

Дніпровський державний аграрно-економічний університет  
Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

**Пояснювальна записка**

до дипломної роботи  
освітнього ступеня "Магістр" на тему:

**Обґрунтування параметрів та режимів роботи культиватора для  
вичісування бур'янів з розпушенням ґрунту**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГАІ-1-24  
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Кравченко Євгеній Миколайович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Теслюк Геннадій Володимирович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_ Лінський Артем Сергійович

Дніпро, 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин  
Освітній ступінь: «Магістр»  
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Теслюк Г. В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«    »                      20   р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Кравченко Євгеній Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування параметрів та режимів роботи  
культиватора для вичісування бур'янів з розпушенням ґрунту

керівник роботи Теслюк Геннадій Володимирович, канд. техн. наук, доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«24» 10 2025 року № 3182

2. Строк подання студентом роботи до 10.12.2025

3. Вихідні дані до проекту Дослідження поточного рівня розвитку  
рослинництва та конструктивних особливостей машин, що  
використовуються для глибокого обробітку ґрунту. Огляд  
конструктивних рішень, а також вивчення наукових публікацій і  
сучасних досліджень, що стосуються обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно  
розробити) 1. Аналіз способів обробітку ґрунту. 2. Обґрунтування параметрів  
чизельно-полицевого робочого органа 3. Теоретичні дослідження 4. Охорона  
праці. 5. Економічна ефективність. Висновки. Література. Додатки

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Тема. Мета і задачі досліджень. 2. Аналіз конструкцій технічних засобів. 3. Результати досліджень. 4. Економічні показники. 5. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Теслюк Г. В., завідувач кафедри		
2	Теслюк Г. В., завідувач кафедри		
3	Теслюк Г. В., завідувач кафедри		
4	Теслюк Г. В., завідувач кафедри		
5	Теслюк Г. В., завідувач кафедри		
Нормоконтроль	Золотовська О.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: \_\_\_\_\_.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз способів обробітку ґрунту	до 15. 09.2025	виконав
2	Обґрунтування технології	до 25. 09.2025	виконав
3	Теоретичні основи	до 28. 10.2025	виконав
4	Охорона праці	до 10. 11.2025	виконав
5	Економічна ефективність	до 21. 11.2025	виконав
6	Демонстраційна частина	до 02. 12.2025	виконав

Студент

\_\_\_\_\_ Танцюра М.Ю.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ Теслюк Г. В.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)



## РЕФЕРАТ

Кравченко Є.М. Обґрунтування параметрів та режимів роботи культиватора для вичісування бур'янів з розпушенням ґрунту/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

Дослідження присвячене вирішенню актуальної практичної задачі - удосконаленню технологічного процесу видалення бур'янів із одночасним розпушуванням ґрунту шляхом застосування авто-привідного секційного робочого органу.

Під час аналізу наявних конструкцій машин для боротьби з бур'янами встановлено, що сучасні ґрунтообробні знаряддя поділяються на активні, пасивні та комбіновані типи. У другому розділі представлено конструкцію авто-привідного секційного робочого органу, який складається з двох роторів із ножами, з'єднаними ланцюговою передачею. Особлива форма ножів забезпечує ефективне вичісування бур'янів разом із кореневою системою без їх підрізання, що дозволяє сповільнити повторне проростання небажаної рослинності.

У результаті теоретичних досліджень параметрів секційного робочого органу отримано аналітичні залежності, які описують кінематичні та динамічні характеристики переднього й заднього роторів. Під час експериментів уточнено й обґрунтовано конструктивні та технологічні параметри роботи запропонованого робочого органу на ділянках, засмічених осотом польовим, берізкою польовою та курячим просом.

У заключній частині роботи доведено техніко-економічну доцільність і переваги використання розробленого авто-привідного секційного робочого органу.

Ключові слова: небажана рослинність, обробіток ґрунту, спосіб виснаження бур'янів, розрихлення ґрунту, механічне видалення бур'янів.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЗАСОБІВ МЕХАНІЗАЦІЇ ДЛЯ ЗНИЩЕННЯ БУР'ЯНІВ.....	10
1.1 Основні фізіологічні та фізико-механічні властивості бур'янів, найбільш поширених на території України.....	10
1.2 Способи і методи боротьби з бур'янами.....	14
1.3 Машини для боротьби з бур'янами з робочими органами пасивного типу.....	21
1.4 Машини для боротьби з бур'янами з робочими органами активного типу.....	26
Висновок по розділу.....	36
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СЕКЦІЙНОГО РОБОЧОГО ЕЛЕМЕНТА, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄ ВИЧІСУВАННЯ БУР'ЯНІВ У ПОЄДНАННІ З РОЗПУШЕННЯМ ҐРУНТУ.....	37
2.1 Конструкція активного секційного робочого органу для вичісування бур'янів з розпушуванням ґрунту.....	37
2.2 Аналітичне визначення основних параметрів роботи роторів...	40
2.2.1 Визначення параметрів переднього ротора	41
2.2.2 Визначення параметрів заднього ротора	45
2.3 Умови вичісування бур'янів при роботі секційного робочого органу.....	48
2.4 Визначення граничної швидкості ножа заднього ротора.....	52
Висновки по розділу.....	54
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СЕКЦІЙНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ ВИЧІСУВАННЯ БУР'ЯНІВ З РОЗПУШУВАННЯМ ҐРУНТУ.....	55
3.1 Методи проведення експериментальних досліджень.....	55

3.1.1	Методика визначення параметрів леза ножів ротора.....	55
3.1.2	Методика визначення передавального числа між роторами.....	56
3.1.3	Методика визначення періоду проростання бур'янів після обробки.....	60
3.1.4	Методика визначення кінематичних і динамічних параметрів секційного робочого органу.....	61
3.2	Вплив параметрів леза ножа ротора на кількість не зрізаних бур'янів.....	63
3.3	Залежність кількості вичесаних бур'янів від передавального числа.....	65
3.4	Дослідження кінематичних і динамічних параметрів секційного робочого органу.....	67
3.5	Дослідження періоду проростання бур'янів після обробку.....	68
	Висновок по розділу.....	69
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ СЕКЦІЙНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ ВИЧІСУВАННЯ БУР'ЯНІВ І РОЗПУШУВАННЯ ҐРУНТУ.....		71
4.1.	Загальні вимоги безпеки.....	71
4.2.	Небезпечні та шкідливі виробничі фактори.....	71
4.3.	Вимоги безпеки перед початком роботи.....	72
4.4.	Вимоги безпеки під час виконання робіт.....	72
4.5.	Вимоги безпеки після завершення роботи.....	73
	Висновки по розділу.....	74
	Загальні висновки.....	75
РОЗДІЛ 5 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПЕРЕВАГ ВИКОРИСТАННЯ СЕКЦІЙНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ.....		75
	Висновки по розділу.....	77
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	79

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Основною умовою отримання стабільних врожаїв і високої якості виробленої продукції рослинництва є своєчасне проведення комплексних агротехнічних заходів з обробітку ґрунту і особливо боротьбі з бур'янистою рослинністю.

Одним з найбільш відповідальних і витратних агротехнічних заходів є боротьба з бур'янами. Засміченість угідь сильно ускладнює проведення сільськогосподарських робіт, бур'яни погіршують якість виробленої продукції. Витрати на боротьбу з ними становлять близько 30% від усіх витрат з підготовки та догляду за посівами культурних рослин

У боротьбі з бур'янистою рослинністю широко застосовуються хімічні і біологічні методи. Але найбільш ефективним є механічний метод, так як, крім знищення бур'янів, виконується розпушування ґрунту, в результаті чого, поліпшуються обмінні процеси в ній, що позитивно впливає на ріст і розвиток сільськогосподарських культур.

Таким чином, розробка і впровадження нових технічних засобів для боротьби з бур'янистою рослинністю є одним із пріоритетних завдань сучасної механізації сільського господарства.

**Мета і завдання роботи:** вдосконалення технологічного процесу вичісування бур'янів з розпушуванням ґрунту за рахунок застосування авто-привідного секційного робочого органу.

Завдання дослідження:

1. Виконати аналіз існуючих знарядь і перспективних машин для знищення бур'янів з розпушуванням ґрунту, провести їх класифікацію.
2. Удосконалити технологічний процес боротьби з бур'янами методом вичісування і розробити конструкцію авто-привідного секційного робочого органу.

3. Виконати теоретичне обґрунтування конструктивних, кінематичних і динамічних параметрів авто-привідного секційного робочого органу.

4. Провести експериментальні дослідження авто-привідного секційного робочого органу для вичісування бур'янів з розпушуванням ґрунту.

5. Обґрунтувати економічну ефективність застосування розробленої конструкції авто-привідного секційного робочого органу для боротьби з бур'янами та одночасним розпушуванням ґрунту.

**Об'єкт дослідження:** технологічний процес вичісування бур'янів з розпушуванням ґрунту при суцільному обробітку.

**Предмет дослідження:** культиватор з авто-привідним секційним робочим органом для вичісування бур'янів з розпушуванням ґрунту.

**Наукова новизна роботи:**

- удосконалений технологічний процес вичісування бур'янів з розпушуванням ґрунту за рахунок застосування авто-привідного секційного робочого органу;

- отримані аналітичні залежності для визначення параметрів розробленої конструкції авто-привідного секційного робочого органу; (поступальна швидкість руху машини з авто-привідним секційним робочим органом, гранична швидкість ножа заднього ротора).

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в застосуванні розробленого авто-привідного секційного робочого органу для виконання технологічного процесу вичісування бур'янів з розпушуванням ґрунту на основі даних отриманих в результаті його виробничих випробувань.

**Достовірність отриманих результатів** підтверджується достатньою збіжністю теоретичних результатів з експериментальними дослідженнями.

# 1 ОГЛЯД СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЗАСОБІВ МЕХАНІЗАЦІЇ ДЛЯ ЗНИЩЕННЯ БУР'ЯНІВ

## 1.1 Основні фізіологічні та фізико-механічні властивості бур'янів, найбільш поширених на території України

В умовах інтенсифікації сільськогосподарського виробництва високі результати в боротьбі з бур'янами можуть бути досягнуті лише при знанні фізіологічних і фізико-механічних характеристик, а також їх чутливості до різних прийомів знищення.

Бур'янами вважають рослини, які не вирощуються людиною спеціально, проте з часом адаптувалися до умов вирощування культурних рослин, ростуть поряд із ними та негативно впливають на їх розвиток [5]. В Україні налічується близько тисячі видів бур'янів, значна частина яких завдає шкоди посівам сільськогосподарських культур. Найнебезпечнішими серед них є приблизно 100–120 видів [15].

Бур'яни характеризуються невибагливістю до умов зростання та швидшими темпами розвитку порівняно з культурними рослинами. Їхнє насіння проростає раніше, а молоді рослини затінюють посіви, створюючи несприятливі умови для росту культур.

Боротьба з бур'янами ускладнюється через їхню високу плодючість, тривале збереження схожості насіння, нерівномірне проростання, різноманітні способи розповсюдження та здатність до вегетативного відтворення [15].

Насіння бур'янів, завдяки дозріванню і осипанню до збирання врожаю, накопичуються на полях у кількості, що в сотні разів перевищує кількість посіяного насіння культурних рослин.

Пристосовуючись до життя сільськогосподарських культур, вони виробляють аналогічні їм властивості як високоорганізовані рослини,

володіють високою екологічною пластичністю, поряд з цим, вони мають високу стійкість до несприятливих ґрунтово-кліматичних умов.

Бур'яни за тривалістю періоду життя діляться на дві основні групи: однорічні та багаторічні.

Найбільш шкідливими вважаються рослини, здатні розмножуватися не тільки насінням, а й давати паростки від своїх підземних частин, навіть в разі порушення їх цілісності [19].

Особливу увагу при цьому необхідно звернути на бур'яни у яких корінь дає поросль, яка розвивається з кореневих бруньок. Кореневі бруньки закладаються або на головному корені, або на всій кореневій системі.

Такі бур'яни характеризуються здатністю до вегетативної регенерації, вони можуть давати паростки навіть від невеликих відрізків коренів. Крім того, рослини цієї групи є найбільш засухостійкими і добре вегетують навіть в умовах сильної посухи [15].

За даними аналізу засміченості орного шару насінням бур'янів, у Вінницькій області найбільш поширеними видами бур'янів є багаторічні бур'яни: осет, пирій повзучий, берізка польова, а також малолітні злакові: просо куряче, вівсюг звичайний і мишій сизий [15].

Особливо шкідливими із зазначених вище рослин є осет, берізка польова та куряче просо.

Таким чином, вивчення особливостей даних бур'янів з метою визначення способів і методів їх знищення є найбільш актуальним. Куряче просо – пізній ярий злаковий бур'ян. Розвиваючись пізно, у другій половині літа, коли догляд за посівами послаблюється, куряче просо є одним з головних забруднювачів, перш за все, всіх просапних та овочевих культур (особливо картоплі, буряка та ін.).

Поширенню його сприяє і живучість цієї рослини. Досить йому бути прикріпленим, до землі лише кількома корінцями, як воно продовжує рости. Витягнута на поверхню ґрунту рослина скоро може оживати на сирому ґрунті, в який швидко пускає додаткові корінці з нижніх вузлів стебла. Після

підрізання, коріння швидко відростає ще в більшій кількості. При всіх цих характеристиках куряче просо є особливо злісним бур'яном в більшості господарствах регіону.

Розмножується виключно насінням, кожна рослина дає до 1000 шт. насіння. До ґрунтів не вибагливий. Для дозрівання насіння вимагає теплого літа, цим можна пояснити масове поширення його в південних районах Вінницької області. Цвіте пізно в липні-вересні. Являє собою однорічну рослину з прямими або розвиллистими голими стеблами висотою від 10 до 150 см. Листя широколінійні по краю – гостро шершаві [21].

Осот польовий – багаторічна рослина з сімейства складноцвітих. Стебло пряме, внизу порожнисте. Листя і стебла покриті восковим нальотом. Це одне з найбільш вологолюбних коренепаросткових бур'янів, росте переважно на оброблюваних ґрунтах. Розмножується насінням – летучками і кореневими паростками. Підземні органи, за рахунок яких відбувається розмноження, залягають в при поверхневому шарі ґрунту [15].

Середня кількість насіння з однієї рослини коливається в межах 5 – 20 тисяч. Осот польовий засмічує всі посіви, особливо ярі. Найбільш активно росте на площах, що знаходяться під паром.

У даної рослини після обробки здатні приживатися не тільки коріння і відрізки коренів, але і надземні стебла. Осот польовий має виняткову пристосованість до зростання в посівах просапних культур. Цьому сприяє висока приживлюваність будь-якої частині рослини, а також властивість кореня давати пагони протягом усього вегетаційного періоду. Сильно розростається бур'ян і при недостатньому догляді за зерновими культурами і площами, що знаходяться під паром [25].

Коренева система даного бур'яну має високу здатність до відтворення за рахунок здатності зберігати запаси поживних речовин досить тривалий час. Слід зазначити, що коріння молодих рослин більш регенераційні, ніж коріння вже розвинених бур'янів.

Все коріння осоту польового відрізняється великою крихкістю і легко

розламується на шматки, які характеризуються високою живучістю. У даної рослини на глибині 10 см проростає практично 100% відрізків кореневої системи величиною 10 см. Відрізки довжиною 3 см проростають в кількості 45%, зовсім не дають порослі відрізки коренів величиною 1,5 см.

Таким чином, вся небезпека засмічення осотом польовим складається головним чином, в його тендітних коренях, що залягають в поверхневому шарі ґрунту [25].

Поряд з тим, що осот польовий найбільш часто зустрічається в місцях з достатньою вологістю, відрізки його коренів після підсушування їх до 35% початкової маси не втрачають здатність до регенерації. Товсті відрізки коренів зберігають здатність до відтворення навіть після 3 діб прив'ялення. Після підсушування відрізки утворюють менше потовщених коренів, на яких, головним чином, розвиваються бруньки, що дають початок новим паросткам. Це має велике практичне значення. Коріння осоту, витягнуті на поверхню при обробках ґрунту, через кілька днів (особливо в сонячну погоду) гинуть або утворюють мало потовщених коренів.

Берізка польова легше переносить дефіцит вологи, оскільки володіє підвищеною посухостійкістю, в порівнянні з осотом польовим [26].

Обвиваючись навколо рослин, даний бур'ян засмічує злакові культури, сприяє їх виляганню і сильно ускладнює збір врожаю. Особливо великої шкоди даний бур'ян завдає в полеглих посівах при сирій погоді, коли обплутані їм соломини не в змозі піднятися, хліб гниє і стає непридатним. Берізка польова має потужну кореневу систему. Її стебла не тільки обвиваються навколо рослин, але і стеляться по поверхні ґрунту [27]. При збиранні в'юнкі стебла з насінням майже цілком потрапляють в урожай і засмічують зерно.

Життєздатність цієї рослини обумовлена значним запасом поживних речовин в підземних частинах рослини. Найбільші запаси поживних речовин в кореневій системі берізки накопичується до осені, коли рослина готується до перезимівлі та її розвиток закінчується.

Частини коренів, що залишаються в результаті впливу на них робочих органів ґрунтообробних машин мають низьку приживлюваність, в порівнянні з іншими бур'янами даного виду.

Незважаючи на це, при попаданні у вологий ґрунт відрізків коренів довжиною 3 см приживаються з них близько 70%. Відрізок кореня берізки величиною 5 см на глибині до 10 см дає кілька пагонів, а при зрізанні вдруге ці паростки дають ще більші пагони [15, 25]. Відомо, що найбільшою регенераційною здатністю відрізняються відрізки коренів, утворені після обробки в весняний або осінній періоди, в порівнянні з рослинами, що піддаються обробітку в літній період.

Утворення нових вегетативних органів від відрізків у берізки відбувається повільніше, ніж у інших представників даного виду. Тому основна маса пагонів відростає від бруньок на коренях материнської рослини, розташованих нижче зони підрізання [7].

Таким чином, берізка польова розмножується усіма можливими способами: кореневими пагонами, насінням, що засмічує ґрунт, а також насінням, що засмічує зерно. В цьому відношенні вона є більш злісним бур'яном, ніж осот польовий, насіння якого рідко потрапляє в зерно.

## 1.2 Способи і методи боротьби з бур'янами

Існує широкий спектр підходів і засобів боротьби з бур'янами — від біологічних і хімічних до фізичних та механічних методів. Біологічний підхід полягає у використанні живих організмів (вірусів, бактерій, грибів, комах, кліщів, нематод, риб, птахів, гризунів, інших рослин тощо) для послаблення або знищення бур'янів [11].

Для боротьби з берізкою на посівах цукрових буряків, люцерни використовують гриб альтернацію. Для цього готують водну суспензію зі спорами гриба, якою обприскують осередки берізки. Потрапляючи на стебла берізки, спори проростають і протягом 5-10 діб знищують бур'ян [19].

Основні прийоми біологічної боротьби з бур'янами:

1. Пригнічення росту деяких видів бур'янів за рахунок вирощування культур, що негативно впливають на ріст означених бур'янів.

2. Застосування мікроорганізмів, здатних розвивати захворювання бур'янів. Так, знищення осоту польового можливо здійснити шляхом зараження його грибом пукцинією.

3. Знищення бур'янів за рахунок поширення на засмічених ділянках комах, які харчуються бур'янами. Зазначений метод заснований на розведенні і випуску на територію сільськогосподарських угідь певних видів комах, їх присутність в посівах культурних рослин веде до зменшення кількості бур'янів.

Очевидно, що біологічний метод має свої переваги і недоліки. Проте, дуже складно правильно підібрати організми, які, стримуючи розвиток небажаної рослини, не приносять б шкоди самим культурам [20].

На сьогоднішній день в сільському господарстві широко поширений метод хімічної боротьби з бур'янистою рослинністю. Правильне використання хімічних засобів, поряд з агротехнічними і біологічними способами, сприяє збереженню врожаю та зменшенню витрат праці при вирощуванні сільськогосподарських культур.

