

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра машиновикористання та сервісу технологічних систем

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

ОСТАПЧУК АРТЕМ ГРИГОРОВИЧ

УДК 631.316.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Розробка системи механізованого знищення бур'янів у рядках
овочевих культур**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ А.Г. Остапчук

Керівник роботи
Куликівський В.Л.
кандидат технічних наук

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Остапчук Артем Григорович. Розробка системи механізованого знищення бур'янів у рядках овочевих культур. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

Проведений аналіз дозволив встановити ріст інтересу до механізованих засобів боротьби з бур'янами в останній час у зв'язку з розвитком органічного землеробства. Наявні механічні засоби боротьби з бур'янами не можуть знищувати бур'яни поблизу рослини і в міжрядному просторі, саме тому необхідна розробка механізованої системи знищення бур'янів у міжрядковому просторі.

Розроблений прототип автоматизованої установки для знищення бур'янів у рядках овочевих культур. В математичного моделювання та експериментальних досліджень встановлено, що трьохзубий робочий орган має суттєві переваги в порівнянні з використанням п'ятизубого робочого органу. Якість знищення бур'янів на пряму залежить від швидкості руху, швидкості обертання робочого органу та глибини проникнення зубців у ґрунт.

Розроблена автоматизована система механізованого знищення бур'янів у рядках овочевих культур дозволяє знищувати бур'яни в межах 80...90%.

Ключові слова: бур'яни, робочий орган, привід, міжрядковий простір, швидкість, частота обертання.

ANNOTATION

Ostapchuk Artem Grigorovich. Development of a system of mechanized weed control in vegetable rows. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualification work for a master's degree in specialty 208 - Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

The analysis revealed an increase in interest in mechanized weed control recently in connection with the development of organic farming. Available mechanical weed control can not destroy weeds near the plant and in the inter-row space, which is why mechanized system of weed control in the inter-row space.

A prototype of an automated weed control plant in vegetable rows has been developed. Mathematical modeling and experimental studies have shown that a three-toothed working body has significant advantages over the use of a five-toothed working body. The quality of weed control directly depends on the speed of movement, the speed of rotation of the working body and the depth of penetration of the teeth into the soil.

The developed automated system of mechanized weed control in vegetable rows allows to destroy weeds in the range of 80...90%.

Keywords: weeds, working body, drive, line spacing, speed, speed.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ТА ЗАСОБІВ БОРОТЬБИ З БУР'ЯНАМИ ПРИ ВИРОЩУВАННІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР.....	8
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ МАШИНИ ДЛЯ ЗНИЩЕННЯ БУР'ЯНІВ У РЯДКАХ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	20
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МЕХАНІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЗНИЩЕННЯ БУР'ЯНІВ У РЯДКАХ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР.....	20
ВИСНОВКИ.....	28
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	29

ВСТУП

Боротьба з бур'янами одна з найбільш затратних технологічних операцій в системі вирощування овочевих культур. На ранніх стадіях розвитку сільського господарства переважало ручне прополювання, це призводило до значних затрат праці та досить тривалого терміну виконання технологічної операції. Впровадження хімічних методів боротьби з бур'янами усунуло вище наведені недоліки. Однак поява стійких до гербіцидів бур'янів, негативний вплив на навколишнє середовище та зростаючий попит на екологічно чисту сільськогосподарську продукцію привів до пошуку альтернативних засобів боротьби з бур'янами [1, 2]. Найвні механічні засоби боротьби з бур'янами не можуть знищувати бур'яни поблизу рослини і в міжрядному просторі, саме тому розробка механізованої системи знищення бур'янів у рядках овочевих культур є беззаперечно актуальною задачею.

Мета і задачі дослідження. Мета досліджень полягала у розробці прототипу системи механізованого знищення бур'янів у рядках овочевих культур та визначення оптимального робочого органу для такої системи та режимів роботи.

У відповідності до сформульованої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- Провести аналіз існуючих засобів боротьби з бур'янами та визначити перспективні напрямки вирішення проблеми знищення бур'янів у міжрядковому просторі;
- Розробити прототип системи механізованого знищення бур'янів у рядках овочевих культур;
- Провести математичне моделювання для визначення оптимальних режимів роботи системи механізованого знищення бур'янів у рядках овочевих культур;
- Провести експлуатаційні випробування прототипу.

Об'єкт дослідження: Процес знищення бур'янів у міжрядковому просторі овочевих культур.

Предмет дослідження: взаємозв'язок типу робочого органу, швидкості руху, частоти обертання робочого органу та глибини проникнення зубців робочого органу в ґрунт з якістю знищення бур'янів у міжрядковому просторі овочевих культур.

Методи дослідження. Дослідження виконано з використанням методів теоретичної механіки, математичного моделювання, фізики та загальнонаукових методів пізнання. Обробку експериментальних даних проводили на основі методів математичної статистики з використанням прикладних програм для ПК.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Остапчук А.Г.** Прототип машини для знищення бур'янів у рядках овочевих культур. Збірник тез VI-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 9-10 квітня 2020 року. Житомир: ЖАТК. С. 152-156.

2. Куликівський В.Л., **Остапчук А.Г.** Машина для знищення бур'янів у рядках кормових культур. IX Міжнародна науково-технічна конференція *«Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві»* (05-24 жовтня 2020 р.). [Електроний ресурс] – <http://animal-conf.inf.ua/conf.html>.

3. Куликівський В. Л. **Остапчук А. Г.** Автоматизовані системи знищення бур'янів. Матеріали XXI Міжнародної наукової конференції *„Сучасні проблеми землеробської механіки”* присвяченої 90-річчю Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка та 120-й річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка. 17 – 18 жовтня 2020 року Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка. С. 73-74.

Практичне значення одержаних результатів. Результати роботи можуть бути використанні при розробці та створенні промислового зразка сільськогосподарської машини для знищення бур'янів в міжрядковому просторі овочевих культур.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна магістерська робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 20 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 30 сторінок комп'ютерного тексту, містить 16 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ТА ЗАСОБІВ БОРОТЬБИ З БУР'ЯНАМИ ПРИ ВИРОЩУВАННІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

На даний час існує декілька способів боротьби з бур'янами [1, 2].:

- Ручний;
- Хімічний;
- Біологічний;
- Механічний.

Ручний спосіб не потребує спеціальних засобів але з економічної точки зору є недоцільним. До появи хімічних способів боротьби з бур'янами механічний спосіб був найбільш ефективним. Механічні засоби боротьби з бур'янами можуть діяти наступним чином:

- загортати (закопувати) бур'яни;
- зрізати бур'яни;
- викорчовувати бур'яни.

Загорання бур'янів проводиться, як правило, при основному обробітку ґрунту. Зрізання і викорчовування бур'янів проводять при догляді в основному в міжрядному просторі [3-8].

У сучасних сільськогосподарських технологіях переважають хімічні способи боротьби з бур'янами. На даний час ефективність вирощування сільськогосподарських культур доволі сильно залежить від використання гербіцидів.

Біологічна боротьба з бур'янами – це спосіб боротьби за допомогою природних ворогів бур'янів. Цей спосіб не набув широкого застосування в сільському господарстві [1, 2].

В останні роки зростає попит на екологічну сільськогосподарську продукцію, що змушує шукати нові альтернативні засоби боротьби або повертатися до механізованих способів.

Досягнення в комп'ютерній галузі та створення сучасних датчиків сприяють розвитку автоматизованих систем для боротьби з бур'янами. За допомогою автоматизації зменшується вплив людини на процес та оптимізується потужність [9, 10, 11].

Автоматизовані машини здатні розрізняти культурні сільськогосподарські рослини від бур'янів і одночасно видаляти бур'яни точно контрольованим пристроєм.

Автоматизація це метод або система функціонування і управління процесом чи механічним пристроєм без втручання людини та відсутності постійного контролю оператора. Автоматизація також оптимізує потужність, яку використовує машина і тому часто представляє собою заміну введеної енергії в процес на електронне обладнання, датчики, пускачі та програмне забезпечення [1]. Зокрема, автоматизована боротьба з бур'янами всередині рядового ряду – це процес, який має більший коефіцієнт корисної дії в порівнянні з ручним та механізованим виконанням даної операції. Технологія автоматизованої боротьби з бур'янами включає переваги ручного і механізованого підходу та виключає їх недоліки. Для впровадження автоматизації пропонуються машини з можливістю визначати та відрізняти культурні рослини від бур'янів і в той же час видаляти бур'яни точно контрольованим пристроєм [2]. У огляді автономних робототехнічних систем боротьби з бур'янами [10] визначено обов'язкові чотири технології, які необхідні для автоматизованої боротьби з бур'янами: наведення, виявлення та ідентифікація, видалення бур'янів у рядках та картографування. Він також описав кілька механізмів видалення бур'янів для роботизованих систем [10].

