

ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему

**Підвищення ефективності мостового землеробства
шляхом розробки пристрою для розпізнавання
бур'янів**

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-3-23

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Мицик Данило Олександрович

Керівник: _____ Бойко Владислав Борисович

Рецензент: _____

Дніпро 2024

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри
тракторів і сільськогосподарських машин

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«__» _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Мицику Данилу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності мостового землеробства шляхом розробки пристрою для розпізнавання бур'янів

керівник роботи Бойко Владислав Борисович к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«12» листопада 2024 року № 3784

2. Строк подання студентом роботи 9.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові рішення кафедри ТСГМ з даної тематики. Вихідні дані господарства та огляд конструктивних та теоретичних рішень з підвищення тягово-зчіпних показників тракторів що працюють з напівпричепами.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання і завдання досліджень. 2. Теоретичні дослідження. 3. Експериментальні дослідження. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Економічна ефективність роботи. Висновки. Список використаних джерел

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (2 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (3 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (3 аркуші, А4) 4. Охорона праці (1 аркуш, А4) 4. Економічні показники (1 аркуш, А4). 5. Висновки (1 аркуш, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Бойко В. Б., доцент		
нормоконтроль	Золотовська О.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 5.09.2024р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 18.09.2024 р.	Виконано
2	Теоретичний	до 21.10.2024 р.	Виконано
3	Експериментальний	до 18.11.2024 р.	Виконано
4	Охорона праці	до 22.11.2024 р.	Виконано
5	Економічний	до 28.11.2024 р.	Виконано
6	Демонстраційна частина	до 9.12.2024 р.	Виконано

Студент

_____ (підпис)

Мицик Д.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Бойко В.Б.

(прізвище та ініціали)

<i>№ п/п</i>	<i>форм</i>	<i>Позначення</i>	<i>Найменування</i>	<i>Кіл.</i>	<i>Приміт.</i>
			<i>Текстові документи</i>		
A4			<i>Пояснювальна записка</i>	<i>85</i>	
			<i>Демонстраційні матеріали</i>		
A4			<i>Мета і задачі досліджень.</i>	<i>2</i>	
A4			<i>Теоретичні дослідження</i>	<i>3</i>	
A4			<i>Експериментальні</i>	<i>3</i>	
A4			<i>Охорона праці</i>	<i>1</i>	
A4			<i>Економічні показники</i>	<i>1</i>	
A4			<i>Висновки</i>	<i>1</i>	

<i>Подп. и дата</i>	
<i>Взам. инв. №</i>	
<i>Инв. № дубл.</i>	
<i>Подп. и дата</i>	
<i>Инв. № подп</i>	

			<i>52.ДР.034.000.000.РД</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>	
<i>Розроб.</i>		<i>Мицик Д.О.</i>			<i>Відомість дипломної роботи</i>
<i>Перев.</i>		<i>Бойко В.Б.</i>			
<i>Т. контр.</i>					
<i>Н. контр.</i>		<i>Золотовська</i>			
<i>Зат.</i>		<i>Теслюк Г.В.</i>			

<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
	5	85

<i>ДДАЕУ</i>
<i>МГАІ-1-23</i>

РЕФЕРАТ

Мицик Д. О. Підвищення ефективності мостового землеробства шляхом розробки пристрою для розпізнавання бур'янів/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

Кваліфікаційна робота присвячена підвищенню ефективності мостового землеробства завдяки розробці та впровадженню пристрою для прополювання бур'янів на вирощуванні сільськогосподарських культур.

Мостова технологія на вирощуванні сільськогосподарських культур дозволяє наблизити процес виконання механізованих робіт а автоматичному режимі та суттєво знизити використання палив нафтового походження.

Скориставшись досвідом науковців кафедри ТСГМ за обраною тематикою та результатами проведеного аналізу розроблено пристрій для розпізнавання бур'янів та виконання технологічних операцій в умовах поля, адаптованого для агрегування з агромостовою машиною, який дозволить підвищити ефективність мостового землеробства.

Експериментальними дослідженнями доведено ефективність роботи пристрою для розпізнавання бур'янів, адаптованого для агрегування з агромостовою машиною.

Розроблено заходи по охороні праці при експлуатації пристрою для розпізнавання бур'янів в агрегаті з агромостовою машиною.

Проведені економічні розрахунки підтвердили ефективність запропонованого пристрою розпізнавання бур'янів в мостовій технології

Ключові слова: точне землеробство, мостове землеробство, агроміст, машинний зір, штучний інтелект, ущільнення ґрунту.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	11
1.1 Біологічні особливості бур'янів	11
1.2 Використання машинного зору для ідентифікації бур'янів	15
1.3 Аналіз альтернативних шляхів видалення бур'янів	18
1.4 Аналіз пристроїв для ідентифікації і видалення бур'янів	21
1.5. Висновки	26
1.6 Мета і завдання досліджень	26
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	27
2.1 Актуальність впровадження мостового землеробства	27
2.2. Особливості мостового землеробства та схема агромоста	30
2.3 Теоретичні дослідження каретки агромоста для агрегування з сільськогосподарськими машинами	35
2.4 Розробка та теоретичне дослідження пристрою для розпізнавання бур'янів на вирощуванні столового буряка	42
2.5 Висновки	47
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	48
3.1 Програма експериментальних досліджень	48
3.2 Експериментальна установка пристрою для виявлення бур'янів	48
3.3 Розробка методики та проведення досліджень машинного зору пристрою з виявлення бур'янів за різного освітлення	50
3.4 Методика та результати досліджень процесу розпізнавання рослин за різної висоти розміщення спектральної камери	58
3.5 Дослідження точності роботи пристрою розпізнавання бур'янів	62
3.6 Висновки	64

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	65
4.1 Організація охорони праці	65
4.2 Вимоги з охорони праці під час експлуатації мостової машини	68
4.3 Розрахунок заземлення мостової машини	70
4.4 Висновки	73
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ	74
Висновки	79
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	82
ДОДАТКИ	86

ВСТУП

Актуальність роботи. Головним конкурентом сільськогосподарських рослин в боротьбі за ресурси, (волога, світло та поживні речовини) являються бур'яни [1].

В землеробстві видалення бур'янів все ще виконується вручну, що призводить до зростання собівартості кінцевої продукції [2]. Процес видалення являється досить трудомістким для людини. Основною особливістю точного землеробства являється вирощування екологічно чистої продукції за рахунок зниження використання хімічних засобів боротьби з бур'янами гербіцидів. Тому з поширенням тенденції впровадження точного землеробства виникає потреба в розробці пристроїв здатних виконувати внесення гербіцидів не класично широкосмуговим способом а точково тільки в зону розміщення бур'янів.

Зараз все більше з'являється самохідних роботизованих засобів здатних в автоматичному режимі видаляти бур'яни [3]. В зв'язку з цим самохідні роботи обладнуються вартісними системами навігації, які суттєво впливають на їх вартість. Тому актуальним буде поєднання точного землеробства з мостовою технологією вирощування сільськогосподарських культур. Жорстка прив'язка мостової машини дозволяє відмовитися від вартісних систем навігації та дозволить спростити процес автоматизації основних технологічних операцій завдяки використанню в технології електроприводів.

В останні роки альтернативними методами по знищенню бур'янів є механічні, теплові та з використанням опромінення [4]. Роботизовані пристрої для знищення бур'янів можуть працювати в групах і знижувати швидкість проходження кожної окремої машини без значного збільшення часу, необхідного для операції видалення бур'янів. Зниження вимог до швидкості забезпечує

можливість застосування альтернативних та енергоефективних методів видалення бур'янів [5].

Все більше почали використовуватися самохідні роботизовані платформи, які завдяки невеликим розмірам та масі зменшують ущільнення ґрунту в порівнянні з іншою сільськогосподарською технікою, що позитивно впливає на розвиток кореневої системи [6], а відповідно збільшується врожайність.

Для розпізнавання рослин на роботизовані платформи встановлюються системи з використанням технології машинного зору, що дозволяє досить ефективно розпізнавати бур'яни та культурні рослини, за контурними та колірними властивостями бур'янів. Завдяки накопиченим дослідним даним формуються бібліотеки, які використовує машинний зір для точного визначення бур'янів з загального масиву рослин [7, 8]. Отже використавши напрацювання в даному напрямку, актуальним буде розробка пристрою для розпізнавання бур'янів з машинним зором в мостовому землеробстві.

Мета роботи. Підвищення ефективності мостового землеробства шляхом розробки методу, алгоритму та пристрою для розпізнавання бур'янів з машинним зором на базі агроплатформи.

Завдання кваліфікаційної роботи:

1. Розробка методики розпізнавання рослин овочевих культур на прикладі томатів на ранніх стадіях вегетації;
2. За результатами проведеного аналізу розробити пристрій для розпізнавання бур'янів та виконання технологічних операцій в умовах поля;
4. Провести експериментальні дослідження оцінки ефективності роботи пристрою для розпізнавання бур'янів
5. Провести оцінку економічної ефективності запропонованого пристрою розпізнавання бур'янів в мостовій технології.

Об'єкт дослідження. Пристрій для розпізнавання бур'янів.

Предмет дослідження. Процес розпізнавання та контролю бур'янів на ранніх стадіях вегетації культурних рослин у мостовому землеробстві.

Наукова новизна досліджень:

- комп'ютерна модель роботи пристрою розпізнавання бур'янів та культурних рослин;
- запропоновано методику автоматизованого моніторингу рослин на полі;

Практичне значення кваліфікаційної роботи.

Застосування розробленої пристрою дозволяє проводити технологічні процеси контролю бур'янів на ранніх етапах вегетації сільськогосподарських рослин. Дослідженнями обґрунтовано раціональні значення конструктивних і технологічних параметрів пристрою, розроблено дослідний зразок пристрою для точкового знищення бур'янів, програмне забезпечення для функціонування пристрою.

Методологія та методи дослідження. Теоретичні дослідження з розпізнавання бур'янів проводили на основі морфології алгоритмів машинного зору, що включає вдосконалений метод сегментації зображень для ідентифікації. Експериментальні дослідження та виробничі випробування проводили відповідно до державних стандартів. Обробка результатів досліджень виконувалася з використанням статистичних методів та програмних пакетів Autodesk fusion 360, MathCad 17, Excel, PlanExp Python 3, STATISTICA, Arduino IDE.

Апробація. За результатами виконаної кваліфікаційної роботи опубліковано в збірнику тез III Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених 15 листопада 2024 «Інжиніринг технологій і технічних систем агропромислового комплексу».

1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Біологічні особливості бур'янів

Період вегетації більшості бур'янів, тісно збігається з початком розвитку культурних рослин, що визначає строки початку проведення заходів з боротьби з бур'янами, запобігаючи неприйнятним втратам врожайності сільськогосподарських культур [9]. Впливу бур'янів на пригнічення вегетації культурних рослин присвячено багато робіт, які мають досить мінливі результати, оскільки вегетація та розвиток бур'янів значно залежатимуть від різновиду та біологічних характеристик бур'яну, його щільності на ділянці, зміни кліматичних умов і строку посіву сільськогосподарських культур і таке ін. [10]. Основними заходами боротьби з бур'ян являються: агротехнічні, хімічні та механічні.

До агротехнічних заходів відносяться проведення сівозмін, парування ґрунтів, терміни і густота посадки культурних рослин, регулювання ширини міжрядь [11]. Але проведення таких заходів самотійно не мають активного ефекту на багаторічні та активно відростаючі бур'яни. Зазвичай такі заходи виконуються комбіновано з виконанням хімічних чи механічних заходів.

Розглянемо основні види бур'янів, які мають поширення на полях Дніпропетровщини (рис. 1.1).