Хімічні засоби для знищення бур'янів називаються гербіцидами (від латинських слів «герба» – «трава», «цедо» – «вбиваю»). Вони являють собою складні хімічні сполуки. Основу їх використання становлять морфологічні та біологічні властивості бур'янів. За своїм складом вони бувають органічні і неорганічні. За способом дії на рослини поділяють речовини суцільної і вибіркової дії [21].

Препарати суцільної дії здатні пригнічувати всі рослини, на які вони потрапляють, за рахунок проникнення в рослину крізь листя. В основному їх застосовують на вже прибраних від врожаю полях або площах, що знаходяться під паром. Дані препарати використовуються у відповідності від виду сільськогосподарських культур, що вирощується на даній ділянці [20].

На сьогоднішній день хімічні засоби найбільш ефективно застосовуються з ґрунтообробними агрегатами. Відомо, що безліч видів бур'янів винищується в паровому полі при суміщенні поверхневої обробки ґрунту із застосуванням хімічних препаратів суцільної дії. При обробці ґрунту без обороту пласта до внесення гербіцидів необхідно здійснювати попереднє розпушування ротаційними знаряддями [19].

Проведений аналіз дозволяє зробити наступні висновки:

1. У більшості випадків застосування хімічних речовин, а також зниження витрати робочого розчину неможливо без додаткового застосування добрив.

2. Слід зазначити, що, застосовуючи один і той же препарат протягом великого періоду часу сприяє появі стійкості бур'янів до даного хімічного засобу. Це призводить до зростання чисельності бур'янів на оброблюваній ділянці поля. У зв'язку з цим, з'являється потреба в чергуванні препаратів, що відрізняються впливом на рослини.

3. При засміченості сільськогосподарських угідь декількома видами бур'янів, необхідно використовувати препарати, що мають різний вплив на рослини.

4. У разі порушення норми і дози внесення хімічних препаратів вся рослинність може загинути і не відновитися протягом декількох років.

5. Обробку посівів із застосуванням хімічних препаратів необхідно проводити відповідно до регламентованих вимог безпеки та інструкцією з охорони праці при зберіганні, транспортуванні та застосуванні гербіцидів в сільському господарстві. Під час роботи обприскувачів потрібно виключити можливість потрапляння робочої суміші на одяг і відкриті частини тіла механізатора. Обробка полів гербіцидами проводиться у відповідні агротехнічні терміни.

При всій різноманітності способів внесення гербіцидів в боротьбі з бур'янами найкращий результат досягається тільки при поєднанні застосування хімічних засобів з механічним обробітком ґрунту [22].

Механічні методи боротьби з бур'янистою рослинністю є основними в сучасному землеробстві. Дані методи є маловитратними, в порівнянні з іншими способами. Поряд з цим, вони відмінно поєднуються з заходами основного обробітку.

При правильній взаємодії робочих органів сільськогосподарських машин з ґрунт створюються найкращі умови для росту і розвитку культурних рослин. В результаті розпушення або ущільнення ґрунту підвищується родючість за рахунок оптимальної кількості в ньому повітря, вологи, і поживних речовин. В даний час все це стає неможливим без застосування комплексної механізації сільськогосподарських робіт і впровадження у виробничий процес нових досягнень науки і техніки.

Обробляючи ґрунт відповідно до встановлених агротехнічних вимог і в оптимальні терміни, можна домогтися зниження засміченості сільськогосподарських угідь бур'янами на 50-60%.

Заходи з обробітку ґрунту сприяють інтенсивному проростанню і швидкому розвитку культурних рослин, перешкоджають поширенню бур'янів, завдяки чому посилюється конкурентоспроможність сільськогосподарських культур. При цьому, гинуть бур'яни, збудники хвороб і шкідники [23].

Боротьба з бур'янами за допомогою ґрунтообробних машин спрямована на знищення насіння, вегетативних органів розмноження в ґрунті і бур'янів у посівах сільськогосподарських культур.

Механічні заходи включають в себе такі методи: метод провокації, метод удушення, метод виснаження і метод осушення [24].

Насіння бур'янів в ґрунті винищують, провокуючи їх до проростання з наступним закладенням на велику глибину. Даний метод полягає в створенні сприятливих умов для проростання насіння бур'янів. Для цього проводять лущення стерні, плоскоріжучу обробку, культивуацію. Після появи сходів їх знищують робочими органами ґрунтообробних знарядь. Це веде до зниження засміченості посівів однорічними бур'янами на 50%, а багаторічними – на

60% [21].

Даний метод застосовується в системі заходів з підготовки ґрунту до посіву. При цьому, двічі за сезон необхідно створити умови для проростання насіння бур'янів. Навесні слідом за культивуацією і боронуванням необхідно провести коткування, що сприяє підвищенню температури ґрунту на 1-2,5 °С, це призводить до поліпшення контакту насіння з ґрунтом і позитивно позначається на його подальшому проростанні. За рахунок оранки на велику глибину плугом, оснащеним передплужниками, насіння бур'янів переміщуються на дно борозни, де внаслідок позбавлення світла відбувається пригнічення їх розвитку [26].

На півдні нашої країни вказаний метод застосовують близько 2 - 3 раз після закінчення збирання кормових культур, озимих зернових, ярих сортів ячменю і т.д. в заходах основного і передпосівного обробітку ґрунту. При цьому, широкого поширення набуло лушення стерні дисковими знаряддями, в результаті чого, залишки однорічних бур'янів подрібнюються, що перешкоджає їх подальшому розмноженню.

Глибина обробки залежить від клімату зони застосування даного методу. У місцях з недостатньою вологістю, вона знаходиться в межах від 6 до 8 см. При обробці в тих зонах, де не спостерігається дефіциту вологи, лушення необхідно проводити на глибину 10 - 12 см [27].

Ефективність провокування насіння бур'янів до проростання полягає в їх регулярному знищенні в міру появи сходів. Цього можна домогтися, культивуючи поверхневий шар ґрунту.

При засміченості посівів бур'янами коренепаросткового типу застосовують підрізання їх коренів, постійно змінюючи глибину обробки (метод виснаження). Зазначений спосіб широко поширений при догляді за паровим полем і посівами просапних культур. Під час зяблевої обробки ґрунту лушення дисковими агрегатами проводять на глибину 8 - 10 або 10 - 12 см в мірі появи бур'янів, потім проводять обробку луцильниками з лемішними робочими органами на глибині 12 - 14 см. Після повторного

проростання бур'янів ґрунт орють на велику глибину плугами з передплужниками з подальшою культивацією паростків, що з'явилися [26].

З метою прискорення появи нових сходів бур'янів, застосовуються боронування, коткування, лушення і дискування. Для того щоб очистити поле від однорічних бур'янів, проводять посів ярих культур у відносно пізні терміни. Перед посівом необхідно знищити сходи однорічних бур'янів.

Молоді бур'яни в процесі розвитку знищуються боронуванням до і після появи сходів культурних рослин. Якісна обробка міжрядь є найбільш ефективним прийомом боротьби з бур'янами в посівах просапних культур. В таких умовах найбільший ефект досягається в тих випадках, коли є повна можливість здійснювати систематичне підрізання їх кореневих систем у міру появи розеток листя [23].

Найбільш ефективною є боротьба з коренепаростковими бур'янами в чистому парі. При цьому, вегетативні органи знищуються в результаті обробки ґрунту зубчастими боронами і культиваторами.

Для боротьби з пириєм повзучим найбільш широко застосовується метод «удушення». Сутність зазначеного методу полягає в обробці поля лушильниками на глибину залягання горизонтальних коренів бур'янів, за рахунок яких вони, головним чином, розмножуються. В результаті чого, відрізки коренів розміром 15 - 20 см швидко проростають. Після появи сходів пирію проводять глибоку оранку. Ослаблені підрізанням паростки, переміщені плугом в глибокі шари ґрунту, гинуть [26]. В системі зяблевої обробки ґрунту восени, наприклад, після озимої пшениці, можна провести два - три лушення на все більшу глибину з подальшою обробкою на повну глибину орного шару.

Боротьба з коренепаростковими бур'янами полягає в систематичному підрізання і подальшому загортанню паростків на велику глибину, отримала назву «метод виснаження». Зазначений спосіб заснований на багаторазовому підрізання бур'янів, так як, при цьому, відбувається виснаження запасів поживних елементів в кореневищах, які є основними органами розмноження

даного виду бур'янів. Слід зазначити, що, сприяючи проростанню бур'янів, неприпустимо давати їм можливість накопичити поживні елементи за допомогою процесу фотосинтезу.

Для знищення ранніх ярих бур'янів найбільш ефективною також є система парового обробітку ґрунту. Кращі результати досягаються в чистих парах з пошаровим обробітком ґрунту. При цьому кожна наступна обробка в чистому пару навесні в зоні недостатнього зволоження починається з більш глибокої з подальшими культиваціями на меншу глибину і з середини літа до сівби озимих – на глибину загортання насіння з боролами в агрегаті [24].

Наступними після системи парового обробітку по ефективності знищення представників цієї групи бур'янів є: система зяблевої обробки, система післяпосівної обробки просапних культур, система передпосівної обробки під пізні ярі і, нарешті, під ранні ярі культури.

Пізні ярі бур'яни краще знищуються паровим пошаровим обробітком ґрунту, потім зяблевим, після посівної обробкою міжрядь просапних культур і, нарешті, передпосівним обробітком ґрунту.

Для успішного знищення бур'янів в системах обробки ґрунту необхідно ретельно, своєчасно і високоякісно виконувати всі польові роботи. Знищувати потрібно сходи бур'янів, оскільки на пізніх фазах життя вони найбільш життєздатні. На цьому засновано високоефективне застосування боронування посівів проса, кукурудзи, картоплі та інших культур, а також ранньовесняне боронування озимих. За рахунок цього, бур'яни або не дають сходи, або гинуть на ранніх стадіях розвитку, ще не з'явившись на поверхні поля в результаті витрачання накопичених поживних елементів. Відомо, що при відвальному обробітку кількість насіння, що розташоване на глибині від 0 до 10 см в два рази менше, в порівнянні з поверхневим обробітком ґрунту, а маса бур'янів знижується на 50%.

Метод висушування заснований на використанні дії сонячних променів на відрізані корені бур'янів при догляді за паровим полем, а також післязбиральному основному обробітку. Подрібнені вегетативні органи

розташовують в поверхневому шарі ґрунту за рахунок впливу на них робочих органів ґрунтообробних машин, де вони висихають [29].

З вищезазначеного випливає, що механічні заходи в більшості своїй засновані на підрізання, засипці ґрунтом і вичісування бур'янів. При обробці полів, засмічених коренопаростковими бур'янами, підрізання рослин веде до появи в подальшому нових, великих за площею сходів, так як в місці зрізу стебла утворюється відразу два паростки.

Варто відзначити, що період повторного проростання бур'яну залежить від маси кореня, залишеного в ґрунті після обробки. В таких умовах найбільш ефективним буде видалення бур'яну з ґрунту разом з кореневою системою, тобто вичісування.

### 1.3 Машини для боротьби з бур'янами з робочими органами пасивного типу

Культиватор причіпний модульний КПМ-6 застосовується для поверхневого обробітку ґрунту, виконуючи його повну підготовку до посіву культурних рослин. При цьому, здійснюється знищення бур'янів, розпушування, часткове вирівнювання і коткування поверхневого шару ґрунту. Технічна характеристика: робоча ширина захвату – 6,0 м; робоча швидкість – 6 ... 12 км / год.; глибина обробітку – 5 ... 12 см; продуктивність агрегату – 3,6 ... 7,2 га /год.

Культиватор КПМ – 6 являє собою причіпну машину, що складається (рис. 1.1) з центральної секції, причіпного пристрою, двох крил, опорних коліс, копіювальних коліс, розпушувача сліду і гідросистеми.

Центральна секція є основною несучою частиною культиватора і являє собою зварену конструкцію, на яку монтуються основні вузли і деталі. На бічних брусах центральної секції закріплені крила, які складаються за допомогою гідроциліндрів для зручності транспортування культиватора [17].

На передньому брусі центральної секції розташований зчіпний пристрій для агрегування культиватора з трактором. Робочими органами культиватора є стійка 45x12, можлива комплектація культиваторів різними видами лап: лапа стрілочата або лапа розпушувальна.

Опорні колеса призначені для пересування культиватора при транспортуванні та в процесі роботи. Переведення опорних коліс з транспортного положення в робоче здійснюється гідроциліндрами. Для регулювання глибини обробки на рамі встановлений обмежувач ходу транспортних коліс (регулювальний гвинт). Гідросистема призначена для переведення культиватора з транспортного положення в робоче і навпаки.



Рис. 1.1 – Культиватор причіпний модульний КПМ – 6

Технологічна схема роботи культиватора полягає в наступному.

Лапа відокремлює від масиву пласт ґрунту на задану глибину і руйнує його. Одночасно, додаткове обладнання, що розташоване позаду культиватора остаточно вирівнює і ущільнює верхній шар ґрунту. В результаті проходження агрегату ґрунт повністю готовий до посіву

сільськогосподарських культур [13].

Культиватор суцільного обробітку КСВ-8 призначений для передпосівного обробітку ґрунту та обробітку парів з одночасним коткуванням (боронуванням). Технічна характеристика: робоча ширина захвату – 7,85 м; робоча швидкість – до 12 км / год.; глибина обробітку – 4 ... 12 см; продуктивність агрегату – 8 га / год. Культиватор КСВ – 4 комплектується пружними гряділями зі стрілчастими лапами 330 і 260 мм.

Рама культиватора є основною несучою частиною конструкції. Вона виконана з профільних труб квадратного і прямокутного перерізів. Має центральну (несучу) частину і шарнірно приєднані крила (рис. 1.2).



Рис. 1.2 – Культиватор суцільного обробітку КСВ – 8

Причіпний пристрій призначений для приєднання культиватора до трактора. Він шарнірно кріпиться до переднього бруса за допомогою несучих кронштейнів.

Для забезпечення установки культиватора в горизонтальне положення передбачено регульовальний гвинт, що зв'язує раму і причіпний пристрій. На останньому змонтовані кронштейни, на які встановлюються долота – розпушувачі слідів.

В центральній секції консольно встановлені колеса на пневматичних шинах, кронштейни яких з'єднані з рамою за допомогою осей. Колісна вісь з'єднана з вилкою осі і підшипниковими вузлами. Механізм регулювання

глибини ходу робочих органів являє собою гвинтову пару, яка пов'язує раму і кронштейн колеса. При обертанні гвинта кронштейн осі колеса змінює положення, а колесо, встановлене на ньому, переміщається по висоті відносно рами.

Гряділі, що мають однакову конструкцію, є перехідною ланкою між робочими органами і кронштейном (що закріплюється на рамі), являють собою підпружинений важіль. До культиваторних стійок кріпляться стрілчасті лапи.

Агрегат комплектується пластино-трубчастим катком. Для забезпечення якісного дроблення грудок ґрунту і запобігання надмірним перевантажень конструктивних елементів на катки встановлюються амортизатори з регульованою жорсткістю пружин.

Культиватор - плоскоріз широкозахватний КПШ-9 призначений для дрібного розпушування ґрунту, при цьому, на полі повинна зберігатися стерня зернових культур, що перешкоджає розвитку вітрової ерозії, також вказана машина може застосовуватися при обробці парових полів та на ґрунтах, що мають легкий механічний склад – з метою підготовки їх до посіву [14, 18].

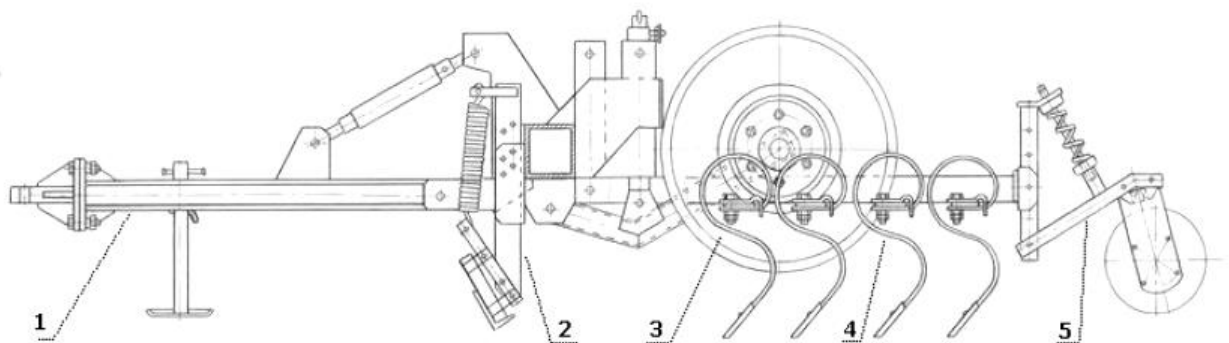


Рис. 1.3 – Культиватор – плоскоріз широкозахватний КПШ – 9: 1 – рама; 2 – пружинний вирівнювач; 3 – опорні колеса; 4 – робочі органи; 5 котки.

Основні технічні параметри: робоча ширина захвату становить 9,0 м; швидкість руху під час роботи — до 12 км/год; глибина обробітку ґрунту — від 7 до 18 см; продуктивність агрегату при робочій швидкості 10 км/год дорівнює 7,2 га/год.

Плоскоріз культиватор широкозахватний може проводити обробіток ґрунту з питомим опором до 0,9 МПа. Робочі органи КПШ - 9 агрегуються з тракторами класу тяги 30 кН при комплектації сімома робочими органами і класу 50 кН при комплектації дев'ятьма робочими органами. Остаточне налаштування культиватора на задану глибину обробки і рівномірність ходу робочих органів здійснюється безпосередньо в полі [14].

В результаті аналізу роботи ґрунтообробних знарядь виявлено, що дані машини не можуть здійснювати вичісування бур'янів з ґрунту разом з коренем через конструкції робочих органів.



Рис. 1.4 – Агрегат ґрунтообробний комбінований АПК - 7,2

Агрегат ґрунтообробний комбінований АПК - 7,2 (рис. 1.4) призначений для передпосівної обробки ґрунту під ярі та озимі культури з метою створення посівної постелі на необхідну глибину, ущільнення поверхні ґрунту, а також знищення бур'янів з частковим подрібненням і закладенням рослинних залишків.

Являє собою причіпне знаряддя з двома послідовно розташованими рядами розпушувальних лап, дисковим вирівнювачем і здвоєним прутковим катком. Технічна характеристика агрегату АПК - 7,2: ширина захвату – 7,2 м; робоча швидкість руху – 8 ... 10 км / год.; глибина обробітку – 8 ... 16 см.

#### 1.4 Машини для боротьби з бур'янами з робочими органами активного типу

Борона-мотика широкозахватна БМШ-15 (рис. 1.5) призначена для передпосівного і парового обробітку ґрунту, після осінньої оранки важких за механічним складом ґрунтів, із закладенням поживних залишків на поверхні поля після колосових і просапних попередників.

Технічна характеристика: БМШ – 15: ширина захвату – 14,35 м; робоча швидкість – до 8 ... 12 км / год.; глибина обробітку – 4 ... 10 см, продуктивність агрегату за 1 годину експлуатаційного часу при швидкості руху 10 км / год – 6,4 ... 12,4 га / год.

БМШ - 15 забезпечена робочими органами у формі голчастих дисків діаметром 55 см, зібраних в батареї, які змонтовані на рамі борони в два ряди. Кожен робочий орган має 12 ножів в формі голок круглого перерізу [28].

При рухові знаряддя по полю робочі органи перекочуються по його поверхні, при цьому, вони заглиблюються на 4 ... 10 см, роблять розпушування верхнього шару ґрунту із закладенням насіння бур'янів, для прискорення їх подальшого проростання, з метою знищення сходів.

Борона - мотика випускається двох модифікацій, голчаста БМШ-15 та голчасто - дискова широкозахватна БМШ-15ІД. Борона-мотика голчаста широкозахватна БМШ-15 застосовується в степових районах з недостатнім і нестійким зволоженням ґрунтів, схильних до вітрової ерозії, при схилах поверхні не більше  $8^\circ$ , вологості ґрунту в межах 12 - 25% і твердості не більше 2,5 МПа [9].