Системи наведення можуть використовувати «machine vision» для виявлення рядків та / або глобальні системи позиціонування (GPS). «Machine vision» має можливість визначати рядки посівів при швидкості руху в межах від 2,5 км/год до 10км/год. Це призводить до незначних помилок, від 12 до 27 мм. Тим часом GPS має можливість забезпечити точність уздовж рядка з похибкою

6 см, а максимальна відстань помилки – 13 см [10, 11]. Однак системи наведення рядків вимагають, щоб сільськогосподарські культури були посаджені за допомогою GPS-керованої системи посадки.

Виявлення та ідентифікація бур'янів та культурних рослин в реальному часі є дуже складним завданням. Методи ідентифікації бур'янів спираються на системи «machine vision» та методи обробки зображень [4], таких як біологічні, морфологічні, спектральні характеристики та візуальна структура.

Боротьба з бур'янами у внутрішньорядковому просторі може здійснюватися за допомогою механічної, хімічної, термічної або електричної дії. Механізований механізм боротьби з бур'янами використовує механічні ножі, які пересуваються в рядку та виходять з нього. Автоматизована система хімічного знищення бур'янів, була розроблений за допомогою незалежних розпилювальних портів для обприскування бур'янів на карті обприскування, сформованої системами зору. Електричні засоби боротьби з бур'янами були розроблені шляхом застосування електричного струму високої напруги (15-60 кВ), розряд або безперервний струм подавався до дрібних бур'янів за допомогою точного контролю положення зонда. Термічні автоматизовані системи знищення бур'янів передбачають використання інфрачервоних датчиків для виявлення бур'янів і автоматично подавання полум'я для спалювання виявлених бур'янів [11].

В даний час існують діючі машини для прополювання бур'янів в міжрядному просторі. Так існує робочий орган у вигляді півкулі, який обертається та уникає контакту з культурною рослиною (рис. 1.1). Камера була встановлена на центральному брусі на висоті 1,7м і направлена була вперед і вниз. Огляд камери дозволяв фіксувати відстань 2,5 м. Швидкість руху такого комплексу складає 1,8 км/год. Система дозволяє знищувати 74...87 % бур'янів (на ранніх стадіях розвитку рослин боротьба була більш ефективна) [11].



Рис. 1.1. Автоматизована система знищення бур'янів у міжрядковому просторі (робочі органи – напівкруглі диски)

В Франції розроблений автоматизований комплекс для знищення бур'янів в міжрядному просторі (рис. 1.2). Цей автоматизований комплекс може експлуатуватися у разі коли розмір бур'янів значно менший за розмір культурної рослини.

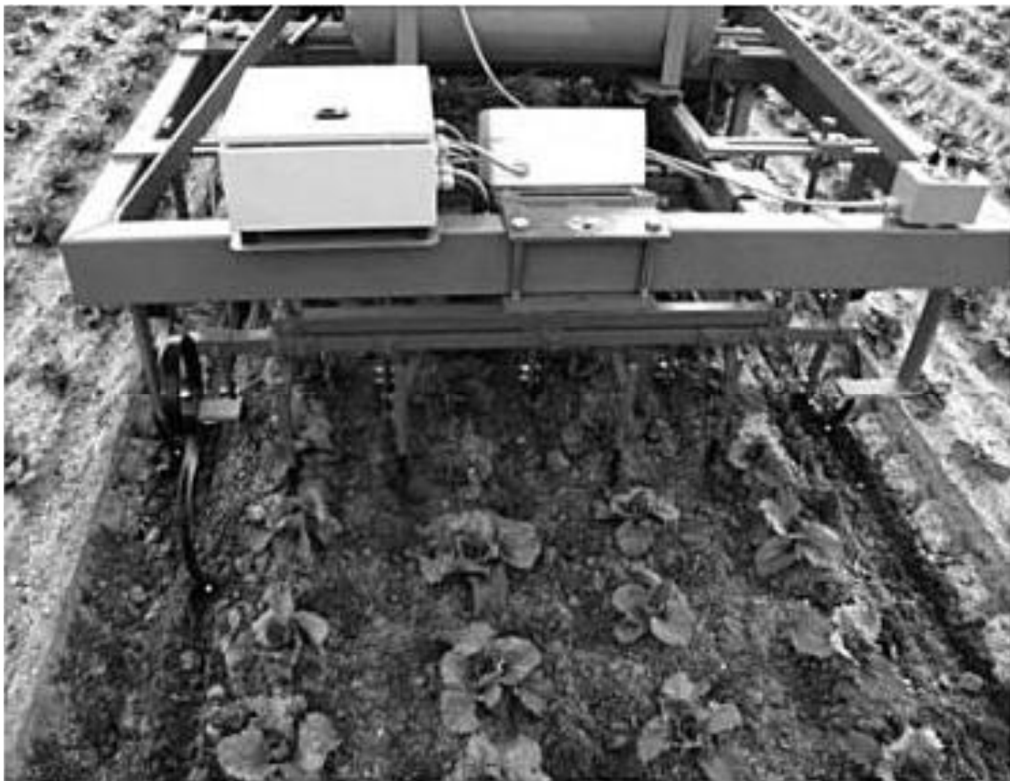


Рис. 1.2. Інтелектуальний прополювач Sarl Radis.

Робоча швидкість інтелектуального комплексу для знищення бур'янів складає 3 км

Висновки по розділу 1

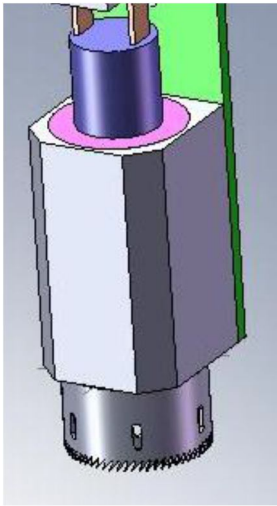
Впровадження автоматизованих систем боротьби з бур'янами дозволить зменшити затрати і підвищити якість виконання даної технологічної операції, та зменшить забруднення навколишнього середовища.

РОЗДІЛ 2

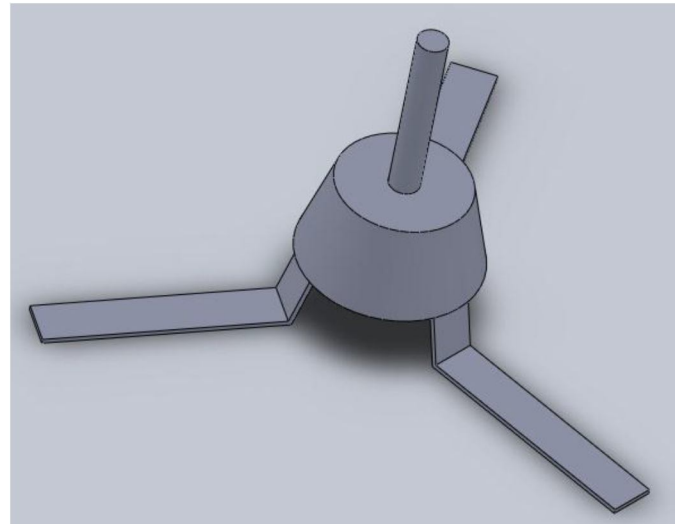
РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ МАШИНИ ДЛЯ ЗНИЩЕННЯ БУР'ЯНІВ У РЯДКАХ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для проектування були розглянуті 4 варіанти механізму прополювання (рис. 2.1):

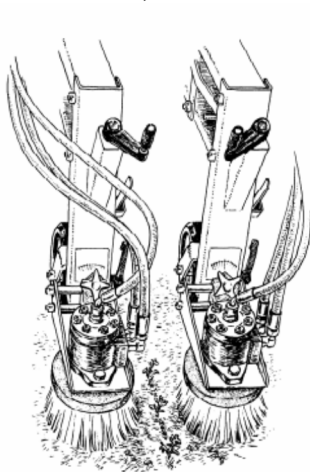
1. Пилозубний механізм (рис. 2.1 а);
2. Механізм з плоским лезом (рис. 2.1 б);



а)



б)



в)



г)

Рис. 2.1. Різні механізми для прополювання бур'янів: а – пилозубний механізм; б – механізм з плоским лезом; в – щітковий механізм; г – механізм з гнучкими зубцями.

3. Щітковий механізм (рис. 2.1 в);
4. Механізм з гнучкими зубцями (рис. 2.1 г);

Проведений аналіз попередніх робіт по дослідженню механізмів для прополювання бур'янів дозволив зробити висновок, що механізм з гнучкими зубця є оптимальним конструкційним рішенням.