Пирій повзучий (рис. 1.1, а) – багаторічна трав'яниста рослина з стійкою розлогою кореневою системою, найвідоміший вид роду пирій сімейства злакових.

Смілка широколиста (рис. 1.1, б) – трав'яниста дводольна рослина роду Смілка сімейства Гвоздична, що росте в більшості країн Європи, західної Азії та Північної Африки

Осот польовий (жовтий, молочайний (рис. 1.1, в)– багаторічна трав'яниста рослина з міцним гострим коренем роду осот сімейства астрові, або складноцвіті.



а



б



в



г



д



е



ж



з



і

Рисунок 1.1 – Різновиди бур'янів

Полинолиста амброзія (рис. 1.1, г) – отруйна багаторічна кущоподібна рослина, як і осот належить до сімейства астрових, або складноцвітів.

В'юнок польовий (рис. 1.1, д) також належить до багаторічних трав'янистих рослин з родини в'юнкові з кучерявим стеблом і повзучим розлогим кореневищем, що має схильність до гілкування. Досить важко на пізніх стадіях вегетації видаляється механічним способом досить схильна до заготовування робочих органів полільників зеленою масою.

Полин звичайний (чорнобильник) (рис. 1.1, є) – вид багаторічних трав'янистих рослин роду полиневих з міцним та високим кущоподібним стеблом, сімейства айстрових. Таку назву отримав за чорнувате стебло.

Щириця звичайна інша назва Амарант (рис. 1.1, ж) трав'яниста рослина що належить до родини амарантових, і також відноситься до однорічних бур'янів. Завдяки великому вмісту білка та вітамінів є хорошим кормом для тварин та використовується в кулінарії багатьох країн.

Лобода біла (рис. 1.1, з) належить до однорічних рослин родини лободових, яка має сіро-зелений колір. Відноситься до не спеціалізованих бур'янів, використовується в деяких випадках як лікарська рослина а також корм для тварин.

Мишій або інша назва щетинник (рис. 1.1, і) однорічний бур'ян, що належить до родин злакових, загальна кількість видів сягає близько 130. Поширений практично на всіх континентах. Деякі види використовують для харчування тварин, також використовується в медицині.

Розглянуті вище бур'яни це рослини, як однорічні так і багаторічні. На рисунку 1.2 приведено класифікацію бур'янів [12]. Так цикл однорічних рослин розпочинається з проростання навесні подальшої вегетації протягом літа і відцвівши завершують свій життєвий цикл восени після дозрівання нового насіння. Багаторічні бур'яни мають значно триваліший життєвий цикл, який може тривати від двох до п'яти років а то і більше, деякі види наприклад пирій, кульбаба існують десятиліттями. Такі рослини здатність розмножуватися не

тільки насінням, а й вегетативним шляхом (відрізки кореневищ, бульби), що значно ускладнює боротьбу з ними механічним способом. Тому найбільш актуальним буде хімічний спосіб з використанням гербіцидів [13]. Незважаючи на те, що існує велика кількість машин для міжрядного обробітку (міжрядна прополка), контроль бур'янів в рядах все ще виконується з використанням ручної праці що вимагає великих трудозатрат та підвищення собівартості вирощуваної продукції. Особливо це характерно для с.г. культур в яких повільний вегетаційний процес росту (морква, столові буряки цибуля кріп, салати та ін), (рисунок 1.3) [4].

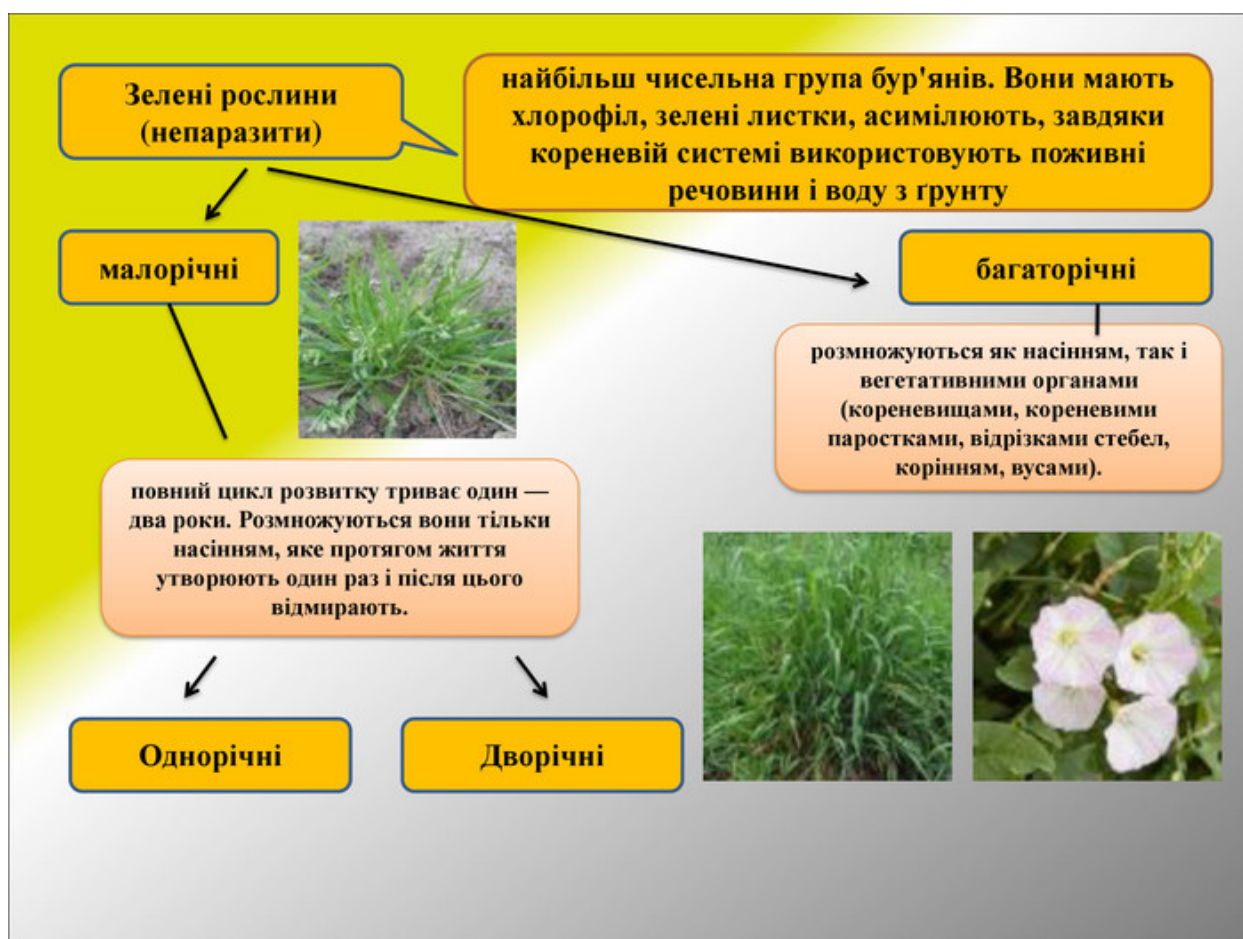


Рисунок 1.2 – Класифікація бур'янів

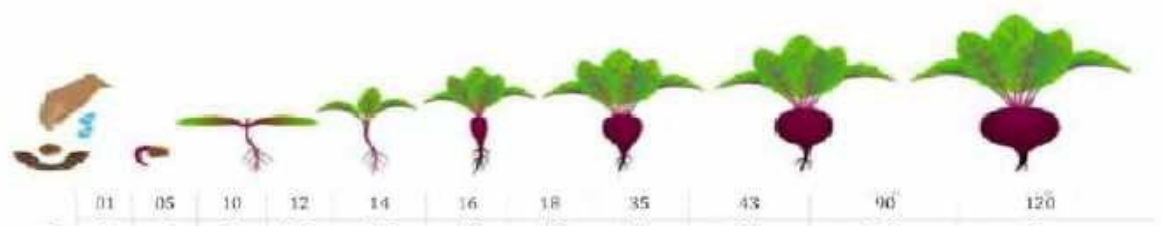


Рисунок 1.3 – Вегетаційний період на прикладі столового бур'яка по дням

Зазвичай бур'ян росте близько до культурних рослин або всередині рядів, що суттєво ускладнює процес механічного видалення бур'янів [14]. Бур'яни являються паразитною рослинністю, що виснажує поживну частину площі та пригнічує ріст культурних рослин. Але завдяки своїй біологічній особливості їх досить легко ідентифікувати використовуючи особливі фільтри на камерах, що встановлюються на самохідних роботизованих платформах, які в останні часи все більше застосовуються для проведення моніторингу появи бур'янів на полях. Впровадження цих технологій з поєднанням з машинним зором дозволить більш точно відрізнити бур'ян від культурних рослин [15].

1.2 Використання машинного зору для ідентифікації бур'янів

Завдяки постійному вдосконаленню та накопиченню отриманих даних все більше розширюються бібліотеки систем виявлення бур'янів, що в поєднанні з впровадженням штучного інтелекту дозволяє все точніше реалізувати їх роботу, а саме ідентифікацію бур'янів. Розміри отриманих даних можуть бути збільшені завдяки об'єднанню даних, що надходять з декількох камер та датчиків встановлених з різних ракурсів на пристрої розпізнавання бур'янів (рис. 1.4) [16].

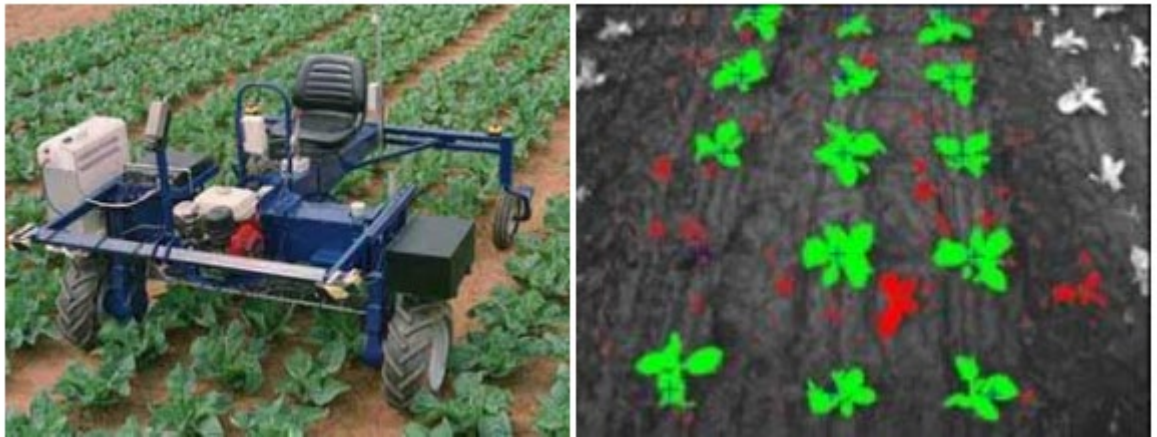


Рисунок 1.4 – Робота самохідного роботизованого пристрою з розпізнавання бур'янів (Англія)

Машинний зір – відноситься до розділу робототехніки, який виконує аналіз зображень та відповідно вирішує промислові завдання. Найчастіше машинний зір в сільському господарстві використовується для реалізації точного позиціонування машин та робочих органів при виконанні технологічних операцій з вирощування сільськогосподарських культур. Використовуючи супутники відбувається картографування з використанням GPS технології (рис. 1.5), яке дозволяє отримати 3D моделі ділянок земних ділянок з можливістю досить точного визначення їх геометричних розмірів [17].



Рисунок 1.5 – GPS-картографування

Точність таких вимірювань відносно висока і максимальне відхилення може становити не більше 20 сантиметрів. Найбільш важливими властивостями таких систем машинного зору є простота експлуатації, продуктивність, вартість, досить висока надійність, постійна технічна підтримка, широкий спектр необхідних налаштувань, повний набір діагностики.