Рис. 1.5 – Борона - мотика широкозахватна БМШ – 15

Голчасто - дисковий робочий орган (мотика) виготовлений методом лиття з високоміцної зносостійкої сталі Ст-35. Велика кількість налаштувань забезпечує можливість гнучкого регулювання сили тиску на ґрунт і кута атаки робочих органів. Це дозволяє оперативно налаштувати борону до певних польових умов по мірі необхідності. Борона може бути налаштована всього за кілька хвилин. Висока маневреність борони в транспортному і робочому положеннях, можливість маневру заднім ходом в транспортному положенні, а також швидке переведення борони в робоче положення і навпаки являються основними із переваг даної машини [4].

Борона дискова важка БДТ - 3 (рис. 1.6) призначена для обробітку ґрунту після її оранки. Її широко використовують під час обробітку важких

за механічним складом ґрунтів після закінчення збирання сільськогосподарських культур. В даний час застосовується для основного обробітку ґрунту без обороту пласта.



Рис. 1.6 – Борона дискова важка БДТ – 3

Основні технічні параметри борони БДТ-3: робоча ширина захвату становить 3,0 м; швидкість руху під час роботи - у межах 8 - 10 км/год; глибина обробітку ґрунту - до 20 см; продуктивність агрегату - близько 1,75 га/год; кут атаки дисків становить  $6^\circ$  або  $10^\circ$ .

Глибину занурення робочих органів регулюють шляхом зміни кута атаки дисків ( $12^\circ$ ,  $15^\circ$  або  $18^\circ$ ), переміщуючи зовнішні кінці батарей у потрібному напрямку. При збільшенні кута атаки робочі органи заглиблюються більше, а при його зменшенні - відповідно менше.

Регулюють її переміщенням батарей на потрібну величину і фіксацією її в цьому положенні на крайніх поздовжніх брусах. При обробці поля, приблизно через 50 ... 60 м першого проходу перевіряють глибину обробки і при необхідності змінюють її, забезпечуючи задане значення. Переведення борони у транспортне положення здійснюється за допомогою гідроциліндра 7, який опускає колеса 3.

Голчаста гідрофікована борона БІГ-3А (рис. 1.7) призначена для поверхневого розпушування ґрунту навесні та після збирання врожаю. Її

застосовують для збереження вологи, загортання насіння бур'янів і залишків культурних рослин, а також для вирівнювання поверхні поля після попередніх обробітків [13]. Цей агрегат може замінювати дисковий лушпильник і голчастий коток.

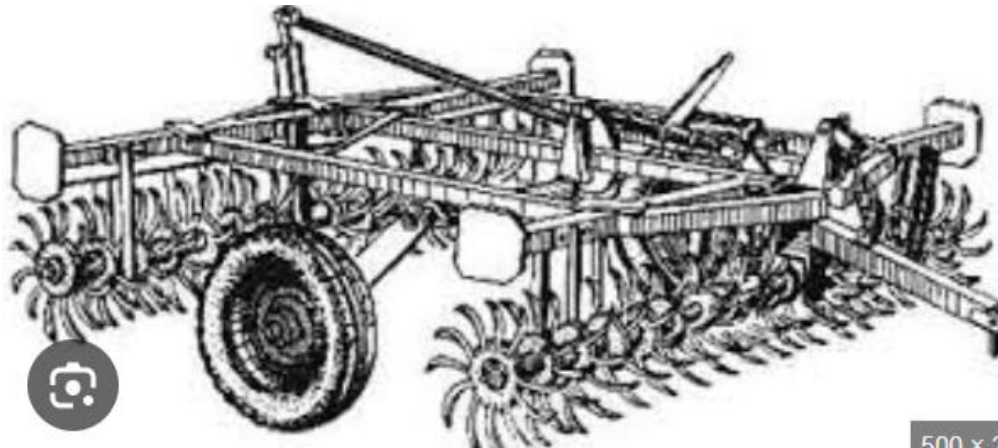


Рис. 1.7 – Борона голчаста гідрофікована БІГ – 3

Технічна характеристика БІГ – 3А: ширина захвату – 3,0 м; робоча швидкість руху – до 9 км / год.; глибина обробки – 4 ... 6 см; продуктивність агрегату за 1 годину чистої роботи при швидкості руху 6,8 км / год - 6,2 га / год.; кут атаки дисків – 8 °, 12 °, 16 °.

Робота голчастої борони полягає в тому, що при русі по полю голки диска входять в ґрунт на певну глибину і роблять розпушування. Так як диски встановлені під кутом до напрямку руху, то зона деформації ґрунту кожної голкою збільшується і буде тим більше, чим більше кут атаки. Проте при розпушуванні до 75% стерні залишається на поверхні поля, що має велике значення для обробітку ґрунтів, схильних до вітрової ерозії. Під час роботи зі швидкістю 8–9 км/год для кращого збереження стерні рекомендується зменшувати кут атаки батарей.

Робочі органи знаряддя, що застосовуються для ранньовесняного обробітку ґрунту (закриття вологи), голчасті диски, можуть встановлюватися для роботи «активною» (вістрям назад) або «пасивною» (вістрям вперед) стороною зуба. Активне положення застосовується для кращого заглиблення,

при обробітку ущільнених ґрунтів і збільшення ступеня подрібнення верхнього шару ґрунту. При роботі в оптимальних умовах застосовується «пасивна» установка робочих органів.

Рама зварної конструкції призначена для кріплення вузлів і деталей голчастої борони. Вона складається з шести поздовжніх і чотирьох поперечних брусів. До двох передніх поперечних брусів приварені два кронштейна: один – для кріплення гідроциліндра, інший – для гвинтової стяжки.

Рівномірність глибини обробітку передніми і задніми батареями забезпечується при горизонтальному положенні рами борони. Досягається це зміною довжини гвинтової стяжки, при глибині обробітку 4 - 6 см її довжина повинна складати 320 мм. Слід враховувати, що при зміні глибини обробітку на 1 см, слід зменшити довжину стяжки на 0,5 см і навпаки

Розпушувача УСМП – 5,4 (рис. 1.8) призначений для рядного проріджування сходів овочевих культур, розпушування ґрунту і знищення бур'янів. Конструкція робочої секції розпушувача забезпечує можливість використання його на осушених торфових і болотних ґрунтах, що містять камені [72, 73]. Технічна характеристика УСМП - 5,4: ширина захвату – 5,4 м; робоча швидкість руху – 6 - 8 км / год; глибина обробітку – 3 ... 4 см. Рама розпушувача являє собою зварену конструкцію з труб. Машина оснащена пристроєм для автоматичного агрегування з трактором. Кожна секція машини пов'язана з рамою паралелограмним навішуванням.

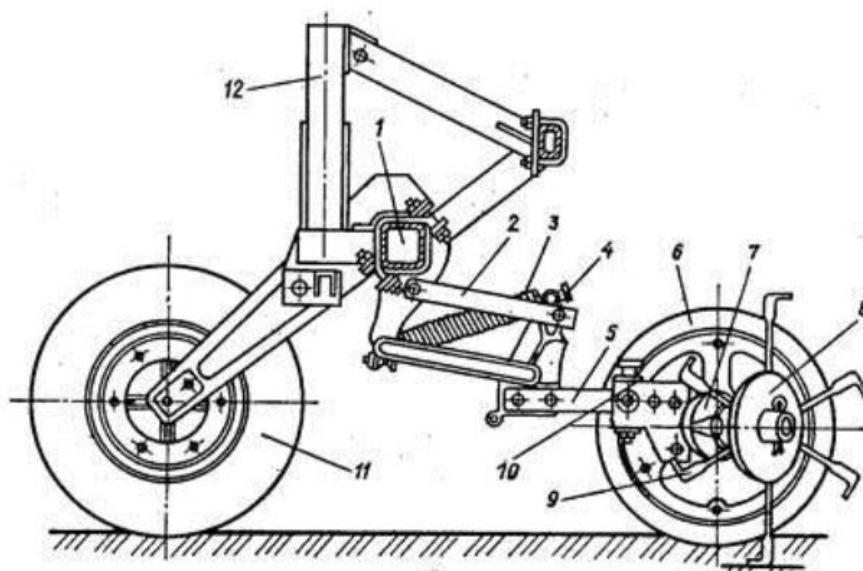


Рис. 1.8 – Схема розпушувача УСМП - 5,4: 1 – брус; 2 – паралелограмний механізм; 3 – пружина; 4 – гвинт; 5 – планки гряділя; 6 – опорно-приводне колесо; 7 – редуктор; 8 – ріжуча головка; 9 – ніж; 10 – корпус; 11 – опорне колесо; 12 – рама.

На рамі 12 (рис. 1.8) закріплені дванадцять секцій, забезпечених обертовими ріжучими головками 8 з ножами 9. Головка 8 змонтована на веденому валу редуктора 7, на ведучому валу якого закріплено опорно-приводне колесо 6. Редуктор 7 прикріплений до планок гряділя 5 так, що площина обертання головки знаходиться під кутом  $40^\circ$  до напрямку руху агрегату [17].

В ході робочого процесу знаряддя ріжучі головки 8, які встановлені над рядками бур'яків, починають обертатися і ножами 9 знищують частину бур'янів в рядку. На головках змонтовані ножі, розташовані по одному, по два або по три ножа. Перш ніж приступити до регулювання знаряддя необхідно встановити густоту посадки культурних рослин: для чого проводять підрахунок на двадцяти ділянках по діагоналі поля, кількості рослин на відрізках довжиною 2 метри, а потім визначають їх середнє число на 1 м.

Кількість і схему розміщення ножів підбирають з табличних значень в залежності від реальної густоти посівів [14]. Глибину обробки встановлюють в інтервалі від 3 до 4 см шляхом регулювання повороту корпусу редуктора на осі опорного колеса.

Роторна борона Striegel (рис. 1.9) австрійської компанії «Hatzenbichler» призначена для передпосівного розпушування ґрунту з метою поліпшення її водно-повітряного режиму, а також знищення бур'янів і залишеного обсипаного насіння культурних рослин.



Рис. 1.9 – Роторна борона Striegel компанії «Hatzenbichler»

Борона «Hatzenbichler» рівномірно розпушує ґрунт і не пошкоджує рослини при роботі. Роторна борона пристосована для суцільного і міжрядного обробітку, дозволяє обробляти ґрунт, навіть при рослинах, що вирости. Striegel працює при висоті рослини до 20 мм. При збільшенні ширини міжряддя можлива робота до висоти 60 см.

Технічна характеристика борони Striegel: ширина захвату – 3,20 м; робоча швидкість руху – 12 ... 14 км / год; глибина обробітку – 4 ... 6 см.

Обробіток ґрунту ведеться по всій ширині борони при будь-якій кількості рослинних залишків. Якість обробітку залежить від швидкості, і

чим вона вища, тим сильніше знаряддя розпушує ґрунт, розбиваючи грудки.

Зірочка діаметром 550 мм виготовлена суцільним литтям, із дуже міцного сплаву і монтується на двох підшипниках з твердосплавними втулками. Особливістю борони є можливість перекидання зірочок, для зміни кута атаки. Залежно від кута нахилу зубів зірочки до напрямку руху можна встановлювати агресивний або ощадний обробіток, тим самим підібрати оптимальні умови роботи в залежності від типу ґрунту.

Глибина обробітку встановлюється механічно, за допомогою лінійки на опорному колесі.

Важка ротаційна борона - мотика «ІГЛОВАТОР II» (рис. 1.10) російської компанії «АГРІСТО» призначена для суцільного і міжрядного обробітку на всіх типах ґрунтів з метою знищення бур'янів і загортання пожнивних залишків і добрив. Технічна характеристика «ІГЛОВАТОР II»: ширина захвату – 5,0 м; робоча швидкість руху – 12 ... 20 км / год.; глибина обробітку – 4 ... 6 см.



Рис. 1.10 – Важка ротаційна борона - мотика «ІГЛОВАТОР II»

Застосування даного знаряддя особливо ефективно для забезпечення збереження вологи, а також при обробці по вегетації, що позитивно

позначається на розвитку культурних рослин [19]. Маса одного диска діаметром 550мм з маточиною становить 17 кг, вага секції (стійка + 2 диска) – 58 кг. Для роботи по рослинах зірочки розташовані вигином у напрямку руху, що забезпечує вертикальне входження голки зуба в ґрунт, при цьому рослина не пошкоджується [19].

Для збільшення впливу на ґрунт диск перевертають на  $180^{\circ}$ . Таке розташування голчастих дисків використовується при суцільному та інтенсивному обробітку ґрунту, а також при роботі на стерньовому агрофоні. Глибина обробки на навісних агрегатах встановлюється механічно, зміною висоти опорного колеса, а на причіпних – шляхом установки на штоки гідроциліндрів опорних кілець (кліпс).

Борона кільцева «Лідер БКС - 8» (рис. 1.11) призначена для передпосівного обробітку ґрунту під ярові і озимі культури, а також знищення і вичісування бур'янів з одночасним вирівнюванням ґрунту. Робота даної борони заснована на використанні робочих органів у вигляді кілець, що мають форму усіченого конуса, зібраних в батареї. Батареї дворядні та розташовані до напрямку руху агрегату [27].

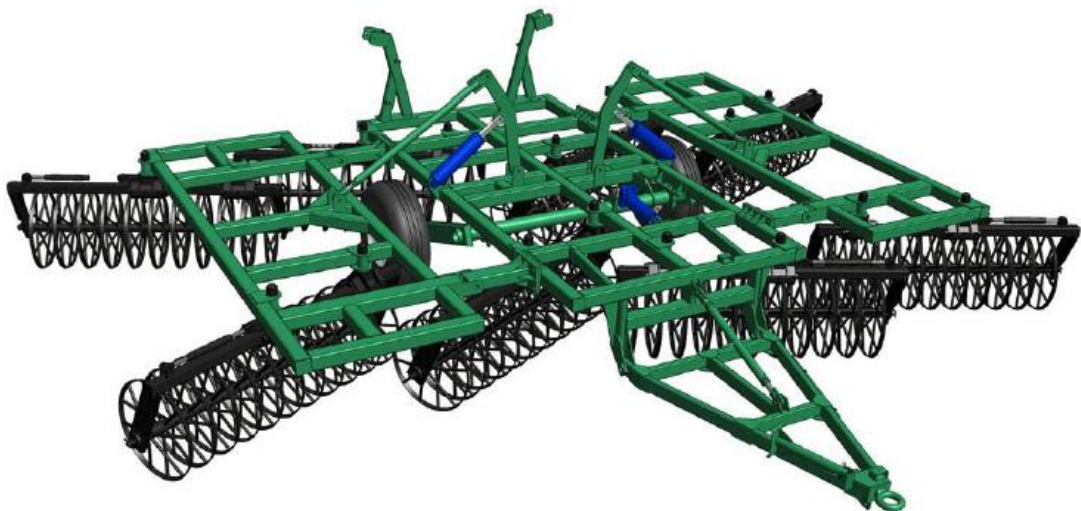


Рис. 1.11 – Борона кільцева Лідер БКС – 8

Технічна характеристика кільцевої борони БКС – 8: ширина захвату – 8,0 м; робоча швидкість руху – до 16 км / год.; глибина обробітку – 4 ... 8 см.

Кільцева борона має секційну шарнірну раму з гідравлічним складанням. Призначена для агрегування з тракторами 3-4 класу тяги (типу Т-150).

Культиватор ротаційний КР-8 «Кротор» (рис. 1.12) призначений для підрізання і виносу бур'янів на поверхню поля, подрібнення грудок і поживних залишків, розпушування, мульчування, вирівнювання і ущільнення верхнього шару ґрунту з метою збереження вологи і поживних речовин під час суцільної після зяблевої, передпосівної і парової культивації полів [19].



Рис. 1.12 – Культиватор ротаційний КР - 8 «Кротор»

Технічна характеристика культиватора ротаційного КР - 8 «Кротор»: ширина захвату – 8,0 м; робоча швидкість руху – 9 ... 14 км / год; глибина обробітку – 8 ... 14 см.

Культиватор КР-8 забезпечений конусоподібними-кільцевими робочими органами, які під час роботи здійснюють обертальний рух. Культиватор забезпечений трубчастим катком, який здійснює примусове вирівнювання і ущільнення верхнього шару ґрунту [11].

При використанні розглянутих знарядь створення технологічного процесу вичісування бур'янів на мінімальній глибині обробки в різні періоди їх росту не представляється можливим, тому що метою цих машин є подрібнення поверхневого шару ґрунту і знищення бур'янів на ранніх стадіях їх розвитку.

## Висновок по розділу

1. Встановлено, що сучасні ґрунтообробні знаряддя поділяються на машини з активними та пасивними робочими органами, а також на комбіновані агрегати, які поєднують особливості обох типів.

2. Проведений аналіз показав, що існуючі конструкції забезпечують підрізання або вичісування кореневої системи бур'янів лише в межах глибини обробки ґрунту. Це свідчить про обмеженість їхньої ефективності, оскільки не всі бур'яни видаляються повністю, а частина їхньої кореневої системи залишається у ґрунті, що може призводити до повторного проростання.

3. Такий висновок підкреслює необхідність удосконалення конструкцій робочих органів, щоб забезпечити більш повне видалення бур'янів та підвищити ефективність захисту посівів.

## 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СЕКЦІЙНОГО РОБОЧОГО ЕЛЕМЕНТА, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄ ВИЧІСУВАННЯ БУР'ЯНІВ У ПОЄДНАННІ З РОЗПУШЕННЯМ ҐРУНТУ

### 2.1 Конструкція активного секційного робочого органу для вичісування бур'янів з розпушуванням ґрунту

Схема запропонованого секційного робочого органу з ланцюговим приводом представлена на рис. 2.1 та складається із рами з двома опорними колесами (рама і опорні колеса не показані), корпусу 1 з переднім 2 і заднім 3 роторами, зміщеними один відносно одного, кожен з яких складається з диска 4, з ножами 5, що мають форму прямокутних пластин з вирізами.

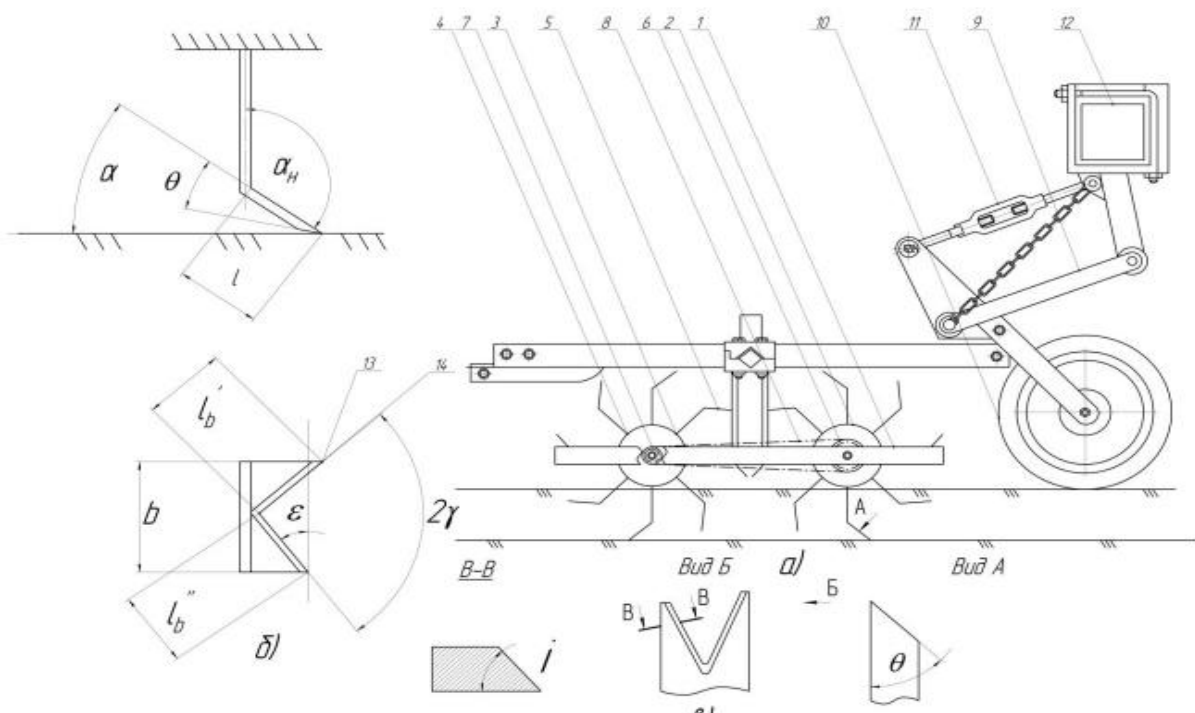


Рис. 2.1 – Секційний робочий орган: а) загальний вигляд; б) схема ножа ротора; в) схема вирізу ножа ротора; 1 – корпус; 2 – передній ротор; 3 – задній ротор; 4 – диск; 5 – ніж; 6 – зірочка переднього ротора; 7 – зірочка заднього ротора; 8 – ланцюгова передача; 9 – паралелограмний механізм; 10 – опорне колесо; 11 – гвинтова стяжка; 12 – брус; 13 – передня кромка ножа; 14 – виріз леза ножа.

