення оптимальних умов для мікробіологічних процесів у родючому шарі, активізації фізіологічних процесів у рослинах, підвищення віддачі від мінеральних добрив застосовують сучасні культиватори з високопродуктивними робочими органами.

У даній дипломній роботі пропонується удосконалити конструкцію культиватора типу КПК-4 з метою використання його для основного обробітку ґрунту.

Культиватор КПК-4 – паровий (розпушувач) комбінований з шириною захвату 4 м. Призначений для розпушення важких та середніх ґрунтів при відсутності каміння, як у весняний так і в осінній період та часткового закриття в ґрунт органічних та мінеральних добрив.

Культиватор КПК-4 агрегують з тракторами тягового класу 3, 4 або-5. Спосіб агрегування – причіпний; може експлуатуватися на полях з ухилом до  $8^{\circ}$  на ґрунтах вологістю до 20 % та твердістю до 3,5 МПа.

КПК-4 (графічна частина роботи) складається з таких основних частин: рами, коліс, приєднувального пристрою (сниці), стояків кріплення робочих органів, оборотних лап. До складу культиватора можуть входити додаткові робочі органи – це зубові борони, котки та інші.

Переведення культиватора у транспортний стан і навпаки здійснюється з місця тракториста гідросистемою трактора.

Механізм регулювання глибини ходу – гвинтова пара. При закручуванні або викручуванні гвинта змінюється положення колеса відносно рами. Один повний оберт гвинта відповідає зміні глибини обробітку ґрунту на 15 мм.

Культиватор може використовуватись у всіх ґрунтово-кліматичних зонах України за винятком зон гірського землеробства [2].

Культиватор КПК-4 використовують для передпосівного та основного обробітку ґрунту з метою збереження вологи, зниження енерго та трудовитрат.

### **1.3. Обґрунтування теми дипломної роботи магістра**

Використання комбінованих ґрунтообробних агрегатів дозволяє зекономити паливно-мастильні матеріали, час обробітку, зменшити кількість проходів агрегатів, що знижує переущільнення родючого шару ґрунту і згодом відображається на врожайності.

Переваги безполицевого обробітку ґрунту суттєві. Тому тема дипломної роботи «Обґрунтування параметрів культиватора для основного обробітку ґрунту» є актуальною.

Оскільки більшість невеликих фермерських господарств, не мають змоги придбати нові конструктивні розробки – ґрунторозпушувачі для гнучких технологій вирощування сільськогосподарських культур, то можна

переобладнувати для виконання технологічного процесу основного обробітку ґрунту важкі парові культиватори із застосуванням чизельних робочих органів. Основними базовими робочими органами таких знарядь є важкі культиваторні лапи оборотні або стрілчасті на жорстких стояках. Такі культиватори є у більшості господарств.

Аналіз конструкцій парових культиваторів-розпушувів свідчить про можливість обладнання його чизельними робочими органами на пружинних стояках. Кріплення нових робочих органів можна здійснювати безпосередньо до поперечних брусів рами болтовими з'єднаннями через спеціальні накладки. До такого культиватора можна додати додаткове обладнання – котки або борони.

Отже, розуцільнення родючого шару, збільшення водопроникливості, загальної і некапілярної пористості, створення оптимальних умов для мікробіологічних процесів у родючому шарі ґрунту, активізація фізіологічних процесів у рослинах, підвищення віддачі від мінеральних добрив можна досягнути застосовуючи культиватори з високопродуктивними робочими органами. Тому у даній дипломній роботі розробляються робочі органи, які рекомендовані для встановлення на парові культиватори типу КПК-4. Це оборотні лапи і рубчасті котки. Застосування таких агрегатів дозволить виконати основний і передпосівний ґрунту під будь-яку сільськогосподарську культуру. Найоптимальнішим є їх застосування після збирання просапних чи низько стеблових культур на полях середньої засміченості бур'янами [23].

У дипломній роботі необхідно обґрунтувати конструктивні, кінематичні, технологічні та енергетичні параметри запропонованої розробки.

Розробити заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Виконати графічно запропоновані конструктивні рішення.

## **2. ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТУ РОЗРОБКИ**

### **2.1. Обґрунтування змін, внесених у конструкцію парового культиватора**

Аналізуючи дослідження, направлені на покращення умов і запобігання надмірному пересушуванню ґрунту, що особливо спостерігається при інтенсивному і частому обробітку ґрунту [8, 10, 12, 21], можна виділити такий напрям для часткового вирішення цієї проблеми. Це застосування нового способу основного обробітку ґрунту – чизельного, під час якого інтенсивніше, і на досить велику глибину можна розпушувати ґрунт. Також можна під час цього мульчувати верхні шари подрібненими рослинними рештками. Наслідок – забезпечення оптимальних умов запобігання вітровим і водним ерозіям, накопичення достатнього запасу вологи в зимовий період і створення умов для її утримання протягом періоду вегетації культурних рослин.

З ґрунтообробних машин, які можна порівняно легко переобладнати для виконання основного обробітку ґрунту із застосуванням чизельних робочих органів, є важкі культиватори, наприклад культиватор паровий комбінований типу КПК-4. Його основними базовими робочими органами є важкі культиваторні лапи на жорстких стояках. Аналізуючи конструкцію культиватора можна запропонувати обладнати його чизельними робочими органами на пружинних стояках (графічна частина роботи). Кріплення нових робочих органів можна здійснювати безпосередньо до поперечних брусів рами болтовими з'єднаннями через спеціальні накладки. Для дотримання правильного розташування чизельних робочих органів необхідним є часткове зміщення за ходом машини опорних коліс з гідравлічними механізмами переведення культиватора з робочого в транспортне положення та гвинтовими механізмами регулювання глибини обробітку ґрунту [23].

Культиватор з такими робочими органами можна використовувати для основного обробітку важких та середніх ґрунтів без кам'янистих включень. Це забезпечить збереження вологи, зниження енерго- та трудовитрат.

Удосконалений культиватор типу КПК-4 – причіпний, складається з: рами, коліс, приєднувального пристрою (сниці), стояків кріплення робочих органів, оборотних лап.

Механізм регулювання глибини ходу культиватора, тобто глибини обробітку, – гвинтова пара. Основні робочі органи культиватора – оборотні лапи з шириною захвату 65 мм, мають індивідуальне кріплення і можуть розпушувати ґрунт на задану глибину.

Для удосконалення конструкції такого культиватора доцільним є використання як додаткових робочих органів – рубчастих котків (рисунок 2.2 і графічна частина роботи). Додаткові робочі органи призначено для додаткового кришіння попередньо розпушеного лапами ґрунту. Вони розташовані позаду лап на всю ширину культиватора.

Рама культиватора (графічна частина роботи) конструктивно змінена, для того, щоб забезпечити приєднання додаткових робочих органів – рубчастих котків. Конструктивно передбачена можливість зміни тиску на ґрунт з боку ребер котків. Для цього призначені натискні штанги з пружинами.

При підготовці до роботи і комплектуванні агрегатів ступінь тиску на ґрунт додатковими робочими органами вибирають залежно від стану ґрунту.

Культиватор типу КПК-4 з розробленими у даній дипломній роботі, робочими органами (графічна частина роботи), доцільно використовувати для основного обробітку ґрунту після просапних культур під посів озимих. Можна використовувати для основного обробітку під ярі культури навесні, особливо це ефективно на староорних незабур'ячених легких ґрунтах.

Застосування таких машин сприяє отриманню високих врожаїв зернових та просапних культур завдяки збереженню та накопиченню вологи у ґрунті. Використання цих машин доцільне на староорних ґрунтах, для збереження і примноження їх природної родючості.

Застосування удосконаленого культиватора типу КПК-4 та ін. дозволить в оптимальні терміни виконати обробіток ґрунту з максимальним збереженням вологи та зменшити затрати часу та паливно-мастильних матеріалів порівняно з класичною технологією полицевого обробітку.