Отримані результати картографії можливо редагувати в режимі 2D-зображеннями, змінювати контрастність, виконати виділення необхідної ділянки по її краям, виконувати обертання зображення для зручного читання карти поля. Виконання редагування зображень можливо виконувати незалежно від їх вихідного файлу.

Використовуючи можливості штучного інтелекту обробку зображень можливо виконувати з швидким їх аналізом. Використання нейронних мереж на яких побудовано штучний інтелект дозволяють підбирати необхідні алгоритми операцій на вирощуванні сільськогосподарських культур, що дозволить його оптимізувати. Досить великий обсяг даних сільськогосподарського виробництва, що потрапляє до бібліотек нейромереж сприяє швидкими темпами самонавчання штучному інтелекту, що покращує точність його рішень.

Так використання штучного інтелекту (ШІ) і методів CNN дозволяє досить точно відрізнити бур'яни від культурних рослин. В порівнянні з традиційними методами обробки графічних зображень картографії де вручному режимі виконується обробка даних, використанні ШІ дозволяє суттєво спростити аналіз та винести потрібне проектне рішення завдяки використанню DL-моделей отриманих завдяки ШІ. Все це потрібно для визначення характерних особливостей рослин і їх ідентифікації. За останні роки все більше таких систем з використанням штучного інтелекту використовуються в проектуванні самохідних роботизованих платформ на базі, яких розміщено робочі органи для моніторингу та виконання технологічних операцій в автоматичному режимі. Ось найбільш поширені із них, що продемонстрували високу ефективність: Inception-v3, ChangeNet, DenseNet.

Незважаючи на переваги систем з ШІ є проблемні моменти з їхнього використання а саме використання високопродуктивної обчислювальної техніки, використання ручної праці для наповнення бібліотек великим обсягом даних з правильною анотацією зображень. Зображення повинні бути отримані за різних факторів (освітлення, тіні та ін.).

Таким чином, традиційні методи розпізнавання рослин не втратили свою актуальність і продовжують залишатися об'єктом вивчення та досліджень, завдяки їх простоті та практичній значимості.

На даний час існує велика потреба в вивченні та дослідженні взаємозв'язку між робочими органами для прополювання та системою розпізнавання бур'янів.

1.3 Аналіз альтернативних шляхів видалення бур'янів

На теперішній час існує велика кількість альтернативних способів боротьби з бур'янами, але найбільш поширеними являються класичні способи з використанням підрізання рослин чи внесення гербіцидів, що пояснюється їх простотою. Але не завжди просте значить корисне так підрізання не дозволяє здійснити обробіток в рядку, а використання тривало хімічних засобів сприяє їх накопиченню в ґрунті та продуктах виробництва, що негативно впливає на довкілля та споживачів продукції. Тому останнім часом все більше з'являється альтернативних способів боротьби з бур'янами, які не несуть екологічного навантаження на довкілля та споживачів [18].

Для реалізації таких способів розроблено пристрої з використання стиснутого повітря, відкритого вогню, пари, електричного струму, лазерів, води.

Використання **стисненого повітря** дозволяє проводити видалення, як в міжрядді так і в рядку. Використовуючи дві горизонтальні форсунки стиснене повітря спрямовується з обох боків ряду приблизно на 2 см над поверхнею

грунту, видалення відбувається імпульсом повітря в момент проходження бур'янів.

Використання *відкритого полум'я* (рис. 1.6) наступний спосіб знищення бур'янів. Використовуючи газові форсунки відбувається термічне ушкодження з наступною загибеллю бур'янів, при цьому не травмуючи культурні рослини. Використовуючи невеликі пальники та імпульсну їх роботу можливо проводити роботи по знищенню бур'янів в рядку.



Рисунок 1.6 – Вогневий спосіб знищення бур'янів

Електричний розряд. Це спосіб знищення бур'янів з використанням електричного струму, який дозволяє точково та досить швидко знищувати бур'яни завдяки протіканню струмів високої напруги 15-18 кВ з тривалістю імпульсу близько 200 мс, величина струму при цьому становила 30 мА. Система дозволяє з 100% результатом знищувати дрібні бур'яни, але не ефективна на великих рослинах. Однією з умов експлуатації таких систем є високі вимоги дотримання техніки безпеки.

Гаряча вода або пар (рис. 1.7) ще один із альтернативних способів боротьби з бур'янами. Завдяки тепловому впливу відбувається ушкодження бур'янів та наступна їх загибель. Такий спосіб не дозволяє вибірково проводити боротьбу з бур'янами, тільки суцільно, що призводить до знищення всіх рослин. Такий спосіб ефективний при проведенні парування ґрунтів.



Рисунок 1.7 – Знищення бур'янів паром

В останні роки все більше отримує поширення спосіб з **лазерним опроміненням** рослин (рис. 1.8). Виконуючи опромінення лазер випалює стебла бур'янів або впливає на затримку їх росту. Використання лазера ефективно на ранніх стадіях розвитку бур'янів. Лазер не може різати під поверхнею землі, тому незначно впливає на деякі види бур'янів. З іншого боку, відсутність руху ґрунту запобігає проростанню закопаного насіння. Досягнення розумної продуктивності необхідний лазер високої потужності, що з високими витратами [60].



Рисунок 1.8 – Лазерне знищення бур'янів

Використання **струменя води** під високим тиском дозволяє підрізати поверхневу частину бур'янів а для прорізування і культурних просапних

рослин. За результатами польових досліджень з сіянцями зі стеблами завтовшки 1,5 мм було пошкоджено близько 65-77% сіянців, але при збільшенні товщини стебела до 3 мм ефект практично не спостерігався.

Розглянуті альтернативні способи боротьби з бур'янами дозволяють знизити навантаження на навколишнє середовище та споживачів рослинної продукції. Близькість розташування бур'янів відносно культурних рослин не дозволяє їх широко використовувати в рядку без дотримання захисної зони.

1.4 Аналіз пристроїв для ідентифікації і видалення бур'янів

Піонерами в розробці технології ідентифікації бур'янів являється компанія ТНТ (Англія), яка в період з 1993 по 1996 рік провела роботу над створенням і дослідженням самохідної автономної платформи (рис 1.9) [19] для моніторингу розвитку рослин. Використання фільтра «Келман» на камерах дозволяє досить точно визначити бур'ян в посівах культурних рослин.



Рисунок 1.9 – Самохідна платформа для проведення моніторингу розвитку рослин компанії «ТНТ»

Тринадцятирічна співпраця компанії «ТНТ» з фірмою «Garford Farm Machinery» дозволила реалізувати систему з точної координації робочих органів ґрунтообробних машин «Robocrop» (рис. 1.10) [20.]



Рисунок 1.10 – Полільник з активними робочими органами «Robocrop»

Використовуючи камери встановлені попереду машини відбувається точне позиціонування розташування культурних рослин в рядку. Встановивши точні координати розташування рослин система керування робочими органами полільника «inter row» задає необхідну частоту їх обертання, що включає підрізання культурних рослин в рядку. В якості приводу робочих органів використовуються гідродвигуни завдяки відсутності в їх обертового вала інерційності. Великий досвід використання доводить доить високу надійність та точність системи за швидкодії машини 2 рослини в секунду з 98 відсотковою обробкою ґрунту в рядку, що дозволяє відмовитися виробнику с.г. продукції від використання ручної праці та застосуванні хімічних засобів для боротьби з бур'янами.

Науковцями Сіднейського університету польової робототехніки запропоновано самохідний автономний робот «Сонечко» (рис 1.11) [21] який використовує енергію сонця завдяки розміщеним на його базі сонячним панелям. Робот здатен розрізняти бур'яни та завдяки вибірковій системі розпилення з рукою маніпулятором точно подавати на них хімічні засоби знешкодження.



Рисунок 1.11 – Самохідний робот «Сонечко»

Разом з роботом розроблено великий набір робочих інструментів для виконання повного спектру робіт на вирощуванні овочевих культур. Боротьба з бур'янами таким роботом виконується комплексно з використанням не тільки хімічних засобів а і механічних прополовань з розпушуванням ґрунту та підрізанням бур'янів.

Механічний спосіб боротьби досить поширений на роботизованих самохідних платформах з системами ідентифікації бур'янів. Всі процеси виконуються на таких платформах в автоматичному режимі. За результатами аналізу наукової та періодичної літератури встановлено, що близько 70 % роботизованих самохідних комплексів якраз використовують механічний спосіб видалення бур'янів. В якості робочих органів на таких машинах використовуються інструменти пасивної культивуації, які в автоматичному режимі спрямовуються через рядки культурних рослин. Менш поширені машини з активними робочими інструментами видалення бур'янів в рядку, що пов'язано з більш складним алгоритмом їх роботи.

Найбільш відомі розробки з використанням пасивних робочих органів для боротьби з бур'янами IC-Weeder від Steketee (Нідерланди), Remoweed від Costruzioni Meccaniche Ferrari (Італія) і Robovator від компанії Frank Poulsen Engineering ApS (Данія). Робочий інструмент таких культиваторів-полільників мотика переміщується вздовж рядків періодично заходить до рядка виключаючи

травмування рослин та підрізаючи бур'яни, що стало можливим точній системі керування інструментами (рис. 1.12) [22].



Рисунок 1.12 – Культиватор-полільник Steketee IC-Weeder (Нідерланди)

На рисунку 1.13 представлено загальний вигляд представника самохідних роботизованих платформ робот есоRobotix, який здатен розпізнавати бур'яни на ділянці поля, та використовуючи руку маніпулятор з дозатором-розпилювачем точно вносити гербіцид безпосередньо до кожної бур'янини [23]. Керування такою платформою можна здійснювати за допомогою смартфона.



Рисунок 1.13 – Самохідна платформа есоRobotix

Ще одним прикладом використання керованих робочих інструментів для виконання технологічних операцій з догляду за культурами є робот Naïo Technologies (рис. 1.14) [24].



Рисунок 1.14 – Агроробот Orio (Naïo Technologies)

Робот здатен самостійно переміщуватися в межах поля завдяки точній системі керування та чотирьом електричним мотор-колесам. Загальна вага робота становить 110 кг, ширина прогінної частини 120 см, а висота платформи 130 см. Завдяки своїй компактності робот легко рухається по між рядків виконуючи різні технологічні операції з догляду за рослинами.

Як і попередній представник робот Kongskilde Robotti має самохідну автономну платформу з автоматичним керуванням, що охоплює до трьох рядів з міжряддям 60-70 см (рис. 1.15).



Рисунок 1.15 – Робот Kongskilde Robotti

Розглянуті технічні рішення на сьогодні являються досить перспективними, але їх поширення в більшості аграрних підприємств стримується їх вартістю.

1.5. Висновки

1. Застосування машинного зору для визначення та ідентифікації бур'янів яляється основним етапом в реалізації інтелектуальних робочих інструментів з догляду за рослинами.

2. Розширення систем з розпізнавання бур'янів об'єднаних в загальну нейромережу дозволяє максимально наповнити базу бібліотек з образами різних бур'янів за різного освітлення, що підвищує точність рішень виконавчих пристроїв з видалення бур'янів.

3. З метою підвищення точності ідентифікації бур'янів обрано метод комбінованої сегментації, порівняння кольорів та контурів і наступного аналізу для прийняття рішень з використанням бібліотеки OpenCV.

1.6 Мета і завдання досліджень

Мета роботи. Підвищення ефективності мостового землеробства шляхом розробки методу, алгоритму та пристрою для розпізнавання бур'янів з машинним зором на базі агромостової машини.