На валах передніх і задніх роторів змонтовані приводні зірочки 6 і 7, що з'єднані між собою ланцюговою передачею 8. Копіювання поверхні ґрунту при роботі забезпечується паралелограмним механізмом 9, з опорним колесом 10. Вирівнювання паралелограмного механізму 9 в горизонтальній площині здійснюється за допомогою гвинтової стяжки 11. Авто-привідний секційний робочий орган навішується на брус 12.

Працює знаряддя наступним чином. При русі по полю ножі передніх і задніх роторів рухаються в ґрунті на певній глибині, при цьому, передній ротор оснащений зірочкою з більшою кількістю зубів, ніж задній, отже, обертається з меншою кутовою швидкістю [1, 2]. За рахунок цього, створюється ефект самогальмування і ножі роторів рухаються по лінії дна борозни, що близька за формою до прямої. Це дозволяє вичісувати бур'яни з ґрунту разом з коренем.

Технологічний процес роботи секційного робочого органу з самостійним приводом при вході ножів переднього і заднього роторів в ґрунт представлений на рис. 2.2:

I. Початок руху роторів в ґрунті. Ніж переднього ротора спирається тильною частиною на поверхню ґрунту. При цьому, лезо ножа заднього ротора розташовується перпендикулярно поверхні ґрунту. Леза ножів стикаються з кореневою системою бур'янів (точки  $A_1$  і  $A_2$ ). Центри роторів рухаються з переносною швидкістю, рівній поступальній швидкості руху машини. При однакових радіусах ножів, кутова швидкість обертання переднього ротора  $\omega_1$  істотно менше, ніж кутова швидкість заднього ротора  $\omega_2$ , ця різниця виникає за рахунок передавального числа зубів зірочок приводу ланцюгової передачі.

II. Захоплення кореня бур'яну. Центри роторів через певний час  $t_1$  проходять шлях, рівний  $V_{t_1}$ . Ніж переднього ротора повертається на кут  $\varphi_n$ , а заднього  $\varphi_3$ . Кут повороту ножа переднього ротора значно менший, ніж кут повороту заднього ротора [3]. Корінь бур'яну захоплюється вирізом ножа

переднього ротора і переміщується у напрямку руху машини, а заднього ротора – в протилежну. Величина вичісування кореня ножем переднього ротора не дорівнює величині заднього ротора.

III. Вичісування бур'яну. Центри роторів через той же проміжок часу  $t_1$ , переміщуються на відстань  $V_{t_1}$ , а точки лез ножів  $A'_1$  і  $A'_2$  і повертаються, опиняючись в положенні  $A''_1$  і  $A''_2$ . Процес вичісування кореня бур'яну продовжується.

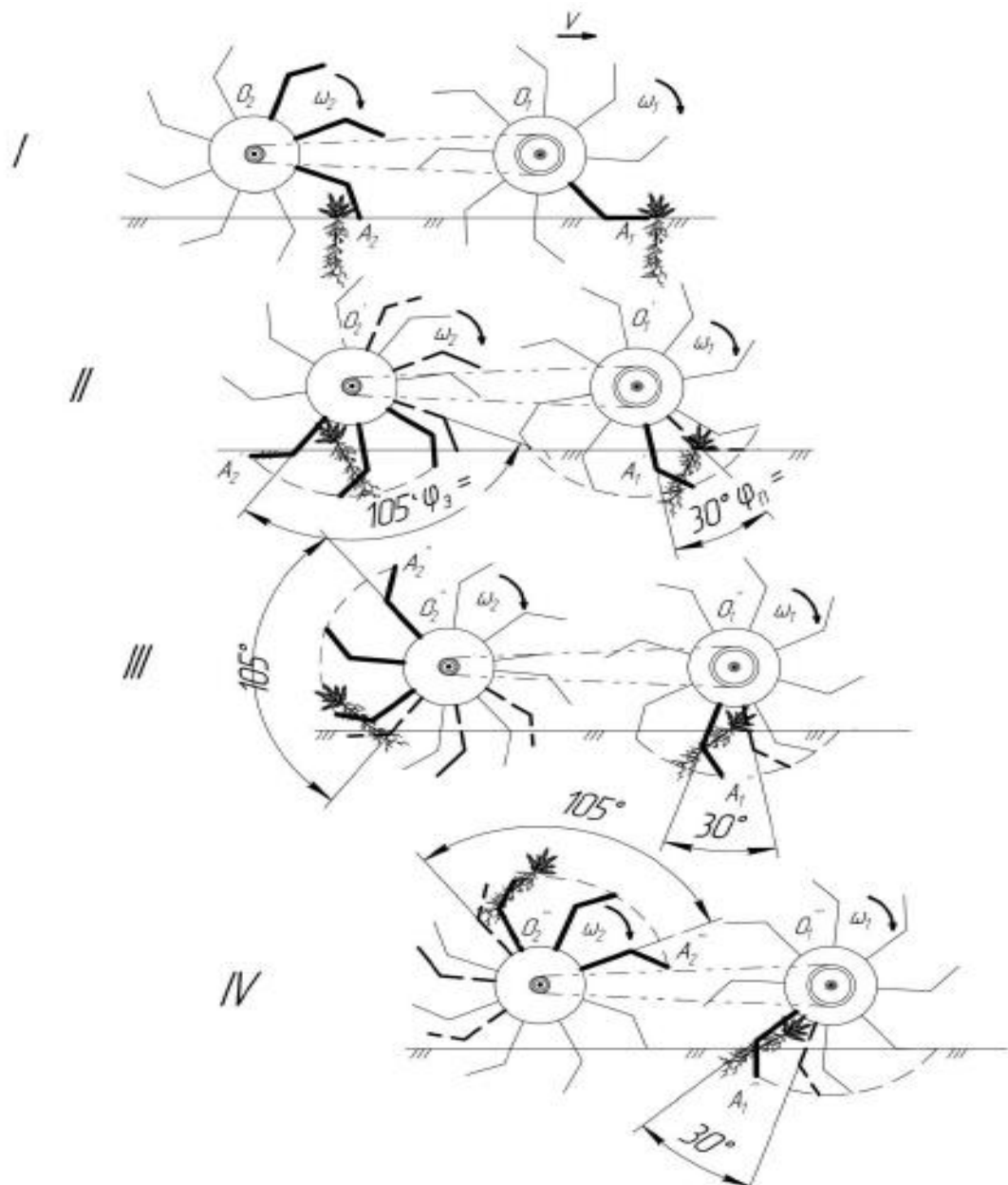


Рис. 2.2 – Схема технологічного процесу роботи авто-привідного секційного робочого органу

IV. Витягування бур'яну з ґрунту разом з коренем і укладання його на поверхню поля. Розглядається кінцевий етап повного циклу вичісування коренів бур'янів переднім і заднім роторами. Центри роторів перемістилися на відстань  $V_{t_1}$ , зайнявши положення  $O_1'''$  і  $O_2'''$ . Ніж переднього ротора повернувся на кут  $\varphi_n$ , лезо ножа знаходиться в точці  $A_1'''$ , тобто на поверхні ґрунту, разом з коренем бур'яну. Ніж заднього ротора повернувся на кут  $\varphi_3$ , істотно більший, ніж  $\varphi_n$ . З умови рівності довжин коренів, що вичісуються переднім і заднім роторами, у переднього працює 1 ніж, а у заднього при цьому – 3 ножа послідовно [4].

## 2.2 Аналітичне визначення основних параметрів роботи роторів

Слід зазначити, що при аналізі теоретичних залежностей прийняті наступні передумови та припущення:

1. Вологість ґрунту при виконанні технологічного процесу вичісування бур'янів не враховувалася.
2. Фізіологічні особливості будови кореневої системи бур'янів не враховувалися.
3. Відрізки циклоїд на дні борозни представлялися прямими лініями.
4. Опір кореня бур'яну при вичісуванні враховувався постійним коефіцієнтом у вигляді зусилля, поділеного на його довжину.

При роботі авто-привідного секційного робочого органу передній ротор обертається з меншою кутовою швидкістю, ніж задній. Відношення швидкостей: окружної кінця ножа до швидкості руху агрегату – для переднього ротора  $\lambda_1 = \frac{u_1}{V} \leq 1$ , а заднього  $\lambda_2 = \frac{u_2}{V} \geq 1$  [66]. Звідси вираз  $\lambda$  для співвідношення швидкостей роторів:  $\lambda_1 \leq 1 \leq \lambda_2$ . Це співвідношення може бути отримано при деяких конкретних умовах.

Відомо, що траєкторією руху ножа при зазначених співвідношеннях є окремий випадок трохойди – циклоїда [8].

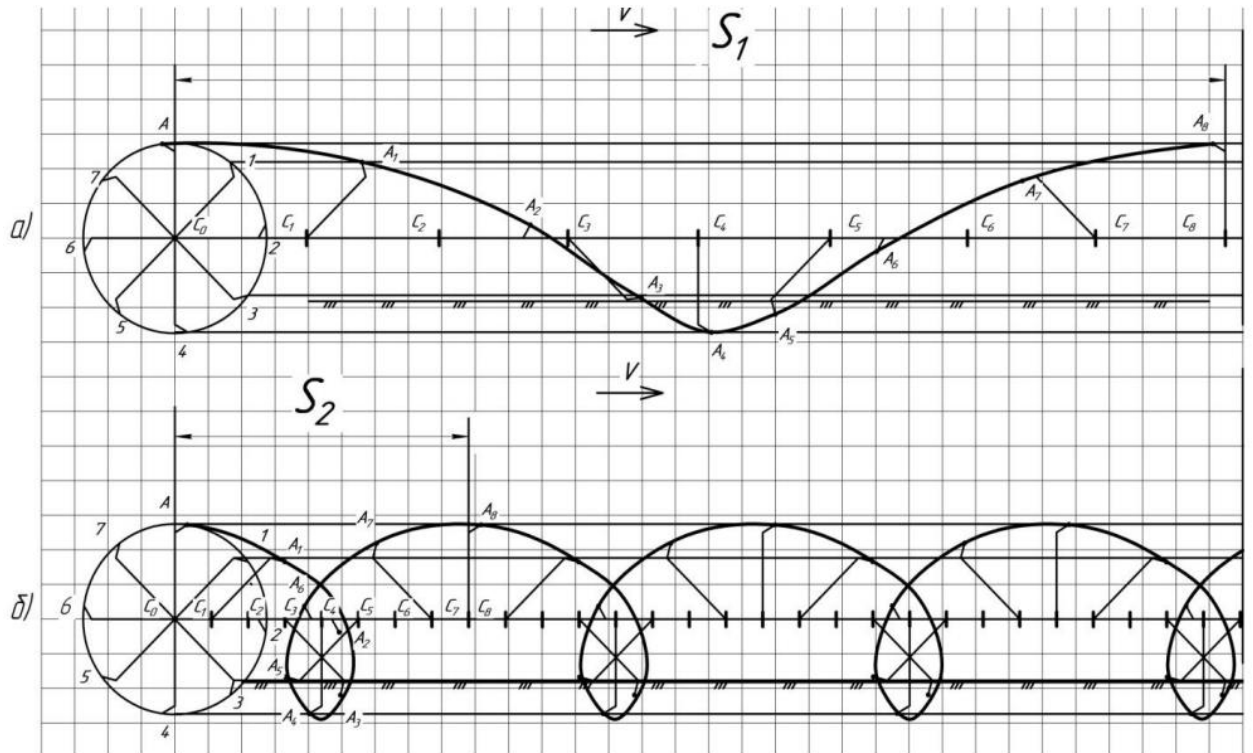


Рис. 2.3 – Траєкторії руху ножів: а) переднього ротора; б) заднього ротора

В математичному вираженні траєкторія циклоїди представлена у вигляді двох параметричних рівнянь виду:

$$x = a_1 t - a_2 \sin t, \quad (2.1)$$

$$y = a_1 - a_2 \cos t. \quad (2.2)$$

де:  $a_1$  – радіус кола, м;  $a_2$  – відстань від центра кола радіуса  $a_1$ , що котиться без ковзання по осі абсцис;  $t$  – час руху авто-привідного робочого органу; при  $a_1 < a_2$  циклоїда називається скороченою; при  $a_1 > a_2$  – подовженою, при  $a_1 = a_2$  – звичайною циклоїдою [1, 8]. У нашій роботі прийнято  $a_1 = r$ .

### 2.2.1 Визначення параметрів переднього ротора

Передній ротор обертається в ту ж сторону, що і задній. Однак, при цьому, його ножі виконані зі згином в протилежну сторону обертання, отже, заглиблення ножа забезпечується тільки за рахунок поступальної швидкості

руху авто-привідного робочого органу, кутів установки ножа до горизонту  $\alpha$ , а також заднього кута заточування самого ножа  $\theta$ .

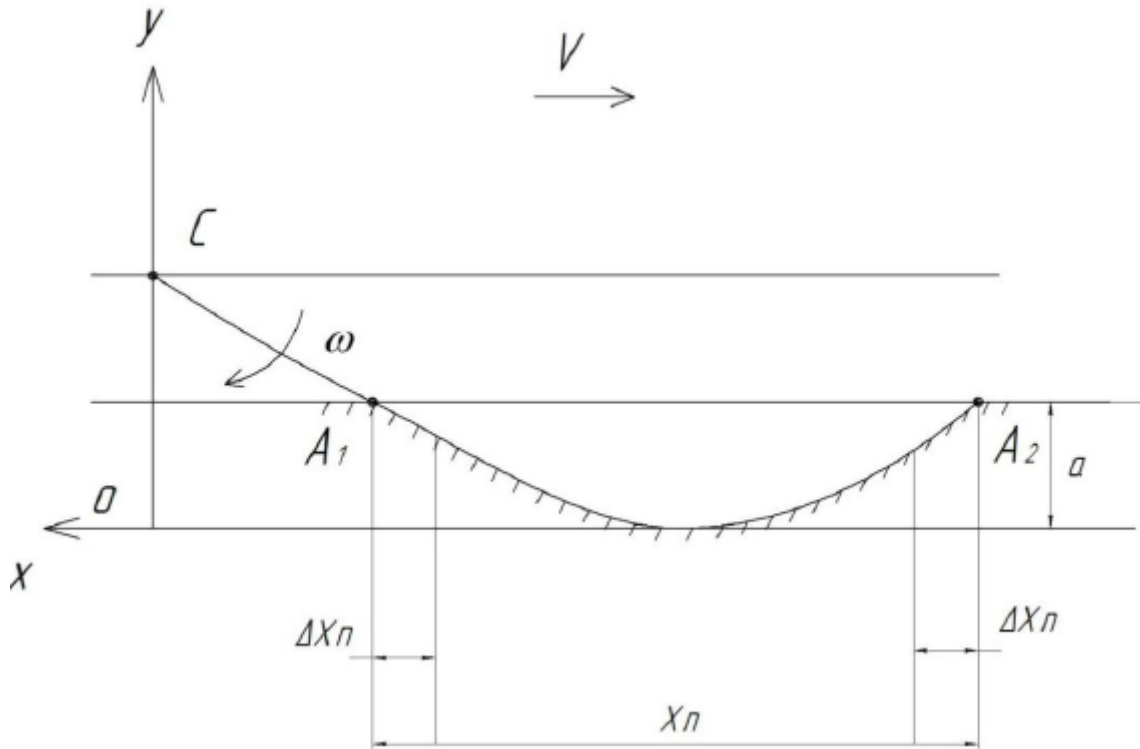


Рис. 2.4 – Схема руху ножа переднього ротора:  $A_1$  – точка входу ножа;  $A_2$  – точка виходу ножа.

Для досягнення переднім ножом заданої глибини обробки необхідно розглянути схему, представивши на ній переміщення ножа переднього ротора (рис. 2.4).

Умова для переднього ротора  $V \geq \omega R, u_H = \omega R$ , де  $u_H$  – окружна швидкість кінця ножа.

Представимо схему сил, діючих на пласт ґрунту при досягненні ножом кута  $\alpha$  до горизонту на глибині «а» обробітку ґрунту (рис. 2.5). Враховуємо, що передня грань ножа загострена так, що відсутня полиця леза. Опір, що діє на неї, приймемо рівним нулю [6].

На ніж діють реакція ґрунту  $R_1$ ; тиск від сили інерції пласта  $I$ ; сила тяжіння пласта  $G$ ; результуюча  $R$  від елементарних нормальних сил і сил тертя від пласта на поверхню клина [3, 6]. Крім цього, необхідно врахувати,

що швидкість переміщення частинок по поверхні клина  $V_r$ ; окружна швидкість ножа  $u_1$ , швидкість руху машини  $V = V_r \cos \alpha$ .

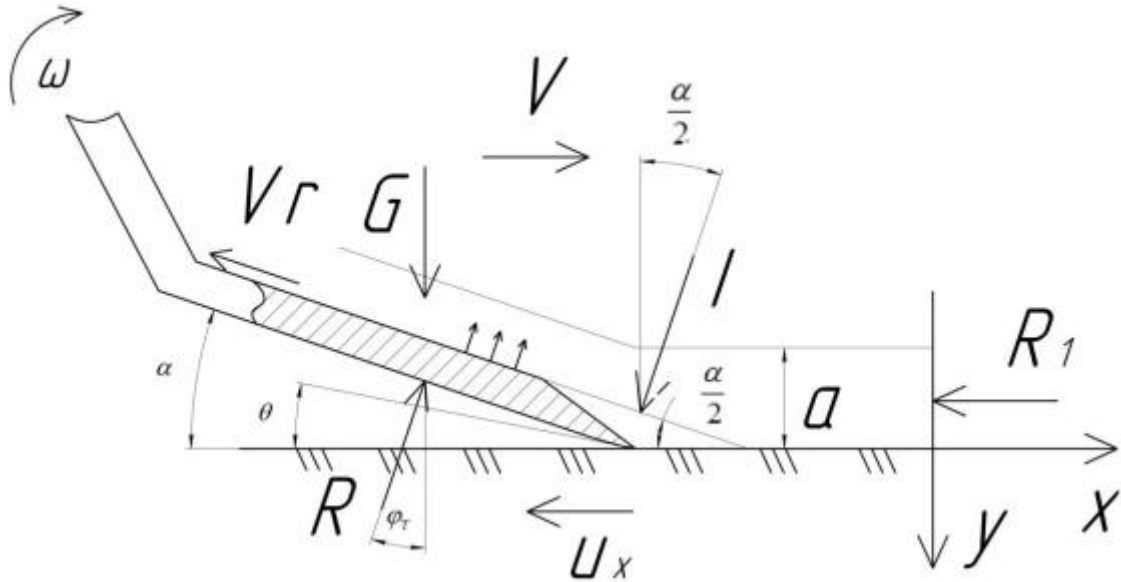


Рис. 2.5 – Схема сил, що діють на пласт ґрунту

Напрямок вектора сили  $R_1$  паралельний осі  $Ox$ . Сила  $I$  спрямована під кутом  $\frac{\alpha}{2}$  до осі  $Oy$ , а сила  $R$  утворює з нормаллю кут тертя  $\varphi_t$ . Спроекуємо значення сили на осі  $Ox$  і  $Oy$ :

$$\sum O_x = -R_1 - I \sin \frac{\alpha}{2} + R \sin(\alpha + \varphi_T) = 0; \quad (2.3)$$

$$\sum O_y = I \cos \frac{\alpha}{2} + G - R \cos(\alpha + \varphi_T) = 0; \quad (2.4)$$

Розв'яжемо рівняння (2.3) відносно  $R$ :

$$R = \frac{G}{\cos(\alpha + \varphi_T)} + \frac{I \cos \frac{\alpha}{2}}{\cos(\alpha + \varphi_T)}. \quad (2.5)$$

Отриманий вираз (2.5) підставимо в рівняння (2.3), в результаті  $R_1$  стане рівним:

$$R_1 = G \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_T) + I \left[ \cos \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_T) - \sin \frac{\alpha}{2} \right] \quad (2.6)$$

Спроекуємо окремо силу  $R$  на осі  $Ox$  і  $Oy$ :

$$R_x = G \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_T) + I \cos \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_T); \quad (2.7)$$

$$R_y = G + I \cos \frac{\alpha}{2} \quad (2.8)$$

Сила тяжіння пласта:

$$G = ab\gamma_V g, \quad (2.9)$$

де:  $a$  – глибина обробітку, м;  $b$  – ширина ножа, м;  $\gamma_V$  – об'ємна вага ґрунту, кг/м<sup>3</sup>;  $l$  – довжина ножа, м;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Сила  $I$  визначиться силою інерції:

$$I = -\bar{j}m \quad (2.10)$$

де:  $\bar{j}$  – середнє прискорення від клина на пласт ґрунту, м/с<sup>2</sup>;  $m$  – маса пласта, кг.