## 2.2. Розрахунок взаємного розташування робочих органів парового культиватора

Робочі органи парового культиватора типу КПК-4 рухаються в ущільненому ґрунті. Руйнування ґрунту оборотними лапами культиватора відрізняється від дії корпусу плуга тим, що зліва ґрунт не відділяється від суцільного масиву розрізом, зробленим ножом, а справа – стінкою борозни, які точно обмежують ширину пласта ґрунту, яку руйнує корпус. У даному випадку ці краї визначаються механічними властивостями ґрунту, розмірами, геометричною формою і розташуванням робочої поверхні оборотної лапи. Коли лапа рухається на глибині  $a$  (рисунок 2.1), то вона сколює ґрунту перед собою під кутом  $\tau$  [2, 7, 14].

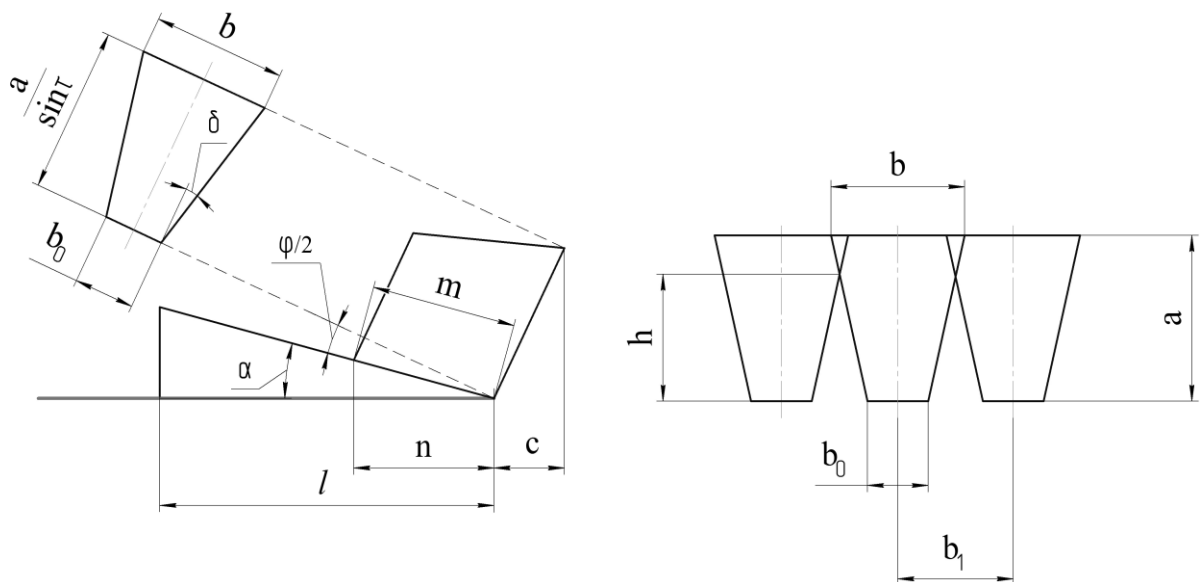


Рисунок 2.1 – Дія оборотної лапи на ґрунті

Орієнтовно можна вважати, що кут нахилу робочої поверхні лапи  $\alpha$  і кут тертя по ній ґрунту  $\varphi$  дорівнюють між собою. Тоді можна припустити таку рівність

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

або

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

де  $\varphi_1$  – кут внутрішнього тертя ґрунту, приймаємо  $\varphi_1 = 50^\circ$ ;

$\alpha$  – кут піднімання, приймаємо  $\alpha = 25^\circ$  [2, 7, 14].

Тоді

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

Переріз ґрунту, який руйнує оборотна лапа (рисунок 2.2) парового культиватора, можна прийняти за рівнобічну трапецію з нижньою основою  $b_0$ , що дорівнює ширині лапи, тобто  $b_0 = 65 \text{ мм}$ , а верхня основа  $b$  – ширина розпушеного ґрунту на поверхні поля. Кут, який розташовано у площині сколювання ґрунту  $\delta$  дорівнює половині внутрішнього кута тертя обробленого ґрунту [2, 7, 14]

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

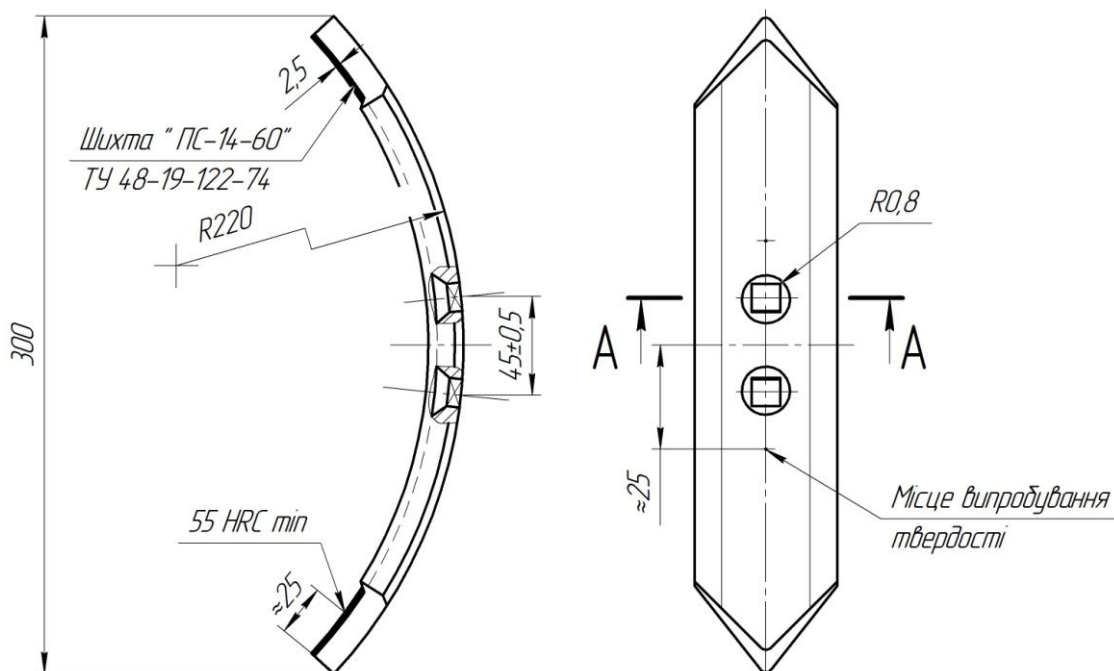


Рисунок 2.2 – Оборотна культиваторна лапа

Довжину верхньої основи трапеції  $b$  можна визначити з [2, 7, 14]

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

де  $a$  – глибина обробітку, приймаємо  $a = 200$  мм .

Отримаємо

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

Дія лапи на ґрунт у поздовжньому напрямку розповсюджується уперед на відстань  $c$  , яку визначимо так [2, 7, 14]

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

Отримаємо

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

Для попередження забивання простору між лапами при розпушенні визначаємо відстань між сусідніми лапами (рисунк 2.3), користуючись формулою [2, 7, 14]

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

Отримаємо

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



З конструктивних міркувань та з метою відповідності гребенястості поверхні обробленого ґрунту та мікрорельєфу поверхні підорного горизонту агротехнічним вимогам приймаємо відстань між лапами 150 мм.