Прототип машини для внутрішньо рядного видалення бур'янів має довжину 2,1 м, ширину 0,96 м та висоту 1,4 м (рис. 2.2). Вона складався з двох поворотних коліс 40,6 см (16 дюймів) спереду і двох 40,6 см (16 дюймів) нерухомих коліс ззаду. Передня вісь призначена для регулювалася, щоб адаптуватися до різних польових умов. Біля передніх осей є відсік для акумуляторів, щоб вмістити до п'яти батарей глибокого циклу 12 В постійного струму. Приблизний час роботи кожної батареї становив 120 ампер-годин. У верхній частині батарейного відсіку знаходилася система збору даних, де промисловий комп'ютер, контролер двигуна та бездротовий маршрутизатор для зв'язку були підключені та встановлені на дерев'яній дошці. Система приводу механізму прополювання була розташована ззаду.

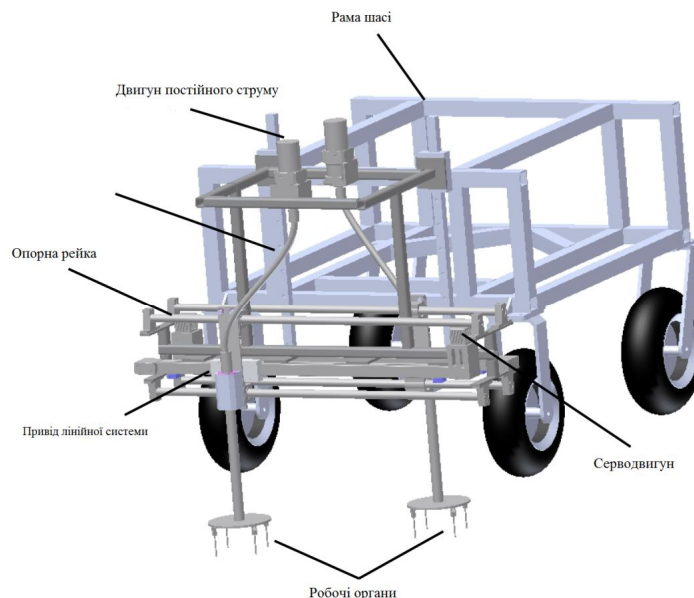


Рис. 2.2. Прототип машини для видалення бур'янів в міжрядному просторі.

У системі активації бічного руху використовувалася лінійна система ремінного приводу для переміщення приводу в бік. Вбудований сервомотор потужністю 48 В. Опорні рейки для механізму прополювання були додані у верхній і нижній частині бокової системи управління рухом. Ці рейки мали на меті зменшити сили, що діють на ремінну передачу, одночасно розподіляючи ці сили на опорні рейки.

Механізм прополювання був закріплений на металевій пластині. Система передачі потужності для прополювального механізму складалася з гнучкого валу, загартованого порожнистого вала, спіральної пружини та механізму прополювання зубців. Максимальна здатність передачі крутного моменту гнучкого валу становила 44 Н.

Гнучкий вал був підключений до двигуна BLDC потужністю 48 В (, прикріпленого до коробки передач 7:1, які були встановлені на рамі прополювача. Інший кінець валу був з'єднаний з обертовим валом, який приводить в рух механізм прополки обертових зубців. Ці два вали були з'єднані за допомогою адаптера валу. Твердий вал був з'єднаний з лінійним поворотним підшипником, що може допомогти зменшити тертя під час обертання вала, одночасно вал рухається вгору і вниз. Під цим спеціальним підшипником знаходилась гвинтова пружина, яка виконувала роль механізму притискання зубців до ґрунту. У нижній частині пружини був встановлений підшипник подушкового блоку, щоб утримувати пружину на місці. Цей підшипник був встановлений за допомогою спеціальних прорізів на пластині приводу, щоб він міг рухатися вгору і вниз, залежно від опору проникненню на поверхню ґрунту.

Початкові функціональні випробування, проведені в лабораторії, показали, що система приводу мала певні труднощі при русі як при поперечному, так і при обертальному русі. Це було пов'язано з гнучким валом, який розташовувався занадто високо від негнучого валу (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Прототип машини під час функціональних випробувань.

Гнучкий вал був недостатньо гнучким, оскільки був виготовлений з використанням товстих металевих дротів, що ускладнювало вільне згинання. Це ускладнило передачу двигуном початкового крутного моменту, необхідного для переміщення механізму обертання роторних зубців.

Через проблеми, виявлені під час функціональних випробувань, були внесені деякі зміни в конструкцію (рис. 2.4). Зміни, які були внесені:

1) Зміна положення двигуна механізму пропольовання BLDC, з вертикального положення в горизонтальне. Крім того, двигун бур'янового механізму був встановлений зверху спінінгового столу, що полегшувало б переміщення вліво і вправо через додаткові роликові підшипники всередині спінінгового столу. Це також зменшило б висоту рами пропольовача через зміну положення механізму пропольовання.

2) Пластина приводу була змінена зі сталі на алюміній. Це зменшило вагу вузла приводу з 6,35 кг до 4,5 кг.

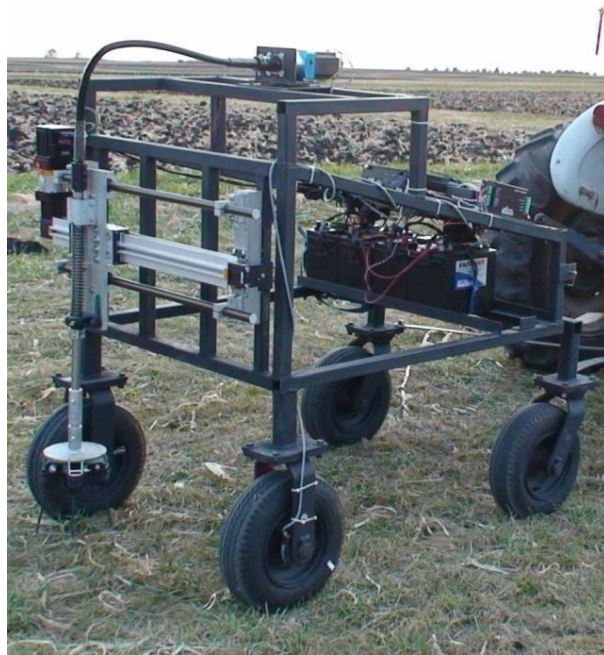


Рис. 2.4. Покращений прототип із зміненим положенням двигуна механізму прополювання.

Польові випробування були проведені в жовтні 2020 року в умовах зони Лісостепу України. Первинне випробування дослідного зразка при взаємодії з ґрунтом показало, що гнучкий вал не зміг обертати механізм прополки. Це, ймовірно, було спричинено кількома факторами:

- а) стан ґрунту, який був сухим і сильно ущільненим;
- б) через обмеження гнучкого валу. Хоча в специфікаціях було зазначено, що гнучкий вал може витримувати крутячий момент до 44,1 Н м і максимальну робочу швидкість 15000 об/хв, мінімальний радіус вигину становив 17,8 см. Радіус вигину зменшився, коли обертовий вал зачепив ґрунт, і це зменшило крутний момент, оскільки при більш жорстких вигинах дроти всередині гнучкого валу труться один об одного сильніше збільшуючи тертя.

Після кількох спроб обертати механізм прополювання, дроти всередині гнучкого валу порвалися і врешті-решт вийшли з ладу, тому необхідно шукати інші конструктивні рішення для забезпечення роботи даної машини.

В результаті попередніх випробувань були замінені пасові передачі на ланцюгові. Для вдосконалення механізму поворотного кронштейна використали концепцію шарнірного важеля (рис. 2.5). поворотний механізм

керувався серводвигуном постійного струму(48 В). Цей двигун був з'єднаний з редуктором для зменшення обертової швидкості в п'ять раз.

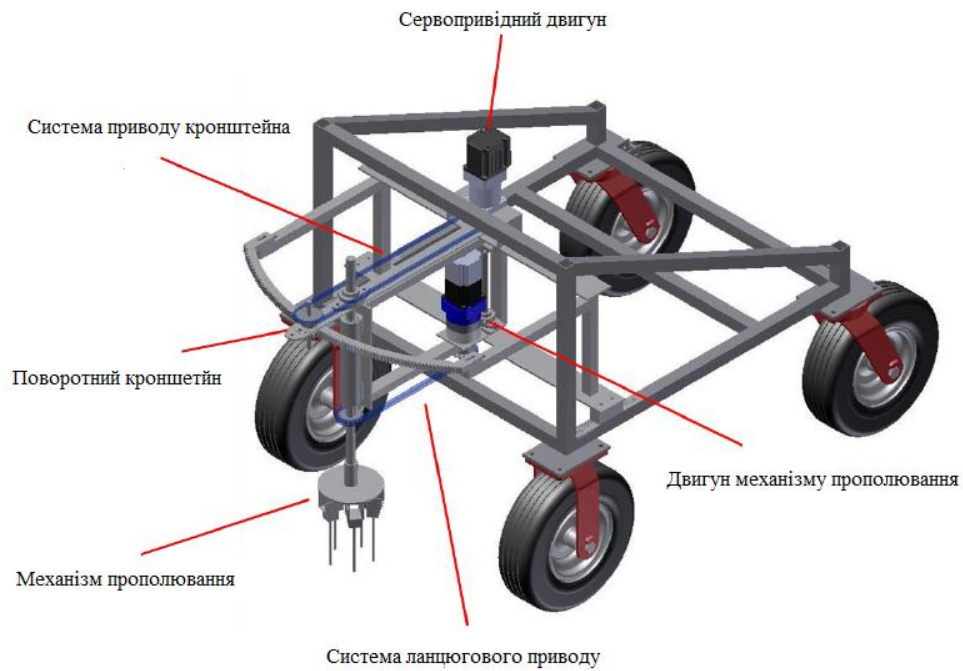


Рис. 2.5. Удосконалена конструкція автоматизованої системи знищення бур'янів.