Середнє прискорення:

$$j = \frac{V_r - V_0}{t_2 - t_1} = \frac{V_r}{t_2 - t_1} \quad (2.11)$$

Різниця часу:  $t_2 - t_1 = \frac{b}{V_y}, V_y = V,$

$$V_l = 2V \sin \frac{\alpha}{2}; \quad (2.12)$$

$$\bar{j} = 2 \frac{V^2}{l} \sin \frac{\alpha}{2} \quad (2.13)$$

Тоді сила інерції пласта дорівнює:

$$I = 2ab\gamma_V V^2 \sin \frac{\alpha}{2} \quad (2.14)$$

Однак при роботі авто-привідного секційного робочого органу швидкість дії ножа ротора на ґрунт менша на величину  $u_1$ , де:  $u_1$  – окружна швидкість переднього ротора,  $u_1 = \omega_1 R$ .

Тоді, враховуючи схему (рис. 2.4), отриманий вираз (2.13) набуде вигляду:

$$j = \frac{2 \sin \frac{\alpha}{2} (V - u_1)^2}{l} = \frac{2 \sin \frac{\alpha}{2} (V^2 - 2Vu_1 + u_1 + u_1^2)}{l} \quad (2.15)$$

Оскільки  $V = \frac{u}{\lambda}$ , підставимо його значення в рівняння (2.15).

тоді:

$$j = \frac{2 \sin \frac{\alpha}{2} (V^2 - \frac{u_1^2}{\lambda} + u_1^2)}{l}, \quad (2.16)$$

Звідси:

$$I = ab\gamma_V 2 \sin \frac{\alpha}{2} \left( V^2 + u_1^2 \left( 1 - \frac{2}{\lambda} \right) \right). \quad (2.17)$$

$$R_x = ab\gamma_V \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_T) \left[ gl + V^2 + u_1^2 \left( 1 - \frac{2}{\lambda} \right) \right]. \quad (2.18)$$

З отриманого виразу визначимо швидкість  $V$ , при цьому враховуючи, що вона дорівнює:

$$V = \left\{ \frac{R_x - ab\gamma_V \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_T) gl - u_1^2 \left( 1 - \frac{2}{\lambda} \right)}{ab\gamma_V} \right\}^{1/2}. \quad (2.19)$$

### 2.2.2 Визначення параметрів заднього ротора

Принцип роботи заднього ротора близький до роботи ґрунтової фрези, у якій ніж робить рух по подовженій циклоїді, а передній ротор рухається за скороченою [3].

Крім подрібнення пласта ґрунту, головною відмінністю роботи ножа ротора від ножа барабана фрези, є захоплення і вичісування бур'янів вирізом в середній частині ножа.

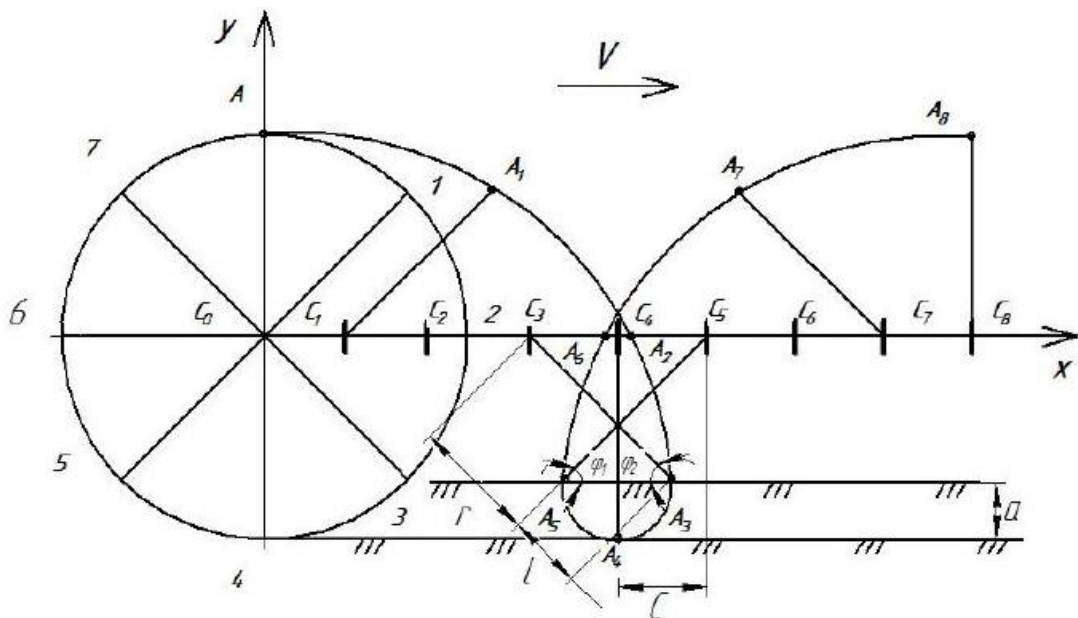


Рис. 2.6 – Траєкторія руху ножа заднього ротора:  $r$  – радіус диска, м;  $l$  – довжина ножа, м;  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  – кути повороту ножа, град;  $a$  – глибина обробітку, м.

Тоді, координати точки  $A_3$  (рис. 2.6) можна буде подати у параметричному вигляді:

$$x = C + R\varphi_1 \quad (2.20)$$

де:  $C$  – відстань, пройдена центром.

$$y = R \sin \varphi_1 \quad (2.21)$$

Якщо продиференціювати отримані рівняння (2.20) і (2.21), то отримаємо вирази швидкостей:

$$\frac{dx}{dt} = V_x = V + \omega(r + l) \sin \omega t \quad (2.22)$$

$$\frac{dy}{dt} = (r + l)\omega \cos \omega t \quad (2.23)$$

де:  $\omega$  – кутова швидкість руху ротора.

Якщо представити  $(r + l) = R$ , то вирази (2.22) і (2.23) можна переписати у вигляді:

$$\frac{dx}{dt} = V_x = V + \omega R \sin \omega t ; \quad (2.24)$$

$$\frac{dy}{dt} = R\omega \cos \omega t. \quad (2.25)$$

Для визначення ставлення « $\lambda_2$ » заднього ротора необхідно врахувати деякі умови. Вектор швидкості машини  $V$ , спрямований по лінії руху трактора, а проекція вектора окружної швидкості ножа на вісь  $Ox$  буде спрямована в протилежний бік. Тоді вектор абсолютної швидкості буде направлений вертикально вниз. Крім того, оскільки швидкість машини не збігається з вектором окружної швидкості ножа, то у виразі (2.26), швидкість машини приймемо зі знаком «-». Ця умова забезпечує вертикальне входження ножа в ґрунт з мінімальним зусиллям, в порівнянні з іншими варіантами.

Тоді якщо перший вираз прийняти рівним нулю, то отримаємо:

$$-V + \omega R \sin \omega t = 0 \quad (2.26)$$

звідси:

$$\sin \omega t = \frac{V_M}{\omega R} \quad (2.27)$$

тоді:

$$\sin \omega t = \frac{1}{\lambda} \quad (2.28)$$

$$\omega t = \arcsin \frac{1}{\lambda} \quad (2.29)$$

Далі необхідно визначити відрізок шляху, який обробляє один ніж при повному обороті ротора. Схему по його знаходженню представимо на Рис. 2.7.

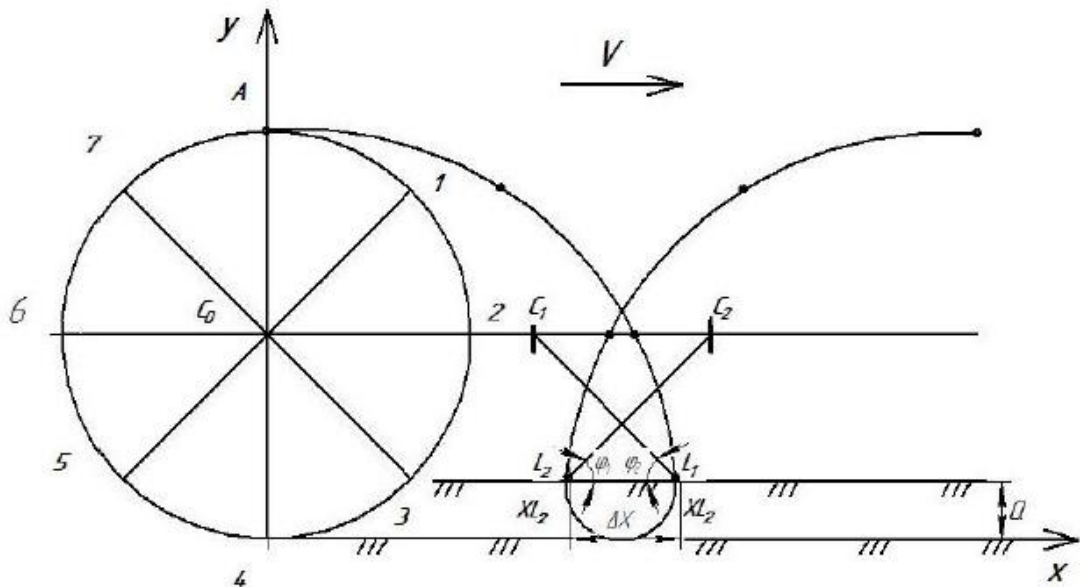


Рис. 2.7 – Кінематична схема до визначення довжини відрізка при повному обороті одного ножа

$$\Delta x = x_{L2} - x_{L1} \quad (2.30)$$

Визначимо положення точки:

$$x_{L1} = R \cos \varphi_1 + Vt_0 \quad (2.31)$$

де:  $V$  – швидкість машини, м / с;  $\varphi_1$  – кут повороту ножа від горизонтальної осі при його вході в ґрунт.

На основі виразу (2.27):

$$\varphi_1 = \omega t_1 = \arcsin \frac{1}{\lambda} \quad (2.32)$$

$$x_{L1} = R \cos \arcsin \frac{1}{\lambda} + Vt_0 \quad (2.33)$$

Кут повороту ножа, при якому він виходить з ґрунту, слід враховувати, що точка входу ножа і його виходу знаходяться на одній горизонтальній осі, тобто:

$$\varphi_1 = \varphi_2$$

$$x_{L1} = R \cos\left(\frac{\pi}{2} + \varphi_2\right) + Vt_1 \quad (2.34)$$

Звідси:

$$x_{L2} = -R \sin \varphi_2 = -R \operatorname{sinarcsin} \frac{1}{\lambda} + Vt_1 \quad (2.35)$$

Для виразу (2.33), з врахуванням рівняння (2.28), приймемо:

$$\cos \varphi_1 = \sqrt{1 - \sin^2 \varphi_1} = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\lambda^2 - 1} \quad (2.36)$$

$$x_{L1} = R(\sqrt{\lambda^2} - 1) + Vt_0 \quad (2.37)$$

Спростимо вираз (2.37):

$$x_{L1} = \frac{R}{\lambda}(\sqrt{\lambda^2} - 1) + Vt_0 \quad (2.38)$$

Тоді  $\Delta x_3$  дорівнюватиме:

$$\Delta x_3 = -R \operatorname{sinarcsin} \frac{1}{\lambda} + Vt_1 - \frac{R}{\lambda} \sqrt{\lambda^2 - 1} \quad (2.40)$$

Вираз (2.40) дозволяє визначити довжину відрізка обробленої поверхні одним ножем за один оборот ротора.

### 2.3 Умови вичісування бур'янів при роботі секційного робочого органу

Вичісування коренепаросткових бур'янів може бути виконано тільки за умови, що виключає розрізання кореня в точці його захоплення ножем. Для проведення аналітичного аналізу та математичного обґрунтування даної умови представимо схему взаємодії ножа з коренем.

Найбільш сприятливим буде така умова, при якій коріння бур'яну мінімального розміру в поперечному перерізі, захоплюються довгою стороною вирізу ножа і переміщуються до точки перетину двох лез. При цьому на корінь діє лезо з одного боку і розпушений ґрунт – з іншого.

За рахунок зазначеної взаємодії виникає можливість розрізання кореня лезом ножа.

При дії ножем перпендикулярно кореню, зусилля, яке може виникнути при різанні рівне:

$$P_p = P_L + \left( \frac{N_l}{\cos \varphi \sin \varphi} + \frac{N}{\cos \varphi} \right) \sin(2\gamma + \varphi_T), \quad (2.41)$$

де:  $P_L$  – опір леза проникненню в корінь, що залежить від фізико-механічних властивостей, товщини леза, спрямованого перпендикулярно йому;  $N$  і  $N_l$  – сили нормального тиску на відповідні грані фіктивного клина, перерізаних і зім'ятих волокон матеріалу [3];  $\varphi_T$  – кут тертя леза по волокнах рослини [8].

Якщо ж врахувати, що нами визначається зусилля, при якому виключається перерізання, то сила різання буде рівна:

$$P_p = P_L. \quad (2.42)$$

Оскільки сила різання, що діє на корінь, викликає його зминання за рахунок підпору ґрунту зі зворотного боку, то максимальне значення величини зминання не повинне перевищувати діаметр кореня в поперечному перерізі:

$$\Delta_{3M} = p_{num} S_{3M} = p_{num} d_K \delta.$$

звідси:

$$P_L = p_{num} S_{3M} = p_{num} d_K \delta. \quad (2.42)$$

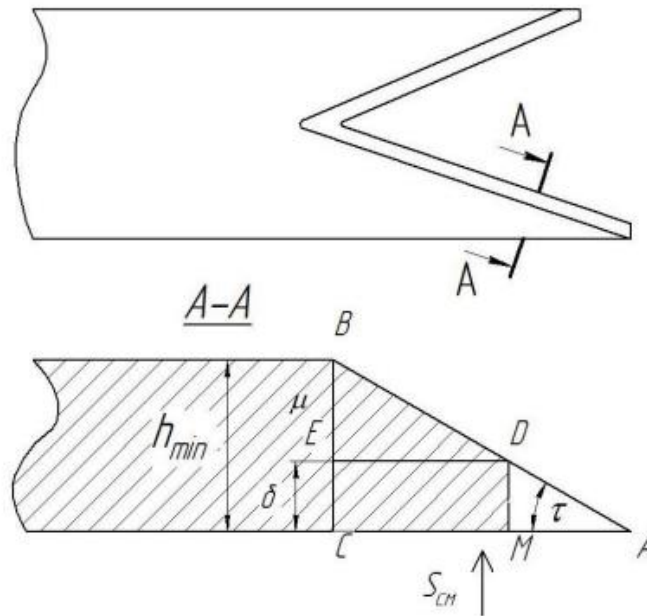


Рис. 2.8 – Схема леза ножа

Виходячи з цього, площа поверхні зминання, на яку діє лезо, буде дорівнювати:

$$S_{3M} = d_K \delta, \quad (2.43)$$

де:  $d_K$  – діаметр кореня в місці взаємодії з ножем, м;  $\delta$  – товщина леза ножа, м.

Для визначення параметрів леза ножа скористаємося схемою, представленою на рис. 2.8.

З трикутника  $\Delta BED$  визначимо  $BE$ :

$$BE = DE \operatorname{tg} \tau,$$

$$MA = DM \operatorname{ctg} \tau,$$

$$BC = h_{\min},$$

$$h_{\min} = a_{\min} + d_{\Pi},$$

$$a_{\min} = \mu,$$

де  $d_{\Pi}$  – точка росту на поверхні.

$$DE = BD \cos \tau,$$

тоді:

$$BE = BD \cos(\tau) \operatorname{tg}(\tau).$$

Звідси:

$$\delta = MA \operatorname{tg}(\tau), \quad (2.44)$$

враховуючи вираз (2.43):

$$S_{3M} = d_K MA \operatorname{tg}(\tau), \quad (2.45)$$

тоді:

$$h_{\min} = BC = CA \operatorname{ctg} \tau. \quad (2.46)$$

$$CM = CA - MA = CA - \delta \operatorname{ctg} \tau. \quad (2.47)$$

$$CM = DE = \mu \operatorname{ctg} \tau. \quad (2.48)$$

З цього випливає, що мінімальну товщину пластини ножа можна визначити із залежностей:

$$h_{\min} = CA \operatorname{ctg} \tau = \mu \operatorname{ctg}(\tau) + \delta \operatorname{ctg}(\tau); \quad (2.49)$$

$$h_{min} = (\mu + \delta)ctg(\tau). \quad (2.50)$$

Звідси формула для визначення товщини леза матиме вигляд:

$$\delta = \frac{h_{min} - \mu ctg(\tau)}{ctg(\tau)}, \quad (2.51)$$

$$S_{3M} = \frac{h_{min} - \mu ctg(\tau)}{ctg(\tau)}, \quad (2.52)$$

Тоді сила опору зрізу при дії на корінь перпендикулярно розташованим лезом буде рівна:

$$P_{Л} = p_{num} d_K \frac{h_{min} - \mu ctg(\tau)}{ctg(\tau)}. \quad (2.53)$$

Зусилля на вичісування бур'яну [6, 10]:

$$P_B = p_{lk} \left\{ (a + \Delta l_K)^2 + \frac{R}{\lambda} \left[ l + \sqrt{\lambda^2 - l} \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (2.54)$$

де  $a$  – глибина обробітку, м;  $l_K$  – довжина коріння, м;  $P_{lk}$  – питоме зусилля кореня, Н/м;  $\lambda$  – кінематичне співвідношення між коловою швидкістю крайньої точки ножа та швидкістю руху машини.

Оскільки при вичісуванні бур'янів необхідно виключити перерізаня кореня, то отримане значення (2.53) має бути меншим, ніж зусилля на вичісування бур'яну (2.54).

$$P_{Л} \leq P_B,$$

тобто:

$$p_{num} d_K \frac{h_{min} - \mu ctg(\tau)}{ctg(\tau)} \leq p_{lk} \left\{ (a + \Delta l_K)^2 + \frac{R}{\lambda} \left[ l + \sqrt{\lambda^2 - l} \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (2.55)$$

Тоді:

$$\mu \geq \frac{p_{lk} \left\{ (a + \Delta l_K)^2 + \tau_0 \left[ R \sin(\arcsin(\frac{l}{\lambda}) + \frac{R}{\lambda} \sqrt{\lambda^2 - l}) \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} ctg(\tau)}{p_{num} d_K ctg(\tau) - h_{min}}. \quad (2.56)$$

## 2.4 Визначення граничної швидкості ножа заднього ротора

Для виключення розрізання кореня при дії на нього леза ножа, наведемо схему їх взаємодії (рис. 2.9).