Завдання кваліфікаційної роботи:

1. Розробка методики розпізнавання рослин овочевих культур на прикладі томатів на ранніх стадіях вегетації;

2. За результатами проведеного аналізу розробити пристрій для розпізнавання бур'янів та виконання технологічних операцій в умовах поля;

4. Провести експериментальні дослідження оцінки ефективності роботи пристрою для розпізнавання бур'янів

5. Провести оцінку економічної ефективності запропонованого пристрою розпізнавання бур'янів в мостовій технології.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Актуальність впровадження мостового землеробства

Розвиток засобів механізації основних технологічних процесів в рослинництві за останні сто років рухається в напрямку використання ще більш потужних енергетичних засобів, які рухаючись по родючій верхній частині поля аж ніяк не покращують умови її розвитку. Все більше механічне навантаження рушіями в довготривалій перспективі приведе до еродування ґрунтів зниження їх природної родючості та структури, що вимагатиме подальшого впливу хімічної компоненти (мінеральні добрива) для відновлення родючості та механічної для відновлення необхідної пористості. Як і тисячу років назад переміщення робочих органів ґрунтообробних, посівних та інших машин здійснюється з використання тягача (рис. 2.1). Різниця полягає тільки в енергетичній складовій на початковому етапі використовувалася мускульна сила гужових тварин та людей, на сьогодні це досить потужні енергетичні машини з двигунами внутрішнього згорання потужність, яких може сягати до 1000 кінських сил і більше.

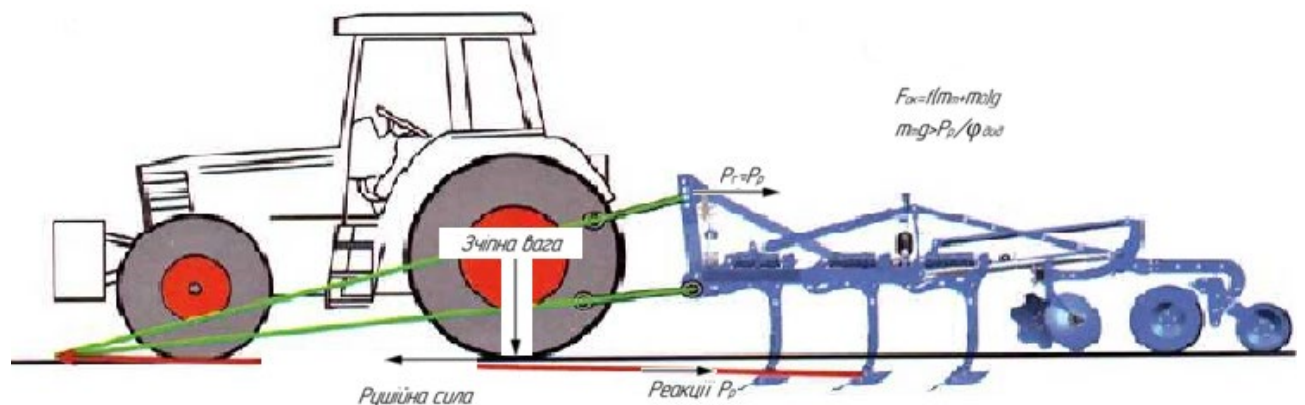


Рисунок 2.1 – Особливості тягової концепції роботи МТА

Так ефективна робота машино-тракторного агрегату можлива за реалізації на гаку трактора тягового зусилля для переміщення знарядь, які з ним агрегатуються. Для реалізації необхідного тягового зусилля трактор повинен відштовхнутися від опорної поверхні, для цього необхідна зчпна вага трактора

прикладена через рушії до опорної поверхні. Крім зчипної ваги трактора ще одним важливим фактором, що впливає на тягове зусилля є коефіцієнту зчеплення $\varphi_{\text{дод}}$ рушіїв, який залежатиме від агрофону по якому переміщується МТА.

Тоді значення тягового зусилля визначимо за рівнянням [25]:

$$P_T = \varphi_{\text{дод}} \cdot G_{\text{зч}} = \varphi_{\text{дод}} \cdot \lambda \cdot m_T \cdot g, \text{ Н} \quad (2.1)$$

де $\varphi_{\text{дод}}$ - коефіцієнт зчеплення, допустимий за умовою буксування;

λ – значення коефіцієнта навантаження на рушіїв;

m_T – маса трактора, кг;

g – прискорення вільного падіння $\frac{M}{c^2}$;

$G_{\text{зч}}$ – значення зчипної ваги трактора, Н.

Виконавши аналіз рівняння 2.1 маса трактора безпосередньо буде залежати від його тягового зусилля, умов переміщення та колісної формули:

$$m_T \geq P_T \cdot \varphi_{\text{дод}} \cdot \lambda \cdot g. \quad (2.2)$$

Значення ваги МТА визначимо за формулою:

$$G_a = (m_T + m_o) \cdot g, \text{ Н} \quad (2.3)$$

де m_o - маса сільськогосподарської машини, кг.

Сила опору переміщення МТА в залежності від агрофону $F_{\text{ок}}$ визначимо за формулою:

$$F_{\text{ок}} = f \cdot m_T \cdot g, \quad (2.4)$$

де f – коефіцієнт опору кочення, в залежності від агрофону $f = 0,07 \dots 0,15$

Згідно попередньо проведених досліджень на подолання цієї сили МТА на нестійких поверхнях агрофону витрачається до 35 % енергії силової установки трактора. При цьому значення буксування колісних рушіїв трактора також зростає і визначимо його за різницею між теоретичною швидкістю та поточною швидкістю під час руху МТА .

$$\delta = (V_T - V_D) / V_T = 1 - V_D / V_T. \quad (2.5)$$

Врахувавши значення попередньо отриманих показників визначимо тяговий коефіцієнт корисної дії трактора η_T :

$$\eta_T = \eta_{тр} (1 - \delta) / (1 + f / \lambda \cdot \varphi_{дод}) \quad (2.6)$$

Для аналізу зміни тягових показників трактора на різних агрофонах виконаємо розрахунок результати якого приведемо в вигляді графічних залежностей (рис. 2.2)

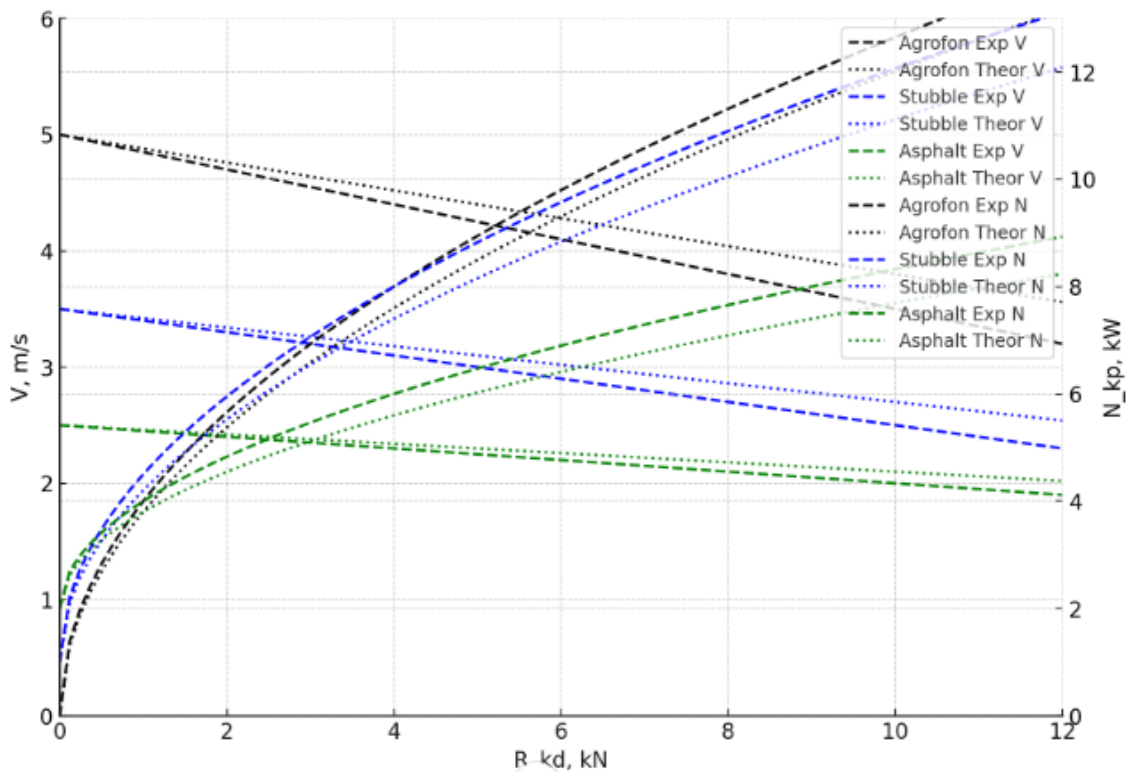


Рисунок 2.2 – Графічні залежності основних тягових показників на прикладі трактора Т-25

Згідно аналізу графічних залежностей встановлено, що значення дійсної швидкості трактора безпосередньо залежить від тягового зусилля та буксування, яке знаходитиметься за різних агрофонів в межах від 9 до 33 %. Так при переміщенні по стерні на оранці буксування склало 22 %, а при переміщенні по ґрунтовій дорозі цей показник становив 9 % за однакового тягового зусилля 6 кН.

Непродуктивні витрати енергії на різних поверхнях агрофону, викликані буксуванням рушіїв і ущільненням ґрунту, призводять до зайвої витрати палива для роботи машинно-тракторного агрегату під час виконання технологічних операцій, що знижує ефективність використання механізованих засобів. Для розв'язання цієї проблеми необхідно впроваджувати нові технології землеробства, де рух опорних коліс буде здійснюватися по напрямних коліях або постійних доріжках. Однією з перспективних технологій у цьому напрямку є мостова система землеробства.

2.2. Особливості мостового землеробства та схема агромоста

Мостове землеробство - це альтернатива класичній тяговій технології впровадження якого дозволяє усунути ті негативні наслідки, які притаманні тяговій концепції. Завдяки поділу поля на технологічну та агротехнічну зони дозволяє усунути ходові системи з зони вирощування культурних рослин. Тобто опорні рушії рухаються в технологічній зоні по постійним коліям та транспортним доріжкам. Дослідженню даної тематики присвячені роботи, як закордонних так і вітчизняних науковців. Нижче приведено напрацювання по даній тематиці науковців ДДАЕУ.

Основу мостового землеробства складає мостова машина інша назва агроміст. Це потужна електрифікована одноконсольна мостова машина, базова частина якої рухається по напрямній колії, а протилежна сторона ферми спирається на ведучі опорні колеса що рухаються по постійним доріжкам (рис. 2.6) [26, 27].