В результаті запропонованих конструкційних рішень бу виготовлений прототип (рис. 2.6).



Рис. 2.6. Прототип з удосконаленим механізмом приводу прополювача.

Оброку отриманих даних проводили за допомогою методів математичної статистики [17-20].

Висновки по розділу 2

В другому розділ розроблений прототип автоматизованої установки для знищення бур'янів у рядках овочевих культур. За результатами випробовувань була змінена конструкція приводу установки, оскільки гнучкий вал не забезпечував якісної роботи механізму прополювання. Розроблена методика експериментальних досліджень конструкції автоматизованої системи для знищення бур'янів.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МЕХАНІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЗНИЩЕННЯ БУР'ЯНІВ У РЯДКАХ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР

При моделюванні режимів експлуатації робочих органів системи механізованого знищення бур'янів у рядка були прийняті наступні обмеження:

1. Результати моделювання були справедливими лише для стану ґрунту, який використовувався під час попереднього експерименту. Фактичну робочу зону слід переглянути, якщо зубці будуть використовуватися в різних ґрунтових умовах.

2. Рухи зубців вважалися бездоганим круговим рухом без перешкод, таких як каміння. Ця умова дозволяє суттєво полегшити моделювання процесу взаємодії робочих органів з ґрунтом.

3. Оскільки глибина впливає на робочу зону зубців, то глибина вважалася постійною на рівні 25,4 мм.

П'ятизубковий механізм прополювання зубів дав робочий діаметр 22,9 см. На основі результатів моделювання, щоб отримати однакову відстань між кожною траєкторією зубців, швидкість обертання потрібно було збільшувати щоразу, коли швидкість руху збільшувались. Моделювання було зроблено лише для невеликої відстані, щоб спостерігати чіткий рух в межах шляху кожного зубця.

При спостереженні за найнижчою швидкістю руху (0,8 км/год) було помічено, що мінімальна необхідна ефективна швидкість обертання становила 200 об/хв (рис. 3.1). Коли швидкість руху була збільшена до 1,6 км/год, необхідна мінімальна швидкість обертання також була збільшена до 350 об/хв (рис. 3.2). Найшвидша швидкість руху, яка була використана для моделювання, становила 2,4 км/год, а мінімальна швидкість обертання, необхідна для досягнення ефективної боротьби з бур'янами, становила 500 об/хв (рис. 3.3).

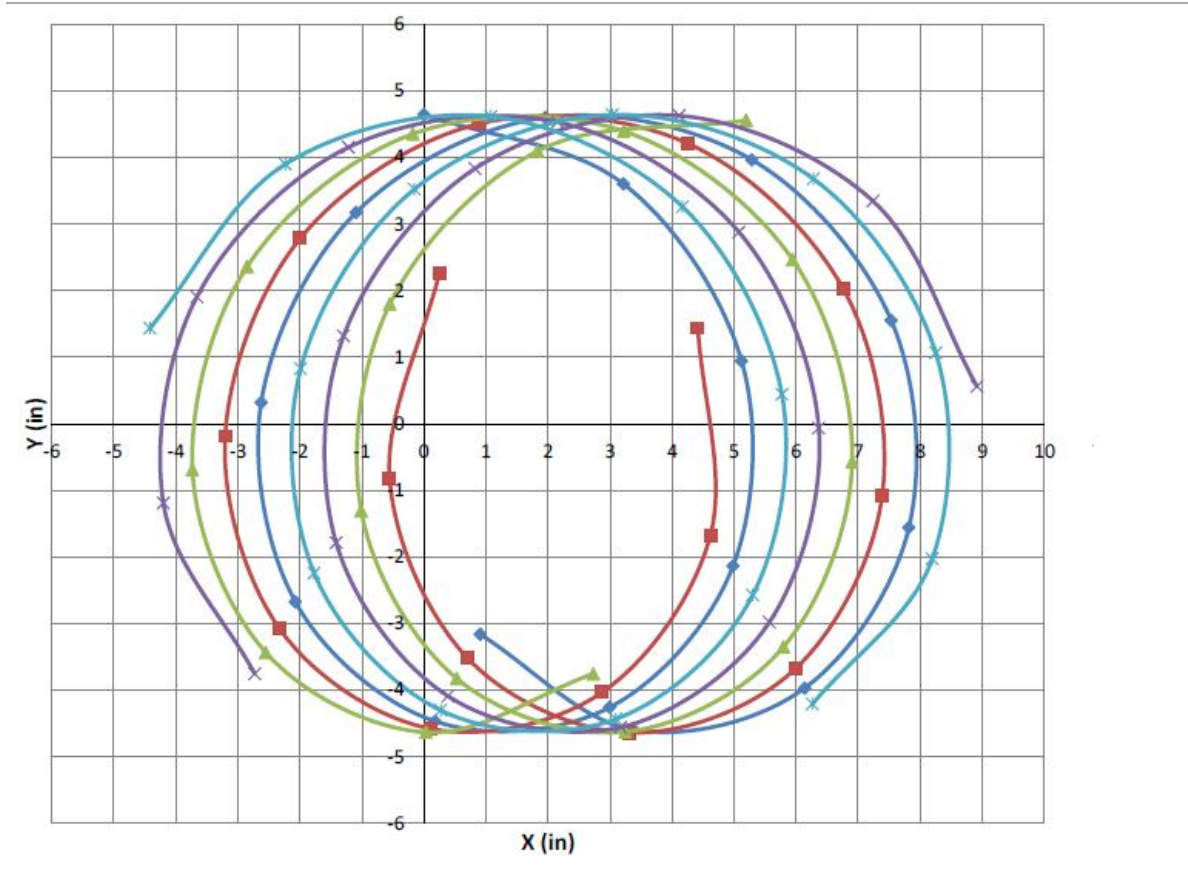
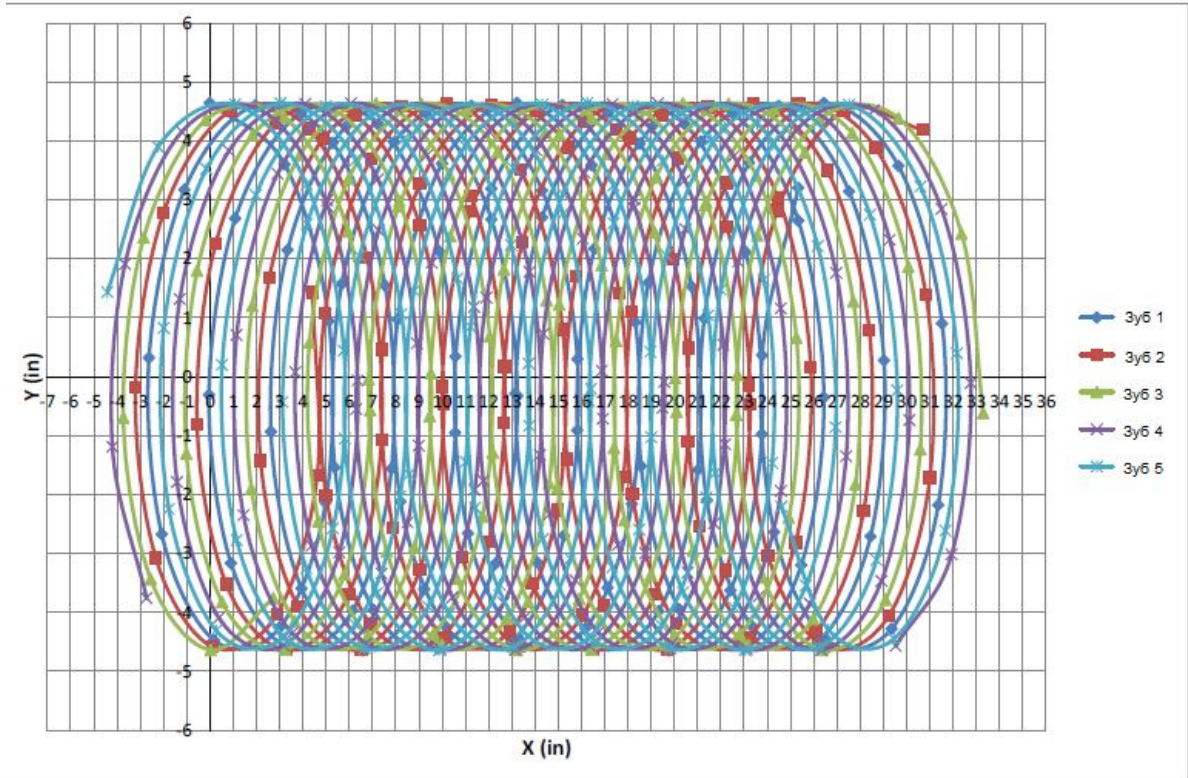


Рис. 3.1. Рух зубців для п'ятизубкового робочого органу (швидкість 0,8 км/год, частота обертання 200 об/хв).