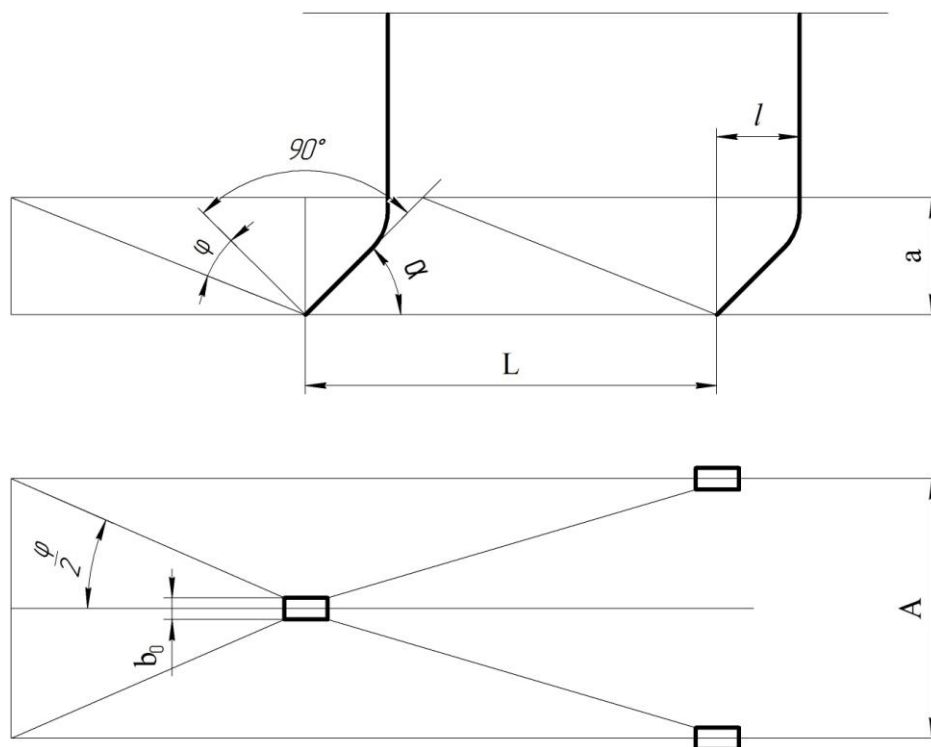


Рисунок 2.3 – Розташування лап для розпушення ґрунту

Визначаємо відстань між рядами лап з умови [2]

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

Отримаємо

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

З конструктивних міркувань приймаємо відстань між передніми рядами лап 890 мм, між задніми – 870 мм.

Отже, отримані розрахунковим шляхом параметри взаємного розташування оборотних лап при використанні їх на важкому парвому культиваторі типу КПК-4 повинні задовольняти вимогам щодо якісного розпушування ґрунту на задану глибину при наявності на поверхні поля передбаченої технічними умовами кількості рослинних решток.

Ширину захвату культиватора для суцільного обробітку ґрунту визначаємо так [2, 7, 14]

$$B = \eta \cdot P_E \cdot q , \quad (2.8)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт використання тягового зусилля трактора, приймаємо оптимальне значення  $\eta = 0,8$  ;

$P_E$  – тягове зусилля трактора, так як з вихідних даних культиватор агрегують з тракторами класу 3, то на швидкості 9 км/год тягове зусилля трактора складає 29 кН [2];

$q$  – питомий опір ґрунту на 1 м ширини захвату культиватора, з урахуванням того, що до складу культиватора входять рубчасті котки, то приймаємо  $q = 5,5 \text{ кН} / \text{м}$  [2].

Отже ширина захвату культиватора

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

З конструктивних особливостей транспортування приймаємо  $B = 4 \text{ м}$  .

На культиваторі оборотні лапи для розпушення ґрунту розташовані у три ряди.

Кількість робочих органів на культиваторі визначаємо із залежності

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

де  $B$  – ширина захвату культиватора;

$b$  – технологічна ширина захвату одного робочого органу (лапи).

Отримаємо

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

Приймаємо кількість лап  $n = 26$  .

### 2.3. Розрахунок механізму підймання удосконаленого парового культиватора

Розрахунок механізму підймання удосконаленого парового культиватора типу КПК-4 виконаємо у такій послідовності.

Реакції на колесах та серзі причепа культиватора визначаємо зі схеми наведеної рисунку 2.4.

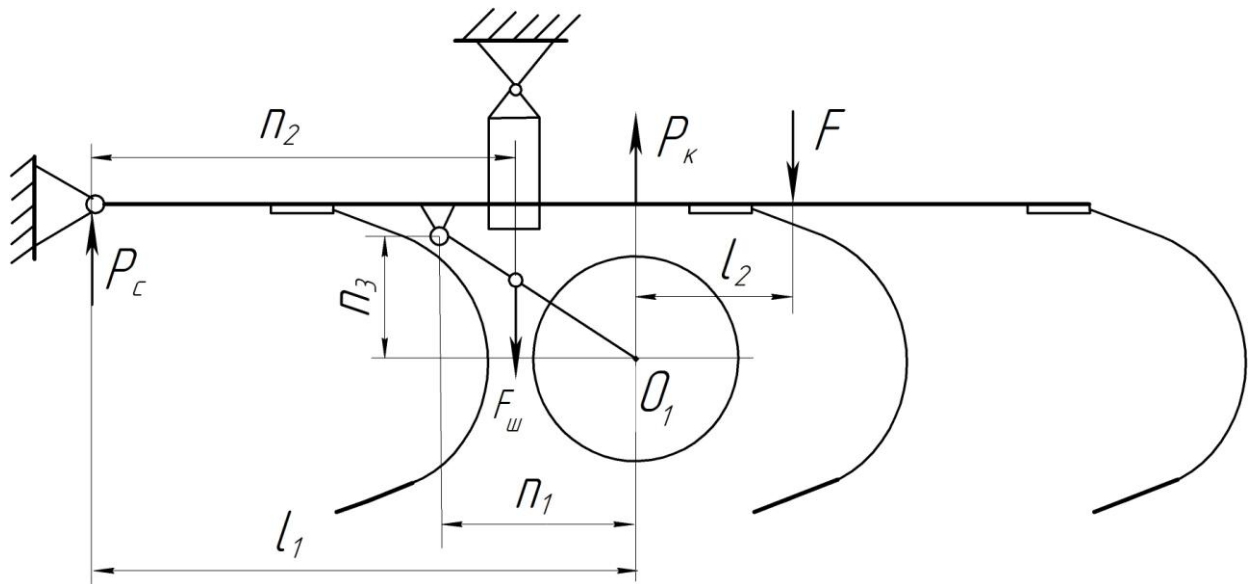


Рисунок 2.4 – Схема механізму підймання робочих органів парового культиватора типу КПК-4

Рівнодіючу всіх сил, що діють на паровий культиватор, визначаємо з умови [2, 11]

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

де  $G$  – вага культиватора;

$Q$  – вага ґрунту, який лежить на робочих органах;

$Q_1$  – зусилля, яке витрачено на відрив шару ґрунту.

Вага ґрунту, який знаходиться на робочих органах, визначаємо так [2]

$$Q = a + b^2 \cdot \text{ctg } \alpha \gamma \cdot q \cdot n / 2, \quad (2.11)$$

де  $a$  – глибина обробки ґрунту;

$b$  – ширина захвату однієї лапи;

$n$  – кількість лап;

$q$  – питома вага ґрунту.

Зусилля, яке необхідно для відриву шару ґрунту

$$Q \sim Q_1. \quad (2.12)$$

Тоді вираз (2.10) буде

$$F = G + 2(a \cdot b^2 \cdot \operatorname{ctg} \alpha \gamma \cdot q \cdot n / 2). \quad (2.13)$$

Отримаємо

$$F = 1500 + 2(0,2 \cdot 0,65^2 \cdot 1,38 \cdot 820 \cdot 26 / 2) = 152 \text{ кг} = 15240 \text{ Н}.$$

Визначивши рівнодіючу  $F$ , можна розрахувати реакції на колесах та серзі причепу за формулами [2, 11]:

$$P_K = F(l_1 + l_2) / l_1; \quad (2.14)$$

$$P_C = F \cdot l_2 / l_1 \quad (2.15)$$

де  $l_1, l_2$  - плечі, на яких діють шукані зусилля.

Підставимо значення, визначивши попередньо довжину плечей з креслення кінематичної схеми, і отримаємо:

$$P_K = 15240 (3000 + 522) / 3000 = 17891 \text{ Н};$$

$$P_C = 15240 / 3000 \cdot 522 = 2651 \text{ Н}.$$

Знаходимо зусилля, яке діє вздовж штока гідроциліндра при переводі культиватора з робочого стану в транспортний [2, 11, 15]

$$F_{III} = [(P_K - G_K) \cdot n_1 - P_K \cdot f \cdot n_3] / n_2 , \quad (2.16)$$

де  $G_K$  – вага двох коліс;

$f$  – коефіцієнт опору колеса, приймаємо  $f = 0,15$  .

Матимемо

$$F_{III} = [(17891 - 1400) \cdot 0,85 - 17891 \cdot 0,15 \cdot 0,26] / 0,45 = 29600 \text{ Н} .$$

За отриманим значенням  $F_{III}$  обираємо для підймання культиватора гідроциліндр Ц-75 з зусиллям виштовхування штока 37000 Н .