Відстань між входом і виходом ножа заднього ротора:

$$\Delta x_3 = R \sin\left(\arcsin\left(\frac{1}{\lambda}\right)\right) + \frac{R}{\lambda} \sqrt{\lambda^2 - 1} \quad (2.57)$$

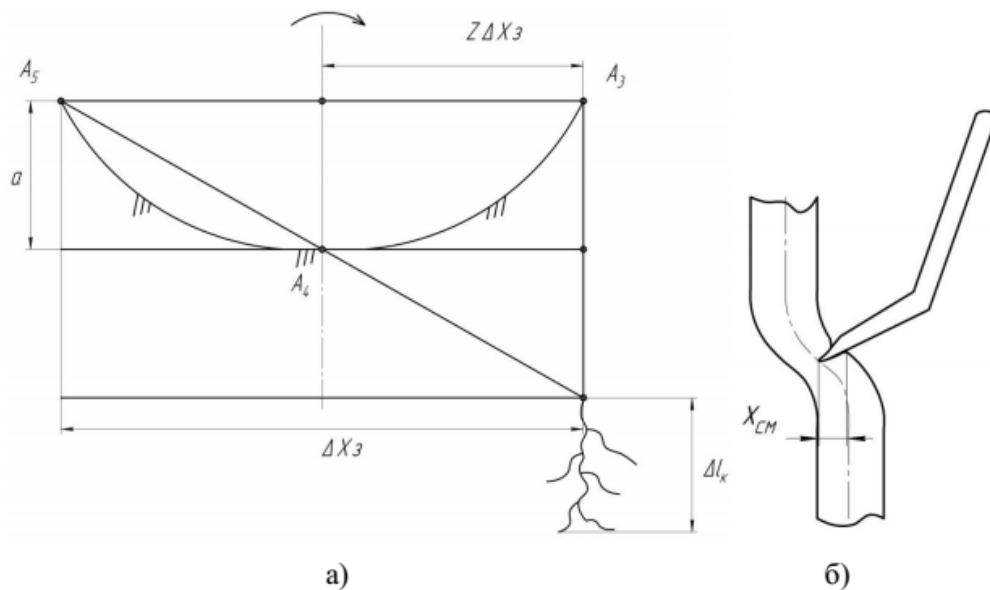


Рис. 2.9 – Схема взаємодії кореню буряну з лезом заднього ротора: а) розташування кореню при дії на нього ножа; б) дія ножа ротора на корінь.

Розглянемо можливе різання кореню, яке може відбуватися при певній максимальній швидкості.

Рух кореня при дії на нього леза ножа описується рівнянням:

$$m_{np} \ddot{x} = P(\delta) - cx \quad (2.58)$$

де:  $m_{np}$  – приведена маса ножа до точки удару, кг;  $P(\delta)$  – сила з боку леза ножа в функції проникнення леза в матеріал, Н;  $cx$  – сила пружного опору кореня, Н.

$$P(\delta) = p'_{num} d_k \frac{h_{min} - \mu \text{ctg} \tau}{\text{ctg} \tau} \quad (2.59)$$

$$P(\delta) \approx P_{cp}$$

де:  $P_{cp}$  – середня сила різання.

Тоді рівняння (2.56) набуде вигляду:

$$m_{np}\ddot{x} + cx = P_{cp} \quad (2.60)$$

Провівши інтегрування і враховуючи початкові умови:  $t=0, \dot{x} = 0, x = 0$  отримаємо вираз:

$$x = \left(\frac{P_{cp}}{c}\right) [1 - \cos \sqrt{m_{np}}] \quad (2.61)$$

Диференціальне рівняння для закону руху ножа:

$$m_{np}\ddot{x}_n = -P_{cp} + v(V_n t - x_n) \quad (2.62)$$

де:  $x_n$  – переміщення приведеної маси ножа;  $(V_n t - x_n)$  – відхилення кореня, м;  $v$  – коефіцієнт пропорційності, що враховує зміну маси кореневої системи і маси ґрунту,  $c^2$ .

Однак для роботи даної машини слід врахувати, що швидкість  $V_n$  буде рівний:

$$V_n = (u_2 - V), \quad (2.63)$$

тоді:

$$u_2 = V_n + V. \quad (2.64)$$

Розв'язавши рівняння (2.61) за умови:  $t=0, x_n = 0, \dot{x}_n = V_n$  отримаємо:

$$x_n = V_n t - \left(\frac{P_{cp}}{v}\right) \left(1 - \cos \sqrt{\frac{v}{m_{np}}} t\right). \quad (2.65)$$

Звідси, величина проникнення ножа в корінь:

$$\delta = x_n - x = V_n t - \left(\frac{P_{cp}}{v}\right) \left(1 - \cos \sqrt{\frac{v}{m_{np}}} t\right) - x, \quad (2.66)$$

де:  $x$  – переміщення ножа, м.

Якщо виключити проникнення ножа в корінь, тобто  $\delta = 0$ , то:

$$V_H = \frac{\left(\frac{P_{cp}}{v}\right)\left(1 - \cos \sqrt{\frac{v}{m_{np}}}t\right) + x}{t}, \quad (2.67)$$

остаточно:

$$V_H = \frac{\left[\frac{pd_k ctgi(h_{min} - \mu ctgt)}{v}\right]\left(1 - \cos \sqrt{\frac{v}{m_{np}}}t\right) + x}{t}. \quad (2.68)$$

## Висновки по розділу

1. У цьому розділі проведено теоретичний аналіз процесу взаємодії леза заднього ротора з кореневою системою бур'янів з метою визначення такої швидкості руху ножа, за якої виключається можливість розрізання кореня. На основі геометричних співвідношень встановлено характер переміщення ножа та кореня в момент контакту, що дозволило отримати вираз для відстані між входом і виходом ножа в зоні дії.

2. За допомогою диференціальних рівнянь руху розглянуто динаміку взаємодії приведеної маси ножа з коренем. Уточнено залежність сили впливу леза на кореневу систему та враховано пружні властивості кореня. Отримані функціональні залежності для переміщень як кореня, так і ножа дали можливість визначити умову проникнення леза в рослинний матеріал та встановити критерій, при якому це проникнення відсутнє.

3. У результаті теоретичного розв'язання були отримані рівняння, що дозволяють визначити граничне значення швидкості ножа заднього ротора. Саме ця швидкість забезпечує безпечну взаємодію робочого органу з кореневою системою бур'янів, запобігаючи їх розрізанню і забезпечуючи необхідний ефект вичісування. Отримані результати є основою для подальшої оптимізації конструкції та режимів роботи секційного робочого органу.

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СЕКЦІЙНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ ВИЧІСУВАННЯ БУР'ЯНІВ З РОЗПУШУВАННЯМ ҐРУНТУ

#### 3.1 Методи проведення експериментальних досліджень

##### 3.1.1 Методика визначення параметрів леза ножів ротора

Технологічний процес вичісування бур'янів авто-приводним робочим органом безпосередньо пов'язаний з кутом заточування леза ножів ротора, що дозволяє виключити підрізання бур'янів.

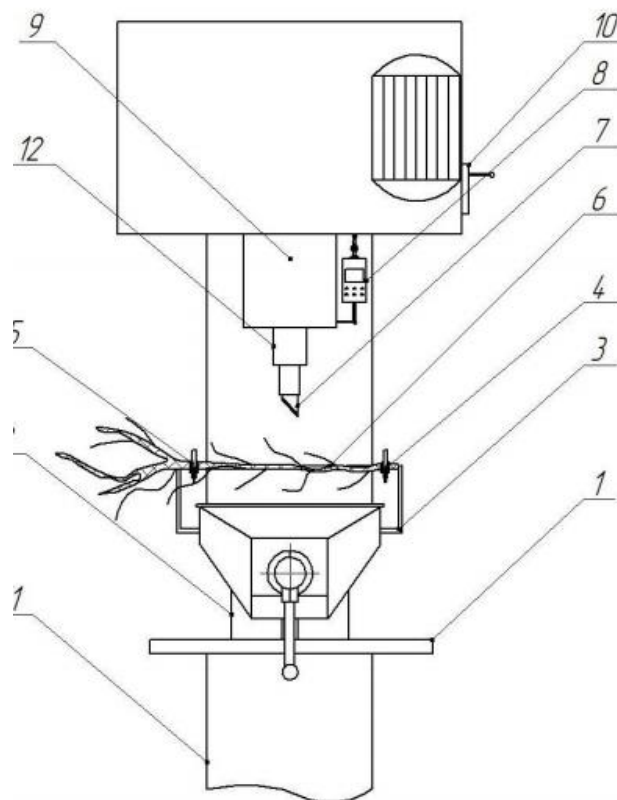


Рис. 3.1 – Схема лабораторної установки для визначення оптимального кута заточування леза ножів ротора: 1 – стіл; 2 – слюсарні лещата; 3 – металева рамка; 4 – струбцина; 5 – гумова прокладка; 6 – випробовуваний зразок; 7 – ніж; 8 – електронний ваговий динамометр; 9 – свердлильна головка; 10 – рукоятка ручного подавання; 11 – станина; 12 – шпиндель.

Однією з основних завдань при розробці конструкції авто-приводного робочого органу було визначення оптимального кута заточування ножів роторів. Зазначений кут повинен забезпечувати ковзання кореня по поверхні ножа без його розрізання. Для вирішення даної задачі запропонована наступна методика.

У лабораторних умовах була розроблена установка, яка дозволяє визначити оптимальний кут заточування леза ножів ротора (рис. 3.1).

Зразок кореневої системи бур'яну кріпився струбцинами до металевої рамки. Провисання кореня не допускалось. Потім в шпindel встановлювався ніж. Далі, обертанням рукоятки ручної подачі гвинтового механізму станини, ніж опускався вниз, при цьому, здійснювалося ковзання його леза об корінь бур'яну. В результаті чого, був обраний такий кут заточування леза, при якому зразок кореневої системи бур'яну не розрізається.

### 3.1.2 Методика визначення передавального числа між роторами

Основним технологічним параметром авто-приводного робочого органу є передавальне число між приводними зірочками передніх і задніх роторів.

В ході лабораторних і польових експериментів визначено оптимальне передавальне число, яке забезпечує необхідну траєкторію руху ножа ротора в ґрунті. Експериментальні дослідження проводилися на лабораторній установці (рис. 3.2).

Установка складалася з приводного візка 1, і авто-приводного секційного робочого органу, який представляв собою раму 2, на яку монтувалися передній 3 і задній 4 ротори, оснащені зірочками 5 і 6 відповідно, з різною кількістю зубів і пов'язаних між собою через редуктор 7 ланцюговою передачею 8. Ротори представляли собою диски 9 з ножами 10. Копіювання рельєфу ґрунту здійснювалося паралелограмним механізмом 11.

Приводний візок 1 рухався по рейках 12, розташованим на бортах ґрунтового каналу під дією троса 13 тягової лебідки (тягова лебідка не показана), змонтованої в торці ґрунтового каналі. Слід зазначити, що у передніх роторів ножі відігнуті в протилежну сторону щодо ножів задніх.

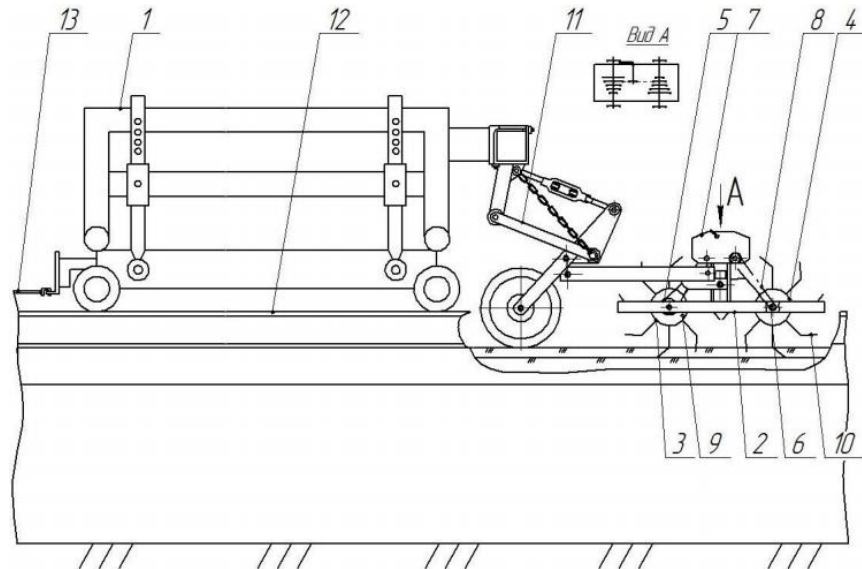


Рис. 3.2 – Схема випробувань лабораторної установки в ґрунтовому каналі кафедри: 1 – приводний візок; 2 – рама; 3 – передній ротор; 4 – задній ротор; 5 – зірочка переднього ротора; 6 – зірочка заднього ротора; 7 – ланцюговий редуктор; 8 – ланцюг; 9 – диск; 10 – ніж; 11 – паралелограмний механізм; 12 – рейки; 13 – трос.

За допомогою передавального числа, передній ротор проходить частину свого шляху в ґрунті по траєкторії, близькій до прямої лінії, а задній працює за принципом ґрунтової фрези за рахунок чого, здійснюється вичісування бур'янів разом з кореневою системою.

Перед початком дослідів в ґрунтовому каналі була виділена ділянка довжиною 25 м і шириною 150 см, на якому проводилось розпушування ґрунту на глибину 10 см, поверхня ґрунту в каналі вирівнювалась, і для визначення довжини ділянки, обробленої одним ножем, посипалася вапном. Товщина шару вапна перебувала в межах від 1 до 3 мм, даний параметр контролювався з використанням рейки і вимірювальної лінійки.

Досліди проводилися в наступному порядку. Перед початком руху встановлювалося передавальне число між роторами за рахунок перестановки зірочок в ланцюговому редукторі, застосування якого дозволяло змінювати передавальне число в інтервалі від 1 до 4,5. Після проходу установки по ґрунтовому каналу лінійкою проводилися виміри візуально видимого відрізка шляху знаходження ножів переднього ротора в ґрунті.

Дані виміри проводилися на ділянці переміщення лабораторної установки при сталому русі. Після цього, поверхня знову вирівнювалася і посипалася вапном. Перший експеримент проводився на передавальному числі 1, при кожному наступному проході здійснювалося його збільшення з інтервалом 0,5, максимальне значення становило 4,5. Було проведено 7 дослідів з триразовою повторністю.

Знайдене оптимальне передавальне число між передніми і задніми роторами в лабораторних умовах уточнювалося при проведенні польових дослідів.

Для цього, на експериментальній ділянці були виділені три ділянки, засмічені розглянутими вище бур'янами. Облік засміченості проводився за відомою методикою польових дослідів [47]. Кожна ділянка розбивалася на 2 ділянки шириною 0,3 м і довжиною 10 м. Обробіток проводився на глибину 5 і 10 см. Передаточне число змінювалося від 2,5 до 4.



Рис. 3.3 – Дослідження роботи лабораторної установки в польових умовах

Після проходу агрегату (рис. 3.3) проводився підрахунок вичесаних бур'янів разом з коренем, визначалася кількість підрізаних і травмованих бур'янів, а також кількість бур'янів, що залишилися після обробітку.

Потім, лінійкою і мікрометром проводилися вимірювання довжини і діаметра кореня вичесаних бур'янів. Основним параметром, який визначається при цьому, була довжина вичесаного кореня на ділянці від місця обробітку на нього робочого органу до його обриву, при глибині обробки 5 і 10 см.

Після чого, передавальне число змінювалося, агрегат переїжджав на наступну ділянку і дослід повторювався. Зміну передавального числа проводили аналогічно лабораторним дослідженням, з тим же інтервалом. Максимальне значення передавального числа склало 5. В результаті чого, було встановлено оптимальне передавальне число між роторами робочого органу.

### 3.1.3 Методика визначення періоду проростання бур'янів після обробки

Як зазначалося раніше, одним із способів, спрямованих на боротьбу з бур'янами, є їх пригнічення. Це досягається шляхом виснаження кореневої системи рослин, при впливі на неї робочими органами ґрунтообробних машин.

Оцінкою зазначеної операції є період появи нових сходів бур'янів після обробки. Встановлено, що найбільш ефективним методом при цьому буде не підрізання, а вичісування бур'янів з ґрунту разом з коренем. Для знаходження періоду появи бур'янів була розроблена наступна методика.

Досліди проводилися на експериментальній ділянці дослідного поля, засміченому бур'яном «осот польовий». Дана ділянка представляла собою ділянку розміром 2,20 м. Перед обробкою проводився облік засміченості кількісним методом відповідно до методики польових досліджень [17].

Після проходу агрегату визначалася глибина обробки з використанням рейки і вимірювальної лінійки. Краї борозни вирівнювали, після чого, на його поверхню укладалася рейка, потім лінійку встановлювали в оброблений шар ґрунту до твердої підшви і заміряли глибину обробки. Заміри проводились в 10 місцях по всій довжині оброблюваної ділянки [12, 17].

Для проведення польових дослідів з метою оцінки якості роботи агрегату на трактор навішували раму культиватора КРН-5,6, на якій було встановлено авто-приводний робочий орган, секції культиватора обладналися стрілочастими лапами і лапами-бритвами (рис. 3.4). Після налаштування їх на необхідні параметри, трактор виїжджав на дослідну ділянку. Обробіток проводився на глибину 5 і 10 см.



Рис. 3.4 – Обробка експериментально ділянки

Далі, через кожні 24 години проводився візуальний огляд ділянки на предмет виявлення сходів бур'янів. При цьому фіксувалося час, через який з'явилися їх проростки, а далі вивчався розвиток бур'янів рослин. Основним показником при цьому була величина приросту вегетативної частини бур'яну.

#### 3.1.4 Методика визначення кінематичних і динамічних параметрів секційного робочого органу

Дана методика розроблена з метою визначення таких параметрів автоприводного робочого органу, як тяговий опір, окружна швидкість обертання передніх і задніх роторів, зусилля на вичісування бур'янів, а також поступальна швидкість руху агрегату.

В ході дослідів використовувалася установка, описана в попередньому пункті, з деякими змінами, зазначеними нижче.

Для реєстрації та обробки показників датчиків застосовувався блок вимірювально-реєструючих приладів (рис. 3.5), встановлений на приводний візку 1. Він складався з підсилювача сигналу марки «ТОПАЗ-1» 9, акумуляторної батареї 10, напругою 12 В, електронного модуля Е-440 11 і

ЕОМ 12, з програмою PowerGraph3.1 Professional [19, 11]. Дана програма була інструментом реєстрації і аналізу даних, отриманих в ході експерименту.

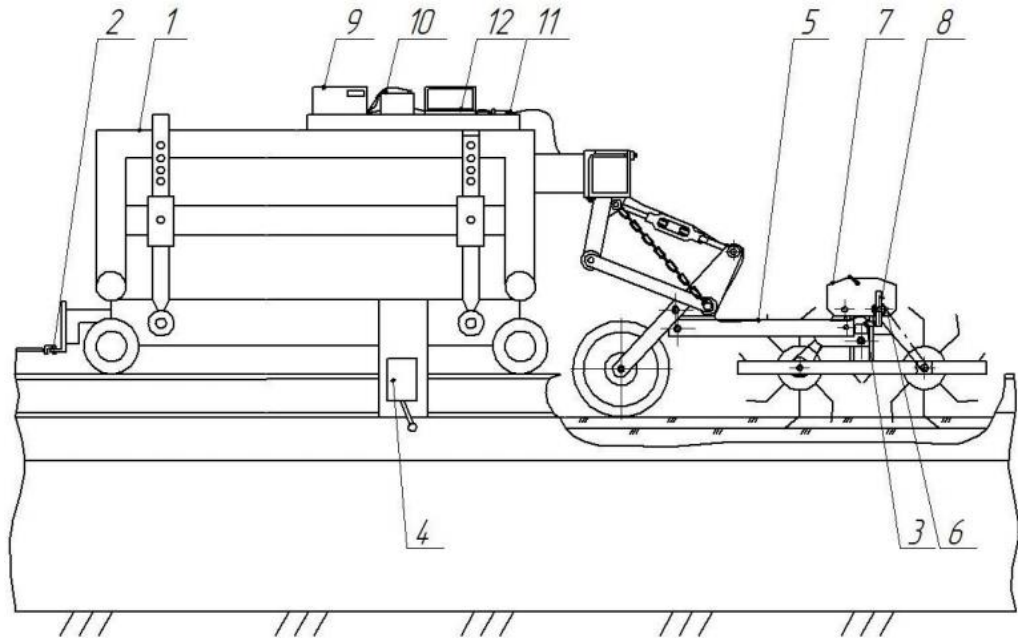


Рис. 3.5 – Схема лабораторної установки для визначення кінематичних та силових параметрів авто-приводного робочого органу: 1 – приводний візок; 2 – тензометрична ланка; 3 – діодний блок; 4 – вмикач; 5 – рама; 6 – зірочка; 7 – ланцюговий редуктор; 8 – пластина; 9 – підсилювач сигналу; 10 – акумулятор; 11 – електронний модуль; 12 – ЕОМ.