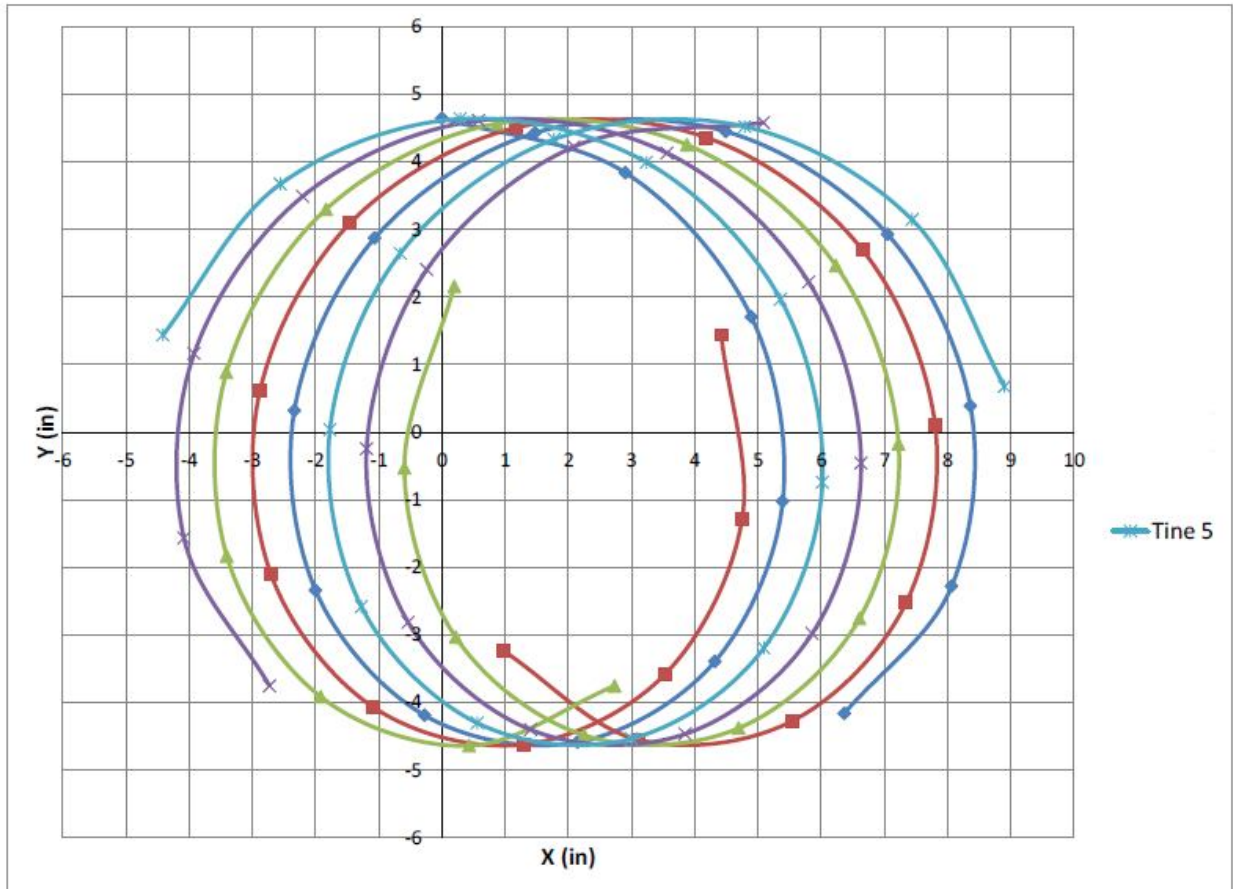
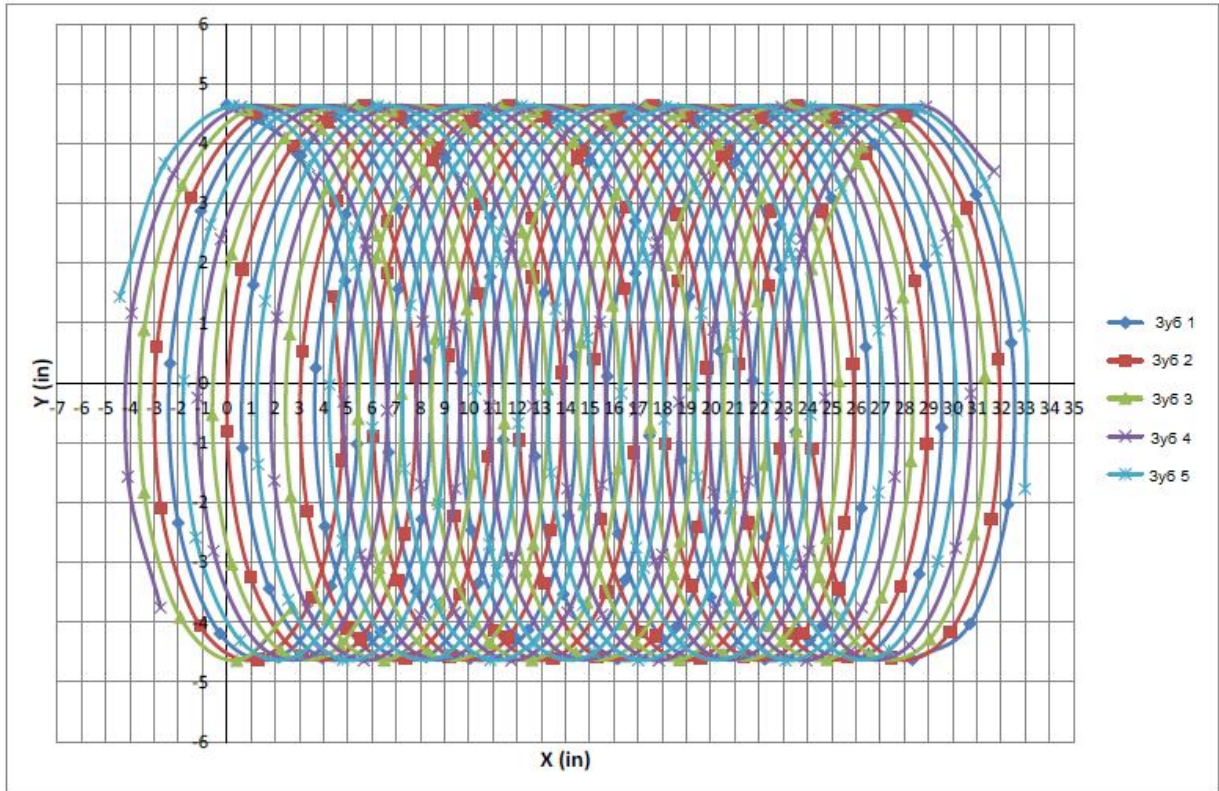


Рис. 3.2. Рух зубців для п'ятизубкового робочого органу (швидкість 1,6 км/год, частота обертання 350 об/хв).