Запас міцності складає

$$\Delta = \frac{37000}{29600} = 1,25 .$$

Цього достатньо для надійної роботи культиватора, але конструктивно передбачаємо використання двох гідроциліндрів, встановлених безпосередньо над опорними колесами.

#### **2.4. Кінематичні розрахунки удосконаленого парового культиватора**

За вихідними даними та прийнятим розташуванням робочих органів побудуємо кінематичну схему культиватора (рисунок 2.5).

Побудову починаємо із встановлення відстані  $L$  від носків лап передніх робочих органів до точки приєднання машини до трактора та висоти  $H$  від точки причепа до леза робочих органів.

Від цих параметрів, а також величини рівнодіючої сил опору  $P$  залежить стійкість ходу і занурення робочих органів.

Значення  $L$  та  $H$  необхідно обирати так, щоб при мінімальному значенні кута нахилу  $\psi$  вектора сили  $P$  до горизонту утворювався позитивний момент відносно точки причепу, тобто [2, 11, 15]

$$M_{\min} = P \cdot l > 0 \quad (2.17)$$

Кут  $\psi$  нахилу рівнодіючої для стрілчастих лап дорівнює  $20^\circ$  [4].  
Значення кута  $\psi$  для всіх рядів культиватора приймаємо однаковим.

Відстань  $h$  від точки перетину рівнодіючої з оборотною лапою складає  $0,2a$ , тобто при глибині розпушення лапи у  $200 \text{ мм}$

$$h = 0,2 \cdot 200 = 40 \text{ мм} .$$

Доцільно, щоб значення  $L$  було найбільшим, а  $H$  – найменшим. Однак величина  $L$  обумовлена стійкістю робочих органів у поздовжньо-вертикальній площині, а  $H$  – прохідністю.

З кінематики трактора Т-150, попередньо обраного для агрегування культиватора, призначаємо  $H = 780 \text{ мм}$ .

Для стійкого ходу агрегату при транспортуванні культиватора шляхами загального користування, відстань  $L$  повинна бути не менше половини ширини захвату культиватора, тобто  $>2000 \text{ мм}$ .

Приймаємо  $L$  з конструктивного розташування сніці та лап  $3125 \text{ мм}$ .

Отже, умова  $L \geq 2H$  виконується.

Колеса відносно лап слід розташовувати так, щоб у робочому стані вони переміщувалися за зоною деформації ґрунту і був забезпечений вільний прохід розпушеного ґрунту. Це можливо при виконанні умови [2, 11, 152]

$$b \geq 2a \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) + 60 \dots 100 , \quad (2.18)$$

де  $b$  – відстань від осі коліс до носків лап;

$\alpha$  – кут підймання лапи;

$\varphi^1$  – кут тертя ґрунту об метал;

60 ... 100 – величина, яка враховує втискання колеса у ґрунту.

Отримаємо

$$b \geq 2 \cdot 200 \cdot \operatorname{tg}(10 + 25) + 80 = 360 \text{ мм} .$$

Приймаємо  $b = 350 \text{ мм}$  .

Довжина коліна вісі коліс [2, 11, 15]

$$L_0 = [H - H_{II} - (a + D / 2)] / \cos \beta_1 , \quad (2.19)$$

де  $H_{II}$  – висота підшипника;

$a$  – найбільша глибина розпушення ґрунту;

$D$  – діаметр коліс;

$\beta_1$  – кут, який утворено коліном з вертикальною віссю в робочому стані.

За даними [2] кут  $\beta_1$  не повинен бути більше  $85^\circ$ .

Висоту підшипника визначимо за формулою [2, 15]

$$H_{II} = (m + d_0) / 2 + 15 \dots 20 , \quad (2.20)$$

де  $m$  – висота профілю рами;

$d_0$  – діаметр вісі.

З конструкції культиватора визначаємо розміри:  $m = 80 \text{ мм}$  ,  $d_0 = 95 \text{ мм}$  .

Тоді

$$H_{II} = (80 + 95) / 2 + 20 = 107 ,5 .$$

Приймаємо  $H_{II} = 110 \text{ мм}$  .

Довжина коліна відповідно складає

$$L_0 = [780 - 110 - (200 + 840 / 2)] / \cos 85^\circ = 689 \text{ мм} .$$

Для стійкішої роботи культиватора приймаємо  $L_0 = 950 \text{ мм}$  зі зменшенням кута  $\beta_1$  до  $75^\circ$ .

Для запобігання підкочування вісі колеса при транспортуванні кут  $\beta_2$  не повинен бути менше  $22^\circ$  [2]. Визначимо його із залежності

$$\beta_2 = \beta_1 + \arccos \left\{ \frac{(H - h_1)}{\sqrt{H^2 + L^2}} \right\} - \arccos \left( \frac{H}{\sqrt{H^2 + L^2}} \right). \quad (2.21).$$

Отримаємо

$$\beta_2 = \beta_1 + \arccos \left\{ \frac{(780 - 450)}{\sqrt{780^2 + 3125^2}} \right\} - \arccos \left( \frac{780}{\sqrt{780^2 + 3125^2}} \right) = 26^{\circ} 32''$$

Отже, культиватор має стійке положення при транспортуванні.

За отриманими значенням будемо кінематичну схему культиватора на листі формату А2.

## **2.5. Розрахунок на міцність стояка оборотної лапи парового культиватора**

Оскільки в удосконаленій конструкції культиватора змінено спосіб кріплення стояків лап до рами, то виконаємо його розрахунок на міцність. Стояк лапи (графічна частина роботи) розраховуємо на згин.

Діюче на робочий орган зусилля  $Rzx$  (рисунок 2.6) при розрахунках перетину стояка необхідно подвоїти, враховуючи нерівномірність навантаження [13].

Згинальний момент визначимо так [13]

$$M_{зг} = 2 \cdot Rzx \cdot H_1. \quad (2.22)$$



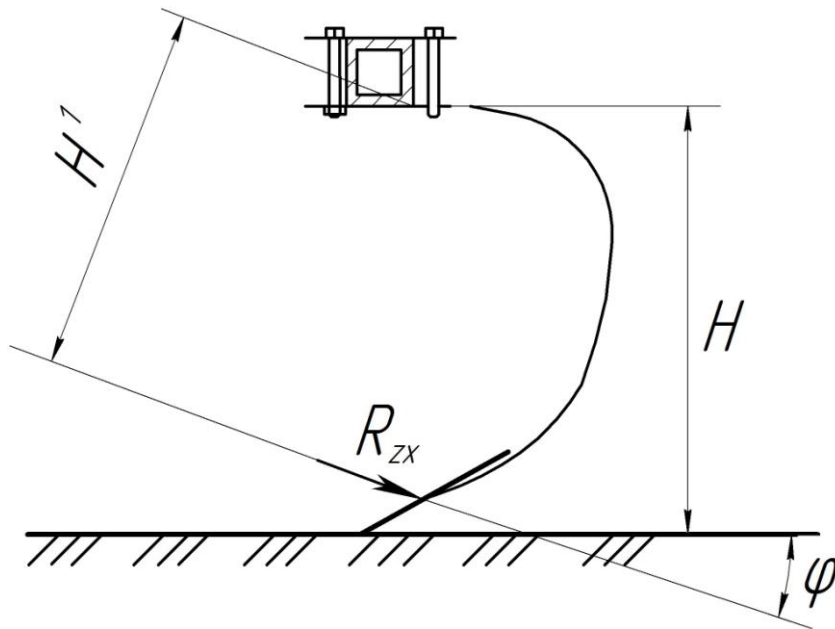


Рисунок 2.6 – Схема для розрахунку стояка культиваторної лапи

Зусилля, що діє на робочий орган, визначаємо так

$$R_{zx} = R_x / \cos \varphi \quad \text{або} \quad R_{zx} = q \cdot B / \Pi \cdot \cos \varphi, \quad (2.23)$$

де  $R_x$  – горизонтальна рівнодіюча;

$\varphi$  – кут нахилу рівнодіючої до горизонту, який дорівнює  $10^\circ$ ;

$q$  – опір, який припадає на 1 м ширини захвату. З попередніх розрахунків

відомо,  $q = 550 \text{ кг} / \text{м}$ ;

$B$  – ширина культиватора, м

$\Pi$  – кількість робочих органів.