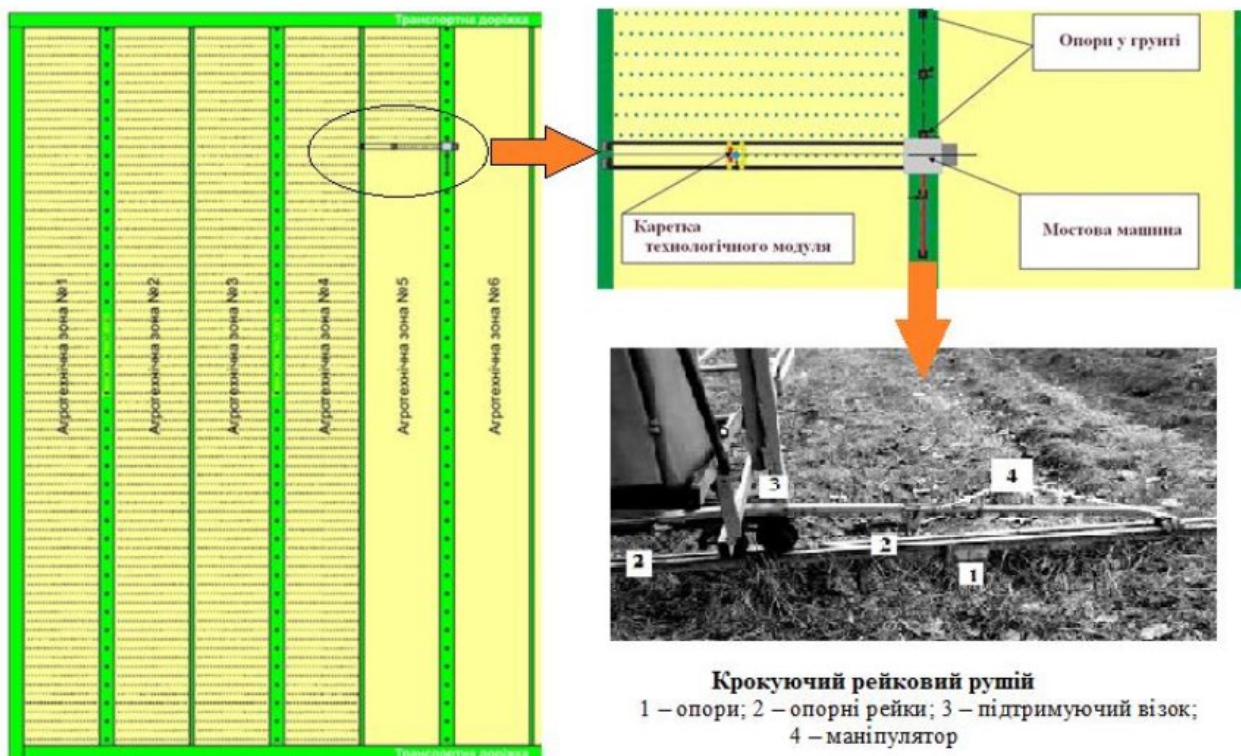


Рисунок 2.3 – Поле облаштоване за мостовою технологією

Основними перевагами мостового землеробства є:

- енергетична незалежність від палив нафтового походження;
- відсутність ущільнення рушійми родючого шару ґрунту;
- можливість автоматизації технологічного процесу вирощування с.г. культур;
- можливість програмованого вирощування культур з точним дозованим підживленням рослин та механічним знищенням бур'янів з мінімальною захисною зоною.

На рисунку 2.4 представлено експериментальну установку агромота з довжиною прогінної частини 9,8 метра, розроблену науковцями кафедри ТСГМ Дніпровського державного аграрно-економічного університету.

Загальна потужність електроприводів складає 2,1 кВт з тяговим зусиллям на каретці 2 кН. Дослідженнями встановлено, що найбільший ефект на впровадженні мостового землеробства спостерігається на вирощуванні овочевих культур.

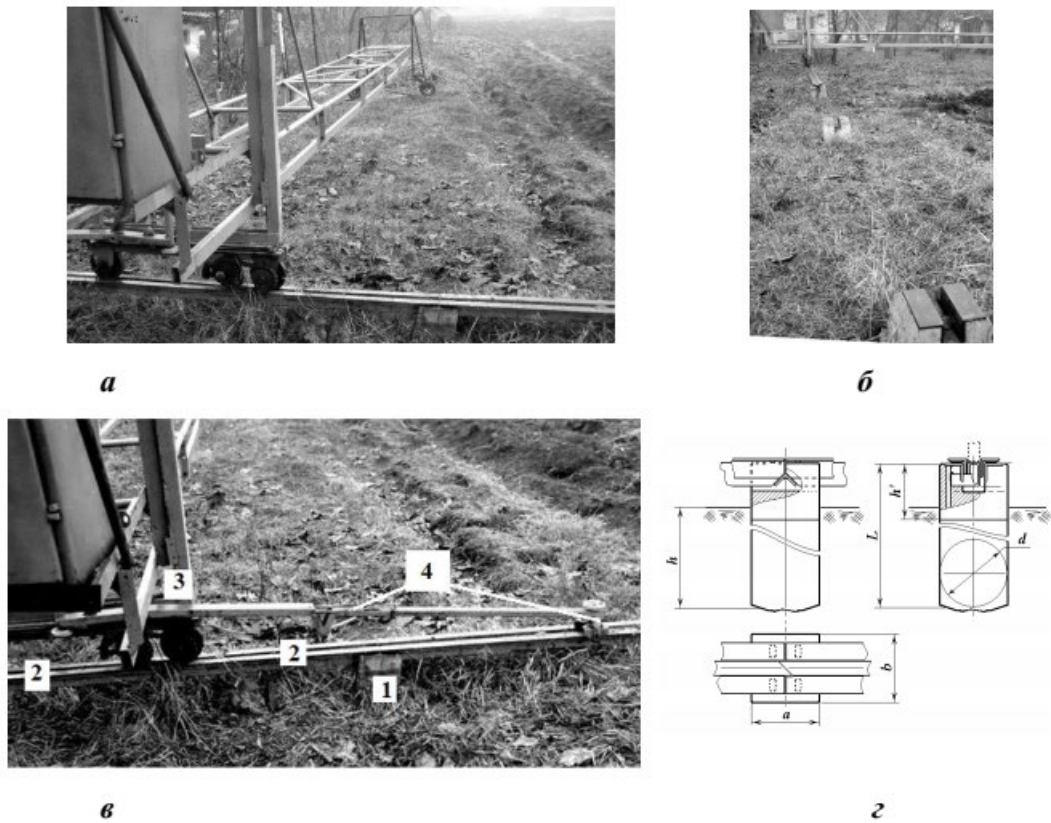


Рисунок 2.4 –Агроміст (експериментальна установка) ДДАЕУ

На рисункові 2.5 приведено конструктивну схему одноконсольного агромоста та вказано основні сили та реакції, які на нього діють. Основні конструктивно-технологічні параметри агромоста наведено в додатку А. Остов агромоста представляє ферма, що складається з трьох додаткових секцій 2 та однієї головної 5 з підтримуючими вантами 4. Секція 5 спирається на шарнір ходового візка 6, на який приходиться основна вага остова G_1 , навішеного знаряддя G_2 і баластний вантаж G_3 , з боку робочих органів діятимуть сили P_1 та P_1' , знарядь закріплених на каретці 3. Протилежна сторона ферми опирається на доріжку за допомогою колісного візка 1 з електричним приводом, при цьому G_1 вага, що приходиться на візок. Механізм врівноваження з вантажем 8 знімає навантаження з візка 1 через ванти 4.

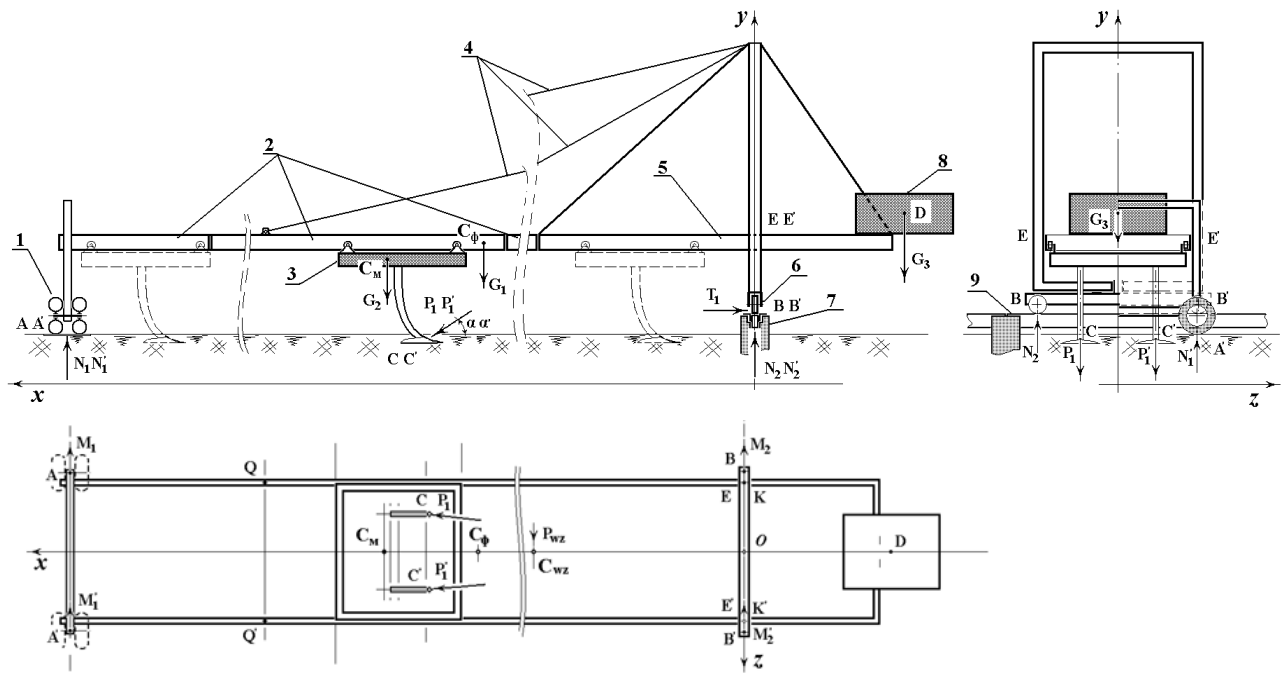


Рисунок 2.5 – Конструктивна схема одноконсольного агромоста:

- 1 – візок з колесами; 2 – додаткові секції; 3 – каретка; 4 – ванги;
- 5 – головна секція; 6 – головний візок; 7 – опорні стовпчики;
- 8 – механізм врівноваження; 9 – рейкова колія

На два опорних колеса головного візка В і В' діють реакції N_2, N_2' , на колеса підтримуючого візка А та А' відповідно діятимуть реакції N_1, N_1' . Врахувавши розподілення ваги рами по довжині остова агромоста в точці Сф ($x_{Cф}, y_{Cф}$) буде діяти її рівнодіюча G_1 . У точці D знаходитиметься центр ваги G_3 врівноважуючого механізму 8. Значення центра ваги візка G_2 величина не постійна і визначатиметься за координатами $x_{Cм}, y_{Cм}$ що відповідатимуть точці $C_м$. Точки С і С' характеризують точки прикладення рівнодіючих сил P_1 та P_1' в результаті роботи інструментів навісних знарядь під кутом α і α' відносно осі x . Парусність агромостової конструкції впливатиме на величину аеродинамічної сили P_w , що на неї діятиме.

Габарити врівноважуючого механізму необхідно враховувати при проектуванні мостових машин та координатно транспортної системи для реалізації чіткої прив'язки агромоста та його координації. Для реалізації врівноваження ферми за умови підтримання сталого значення зчіпної ваги

$Y_A = \text{const}$ на опорних колесах підтримуючого візка повинна виконуватися умова:

$$x_a \cdot (Y_A - G_n) = x_d \cdot G_o - x_f \cdot G_v - x_c \cdot G_w = \text{const} \quad (2.7)$$

де x_a – значення координати точки A ;

x_d, x_f, x_c – координати центра ваги відповідно остова агромоста (ферми), врівноважуючого механізму та вантажу (баласт);

G_n, G_o, G_v, G_w – значення відповідно ваги опорного візка, остова (ферми) агромоста, врівноважуючого механізму та врівноважуючого вантажу.

Значення ваги баласту визначимо за рівнянням:

$$G_w = [x_d \cdot G_o - x_f \cdot G_v - x_a \cdot (Y_A - G_n)] / x_c = k / x_c, \quad G_w = [x_d \cdot G_o - x_f \cdot G_v - x_a \cdot (Y_A - G_n)] / x_c = k / x_c \quad (2.8)$$

де $k = [x_d \cdot G_o - x_f \cdot G_v - x_a \cdot (Y_A - G_n)]$ – постійний показник.