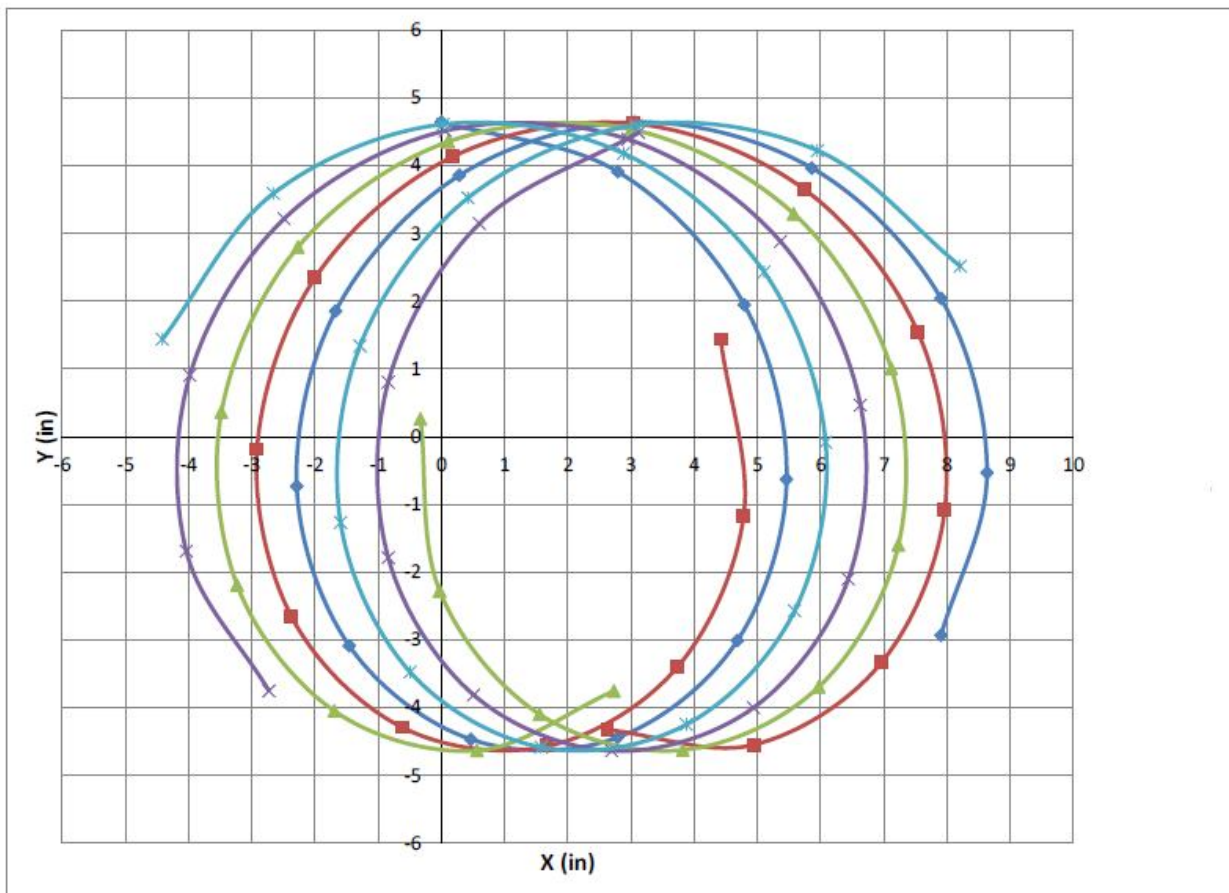
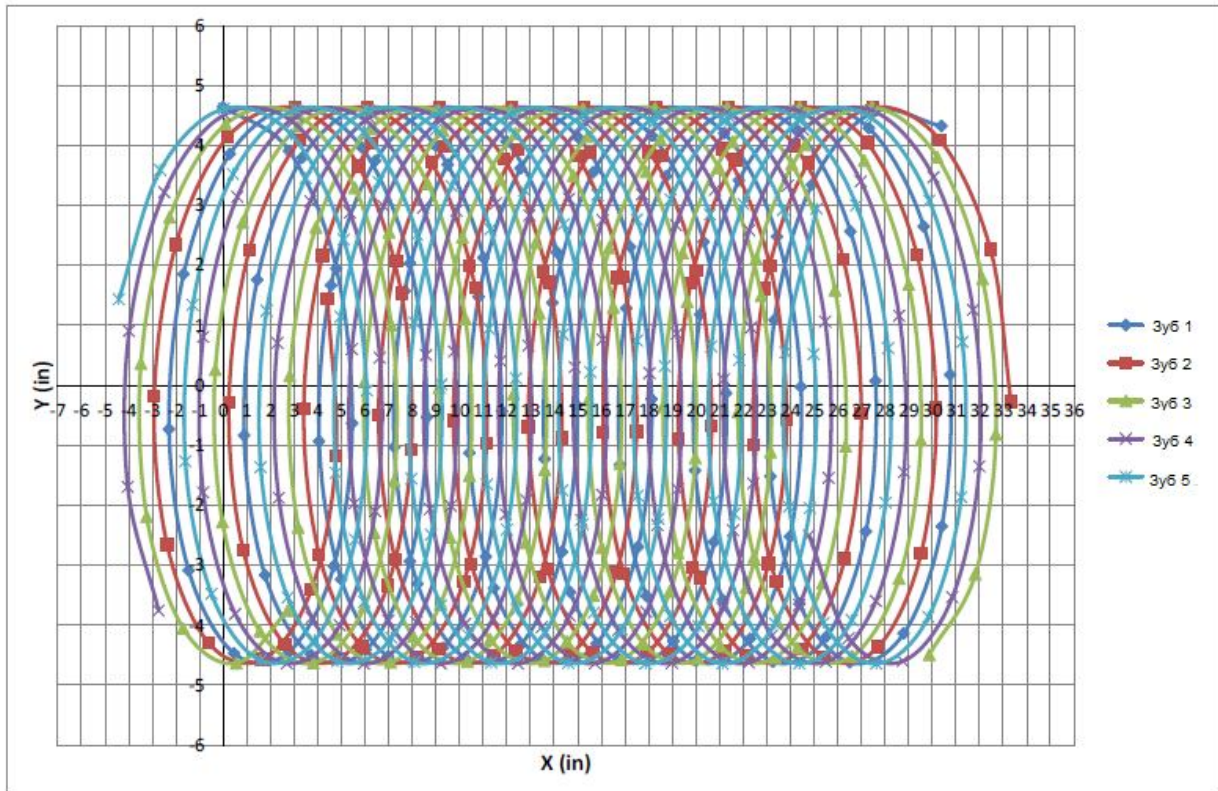


Рис. 3.3. Рух зубців для п'ятизубкового робочого органу (швидкість 2,4 км/год, частота обертання 500 об/хв).

Також був змодельований тризубовий механізм прополювання, що складається з трьох зубів, загальний діаметр робочого органу складав діаметру 12,7 см. Для дотримання вимог до швидкості двигуна, з новим набором зубців, у цьому моделюванні використовували однакову швидкість руху та однакову робочу глибину. Коли швидкість руху становила 0,8 км/год, мінімальна швидкість обертання, необхідна для ефективного контролю бур'янів, становила 350 об/хв (рис. 3.4). Коли швидкість руху була збільшена до 1,6 км/год, швидкість обертання довелося збільшити до 650 об/хв, щоб підтримувати ефективну боротьбу з бур'янами (рис. 3.5). При найшвидшій доступній швидкості руху, 2,4 км/год, мінімальна необхідна швидкість обертання становила 900 об/хв (рис. 3.16с).