Перепишемо формулу (2.22) з врахуванням залежності (2.23) і отримаємо

$$M_{3Г} = (q \cdot B / \Pi \cdot \cos \varphi) \cdot 2 \cdot H_1. \quad (2.24)$$

Отримаємо

$$M_{3Г} = (550 \cdot 4 / 26 \cdot \cos \varphi) \cdot 2 \cdot 0,46 = 74,74 \text{ кгм} = 747,4 \text{ Нм}.$$

Знаходимо необхідний перетин стояка, враховуючи, що стояк виготовлено з матеріалу Ст. 5Гпс, для якої допустиме напруження на згин  $[\sigma]=160$  МПа.

Визначимо осьовий момент опору поперечного перетину стояка лапи з умови міцності на згин [5, 13]

$$W_o = M_{зг} / [\sigma]. \quad (2.25)$$

Отримаємо

$$W_o = 74,74 \cdot 10^2 / 1600 = 4,67 \text{ см}^3.$$

Приймаємо ширину стояка  $b=3$  см, тоді довжину стояка визначимо із формули для осьового моменту опору поперечного перетину

$$a = 6W_o / b^2 ; \quad (2.26)$$

тобто

$$a = 4,67 / 3^2 = 3,11 \text{ см} .$$

З урахуванням можливих тимчасових перевантажень на стояк під час виконання технологічного процесу приймаємо стандартні значення  $a \times b=30 \times 70$  мм.

## **2.6. Енергетичний розрахунок. Перевірка правильності вибору трактора за тяговим зусиллям**

Тяговий опір культиватора складається з таких частин [11, 15]

$$P_k = R_n + R_d + R_o , \quad (2.27)$$

де  $R_n$  – опір коліс культиватора при перекочуванні по ґрунту;

$R_d$  – опір лап культиватора;

$R_o$  – опір додаткових робочих органів.

Для визначення зусилля, яке потрібно для перекочування колеса, використовують формулу В.П. Горячкіна [14]

$$R_{II} = 0,86 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q^4}{q_0 \cdot b \cdot D^2}}, \quad (2.28)$$

де  $Q$  – навантаження на колесо;

$q$  – питомий опір ґрунту;

$b$  – ширина обода колеса;

$D$  – діаметр колеса.

Отримаємо

$$R_{II} = 0,86 \cdot \sqrt[3]{\frac{1789^4}{550 \cdot 0,22 \cdot 0,84^2}} = 4658 \text{ Н}.$$

Загальний опір культиваторних лап складає

$$R_{II} = q \cdot B = 550 \cdot 4 = 2200 \text{ кг} = 22000 \text{ Н}.$$

Опір додаткових робочих органів врахований разом з опором лап.

Тоді загальний опір культиватора складає

$$P_K = 4658 + 22000 = 26658 \text{ Н} = 26,658 \text{ кН}.$$

З тягової характеристики трактора сила тяги на гакові на другій передачі може становити 33,3 кН.

Отже, культиватор надійно агрегується з трактором Т-150 на основних робочих швидкостях.

### **3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТУ РОЗРОБКИ**

#### **3.1. Обґрунтування застосування комбінованих агрегатів**

Одним з перспективних напрямків розвитку комплексної механізації сільськогосподарського виробництва є створення комбінованих машин, які дозволяють б одночасно в одному технологічному процесі виконувати кілька операцій з обробки ґрунту, сівби, внесення добрив і пестицидів.

Доцільність суміщення технологічних операцій підтверджена теоретичними дослідженнями та виробничим досвідом.

У багатьох випадках поєднання ґрунтообробних операцій дає змогу забезпечувати якісну підготовку ґрунту до сівби за коротший час, ніж при виконанні цих операцій роздільно одноопераційними машинами. Завдяки цьому насіння культури, яку вирощують, загортають у вологий свіжооброблений ґрунт. Результат – висока й дружня польова схожість, кращі умови для росту та розвитку рослин, це гарантуватиме високі та сталі врожаї.

Суміщення ґрунтообробних технологічних операцій забезпечує різке скорочення числа проходів машин та агрегатів по полю і, як наслідок, знижує шкідливу дію їх ходових систем на ґрунт. Наприклад, при суміщенні передпосівної культивуації з сівбою відбувається розпушування колії трактора та якісніше заортання насіння, ніж при роздільному виконанні операцій.

Поєднання технологічних операцій знижує загальну енергоємність обробки ґрунту та сівби. Результат цього – підвищення продуктивності праці, зниження питомих витрат палива і коштів.

Вдале поєднання ґрунтообробних операцій за умови виконання добре сконструйованими машинами зменшує вплив несприятливих погодних умов на весь технологічний процес вирощування.

Використання комбінованих знарядь створює умови повнішої завантаженості енергонасичених тракторів, особливо на невеликих ділянках, де використання широкозахватних агрегатів неефективне [15, 17].

Деякі види робіт можливо виконувати лише комбінованими машинами, зокрема це стосується внесення рідких аміачних добрив, пестицидів. Їх необхідно одразу загортати у ґрунт щоб запобігти вивітрюванню та змиванню дощовими водами у водойми та річки.

Важливим критерієм для створення комбінованих машин є технічне рішення, яке враховує можливість і доцільність поєднання операцій, вартість виготовлення, складність роботи та обслуговування агрегату.

Комбіновані знаряддя складніші й дорожчі, часто менш надійні порівняно з одноопераційними, особливо в несприятливих умовах роботи [15].

У дипломній роботі виходячи з перспективних напрямків розвитку ґрунтообробної техніки для основного обробітку ґрунту і підготовки ґрунту до посіву запропоновано удосконалити паровий культиватор типу КПК-4 з переходом його у комбінований агрегат.

До складу культиватора КПК-4 (див. рис. 2.2 і графічна частина роботи), входять основні робочі органи – це оборотні лапи з шириною захвата 65 мм, які мають індивідуальне кріплення і можуть розпушувати ґрунт на задану глибину та додаткові робочі органи – рубчасті котки, призначені для додаткового кришення попередньо розпушеного лапами ґрунту. Вони розташовані позаду лап на всю ширину культиватора.

Удосконалений агрегат типу КПК-4 можна використовувати для основного обробітку під ярі культури як восени так і навесні, особливо це ефективно на староорних незабур'ячених легких ґрунтах.

### **3.2. Дослідження умов роботи та параметрів котків комбінованого агрегата н базі парового культиватора**

Використання котків як знарядь з догляду за рослинами є цінним агротехнічним прийомом для підвищення урожайності польових культур.

Котки використовують для обробітку ґрунту як до посіву, так і після

нього. У першому випадку вони вирівнюють поверхню поля, руйнують грудки, ущільнюють ґрунт, який ще не осів. У другому випадку – вони забезпечують добрий контакт насіння з ґрунтом і сприяють підтягуванню вологи до насіння з глибших шарів.

Залежно від виконуваних технологічних задач котки можуть бути гладенькими, циліндричними, або ж такими, що складаються з кілець і дисків, які мають радіальні і осьові виступи [9, 11].

У дипломній роботі розроблено робочі органи до парового культиватора типу КПК-4 з метою використання його для основного обробітку ґрунту. Як додаткове обладнання до культиватора використано рубчасті котки (див. рис. 2.1, 2.2). Встановлення їх за трьома рядами оборотних лап дозволяє підготувати ґрунт під сівбу озимих за один прохід агрегату.

Дія котків на ґрунт має свої особливості. Процес прикочування повинен бути таким, щоби при зустрічі з грудками ґрунту коток перекочувався через них, а не штовхав їх уперед. При перекочуванні через грудку тиск котка концентрується на ній, і вона розламується або вдавлюється у ґрунт без проштовхування уперед. В іншому випадку коток буде штовхати ґрунтові грудки перед собою, тобто згруджувати ґрунт.