Врахувавши особливості роботи мостової машини коли каретка постійно зміщується призводить до зміни координат центра ваги ферми. При проведенні розрахунків виходячи з особливостей роботи агромоста розглядаємо тільки максимальні та мінімальні зміщення каретки з робочими органами $x_d \cdot G_o$.

На рисунку 2.6 представлено результати проведених розрахунків за наведеною вище методикою. Вихідні дані для розрахунків наведено в додатку А

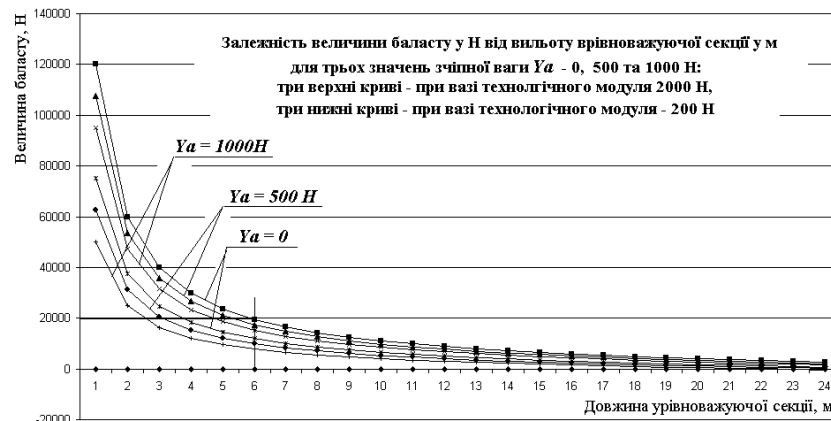


Рисунок 2.6 – Результати теоретичних досліджень ваги вантажу (баласту) G_w

Як видно з графіків, зменшення вильоту до 5 метрів секції урівноважуючого механізму викликає надмірне збільшення маси баласту, що призводить до різкого збільшення потрібної ваги баласту. Оптимальним вважається виліт до 6 метрів, маса баласту при цьому складатиме близько 2 тон.

Враховавши вихідні дані для розрахунку додаток А та теоретичні положення загальна довжина мостової машини становитиме:

$750 + 24000 + 1100 + 6000 = 31850 \text{ мм} = 31,85 \text{ м}$,
тобто, у $31,85/24 = 1,33$ рази більшу за ширину агротехнічної зони.

2.3 Теоретичні дослідження каретки агромоста для агрегування з сільськогосподарськими машинами

Каретка мостової машини призначена для здійснення агрегування агромоста з навісними машинами, переміщення їх вздовж рядків та міжрядь, приведення активних їх активних органів. Основні параметри, що регулюються це швидкість переміщення каретки, висота або глибина роботи робочих органів навісного знаряддя.

В якості прикладу розглянемо роботу каретки в агрегаті ґрунтообробною машиною (плугом рис. 2.7).

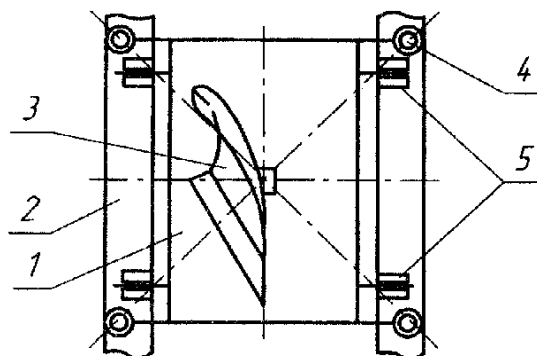


Рисунок 2.7 – Схема агрегування плуга відносно каретки агромоста
1 – каретка; 2 – напрямні ферми агромоста; 3 – оборотний плуг; 4, 5 – опорні ролики відповідно горизонтальні та вертикальні

Аналіз стабільності переміщення каретки можна виконати за схемою, приведеною на рис. 2.8 *a*. Каретка агромоста спирається на чотири точки відповідно А, В, D і Е, статично невизначена система.

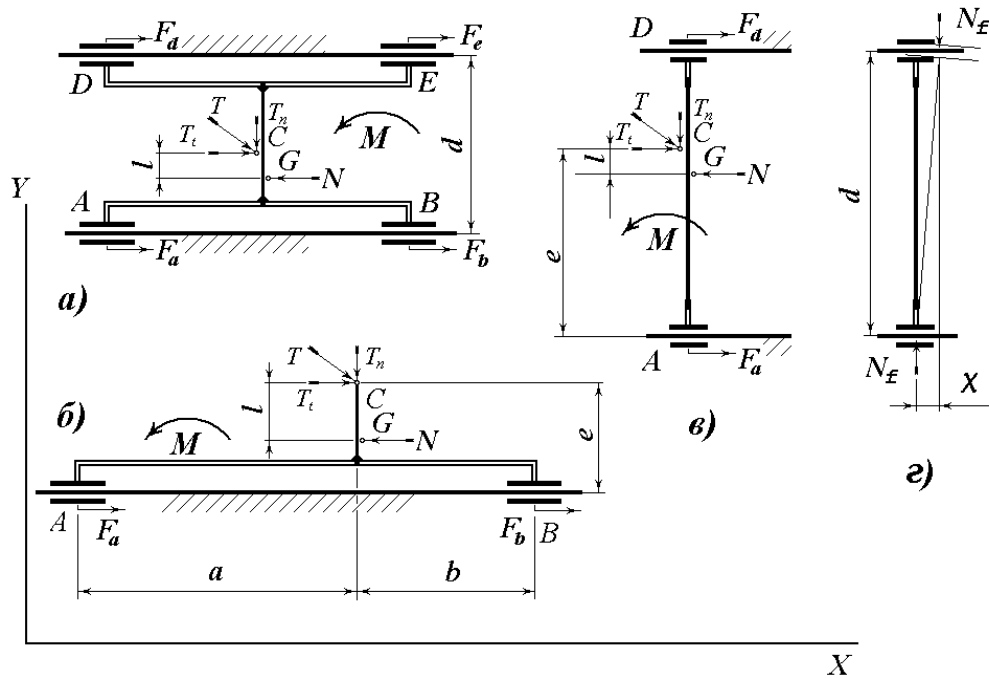


Рисунок 2.8 – Схема каретки (*a*) і сил тертя за різного розташування опорних роликів (*б, в, г*)

Основними складовими рівняння руху каретки являються: сили опору переміщення каретки, вага каретки та розміщеного на ній знаряддя, сила лебідкового тягового пристрою N , що рухає каретку по напрямним ферми агромоста, реакції T , що виникають з боку робочих органів знаряддя та момента M .

Значення умови рівноваги матимуть вигляд:

$$\sum X = 0, \quad (2.9)$$

$$\sum Y = 0, \quad (2.10)$$

$$\sum M = 0. \quad (2.11)$$

Не дотримання умови рівноваги каретки викликатиме появу обертового моменту. Тому завдяки роликам відбуватиметься протидія повороту каретки відносно направляючих. Поява моменту спровокує появу реакцій в опорах роликів та додаткові сили опору переміщення.

Розглянемо дві ситуації які можуть викликати заклинювання каретки:

- за першої ситуації неправильно підібрані напрямні ферми тобто колія d має зневажливо малі розміри порівнюючи їх з базою
- за другої ситуації навпаки розміри база досить малі в порівнянні з колією d .

Розглянуті ситуації детально прорисовано на рисунку 2.8 б, в, як окремі ланки АВ і AD, відповідно, установлені на направляючих з використанням підшипники ковзання. Для випадку коли $N = 0$ і $M = 0$ за умови дії сили T , що прикладена відносно точок з деяким зміщенням e , визначимо реакції в опорах А і В скориставшись формулами (2.10, 2.11) [28]:

Тоді:

$$Y_{An} = T_n \cdot b / (b + a), \quad (2.12)$$

$$Y_{Bn} = T_n \cdot a / (b + a), \quad (2.13)$$

$$Y_{At} = -T_t \cdot e / (b + a), \quad (2.14)$$

$$Y_{Bt} = T_t \cdot e / (b + a). \quad (2.15)$$

де $T_n = T \cdot \sin\alpha$ – нормальна а $T_n = T \cdot \cos\alpha$ – тангенціальна складова сили T .

Врахувавши значення коефіцієнта тертя в опорах f , визначимо сили опору переміщення за формулами:

$$X_A = Y_A \cdot f \quad (2.16)$$

$$X_B = Y_B \cdot f \quad (2.17)$$

Заклинювання каретки буде відсутнім за виконання умови:

$$T_t > X_A + X_B \quad (2.19)$$

Підставимо отримані значення X_A і X_B в (2.19) отримаємо рівняння:

$$T \cdot \cos\alpha > \left(T \cdot b \cdot \frac{\sin\alpha}{b+a} - T \cdot e \cdot \frac{\cos\alpha}{b+a} + T \cdot a \cdot \frac{\sin\alpha}{b+a} + T \cdot e \cdot \frac{\cos\alpha}{b+a} \right) \cdot f \quad (2.20)$$

Виконавши скорочення отримаємо:

$$T \cdot \cos\alpha > (T \cdot \sin\alpha) \cdot f \quad T \cdot \cos\alpha > (T \cdot \sin\alpha) \cdot f \quad (2.21)$$

або

$$\operatorname{tg}\alpha < 1/f \quad (2.22)$$

За умови випадку, коли $T \cdot b \cdot \sin\alpha / (b + a) < T \cdot e \cdot \frac{\cos\alpha}{b+a}$, спростувати рівняння (2.20), вважаючи те що $\left[- T \cdot e \cdot \frac{\cos\alpha}{b+a} + T \cdot e \cdot \frac{\cos\alpha}{b+a} \right] = 0$, не можна, так як сили тертя спрямовуються завжди проти руху, не зважаючи на знак нормальної складової опори А:

$$\left(T \cdot b \cdot \frac{\sin\alpha}{b+a} - T \cdot e \cdot \frac{\cos\alpha}{b+a} \right) \neq 0 \quad (2.23)$$

Тоді умова рухливості каретки отримає вигляд:

$$T \cdot b \cdot \sin\alpha / (b + a) < T \cdot e \cdot \frac{\cos\alpha}{b+a}, \quad (2.24)$$

і (2.20) запишемо як :

$$T \cdot \cos\alpha > \left[T \cdot e \cdot \frac{\cos\alpha}{b+a} - T \cdot b \cdot \frac{\sin\alpha}{b+a} + T \cdot a \cdot \frac{\sin\alpha}{b+a} + T \cdot e \cdot \frac{\cos\alpha}{b+a} \right] \cdot f, \quad (2.25).$$

Виконаємо скорочення в рівнянні 2.25.

Тоді:

$$T \cdot \cos\alpha > \left[2 \cdot T \cdot e \cdot \frac{\cos\alpha}{b+a} + T \cdot \sin\alpha \cdot \frac{a-b}{b+a} \right] \cdot f, \quad (2.26)$$

За $T \neq 0, \cos\alpha \neq 0$ і $(b+a) \neq 0$ отримаємо:

$$\frac{[2 \cdot e + \operatorname{tg}\alpha \cdot (a-b)]}{b+a} < \frac{1}{f}. \quad (2.27)$$

Отже, для першої ситуації (рис. 2.8, б), ланка АВ буде рухливою за умови:

$$\operatorname{tg}\alpha < \frac{1}{f}, \text{ та } \frac{[2 \cdot e + \operatorname{tg}\alpha \cdot (a-b)]}{b+a} < \frac{1}{f}. \quad (2.28)$$

Для другої ситуації руху каретки, (рис. 2.8, в) з урахуванням дії сили T , що прикладена до опори А зі зміщенням e , розрахуємо значення реакцій в опорах згідно рівняння 2.10.