Фіксування швидкості обертання роторів здійснювалося доданими блоком з двома чутливими елементами: світловим діодом АЛ 165 і фотодіодом ФД 263. Діоди встановлювалися на рамі машини так, що сигнал від одного приймав інший. Металева пластина, встановлена на зірочці ланцюгового редуктора, оберталася разом з нею. Як тільки пластина перетинала область чутливості діодів, відбувався стрибок напруги, який фіксувався електронним модулем і виводився на ЕОМ [18]. Таким чином, вимірювався кут повороту приводної зірочки, що в подальшому дозволило провести розрахунки окружної швидкості обертання роторів.

Зміна тягового опору фіксувалася тензометричною ланкою, що складається з тензометричних датчиків фольгового типу, наклеєних на спеціальну металеву пластину. При русі лабораторної установки тензометричні датчики фіксували зміну напруги при вигині пластини і через електронний модуль передавали його на ЕОМ.

Поступальна швидкість руху установки визначалася з застосуванням постійно замкнутого кінцевого вимикача типу ВК-211Б, встановленого на рамі візка, а також двох контактних майданчиків, які кріпилися на бічних частинах ґрунтового каналу на відстані 5 м один від одного. Це давало можливість фіксувати точний час проходження лабораторної установки конкретної ділянки шляху [28]. В результаті чого, була розрахована поступальна швидкість руху.

Зазначені вище параметри замірялися одночасно і за один прохід лабораторної установки по контрольній ділянці.

### 3.2 Вплив параметрів леза ножа ротора на кількість не зрізаних бур'янів

Наступним етапом при розробці авто-приводного робочого органу було визначення такого кута заточування леза, при якому коренева система бур'янів не підрізала б при взаємодії з ножом ротора.

Для цього були вивчені кути заточування робочих органів культиваторних лап, призначенням яких було підрізання бур'янів рослин.

В результаті проведених дослідів були отримані значення кутів заточування лез, при яких корені бур'янів не підрізалися (рис. 3.6). При взаємодії леза ножа з різними видами бур'янів кут заточування, при якому виключалося підрізання кореня, також змінювався. Так, в дослідях з осетом польовим вказаний кут заточки склав  $40^\circ$ , а в дослідях з берізкою польовою і курячим просом –  $45^\circ$  і  $30^\circ$  відповідно.

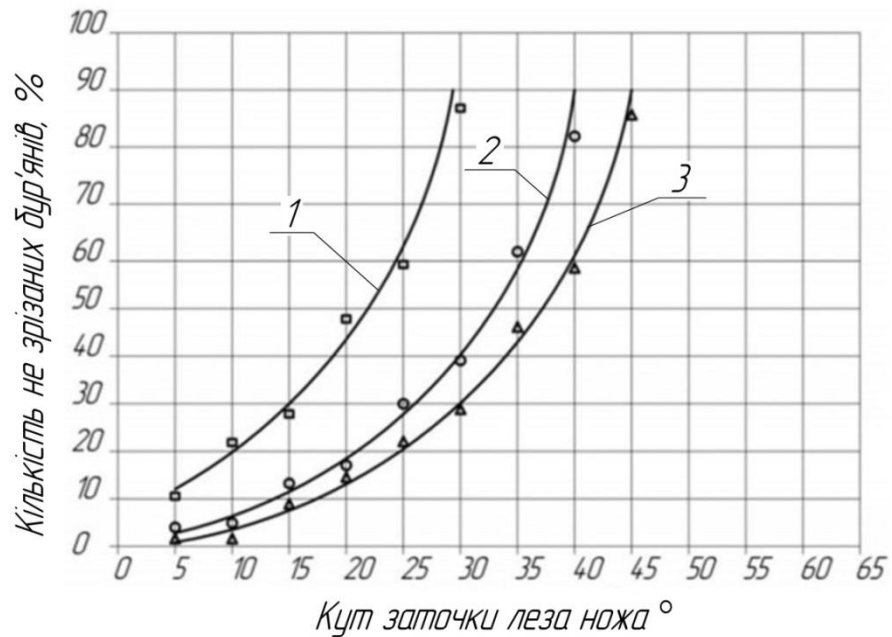


Рис. 3.6 – Залежність кількості не зрізаних бур'янів від кута заточування леза ножа ротора: 1 – куряче просо; 2 – осет; 3 – берізка.

Виходячи з умови не підрізання кореневої системи рослин при обробі ділянок, що мають засміченість різними видами бур'янів, нами був прийнятий кут заточування леза ножа ротора 45 °.

Слід зазначити, що для вказаного значення кута заточування товщина полки леза повинна знаходитися в межах від 0,8 до 1,2 мм.

Ще одним параметром авто-приводного робочого органу при здійсненні технологічного процесу вичісування бур'янів з ґрунту разом з коренем є кут вирізу леза ножа. Зазначений кут повинен забезпечувати ковзання кореня бур'яну по кромці леза до основи вирізу з метою його подальшого захоплення.

Даний параметр також було визначено дослідним шляхом з використанням трьох видів бур'янів (рис. 3.7).

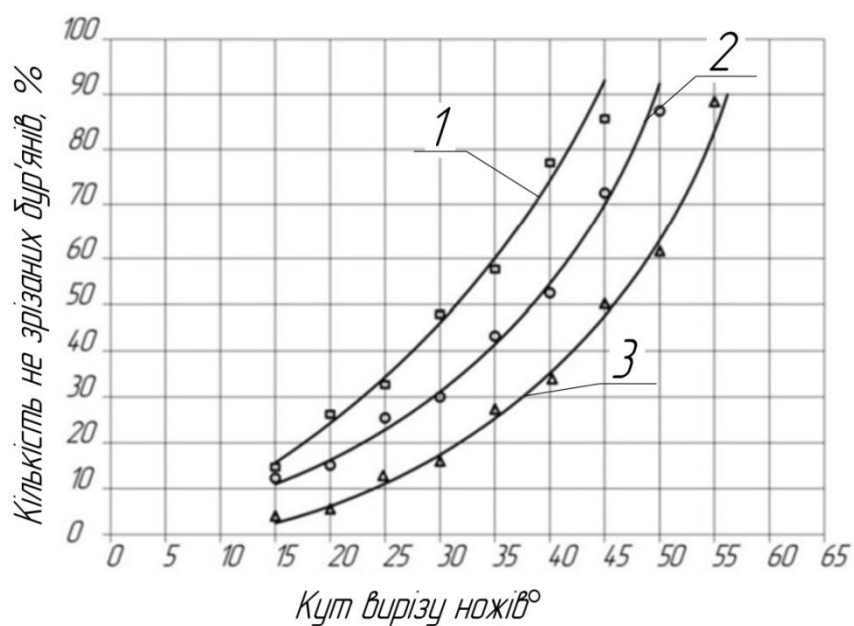


Рис. 3.7 – Залежність кількості не зрізаних бур'янів від кута вирізу леза ножа ротора: 1 – кураче просо; 2 – осет; 3 – берізка.

Виходячи з рис. 3.7, оптимальний кут вирізу леза ножа ротора в дослідженнях з осетом польовим склав  $50^\circ$ , а в дослідях з берізкою і курачим просом  $55^\circ$  і  $45^\circ$  відповідно. Таким чином, для найкращого захоплення кореня бур'яну вирізом леза нами прийнятий кут рівний  $55^\circ$ .

### 3.3 Залежність кількості вичесаних бур'янів від передавального числа

Основним технологічним параметром запропонованого робочого органу є передавальне число між приводними зірочками передніх і задніх роторів. Даний параметр визначався експериментальним шляхом, в результаті лабораторних і польових випробувань машини.

На рис. 3.8 представлений графік залежності відсотка вичесаних бур'янів від передавального числа між роторами машини. Так, встановлення передавального числа 1 не дозволяє здійснювати вичісування бур'янів.

При передавальному числі 1,5, кількість вичесаних рослин склала 26%. При значенні передавального числа 2 – 40%. Подальше збільшення

передавального числа до 2,5, призвело до зростання даного показника якості технологічного процесу до 67%. При передавальному числі 3, близько 76% бур'янів було знищено. Установка передавального числа рівного 3,5, дала можливість вичісування разом з коренем близько 89% рослин. Збільшення значення даного параметра понад 5 привело до зменшення вичесаних бур'янів до 52%, через порушення вимог технологічного процесу.

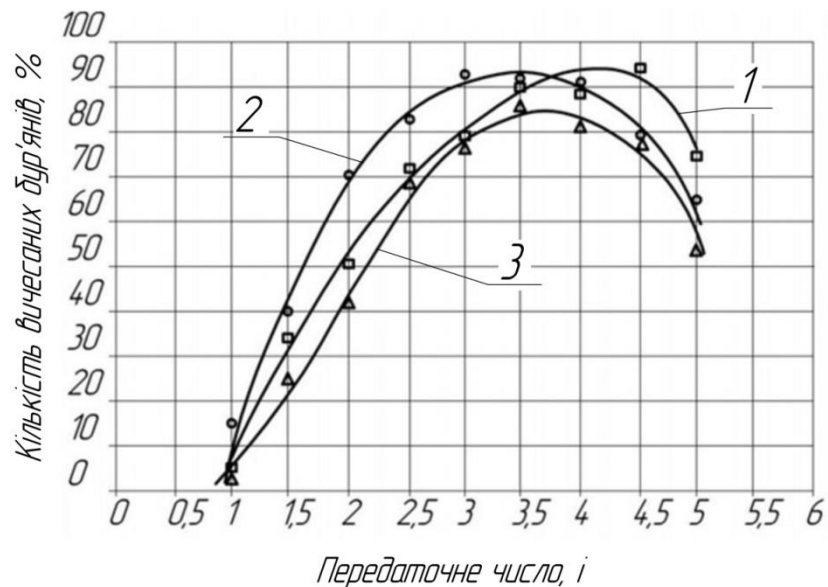


Рис. 3.8 – Залежність кількості вичесаних бур'янів від передавального числа: 1 – куряче просо; 2 – осет; 3 – берізка.

Дані, отримані в дослідях з курячим просом, відрізняються від попередніх результатів дослідів з осотом польовим і берізкою польовим, так як коренева система мичкувата типу, розташовується не так глибоко, а також сукупність додаткових і бічних коренів, дає можливість надійного захоплення бур'яну вирізом ножа ротора.

Аналізуючи отримані криві можна зробити висновок про те, що оптимальне передавальне число між роторами машини знаходиться в інтервалі від 3,5 до 4, в залежності від виду бур'янів, переважаючих на оброблюваній ділянці. Нами було прийнято передавальне число 3,7.

### 3.4 Дослідження кінематичних і динамічних параметрів секційного робочого органу

В ході проведення дослідів встановлено, що вичісування бур'янів можливо здійснювати в певному інтервалі передавальних чисел між роторами розробленого робочого органу. В результаті чого, виникла необхідність встановлення залежності тягового опору машини від передавального числа між робочими органами.

Дані, отримані в ході дослідження тягового опору розробленого робочого органу, представлені на рис. 3.9.

Вимірювання тягового опору проводилися в інтервалі передавальних чисел, при якому спостерігалось вичісування бур'янів і при глибині обробітку 5 см.

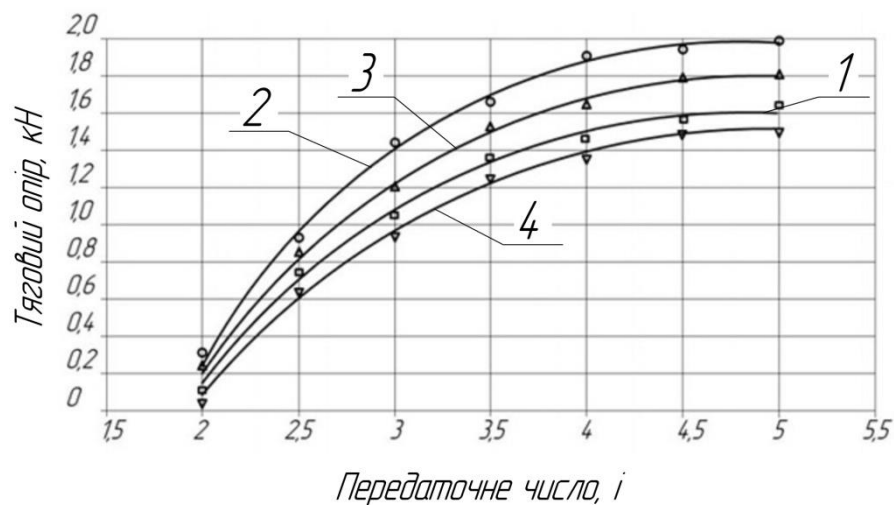


Рис. 3.9 – Залежність тягового опору розробленого робочого органу від передавального відношення між роторами

При обробці результатів, отриманих в ході дослідів, тяговий опір розраховувався на один метр ширини захвату машини. Як видно з рис. 3.9 при обробітку ділянок, засмічених осетом машиною, із значенням передавального числа між роторами 3,7, тяговий опір становить 1,65 кН / м, а при обробітку ділянок, засмічених берізкою і курячим просом, 1,54 кН / м і

1,38 кН / м відповідно. При цьому, тяговий опір машини при обробітку парового поля, становить 1,23 кН / м.

### 3.5 Дослідження періоду проростання бур'янів після обробітку

Після закінчення експериментальних досліджень і виробничих випробувань машини, нами було визначено період проростання бур'янів, в порівнянні з традиційною технологією.

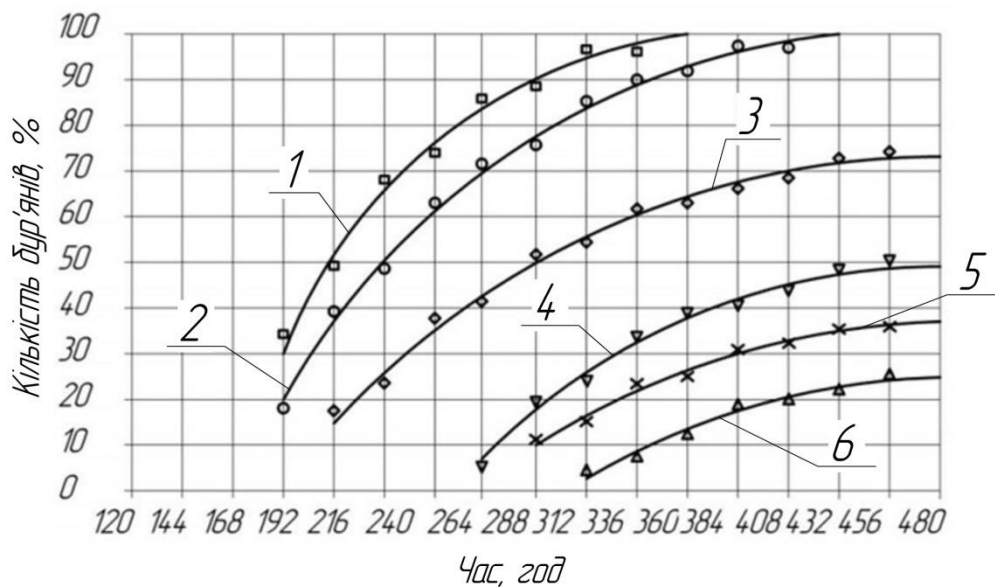


Рис. 3.10 – Період появи сходів бур'янів після обробітку поля культиватором КРН-5,6 і розробленим робочим органом: 1 – осет (КРН-5,6); 2 – берізка (КРН-5,6); 3 – куряче просо (КРН-5,6); 4 – осет (АРО); 5 – берізка (АРО); 6 – куряче просо (АРО).

З рис. 3.10 видно, що перші сходи осету польового на ділянці, що була оброблена культиватором КРН-5,6 з стрілочастими лапами з'явилися через 192 години, а на ділянці, обробленій авто-приводним робочим органом (АРО), бур'ян почав проростати через 288 годин після обробітку.

Слід зазначити, що при боротьбі з бур'янами методом вичісування їх з ґрунту разом з коренем, крім того, що сходи з'являються пізніше, ніж при підрізання кореневої системи, рослини також гірше розвиваються. Як

зазначалося вище, це обумовлено тим, що період появи нових сходів бур'янів залежить від маси їх кореня, залишеного в ґрунті після обробітку.

Така різниця в появі сходів і розвитку бур'янів після обробітку говорить про те, що при вичісуванні бур'яну знищується більша частина кореневої системи рослини, в порівнянні із підрізанням.

#### Висновки по розділу

1. Проведені дослідження підтвердили, що ефективне вичісування бур'янів можливе лише в певному інтервалі передавальних чисел між роторами секційного робочого органу. Це дозволило встановити оптимальні кінематичні режими роботи конструкції.

2. Визначено залежність тягового опору машини від передавального числа між роторами. За результатами експериментів тяговий опір на один метр ширини захвату змінюється в залежності від виду бур'яну та становить:

- 1,65 кН/м при обробітку осоту;

- 1,54 кН/м при обробітку берізки;

- 1,38 кН/м при обробітку курячого проса;

- 1,23 кН/м при роботі на паровому полі.

Це свідчить, що навантаження на агрегат зростає зі збільшенням жорсткості та міцності кореневої системи бур'янів.

3. Експериментально підтверджено, що використання авто-приводного робочого органу забезпечує значно більшу затримку появи нових сходів бур'янів у порівнянні з традиційною технологією підрізання культиватором КРН-5,6. Зокрема:

– перші сходи осоту з'явилися через 192 год після обробітку культиватором;

– після обробітку розробленим робочим органом — лише через 288 год. Аналогічні тенденції встановлено і для берізки та курячого проса.

4. Доведено, що метод вичісування бур'янів разом з кореневою системою забезпечує більш тривалу затримку повторного проростання, ніж підрізання.

Це пояснюється суттєвим зменшенням залишкової маси кореня в ґрунті, що безпосередньо впливає на швидкість відновлення рослин.

5. Отримані результати підтверджують високу ефективність розробленого секційного робочого органу як з точки зору енергетичних параметрів, так і за біологічною результативністю його дії на бур'яни. Застосування такого типу робочих органів може суттєво підвищити якість міжрядного обробітку та знизити потребу в повторних механічних операціях.

## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ СЕКЦІЙНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ ВИЧІСУВАННЯ БУР'ЯНІВ І РОЗПУШУВАННЯ ҐРУНТУ

### 4.1 Загальні вимоги безпеки

Під час експлуатації секційного робочого органу, що здійснює вичісування бур'янів і розпушування ґрунту, необхідно забезпечити умови праці відповідно до чинних нормативно-правових актів України з охорони праці, зокрема НПАОП 0.00-1.28-10, Правил охорони праці у сільському господарстві та вимог безпечної експлуатації машинно-тракторного парку.

Роботи дозволяється виконувати лише працівникам, які пройшли інструктаж, мають відповідні навички роботи з ґрунтообробними машинами, ознайомлені з конструкцією секційного робочого органу та правилами його технічного обслуговування.

### 4.2. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Під час застосування секційного робочого органу можуть виникати такі небезпечні та шкідливі фактори:

#### **Механічні небезпеки:**

- обертальні елементи секційних роторів, що створюють ризик захоплення одягу або кінцівок;
- можливе відкидання часток ґрунту, каміння, рослинних решток;
- вібраційне навантаження на оператора та тракториста;
- підвищене навантаження на зчпний пристрій під час роботи на нерівному рельєфі поля.