Характер взаємодії котка з ґрунтом залежить від його діаметра і розмірів грудок (наприклад, перед важким котком невеликого діаметра утворюється високий ґрунтовий валок, внаслідок чого грудки переміщуються вперед).

Основними параметрами котків є їх діаметр та довжина (ширина). Діаметр повинен бути таким, щоб при зустрічі з великою грудкою коток легко міг перекотитися через неї, а не штовхав би (витискував) її вперед.

Розглянемо взаємодію котка з грудкою під час накочування його на лежачу на поверхні поля грудку (рисунок 3.1).

Під час цього накочування на грудку будуть діяти сили тиску  $N$ , а також сила тертя  $F_2$  між поверхнею котка та грудкою і сила тертя  $F_1$  між грудкою та поверхнею ґрунту, які спрямовані у протилежний бік напрямку руху котка. Щоб грудка (або перешкода у вигляді будь-якої нерівності на полі)

не зсувалася по поверхні поля попереду котка, вона повинна бути надійно затиснута між поверхнями котка та поля. Це настане за таких умов [7, 15]:

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

тут

$$N' = N \cdot \sin \alpha; \quad (3.2)$$

$$F_2 = N \cdot \operatorname{tg} \varphi_2; \quad F_1 = Q \cdot \operatorname{tg} \varphi_1; \quad (3.3)$$

де

$$Q = N'' + F_2 \cdot \sin \alpha = N \cdot \cos \alpha + N \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \cdot \sin \alpha. \quad (3.4)$$

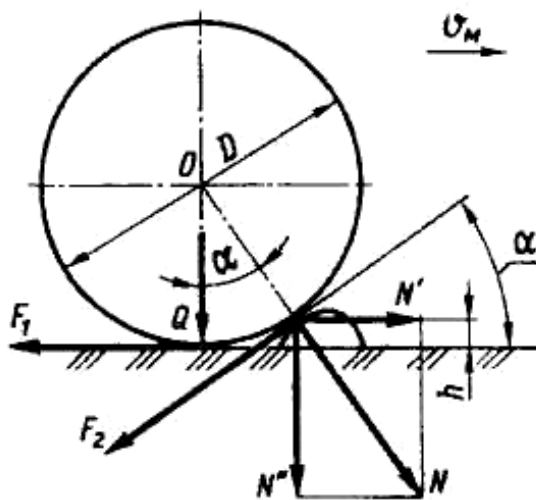


Рисунок 3.1 – Схема дії сил при накочуванні котка на грудку

Підставивши значення у формулу (3.1) після перетворень матимемо

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \frac{(\operatorname{tg} \varphi_1 + \operatorname{tg} \varphi_2)}{(1 - \operatorname{tg} \varphi_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2)} \quad \text{або} \quad \operatorname{tg} \alpha \leq \operatorname{tg} (\varphi_1 + \varphi_2). \quad (3.5)$$

Брила або гудки не будуть переміщуватися перед котком за умов, якщо

$$\alpha \leq \varphi_1 + \varphi_2, \quad (3.6)$$

де  $\varphi_1$  – кут тертя ґрунту по ґрунту;

$\varphi_2$  – кут тертя ґрунту по поверхні котка.

Кут  $\alpha$  залежить від висоти  $h$  грудки та діаметра  $D$  котка. З рисунка 3.1

$$\cos \alpha = \frac{(r - h)}{r} = \frac{(D - 2h)}{D} = 1 - \frac{2h}{D}. \quad (3.7)$$

Так як  $\operatorname{tg} \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} / \cos \alpha$  то отримаємо

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(2\sqrt{h \cdot D - h^2})}{(D - 2h)}, \quad (3.8)$$

відповідно

$$\operatorname{tg}(\varphi_1 + \varphi_2) \geq \frac{(2\sqrt{h \cdot D - h^2})}{(D - 2h)}. \quad (3.9)$$

Знаючи кути тертя  $\varphi_1$  та  $\varphi_2$  і діаметр котка  $D$ , можна визначити висоту  $h$  грудки (брили), через яку він може перекотитися, не переміщаючи її попереду себе.

Котки можуть котитися без ковзання і буксування (рисунок 3.2). При коченні без ковзання і буксування шлях  $l$ , пройдений котком, дорівнює довжині дуги кола цього ж котка, помножений на число його обертів  $n$  за пройдений шлях, тобто  $l = 2\pi n r$ . У цьому випадку частину шляху коток проходить у результаті ковзання. Такий режим є характерним для більшості котків і ведених коліс [7, 15].

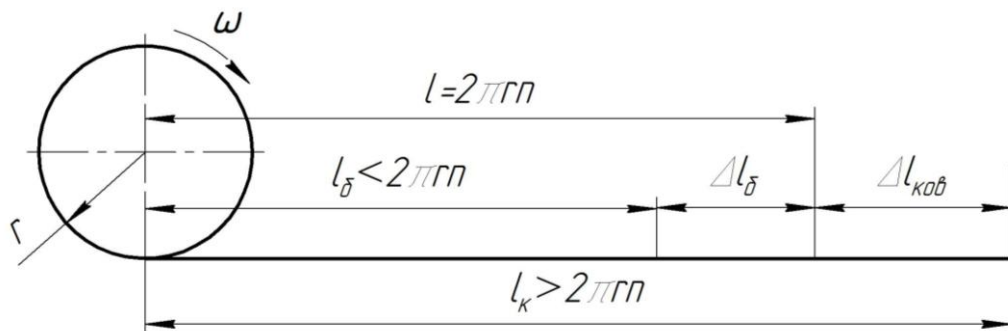


Рисунок 3.2 – Схема пояснення характеру руху котка



При кочені з буксуванням шлях  $l_{\sigma}$ , що пройшов коток, буде меншим, ніж дуга його кола, помножена на число його обертів за пройдений шлях, тобто

$$l_{\sigma} \leq 2\pi n . \quad (3.10)$$

У цьому випадку частину шляху  $\Delta l_{\sigma}$  буде втрачено у результаті буксування. Такий режим є характерним для приводних (самохідних котків) і ведучих коліс.

Розглянемо спочатку рух котка без ковзання і буксування. Такий рух може бути без утворення, а також із утворенням колії.

Коток здійснює плоско-паралельний рух, і довільна точка його поверхні бере участь у поступальному (переносному) русі разом із зняряддям і в обертовому (відносному) русі відносно осі котка  $O$ . При русі котка без ковзання і буксування відносна і переносна швидкості довільної точки його поверхні дорівнюють одна одній за модулем (величиною), але відносна швидкість змінна за напрямком (рисунок 3.3). Абсолютна швидкість довільної точки котка, що дорівнює геометричній сумі переносної і відносної швидкостей, у процесі руху змінюється як за напрямком, так і за числовим значенням [7, 15].

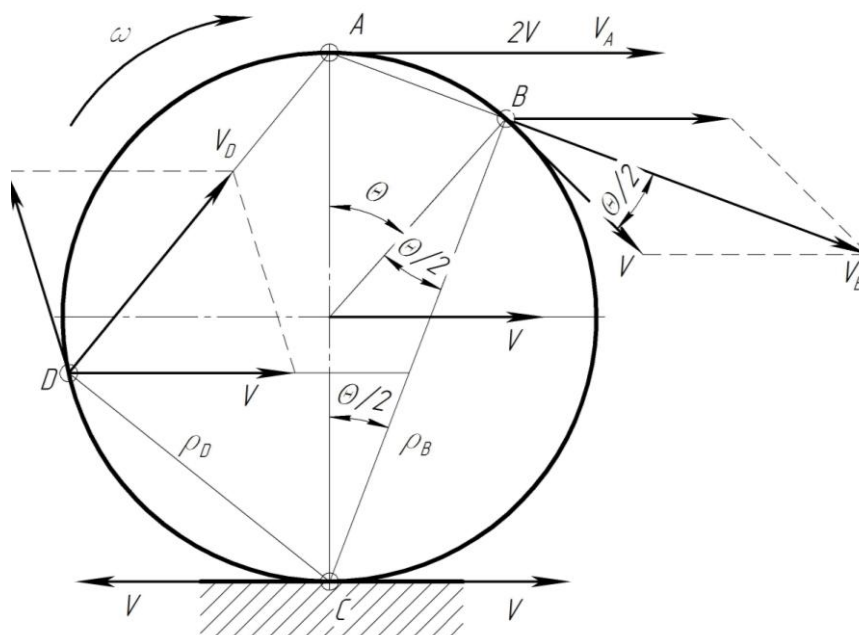


Рисунок 3.3 – Схема котка (колеса), який котиться без ковзання, без буксування і без утворення колії

У точці  $C$  вектори відносної і переносної швидкостей мають напрямок по одній прямій, але у різні боки. Отже, абсолютна швидкість точки  $C$  дорівнює нулю. Ця точка має назву миттєвого центра швидкостей. Таким чином, миттєвий центр швидкостей при русі котка без ковзання і буксування співпадає із нижньою точкою вертикального діаметра котка. Оскільки останні (інші) точки котка в абсолютному русі обертаються відносно центра  $C$ , то їхні абсолютні швидкості пропорційні кутовій швидкості і відстані цих точок від точки  $C$ .