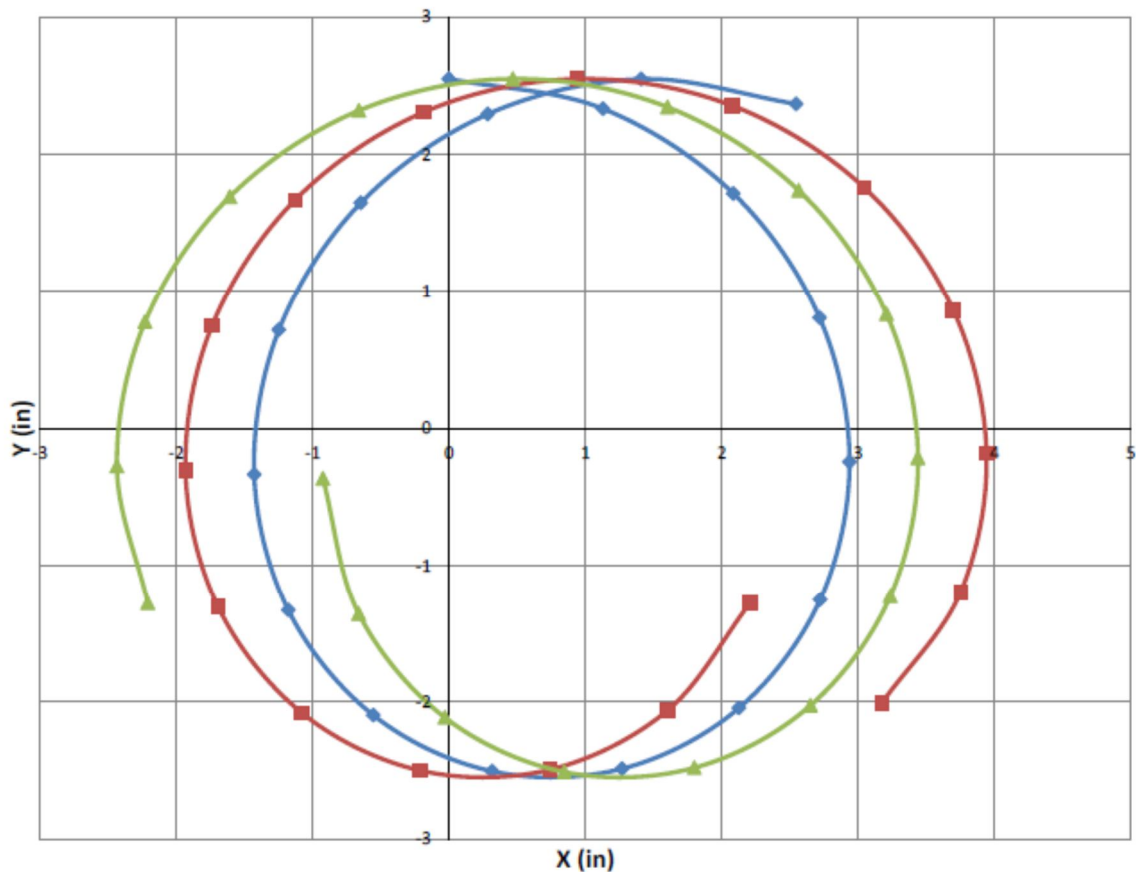


Рис. 3.4. Рух зубців для тризубого робочого органу (швидкість 0,8 км/год, частота обертання 350 об/хв).

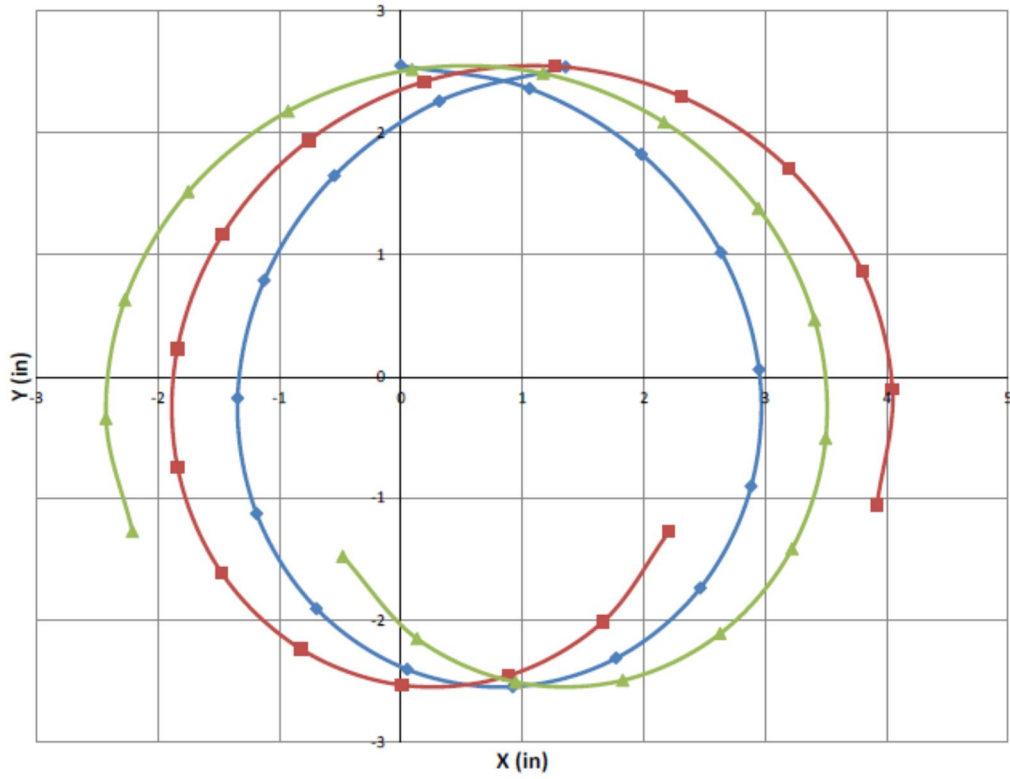


Рис. 3.5. Рух зубців для тризубого робочого органу (швидкість 1,6 км/год, частота обертання 650 об/хв).

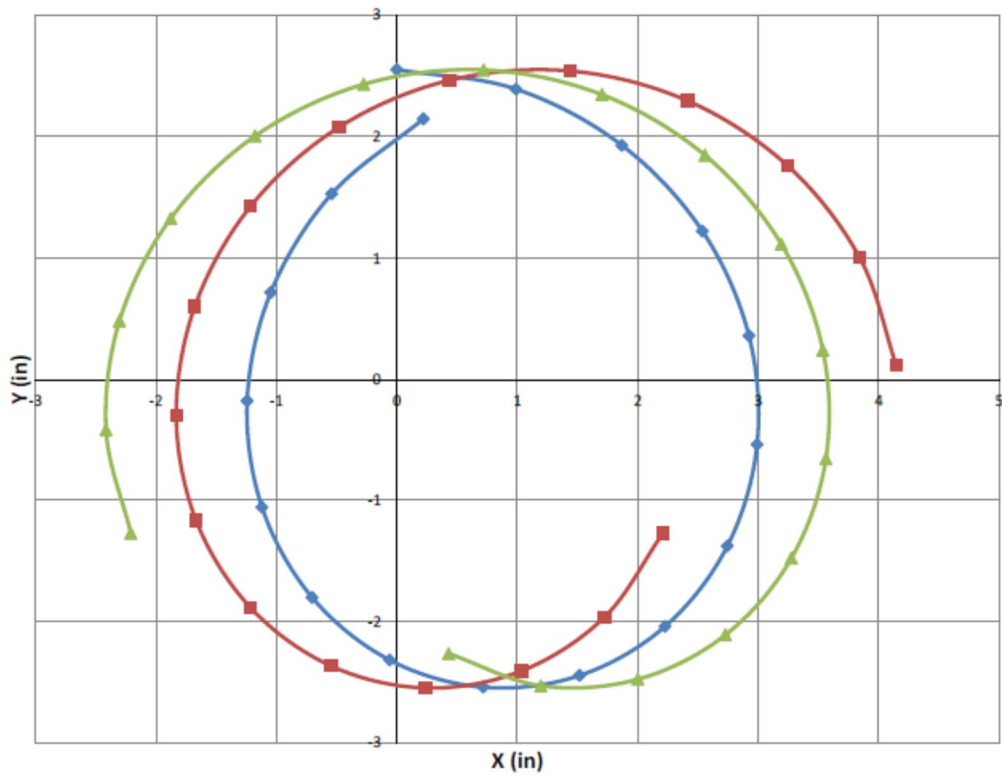


Рис. 3.6. Рух зубців для тризубого робочого органу (швидкість 2,4 км/год, частота обертання 900 об/хв).

Встановлений на прототип двигун міг забезпечити обертання тільки на рівні 400 об/хв, тому швидкість руху понад 1,6 км/год була недосяжною.

Подальші дослідження були проведені шляхом польового досліду з використанням робочого органу з трьома зубцями. В польовому досліді зубці були загострені з обох країв, що б підвищити ефективність викорчовування та зрізання бур'янів. Це також дозволить зменшити енергетичні затрати на руйнування ґрунту.

Експериментальні дослідження підвердили доцільність роботи на нижчих швидкостях для забезпечення якісної роботи системи (рис. 3.7).

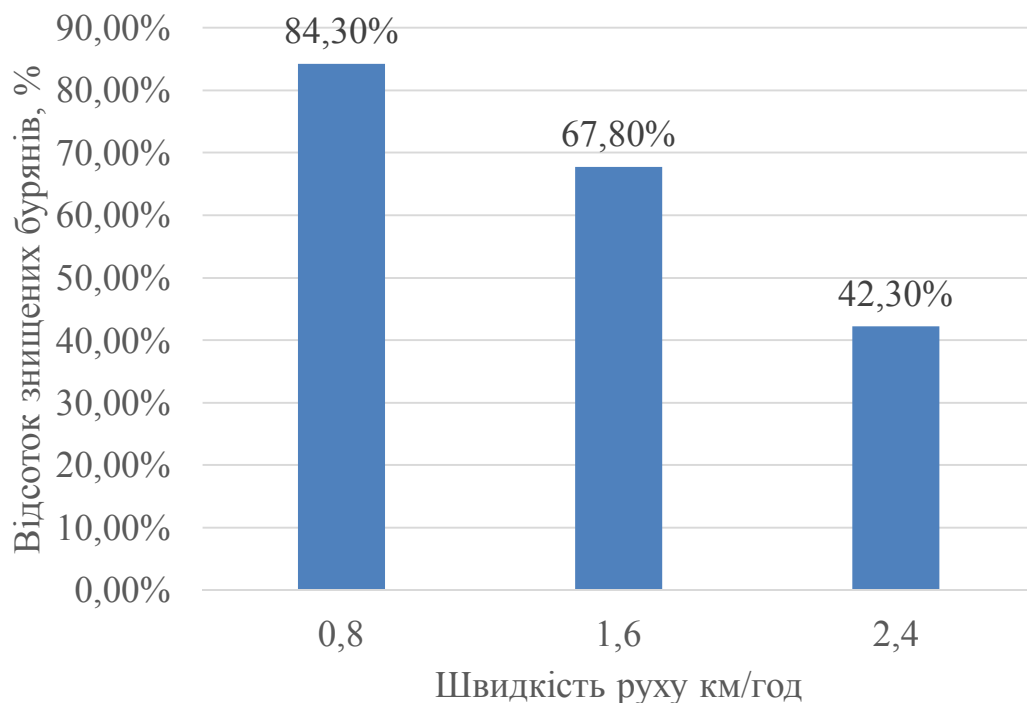


Рис. 3.7. Відсоток знищеного бур'яна в залежності від швидкості руху автоматизованої системи (швидкість обертання 350 об/хв, глибина обробітку 12 см).