Тоді:

$$Y_{An} + Y_{Dn} = T_n. \quad (2.29)$$

В зв'язку з невизначеністю системи не можливо визначити значення реакцій Y_{An} і Y_{Dn} , але можна стверджувати, що вони не будуть рівними між собою:

$$Y_{An} \neq Y_{Dn} \cdot Y_{An} \neq Y_{Dn} \quad (2.30)$$

Не симетричність прикладення сили $T_t = T \cdot \cos\alpha$ викликає появу крутного моменту що призводить до обертання ланки AD на значення величини,

зазору в з'єднаннях каретки з напрямними (рис. 2.8, г). Значення моменту визначимо за формулою:, які діють в опорах на:

$$M_m = Y_{Dn} \cdot f \cdot d + T_t \cdot e = N_f \cdot X, \quad (2.31)$$

де N_f – пара сил, Н;

X – плече, м.

Значення сил тертя, що діють проти руху каретки по осі X визначимо за рівнянням:

$$F_a = (Y_{An} + N_f) \cdot f \quad (2.32)$$

та

$$F_d = (Y_{Dn} + N_f) \cdot f \quad (2.33)$$

Рухливість ланки AD можлива за виконання умови:

$$T_t > F_a + F_d \quad (2.34)$$

Виконаємо математичні перетворення.

Тоді:

$$T \cdot \cos\alpha > (Y_{An} + N_f + Y_{Dn} + N_f) \cdot f, \quad (2.35)$$

або

$$T \cdot \cos\alpha > (T \cdot \sin\alpha + 2 \cdot N_f) \cdot f. \quad (2.36)$$

За $T \neq 0$, $\cos\alpha \neq 0$ та $f \neq 0$:

$$\operatorname{tg} \alpha + 2 \cdot N_f / (T \cdot \cos \alpha) < 1/f. \quad (2.37)$$

Через невизначеність сили $N_f := (YDn \cdot f \cdot d + Tt \cdot e)/X$ в рівнянні (2.31), яка залежить від розподілу навантажень між опорами (статично невизначене завдання) і наявності зазорів у з'єднаннях, що визначають перекіс X , можна зробити висновок, що рухомість каретки зберігатиметься лише при дуже малих значеннях коефіцієнта тертя f , симетричному прикладанні сили T з мінімальним відхиленням від осі X (при $\cos \alpha \approx 1$) і точному виготовленні направляючих для запобігання перекосу. За аналогією, можна визначити умови для вільного руху каретки і при $N \neq 0$ і $M \neq 0$.

Аналіз показує, що каретка повинна спиратися на опори, які знаходяться на значній відстані одна від одної вздовж направляючих, а розташування і дія робочих органів мають забезпечувати реакції, рівнодіюча яких розташована якомога ближче до осі каретки, щоб уникнути перекосів. Для зниження ризику заклинювання каретки доцільно встановити основні опори A і B (рис. 2.9) на одній направляючій, а другу направляючу використовувати як підтримуючу для опор D і E , що запобігатимуть повороту каретки навколо осі основної направляючої. Розглянута конструктивна схема каретки, що рухається в горизонтальній площині, не є єдиним можливим рішенням.

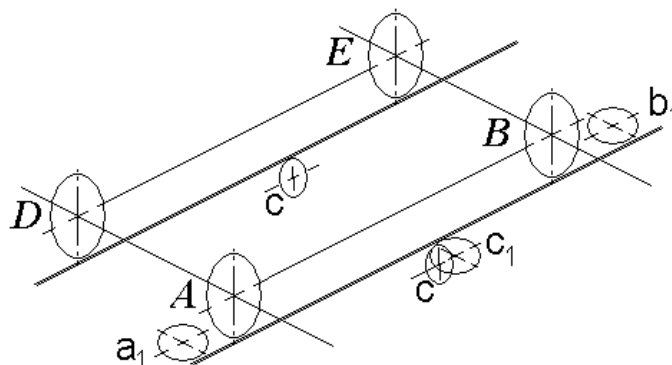


Рисунок 2.9 – Схема розташування опор каретки

Значення часу виконання технологічного процесу $T_{\text{тп}}$ (обробітку, ґрунту, посіву та ін.) складається з часу технологічного руху робочих органів t_p знаряддя уздовж направляючих ферми агромоста, підготовчого часу $t_{\text{п}}$ на виконання підйомів, поворотів та опускання знаряддя з робочими органами:

$$T_{\text{тп}} = t_p + t_{\text{п}} = L_p/V_p + t_{\text{п}} \quad (2.38)$$

де L_p і V_p – довжина рядка і робоча швидкість руху каретки відносно ферми агромоста.

2.4 Розробка та теоретичне дослідження пристрою для розпізнавання бур'янів на вирощуванні столового буряка

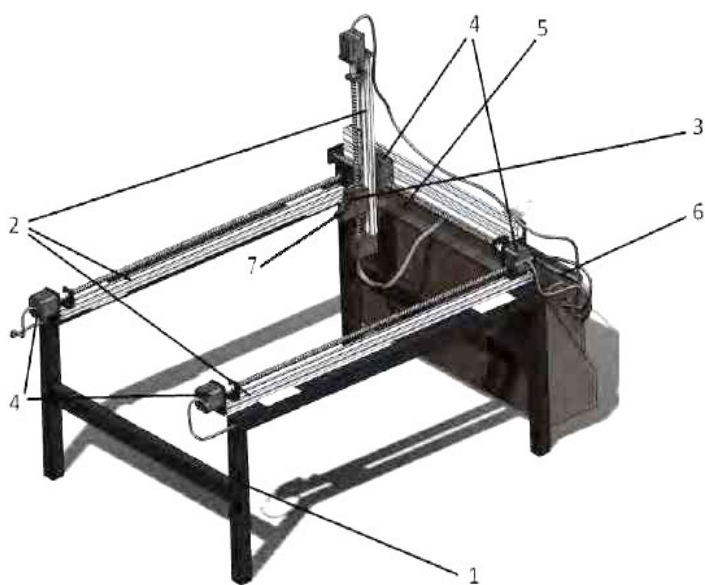
Пристрій для розпізнавання бур'янів – це механізм, який обладнано механічним зором та за потреби інструментом для видалення бур'янів.

На початковому етапі вегетації листя бур'янів та культурної рослини наприклад буряків столових, що перемішані між собою, мають однакові показники за кольором та структурою, що ускладнює процес їхнього розпізнавання. В процесі подальшої вегетації коли листя зникається ідентифікація бур'янів стає досить неточною. Ідентифікація бур'янів складається з трьох основних процесів: сегментації зображення, виявлення бур'янів та прийняття рішення. Процес сегментації зображення забезпечує обробку фото на нижніх порогах з витягуванням відповідних функцій [29]. Після чого зображення проходять нормалізацію за методом Оцу в бінарне зображення.

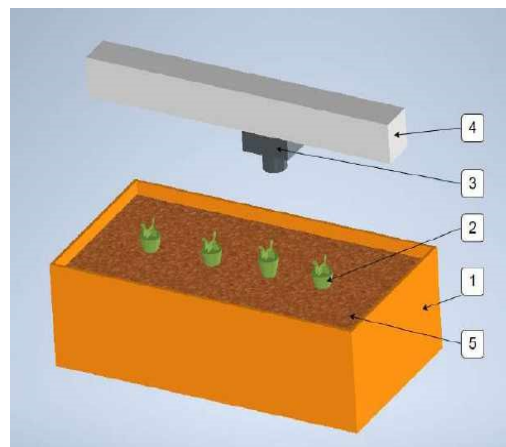
Використовуючи нижній блок зображення відбувається порівняння ознак бур'янів та культурних рослин з позначенням області розташування кожної рослини на ділянці що досліджується. Наступним етапом являється процес прийняття рішення для цього системою пристрою використовується самонавчальний опорний векторний механізм, який досить точно виконує поділ

рослин на бур'яни та культурні рослини. Та запускає процес знищення бур'янів хімічним або механічним способом.

Основним елементом пристрою для розпізнавання бур'янів являється спектральна камера (фітотрон) (рис. 2.10). Пристрій налаштовується на роботу за такими факторами: спектральний склад випромінювання, вологість, температуру, склад повітря, добова тривалість опромінення рослин, швидкість і напрямок потоку повітря. Вся електронна база пристрою повинна розміщуватися в добре захищеному корпусі від пилу і вологи. Лабораторний варіант пристрою складається з рами 1 направляючих 2 згідно, яких відбувається переміщення каретки 5 з встановленою на ній спектральною камерою (фітотроном) 7. Переміщення каретки 3 організовано за допомогою крокуючих двигунів 4. Керування роботою всіх складових пристрою здійснює електронний блок 6.



а



б

Рисунок 2.10 – Пристрій для розпізнавання бур'янів:

- а – загальний вигляд; 1 – рама; 2 – направляючі; 3 – навіска; 4 – крокові двигуни; 5 – каретка; 6 – блок керування; 7 – спектральна камера
б – робочий процес ; 1 – короб для ґрунту, 2 – культурні рослини (бур'як),
3 – спектральна камера, 4 – направляюча, 5 – ґрунт

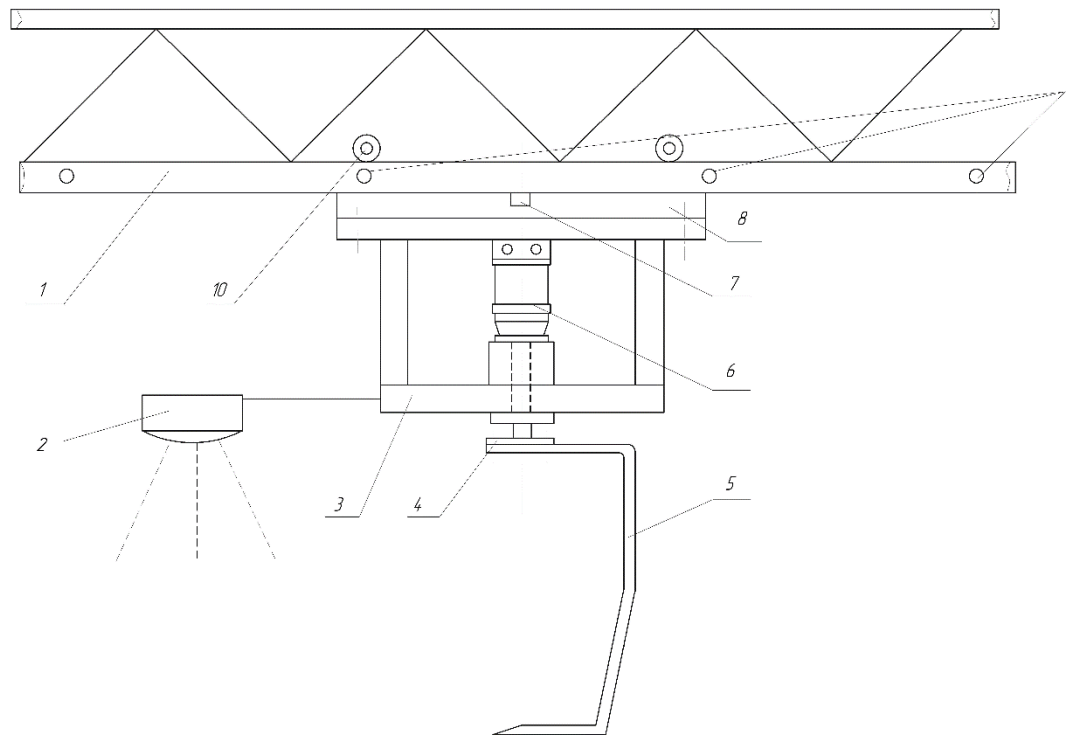
Розроблений пристрій дозволяє крім розпізнавання бур'янів виконувати моніторинг за посівами на різних періодах їх вегетації та здійснювати контроль за появою шкідників. На рисунку 2.11 представлено загальний вигляд мостової машини з розміщеним обладнанням пристрою для виявлення бур'янів, а в таблиці 2.1 наведено основні його робочі характеристики.