Наприклад, для точки  $B$  (див. рис. 3.3) абсолютна швидкість дорівнює  $V_B = \omega \cdot \rho_B$ , де  $\omega$  – кутова швидкість обертання котка, а  $\rho_B$  – відстань від точки  $C$  до точки  $B$ . Якщо у цю точку з миттєвого центра швидкостей провести пряму  $\rho_B$  і поставити до неї перпендикуляр у бік обертання котка, то він і вкаже на напрямок абсолютної швидкості  $V_B$  точки  $B$ .

Нехай тепер коток переміщується по полю з утворенням колії, але без ковзання і буксування. Точка  $a$  поверхні котка (рисунок 3.4а), переміщуючись у напрямку швидкості  $V_a$ , тисне на ґрунтовий агрегат (грудку), що доторкається до цієї точки, за напрямком, співпадаючим із напрямком сили  $N$ . Розкладемо цю силу на дві складові: за напрямком швидкості точки  $aN_V$  і дотичної до кола у точці  $aN_T$ . Як можна бачити з рис. 3.4,  $N_T = N \cdot \operatorname{tg} \xi$ . Складова сили  $N_T$  намагається примусити агрегат ґрунту ковзатись по робочій поверхні котка. Її ковзанню перешкоджає сила  $F$  тертя. Таким чином, характер руху частки ґрунту буде залежати від співвідношення між кутами  $\xi$  і тертя  $\varphi$ .

Якщо  $\xi \leq \varphi$ , то  $N_T = N \cdot \operatorname{tg} \xi \leq F_{\max} = N \cdot \operatorname{tg} \varphi$  і ковзання не буде, тому що складова сили реакції  $F$ , яка виникає у результаті дії сили  $N_T$ , не досягає максимального значення і як сила реакції буде дорівнювати збурюючій силі  $N_T$ . У цьому випадку сили  $N_T$  і  $F$  взаємно зрівноважуються і ґрунтовий агрегат  $m$  буде переміщуватися разом із точкою котка у напрямку її швидкості  $V_a$ , тобто буде відбуватися ущільнення ґрунту без ковзання [7, 15].

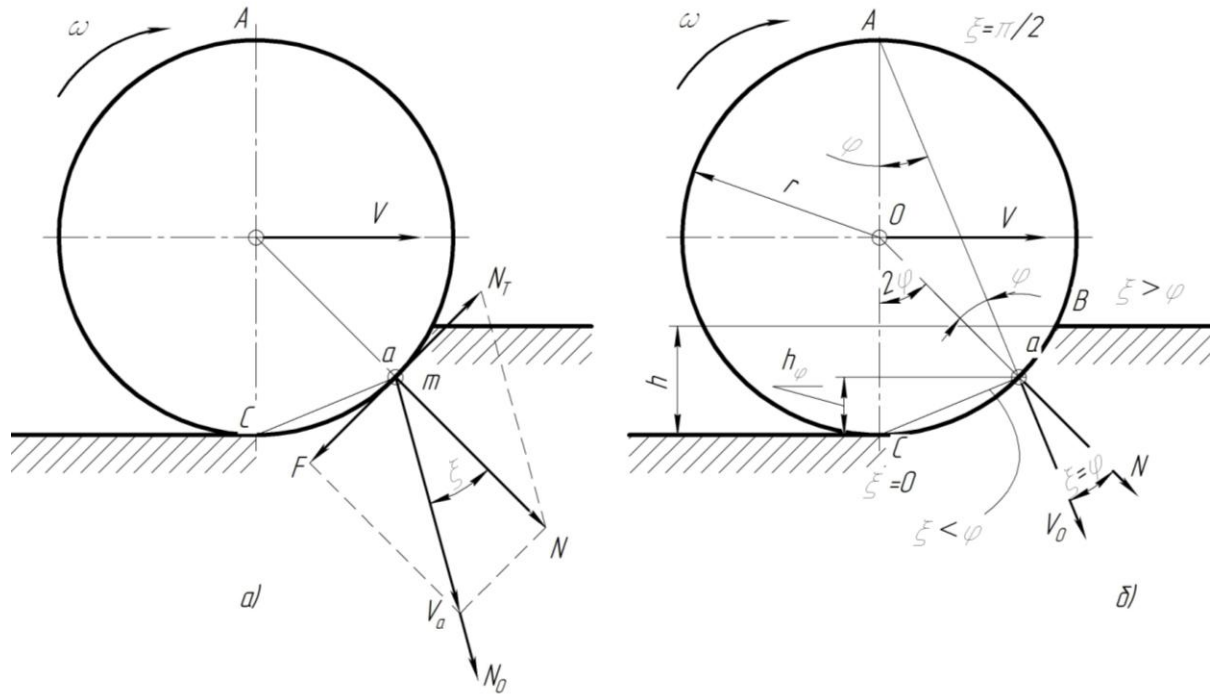


Рисунок 3.4 – Схеми котка, що котиться без ковзання і буксування, але з утворенням колії: *a* – діючі сили; *б* – зони ущільнення і дотичних переміщень ґрунту при його ущільненні

Якщо ж  $\xi \geq \varphi$ , то  $N \cdot \operatorname{tg} \xi \geq N \cdot \operatorname{tg} \varphi$  і, отже,  $N_T \geq F_{\max}$ . У цьому випадку сила тертя досягнувши свого максимального значення  $F_{\max}$ , не в змозі зрівноважити дотичну складову  $N_T$ , і ущільнення ґрунту під дією сили  $N_V$  буде супроводжуватися ковзанням часток ґрунту під дією сили [7, 15]

$$N_T - F_{\max} = N(\operatorname{tg} \xi - \operatorname{tg} \varphi). \quad (3.11)$$

Як можна бачити із рисунка 3.4б, кут  $\xi$  змінюється від нуля в точці *C* до  $\pi/2$  в точці *A*. У процесі зростання від 0 до  $\pi/2$  кут  $\xi$  приймає значення кута тертя  $\varphi$ , оскільки  $0 \leq \varphi \leq \pi/2$ . Нехай тепер у точці *a* кут  $\xi = \varphi$  (рисунок 3.4б). Тоді вище точки *a*, на дузі *aB*, кут  $\xi \geq \varphi$  і ґрунт ущільнюється із ковзанням, хоча  $l_\phi = 2\pi r$ ; нижче точки *a*, на дузі *aC*, ковзання відсутнє.

$$h_\varphi = OC - OD = r(1 - \cos 2\varphi) = 2r \sin^2 \varphi. \quad (3.12)$$

Отже, на глибині від  $0$  до  $h - h_\varphi$  від поверхні ґрунту ущільнення супроводжується ковзанням, а на глибині від  $h - h_\varphi$  до  $h$  ущільнення відбувається без нього. Ковзання, тобто дотичне переміщення поверхні котка відносно ґрунтових часток, викликає тертя між ними і руйнування ґрунтових агрегатів, що недоцільно. Під дією сили  $N_T$ , яка намагається виштовхнути частки ґрунту вперед, на розпушених ґрунтах перед котком утворюється валок, розмір якого залежить від глибини  $h$  колії і радіуса  $r$  котка. Чим важчий коток і менший діаметр, тим більша висота валка.