Для забезпечення більш якісної боротьби з бур'янами на високих швидкостях необхідно забезпечити пропорційне зростання швидкості обертання робочого органу.

Використання п'ятизубковго механізму не призводить до підвищення якості обробітку, але призводить до суттєвого росту використання енергії.

Зростання глибини обробітку призводить до підвищення якості знищення бур'янів (рис. 3.8).

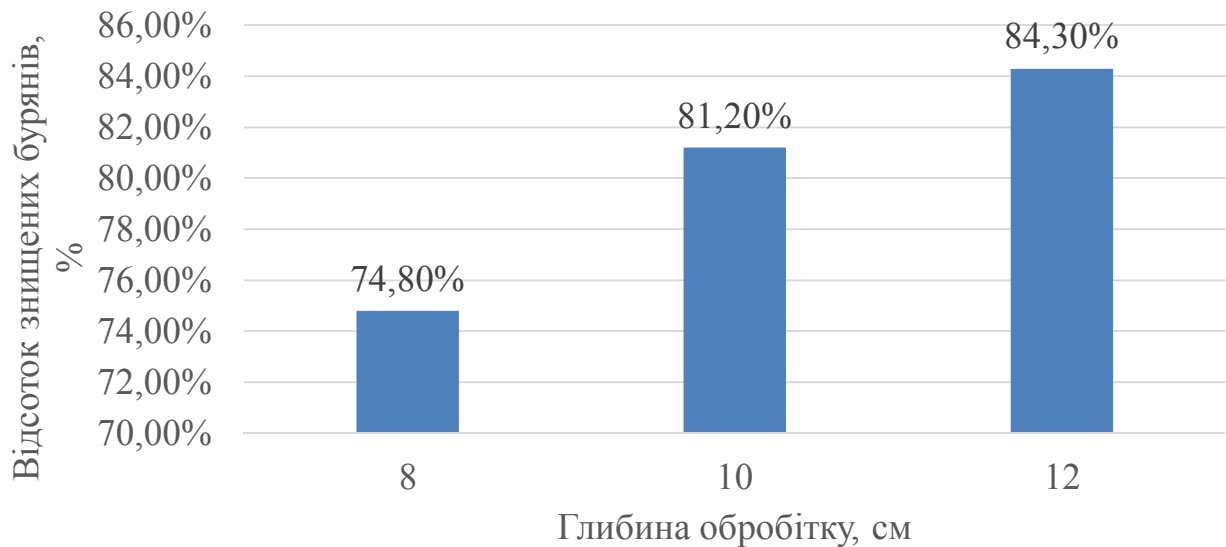


Рис. 3.8. Відсоток знищеного бур'яна в залежності від глибини обробітку (швидкість обертання 350 об/хв, швидкість руху 0,8 км/год).

Висновки по розділу 3

В результаті проведених досліджень встановлено, що трьохзубий робочий орган має суттєві переваги в порівнянні з використанням п'ятизубого робочого органу. Якість знищення бур'янів залежить від швидкості руху, швидкості обертання робочого органу та глибини обробітку.

ВИСНОВКИ

В результаті проведеного аналізу засобів боротьби з бур'янами встановлено, що найбільшого розповсюдження отримали хімічні засоби. Однак поява стійких до гербіцидів бур'янів, негативний вплив на навколишнє середовище та зростаючий попит на екологічно чисту сільськогосподарську продукцію привів до пошуку альтернативних засобів боротьби з бур'янами. Наявні механічні засоби боротьби з бур'янами не можуть знищувати бур'яни поблизу рослини і в міжрядному просторі, саме тому необхідна розробка механізованої системи знищення бур'янів у міжрядковому просторі.

Розроблений прототип автоматизованої установки для знищення бур'янів у рядках овочевих культур. За результатами попередніх випробовувань була змінена конструкція приводу установки, оскільки гнучкий вал не забезпечував якісної роботи механізму прополювання.

Моделювання руху робочих органів дозволив визначити оптимальні режими роботи механізованої системи знищення бур'янів у рядках овочевих культур. Зростання швидкості руху призводить до необхідності зростання частоти обертання робочого органу для забезпечення якісного видалення бур'янів і міжрядковому просторі. Зменшення глибини проникнення зубців у ґрунт менше за 10 см призводить до суттєвого погіршення якості знищення бур'янів.

Розроблена автоматизована система механізованого знищення бур'янів у рядках овочевих культур дозволяє знищувати бур'яни в межах 80...90%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гречкосій В. Д. Проектування технологічних процесів у рослинництві : навчальний посібник. Кіровоград : ПП Лисенко М.М., 2014. 392с.
2. Лихочвор В. В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. Львів : НВФ «Українські технології», 2010. 1088 с.
3. Кленин Н. И. Сельскохозяйственные машины : учебник для студ. вузов, обуч. по напр. «Агроинженерия». Москва : КолосС, 2008. 816 с.
4. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сизов О.А. Перспективные пути применения энерго- и экологически эффективных машинных технологий и технических средств. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. №4. С. 8-12.
5. Бартнев И. М. Влияние геометрических параметров универсального почвообрабатывающего орудия на его эффективность. *Лесотехнический журнал*. 2014. Т. 4. № 2. С. 197-203.
6. Гольтяпин В. Я. Роботы для полей: обзор интеллектуальной сельхозтехники. *Агробизнес* 2019. С. 28-35.
7. Зеленин А. Н., Юсупов М. Л. Автоматизация вождения сельскохозяйственных машин для обработки почвы, посева, ухода за растениями и уборки. Екатеринбург, 2014. 387 с.
8. Рунов Б. А. Основы технологии точного земледелия. Зарубежный и отечественный опыт. Санкт-Петербург : АФИ, 2012. 120 с.
9. Подураев Ю. В., Кулешов В.С. Принципы построения и современные тенденции развития мехатронных систем. *Мехатроника*, 2000. №1. С. 5–10.

10. Беленков А. Розробка проекту впровадження точного землеробства.
URL: <https://smartfarming.ua/ua-razrabotka-proekta-vnedreniya-tochnogo-zemledeliya>.
11. Руденко М.В. Проблеми та перспективи цифровізації сільськогосподарських підприємств. *Стратегія розвитку агропромислового комплексу в умовах інтеграційних процесів: матеріали конференції*, 24.11.2018 року. Київ : ННЦ«ІАЕ», 2018. С. 197-200.
12. Гевко, Р. Б. Машины сільськогосподарського виробництва : навчальний посібник. Тернопіль : ТДПУ, 2005. 228 с.
13. Капустин В.П. Глазков Ю.Е. Сельскохозяйственные машины. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. 104 с.
14. Кобяков И.Д. Машины и оборудование в растениеводстве: курс лекций. Омск : ОмГАУ им. П.А. Столыпина, 2012. 120 с.
15. Ходосевич В. И., Радишевский Г. А., Кузьмицкий А. В. Сельскохозяйственные машины Минск: БГАТУ, 2010. 600 с.
16. Техніка сільськогосподарська. Тривалість та агросроки проведення випробувань. КНД.46.16.02.16-97.
17. Avgoustinov Nikolay. Modelling in Mechanical Engineering and Mechatronics. London: Springer, 2007. 241 p.
18. Canavero F. Uncertainty Modeling for Engineering Applications. 2019. Springer. 186 p.
19. Зелинский А. Н. Математические методы оптимизации в машиностроительном производстве. Учебное пособие. Алчевск : ДонГТУ, 2014. 157 с.
20. Потапов Б. Ф., Крюков А. Ю. Математическое моделирование процессов в машиностроении. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. 322 с.