#### **Фізичні фактори:**

- підвищений рівень шуму від роботи трансмісійних механізмів та двигуна трактора;

- запиленість повітря робочої зони, особливо на сухих ґрунтах;
- можливе перегрівання підшипників та елементів приводу при тривалому навантаженні.

#### **Хімічні та біологічні фактори:**

- контакт із частками ґрунту, можливими патогенними мікроорганізмами, рослинними алергенами;
- у разі застосування добрив або засобів захисту рослин — ризик хімічного впливу на органи дихання та шкіру.

#### **4.3. Вимоги безпеки перед початком роботи**

Перед початком експлуатації необхідно:

1. Провести зовнішній огляд секційного робочого органу, перевіривши:
  - стан болтових з'єднань,
  - справність роторних секцій,
  - цілісність захисних кожухів,
  - відсутність люфтів у приводному механізмі.
2. Перевірити рівень мастила у підшипниках та редукторах.
3. Оцінити технічний стан трактора та надійність зчипки.
4. Переконатися у відсутності сторонніх осіб у робочій зоні.
5. Провести пробний пуск на малих обертах, проконтролювавши рівномірність обертання секцій і відсутність сторонніх шумів.
- 6.

#### **4.4. Вимоги безпеки під час виконання робіт**

Під час експлуатації секційного робочого органу необхідно дотримуватися таких правил:

- забороняється виконувати будь-які регулювальні або ремонтні роботи при працюючому двигуні;

- оператор повинен знаходитися у кабіні трактора з зачиненими дверима та використовувати засоби індивідуального захисту: спецодяг, захисні окуляри, респіратор від пилу.
- заборонено перебування людей на полі в зоні дії агрегату на відстані менше 15 м.
- рух агрегату має бути плавним, без різких прискорень чи поворотів, щоб уникнути втрати стійкості та надмірного розгойдування секцій.
- під час роботи на схилах слід дотримуватися обмежень щодо допустимого кута нахилу, не допускати бокового зсуву агрегату.
- слід контролювати температуру підшипників та редукторів, припиняючи роботу у разі їх перегріву.
- необхідно своєчасно очищати робочі елементи від рослинних залишків лише після повної зупинки механізму.

#### 4.5. Вимоги безпеки після завершення роботи

Після завершення зміни необхідно:

- повністю зупинити трактор та агрегат, вимкнути двигун;
- очистити секційні робочі елементи від ґрунту та рослинних решток із використанням інструментів, а не руками;
- виконати огляд кріплень та стану роторів, зафіксувати виявлені несправності;
- перевірити і, за потреби, виконати мастило вузлів тертя;
- встановити машину на рівну площадку, заблокувати можливість її самовільного руху.

#### **Пожежна безпека**

Під час роботи секційного робочого органу можлива поява пожежонебезпечних ситуацій у разі:

- перегріву тертьових елементів,
- потрапляння соломи чи сухої трави на гарячі частини двигуна,

- витоку палива або мастила.

Для запобігання пожежі необхідно:

- мати в наявності вогнегасник (ОП-2 або ОП-4),
- регулярно перевіряти стан паливних магістралей,
- не допускати накопичення сухих рослинних залишків під капотом трактора та в зоні приводу,
- не палити поблизу техніки.

### Висновки по розділу

1. У ході аналізу вимог безпечної експлуатації секційного робочого органу для вичісування бур'янів та одночасного розпушування ґрунту встановлено, що його використання пов'язане з наявністю ряду небезпечних та шкідливих виробничих факторів, зокрема дією обертальних елементів, підвищеним рівнем шуму та вібрацій, запиленістю робочої зони, можливістю відкидання твердих часток і ризиком перегріву вузлів тертя. Для усунення або зниження впливу цих факторів необхідно забезпечити технічно справний стан обладнання, використовувати захисні кожухи, дотримуватися вимог інструкцій з експлуатації та застосовувати засоби індивідуального захисту.

2. Загалом, дотримання вимог охорони праці під час експлуатації секційного робочого органу дозволяє забезпечити безпечні умови роботи, підвищити надійність та довговічність обладнання, зменшити ризики травмування персоналу, а також сприяє раціональному використанню техніки в польових умовах. Виконання зазначених рекомендацій робить процес механізованого вичісування бур'янів екологічно обґрунтованим, енергоефективним та безпечним для оператора і навколишнього середовища.

## 5. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПЕРЕВАГ ВИКОРИСТАННЯ СЕКЦІЙНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ

Підвищення ефективності сільського господарства обумовлено постійним зростанням потреб в продовольстві та сировині, посиленням вимог якості продукції, обмеженістю ресурсів, зростанням цін на засоби виробництва.

З позицій проведеного дослідження економічна ефективність виробництва являє собою відношення економічного ефекту, досягнутого в результаті використання авто-приводного робочого органу для вичісування бур'янів до вкладених ресурсів, які зумовили його досягнення. Тобто рівень економічної ефективності пропорційний величині спожитих ресурсів.

При цьому, основу ефективності впровадження сільськогосподарських машин в аграрне виробництво формують техніко-економічні критерії їх використання, в порівнянні з агрегатами-аналогами, які мають найбільше поширення [21, 22, 23].

Конкурентні переваги, а отже і результативність застосування запропонованої конструкції робочого органу для вичісування бур'янів визначаються, виходячи з його основного призначення – суцільного обробітку парових полів, з метою знищення бур'янів, а також міжрядного обробітку ґрунту при догляді за посівами сільськогосподарських культур. В рамках виділеної технологічної операції визначені машини-аналоги, що дозволило обґрунтувати техніко-економічні переваги дослідного сільськогосподарського агрегату (табл. 5.1).

Виходячи з даних таблиці, були визначені найбільш явні недоліки агрегатів-аналогів, серед яких виділені:

- відсутність можливості вичісування бур'янів (БІГ-3А);
- використання методу підрізання для боротьби з бур'янами, що в подальшому (при боротьбі з коренепаростковими бур'янами) призводить до більш раннього проростання бур'янів після обробітку.

Таблиця 5.1 – Техніко-економічні переваги розробленого секційного робочого органу для вичісування бур'янів з розпушуванням ґрунту

Техніко- економічні показники	Найменування аналогів сільськогосподарських машин			Розроблений робочий орган АРО	Порівняння показників
	КПС-4	БІГ-3А	КРН-4.2		
1	2	3	4	5	6
Ширина захвату, м.	4,0	3,0	4,2	4,0	-
Робоча швидкість, км / год.	До 9	9...11	До 9	8...12	-
Продуктивність, га / год.	2,8...3,2	2,1...2,5	1,9...2,5	2,1...2,7	-
Продуктивність за зміну, га	21	17	16	19	-
Глибина обробітку, см	5...12	4...6	6...12	2...8	-
Витрати палива, л / га	3...4	4 – 4,5	4 – 5	3 - 4	-
Тяговий опір, кН / м	2,5	0,9	2,5	1,23	В 1,5-2 рази менше (економія палива)
Період повторного проростання бур'янів, год.	100...150	140...200	150...200	250...350	В 1,3 - 3,5 рази більше (економія палива)
Кількість знищених бур'янів, %	10...15	15...20	15...20	90...94	В 5 – 10 разів більше (економія палива)
Кратність обробки	6-8	3-4	3-4	2-3	В 2 – 3 рази менше (економія палива)

В результаті дослідження виявлено, що до основних конкурентних переваг доцільно віднести збільшення періоду проростання бур'янів в 1,3 – 3,5 рази. Означена перевага забезпечує скорочення кількості обробок і економію палива, що забезпечує економічний ефект. Крім того, простота конструкції дозволяє сформувати низьку кошторисну вартість робочого органу (табл. 4.2 ).

Таблиця 4.2 – Калькуляція собівартості розробленого агрегату із робочим органом для вичісування бур'янів (дослідний зразок)

Статті витрат	Сума, грн.
1. Основні матеріали, в тому числі:	52 000
- паралелограмний механізм 10 шт. · 2150 грн.	21 500
- автозчіпка 1 шт.	3 500
- робочі органи 10 шт. · 1250 грн.	12 500
- скоби кріплення 10 шт. · 125 грн.	1 250
- ступіца колеса 2 шт. · 750 грн.	1 500
- зірочки 20 шт. · 150 грн.	3 000
- ланцюг втулочно-роликаний (10 м.)	4 000
- дрібні металеві вироби	1 500
- опорні колеса 2 шт. · 1000 грн.	2 000
- труба профільна 100 · 100 · 5,0 мм (3,5 м)	1 250
2. Паливо і електроенергія на технологічні цілі, грн.	1 000
3. Оплата праці, грн.	10 000
4. Нарахування на оплату праці, грн.	2 200
5. Загальновиробничі витрати, грн.	1 500
Разом:	66 700

Таблиця 4.3 – Порівняння цін на машини для боротьби з бур'янами механічним способом

Найменування машини	Ціна, тис. грн.
Машина з авто-приводним робочим органом для вичісування бур'янів	66,7
БІГ-3А	105
КРН-4,2	125
Культиватор Штрігель Hatzenbichler	430
CASE IH 4600	450

Пропорції собівартості сільськогосподарської машини дозволяють сформувати рівень цін на 18 - 50% нижче, ніж на продукцію прямих вітчизняних конкурентів і в разі – за зарубіжні аналоги (табл. 4.3).

#### Висновок по розділу

1. Порівняльний аналіз техніко-економічних показників показує, що розроблений секційний робочий орган для вичісування бур'янів із розпушуванням ґрунту суттєво переважає наявні аналоги (КПС-4, БІГ-3А, КРН-4.2) за більшістю ключових параметрів. Робочий орган забезпечує продуктивність на рівні 2,1...2,7 га/год та близьку до максимальної ширину

захвату 4 м, що дозволяє отримати високий денний виробіток без збільшення енергозатрат. Глибина обробітку ґрунту в межах 2...8 см є оптимальною для механічного контролю бур'янів без порушення структури орного шару і забезпечує більш стабільну агротехнічну якість обробки порівняно з аналогами.

2. Однією з найважливіших переваг є значно знижений тяговий опір — 1,23 кН/м, що в 1,5–2 рази менше, ніж у традиційних знарядь. Це дає змогу зменшити витрати палива та використовувати трактори меншої потужності. Додатково встановлено, що період повторного проростання бур'янів при роботі нового органу збільшується у 1,3–3,5 рази, а рівень знищення бур'янів сягає 90–94 %, що на 5–10 разів більше, ніж у загальноприйнятих агрегатів міжрядної обробки. Завдяки цьому кратність обробок зменшується у 2–3 рази, що приводить до суттєвої економії пального, часу та трудових ресурсів.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Виконано аналіз існуючих знарядь і перспективних машин для знищення бур'янів з одночасним розпушуванням ґрунту, на основі чого була проведена їх класифікація та представлена у вигляді блок-схеми. В результаті чого, виявлено, що більшість сучасних машин призначені для боротьби з бур'янами методом підрізання, а знаряддя для вичісування бур'янів, не дозволяють боротися з ними з мінімальними витратами і в різні періоди їх розвитку.

2. Виходячи з представленого аналізу, удосконалено технологічний процес вичісування бур'янів з розпушуванням ґрунту за рахунок застосування розробленої конструкції авто-привідного секційного робочого органу.

3. В ході теоретичні дослідження авто-привідного робочого органу, були встановлені аналітичні залежності, що дозволили обґрунтувати орієнтовні значення параметрів його роботи.

4. В результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що при передавальному числі, що знаходиться в інтервалі від 3,5 до 3,8 на поверхню поля (відповідно до агротехнічних вимогами) витягується максимальна кількість бур'янів разом з коренем. Тяговий опір авто-привідного робочого органу при обробці певного типу ґрунту залежить від виду бур'янів. При суцільному обробітку ділянки поля без бур'янів, тяговий опір склав 1,23кН / м; при обробітку засміченого осотом польовим з довжиною вегетативної частини 20 ... 25 см тяговий опір збільшилася на 0,42 кН / м, берізкою польовою з довжиною вегетативної частини 30 ... 35 см – на 0,31 кН / м, курячим просом з довжиною вегетативної частини рослини 12 ... 15 см – на 0,15 кН / м.

5. Економічна ефективність досягається за рахунок зменшення кількості обробок поля та, як наслідок, витрати палива та меншої вартості машини в порівнянні із вітчизняними аналогами на 18 – 50% і в рази – по відношенню до зарубіжних.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ковбаса В. П. Визначення модуля пружності та коефіцієнта в'язкості ґрунту шляхом дослідження його коливань / В. П. Ковбаса, Ахмед Кадем Алі, Д. Ю. Калініченко // Вібрації в техніці та технологіях. – 2016. – № 2 – С. 36-41.
2. Ковбаса В. П. Механіка сільськогосподарських матеріалів та середовищ : навч. посібник / В. П. Ковбаса, В. М. Швайко, О. П. Гуцол [за ред. проф. Ковбаси В. П.] – Ніжин: Видавець ПП Лисенко М. М., 2015. – 536
3. Ковбаса В. П. Розподіл напружень у сипкому середовищі обмеженому стінками споруди силосного типу / В. П. Ковбаса, В. В. Ярошенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2010. – Вип. 40(1). – С. 314-324
4. Антощенков В.М. Методика визначення енерговитрат машинотракторного агрегату / В.М. Антощенков, Р.В. Антощенков // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник ХНТУСГ. – Х.: ХНТУСГ. – 2008. – Вип. 75, т. 1. – С. 264-269.
5. Артёмов М.П. Щодо впливу зовнішніх сил на динаміку руху комбінованих сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів / М.П. Артёмов // Харків: Вісник ХНТУСГ. Тракторна енергетика в рослинництві. – 2007. – Випуск 60. – С. 32-40.
6. Білоткач М. П. Обґрунтування основних конструктивних і режимних параметрів фрезерних культиваторів з вертикальною віссю обертання робочих органів / М. П. Білоткач // Вісник аграрної науки. – 2007. – № 8. – С. 44–48.
7. Бойко М.Ф. До розробки математичної моделі стійкості руху трактора з шарнірно з'єднаною рамою при нерівномірному розподілу навантажень на колесах / М.Ф. Бойко, М.П. Артёмов // Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХДТУСГ. – Харків: ХДТУСГ, 2003. – Вип. 20. – С. 28-31.

8. Ботвиновський В. В. Обґрунтування загальної компоновки та параметрів робочих органів сівалки-культиватора / В. В. Ботвиновський // Науковий вісн. Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. – 2009. – № 134. – С. 270–274.

9. Бундза О. З. Результати дослідження ресурсозберігаючої технології знищення бур'янів / О. З. Бундза // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Збірник наукових праць / ДНУ «Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого». – Дослідницьке, 2013. – Вип. 17(31) кн.2. – с. 97-101.

10. Бундза О. З. Ресурсозберігаюча технологія знищення бур'янів і засіб для її відтворення / О. З. Бундза // Механізація та електрифікація сільського господарства: Міжвідомчий тематичний науковий збірник. – Глеваха, 2013. – Вип. 98. Т. 2. – С. 427 – 433.

11. Бур'яни за мінімалізації основного обробітку ґрунту / В. О. Єщенко, М. В. Калієвський, О. Б. Карнаух [та ін.] // Карантин і захист рослин. – 2012. – № 1. – С. 4–5.

12. Васильченко, В. Просапні культиватори та міжрядний обробіток / В. Васильченко, В. Опалко // Агроном. – 2011. – № 2. – С. 192–196.

13. Вознюк Л. Ф. Технічне обслуговування і діагностування сільськогосподарських машин: навч. посіб. для мол. спец. / Л. Ф. Вознюк, В. В. Іщенко, Я. М. Михайлович. – К. : Урожай, 1994. – 216 с.

14. Войтюк Д. Г. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: навч. посіб. / Д. Г. Войтюк, С. С. Яцун, М. Я. Довжик; за ред. Д. Г. Войтюка. – Суми : Унів. кн., 2008. – 543 с.

15. Войтюк П. Сучасні вимоги до культиваторів для обробітку цукрових буряків / П. Войтюк // Пропозиція. – 2005. – № 6. – С. 98–100.

16. Гевко Р. Б. Машини сільськогосподарського виробництва: навч. посіб. для студ. вузів / Р.Б. Гевко, І. Г. Ткаченко, І. І. Павх; М-во освіти і науки України, Терноп. акад. нар. госп-ва. – Тернопіль, 2002. – 251 с.
17. Геометрична модель поверхні культиваторної лапи / А. С. Кобець, О. М. Кобець, А. М. Пугач [та ін.] // Вісн. Дніпропетр. держ. аграр. ун-ту. – 2011. – № 2. – С. 77–80.
18. Гриб В. М. Використання фрезерних культиваторів при відтворенні лісів / В. М. Гриб, С. В. Маслай // Вісн. аграр. науки Причорномор'я. – 2011. – Вип. 4 (61). – С. 230–236.
19. Данильченко, М. Г. Сільськогосподарські машини: підручник / М. Г. Данильченко; Терноп. акад. нар. госп-ва. – Тернопіль: Екон. думка, 2001. – 272 с.
20. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві: навч. посіб. для студ. вузів / за ред. В. Ю. Ільченка. – К.: Урожай, 2004. – 288 с.
21. Шевченко А.П., Мельник О.В. Техніко-економічні показники машин та обладнання агропромислового комплексу. – Київ: Ліра-К, 2019. – 312 с.
22. Козаченко В.В., Литвиненко В.І. Економічна оцінка та техніко-експлуатаційні показники сільськогосподарської техніки. – Львів: Новий Світ, 2021. – 344 с.
23. Дудар Т.Г., Кравчук І.В. Економіка технічного сервісу та експлуатації машин. – Тернопіль: ТНЕУ, 2020. – 254 с.
24. Козаченко О. В. Виробничі випробування культиваторних лап удосконаленої конструкції / О. В. Козаченко, О. М. Шкрегаль, О. В. Блезнюк // Вісн. Дніпропетр. держ. аграр. ун-ту. – 2009. – № 2. – С.278–281.
23. Козаченко О. В. Дослідження конструкцій і режимів роботи робочих органів культиваторів / О. В. Козаченко, О. М. Шкрегаль // Науковий вісн. Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. – 2010. – № 144. – С. 122–127.

24. Лімонт А.С. Теоретичні основи забезпечення працездатності машин: навч. посіб. / А. С. Лімонт. – Житомир : Рута, 2008. – 420 с.

25. Марченко В. Вітчизняні агрегати для суцільної культивування ґрунту / В. Марченко, В. Опалко // Agroexpert: практичний посібник аграрія. – 2010. – № 3. – С. 94–97.

26. Марченко В. Культиватори для суцільного обробітку ґрунту / В. Марченко // Agroexpert: практичний посібник аграрія. – 2011. – № 12. – С. 68–72.

27. Мітков В. Комбіновані агрегати – це перспективно / В. Мітков, Б. Мітков, В. Тюлев // Agroexpert: видання з питань української та світової сільськогосподарської практики. – 2010, №12. – С. 114-116.

28. Патент 29632 Україна (UA), МПК (2006) А 01 М 21/00. Обладнання для зведення рослинності та бур'янів / О. З. Бундза, В. Г. Нікітін, С. В. Кравець (Україна) ; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування (Україна). – № u200707855; заявл. 12.07.2007; опубл. 25.01.2008 р. Бюл. №2.

29. Петриченко Є.А. Результати експериментальних досліджень нового комбінованого машинно-тракторного агрегату / Є.А. Петриченко //Всеукраїнський науково-технічний журнал: Техніка, енергетика, транспорт АПК. Вінниця, 2017, Випуск 1 (96). – С. 24-29.

30. Трегубов В.А., Курило М.В. Безпека життєдіяльності та охорона праці в сільському господарстві. – Харків: ХНАУ, 2019. – 280 с.

31. Коцар О.М., Лисенко І.В. Охорона праці в агропромисловому виробництві. – Київ: Центр учбової літератури, 2020. – 320 с.

32. Кабанов В. І., Іщенко М. В., Шевченко Л. Г. Охорона праці в галузі: навчальний посібник. — Київ: Центр учбової літератури, 2020. — 392 с.

## **ДОДАТКИ**