Щоб зменшити поздовжнє переміщення ґрунту, яке руйнує його структуру, кут  $\alpha$  обхвату обою котка ґрунтом не повинен перевищувати  $15 \dots 20^\circ$ .

Виходячи з цього, діаметр  $D$  котка визначаємо як [7, 15]

$$D \geq \frac{2b}{(1 - \cos \alpha)}. \quad (3.13)$$

Силу дію котків на ґрунт можна визначити так

$$q = \frac{2Q}{b \cdot l}, \quad (3.14)$$

де  $b$  – довжина котка;

$h_1$  – глибина колії;

$l$  – ширина відбитку котка на ґрунті, це хорда кола діаметром  $D$  ;

$$l = 2\sqrt{h_1(D - h_1)}. \quad (3.15)$$

Найчастіше оптимальним тиском для прикочування ґрунту є  $q = 3 \dots 4 \text{ Н/см}^2$ .

Силу  $P$  опору перекочуванню котків визначаємо як

$$P = \mu \cdot Q, \quad (3.16)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт перекочування

$$\mu = 0,86 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q}{q_0 \cdot b \cdot D^2}}; \quad (3.17)$$

тут  $q_0$  – коефіцієнт об'ємного зминання,  $q_0 = 2 \dots 4$  Н/см<sup>2</sup>.

Для котків з негладкою поверхнею, як в удосконалюваному у даній дипломній роботі комбінованому агрегаті, сила опору перекочуванню, як правило, дещо більша, ніж для котків із гладкою поверхнею, і визначаємо її за таким співвідношенням [7, 15]

$$P_{H.P} = \varepsilon \cdot P, \quad (3.18)$$

де  $\varepsilon$  - коефіцієнт, який враховує зростання опору за рахунок нерівностей поверхні, приймають  $\varepsilon = 1,1 \dots 1,3$ .

При  $\alpha = 20^\circ$  діаметр котка буде  $D = 425$  мм.

Прийнявши довжину котка для рівнинної місцевості  $b = 700$  мм, матимемо глибину колії 3 см.

Виконані розрахунки підтверджують доцільність розробленого удосконалення парового культиватора для використання його як комбінованого агрегату для основного обробітку ґрунту.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Аналіз ґрунтово-кліматичних умов, зокрема зони лісостепу України, а також сучасних технологій вирощування більшості сільськогосподарських культур, показує, що у більшості випадків основною перешкодою отримання високих врожаїв залишається нестача вологи у ґрунтах через тривалі засухи, водну та вітрову ерозію ґрунту, полицевий обробіток, в результаті якого утворюється багато пилоподібної фракції у ґрунтах. Тому найдоцільніше обробіток ґрунту виконувати важкими культиваторами та комбінованими агрегатами, які забезпечують високу якість з мінімальними затратами праці та енергоресурсів.

На основі аналізу існуючих конструкцій комбінованих агрегатів для основного і передпосівного обробітку ґрунту у даній дипломній роботі розроблені робочі органи до культиватора типу КПК-4. Його можна використовувати для основного обробітку ґрунту під сівбу, як озимих так і ярих культур.

Культиватор КПК-4 запропоновано обладнати трьома рядами оборотних лап на пружинних стояках, а також додатковими робочими органами – рубчастими котками. Видозмінена рама агрегата дозволяє за допомогою гідроциліндрів і двох опорних коліс легко переводити робочі органи у транспортне положення, що підвищує продуктивність за рахунок зменшення часу на виконання холостих операцій.

У дипломній роботі виконано розрахунки: взаємного розташування нових робочих органів культиватора КПК-4, механізму підймання культиватора та стояка оборотної лапи на міцність. Виконано кінематичний розрахунок культиватора. Досліджено дію котків комбінованого культиватора на ґрунт. Здійснено енергетичний розрахунок культиватора щодо перевірки правильності вибору трактора за тяговим зусиллям. Ширина захвату ґрунтообробного знаряддя – 4 м, агрегатують з тракторами класу 3 (Т-150); робоча швидкість до 12 км/год; глибина обробітку ґрунту до 25 см.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Автухов І.В., Гряник Г.М. Охорона праці в сільському господарстві. К.: Вища школа, 1970. 216 с.
2. Василенко П.М., Бабий П.Т. Культиваторы (конструкция, теория и расчет). К.: УАСХН, 1961. 236с.
3. Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Павх І.І. Машины сільськогосподарського виробництва. – Тернопіль, 2005. – 228 с.
4. Гогіташвілі Г.Г., Лапін В.М. Основи охорони праці. Львів: Новий світ, 2000. 230 с.
5. Довбуш А.Д. Опір матеріалів: навчально-методичний посібник до виконання курсової роботи / А.Д. Довбуш, Н.І. Хомик. Тернопіль: Видво ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. 191 с.
6. Дунаєв П.Ф. Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин. Учеб. пособ. для машиностр. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1985. 416 с.
7. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т.1 (ч.1). Машины та знаряддя для обробітку ґрунту. Харків: Око, 2001. 444 с.
8. Зинченко А.И., Карасюк И.М. Интенсивные технологии возделывания зерновых и технических культур. Киев: Урожай, 1988.
9. Карпенко А.Н., Халанский В.М. Сельскохозяйственные машины. М.: Колос, 1976. 510 с.
10. Кушнарєв А.С., Кочев В.И. Механико-технологические основы обработки почвы. К.: Урожай, 1989. 144 с.
11. Листопад Г.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. М.: Агропромиздат, 1986. 677 с.
12. Обработка почвы при интенсивном возделывании полевых культур /Т. Карвовский, И. Касимов, Б. Клочков и др.; Пер. с польск. Чупеева; Под. ред и с предисл. А.С. Кушнарєва. М.: Агропромиздат, 1988. 248 с.
13. Опір матеріалів /Під заг. ред. акад. АН УСССР Г.С. Писаренко. К.: Вища школа, 1986. 775 с.
14. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник /Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2005. 464 с.

15. Сільськогосподарські машин: теоретичні основи, конструкція, проектування. Кн.1: Машини для рільництва /П.В. Сисолін, Т.І. Рибак, В.М. Кропівний; За ред. М.І. Черновола. К.: Урожай, 2001. 382 с.
16. Сисолін П.В. Конструкторські розробки: нових, вітчизняних, універсальних машин для звичайної, стерньової, мульчо-стерньової, екологічнобезпечної, енергозберігаючої технології вирощування сільськогосподарських культур в Україні. Кіровоград, 2009. 128 с.
17. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини. К.: Урожай, 2001. 382 с.
18. Сисолін П.В., Сало В.М. Український комплекс нових ґрунтообробних машин для гнучких ґрунтозахисних технологій. – Кіровоград, 2007.-58с.
19. Хомик Н.І. Деталі машин. Курс лекцій для студентів заочної форми навчання. / Н.І. Хомик, А.Д. Довбуш., О.П. Цьонь. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. 160 с.
20. Хомик Н.І. Методичний посібник до виконання дипломної роботи для здобуття освітнього ступеня «магістр» для спеціальності 133 Галузеве машинобудування / Н.І. Хомик, М.Я. Сташків, В.П. Олексюк. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2018. 164 с.
21. Хомик Н.І. Основи агрономії. Курс лекцій /Н.І. Хомик, А.Д. Довбуш., В.П. Олексюк. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2015.300 с.
22. Цивільна оборона. Підручник /За редакцією В.С. Франчука. Київ: Знання, 2001. 256 с.
23. Ковцун Ю.М. Комбіновані агрегати для обробітку ґрунту /О.В. Рак, Ю.М. Ковцун //Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей, том І ІХ міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів (Тернопіль, 25-27 листопада 20120. Тернопіль. ТНТУ, 2020. С. 118-119.
24. Довбуш Т.А. Методи проектування сільськогосподарських машин: навчально-методичний посібник до курсового проектування / Т.А. Довбуш, Н.І. Хомик, А.Д. Довбуш. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. 72 с.
25. Хомик Н.І. Технологія виробництва і переробки сільськогосподарської продукції: курс лекцій / Н.І. Хомик, Н.Б. Гаврон, Н.А. Рубінець. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. 248 с.