Таблиця 2.1 – Основні техніко-експлуатаційні показники пристрою для розпізнавання бур'янів

N п/п	Показник	Значення
1	Рівень опроміненості в діапазоні 400-700 нм, Вт/м ²	165
2	Напруга живлення, В	5
3	Температура експлуатації, °С	5 ...55
4	Вологість, %	50 ...86
5	Камера машинного зору	OpenMV Cam H7 Plus
6	Процесор	STM32H743VI(ARM Cortex-M7)
7	Оперативна пам'ять:	64 МБ
8	Постійна пам'ять:	1 ГБ флеш-пам'яті для зберігання програм і бібліотек.
9	Сенсор з роздільною здатність 640x480 пікселів (VGA).	OV7725
10	Максимальна частота кадрів, кадр/с	60

Використання досить поширеної спектральної камери OpenMV Cam H7 Plus дозволяє реалізувати машинний (комп'ютерний) зір за доступного бюджету. Камера OpenMV Cam H7 Plus часто використовується при розробці

систем штучного інтелекту, у проектах робототехніки, автоматизації, розумних системах для виконання моніторингу з обробкою зображень в реальному часі та накопиченням їх на носіях.



Траскторія руху активного робочого органу

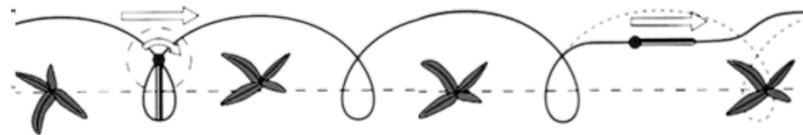


Рисунок 2.11. Пристрій розпізнавання та видалення бур'янів для мостового землеробства

1 – напрямні агромоста; 2 – камера машинного зору; 3 – рама полільника; 4 – фланець; 5 – активна сапа; 6 – привід сапи; 7 – датчик переміщення каретки; 8 – каретка; 9 – контрольні точки.

При переміщенні каретки камера машинного зору 2 розпізнає бур'яни та передає інформацію на блок керування (на малюнку не вказано), який керує положенням активної сапи 5 за допомогою електричного привода 6. Завдяки контрольним точкам 9 і датчика переміщення каретки 7 в випадку збоїв

машинного зору ріжучий інструмент сапи виводиться з зони розміщення культурних рослин.

Перед початком роботи розпізнавача необхідно визначити область та форму культурної рослини та фону. Для цього пікселям, які відображають межі рослини, надаються високі значення індексів RGB, а фон – позначаємо як низький. Елементи культурних рослин мають значеннями вище порогового ζ при відніманні ExR з ExG [30].

Тоді за надлишку червоного кольору отримаємо:

$$ExR = (2r - g - b) \quad (2.39)$$

За надлишку зеленого відповідно:

$$ExG = (2g - r - b) \quad (2.40)$$

де r , g , та b – хроматичні координати;

R^* , G^* та B^* – нормовані значення RGB (0 – 1);

ζ – порогове значення за методом Оцу.

Хроматичні координати визначимо за формулами:

$$r = \frac{R^*}{R^* + G^* + B^*} \quad (2.41)$$

$$g = \frac{G^*}{R^* + G^* + B^*} \quad (2.42)$$

$$b = \frac{B^*}{R^* + G^* + B^*} \quad (2.43)$$

Після проведення налагодження виконується моніторинг ділянки посівів. Отримані зображення сегментуються та виконується їх аналіз збігу з шаблонами що розміщено в бібліотеці пристрою. Визначення об'єкта бур'янів на зображенні проводиться за допомогою методів колірної сегментації. За виявленими координатами бур'янів виконується механічне або хімічне знешкодження бур'янів.

2.5 Висновки

1. В результаті проведених теоретичних досліджень тягової концепції доведено актуальність впровадження мостового землеробства.

2. Для впровадження мостового землеробства на полі повинна бути розбудована координатно транспортна система з використанням одноконсольних мостових машин (агромостів).

3. За результатами теоретичних досліджень каретки агромоста отримано умови для усунення заклинювання її при переміщенні з робочими органами.

4. Розроблено пристрій для виявлення та знешкодження бур'янів адаптований для агрегування з агромостом. Використання машинного зору на базі камери OpenMV Cam H7 Plus дозволить виконувати моніторинг з розпізнаванням бур'янів і культурних рослин на різних етапах вегетації.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Програма експериментальних досліджень

Мета розробки пристрою для виявлення бур'янів – це підвищення ефективності впровадження мостового землеробства. Для досягнення даної мети в попередніх розділах проведено аналіз таких машин, розглянуто теоретичні положення з побудови мостових машин, їх конструктивних елементів і систем машинного зору. На даному етапі роботи проведемо дослідження розробленого експериментального пристрою з виявлення бур'янів (рис. 3.1) адаптованого для агрегування з мостовою машиною.

Програма досліджень:

1. Розробка методики та проведення досліджень машинного зору пристрою з виявлення бур'янів в залежності від освітлення.
2. Розробка методики та проведення досліджень машинного зору пристрою з виявлення бур'янів в залежності від відстані.
4. Визначення числа помилок при ідентифікації бур'янів та створення статистики для ймовірнісної оцінки точності розпізнавання;
5. Проведення випробувань визначення оптимальної швидкості роботи комплексу.

Розробку методик та проведення експериментальних досліджень виконуємо згідно діючих стандартів та положень [31, 32]

3.2 Експериментальна установка пристрою для виявлення бур'янів

Для проведення експериментальних досліджень буде використано пристрій з машинним зором конструкцію якого було детально описано в попередньому розділі. Пристрій розміщуємо на дослідній ділянці для вирощування столових

бур'яків в лабораторних умовах (рис. 3.1). Основні параметри експериментальної установки наведено в таблиці 3.1.

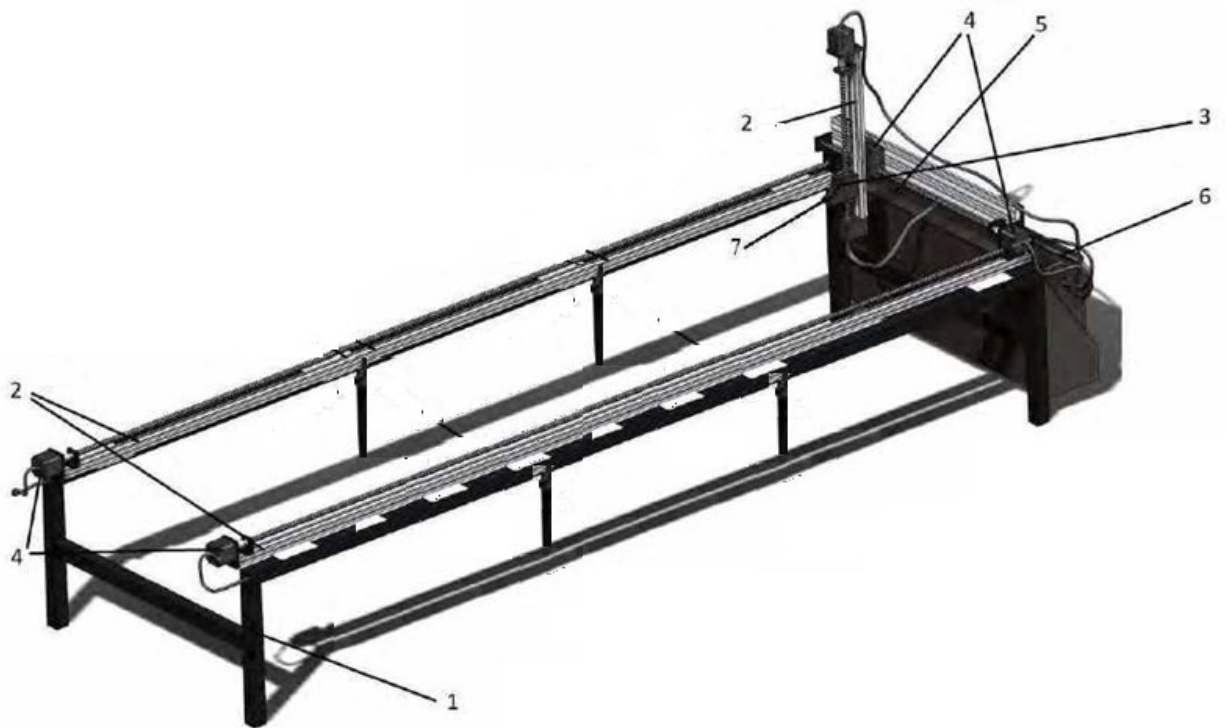


Рисунок 3.1 – Експериментальна установка пристрою для розпізнавання бур'янів

1 – рама; 2 – направляючі; 3 – навіска; 4 – крокові двигуни; 5 – каретка;
6 – блок керування; 7 – спектральна камера

Пристрій складається з рами 1 з направляючими 2 і встановленою на ній навіскою для кріплення камери з робочими органами засобів боротьби з бур'янами, привід якої організовано за допомогою крокових двигунів 4, що забезпечують її точне позиціонування відносно дослідної ділянки. На навісці розміщено спектральну відеокамеру 7 OpenMV Cam H7 Plus. Контроль за роботою пристрою здійснює блок керування 6 та електронно-обчислювальна машина (на малюнку не показана) для аналізу зображень.

На початку роботи пристрою задаються параметри ділянки в межах яких здійснюється моніторинг рослин. В процесі роботи машинного зору відеопотік передається від спектральної камери на систему обробки зображень OpenCV. На

виході з якої роботизований пристрій отримує повну інформацію про наявність та координати розміщення бур'янів.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика експериментальної установки

Показник	Значення
Площа дослідної ділянки , м ²	1,8
Дослідна ділянка розміри, м	0,7x3
Графічний модуль	Arduino MEGA + RAMPS
АМС4030	АМС4030
Апаратно-обчислювальна платформа	Arduino Uno Wi-Fi Rev2
Привод	Кроковий двигун NEMA 17
Датчики положення	SN04-N
Кабелі	кабелі живлення, кабель UTM, кабелі приводу
Сумісність з комп'ютером	процесор Intel i3, 2,8 ГГц, ОЗП 8 ГБ

Дослідження виконуємо за таким алгоритмом спочатку розробляємо схему експерименту, визначаємося з числом випробувань від 50 до 100, а потім готуємо пристрій до роботи та запускаємо його в роботу. По завершенню виконуємо аналіз отриманих зображень.

3.3 Розробка методики та проведення досліджень машинного зору пристрою з виявлення бур'янів за різного освітлення

Основним фактором, що впливає на точність виявлення бур'янів за допомогою технічного зору являється освітленість. Ступінь освітлення залежить від часу доби, хмарності, тіні від сусідніх рослин та техніки та ін. Тому актуальним буде проведення досліджень з виявлення впливу рівня освітленості

на якість роботи пристрою. За рівним освітлення, системи механічного зору діляться на пасивні (працюють в природніх умовах) і активні (використовують лазерні далекоміри, радіолокацію, підсвічування та ін.).

Найбільша точність роботи машинного зору відбувається в темну пору доби завдяки більш точному підбору необхідного спектра освітлення.

В денну пору доби ускладнюється алгоритм налаштування камери на необхідну кольорову гаму, що залежить від ступеня освітленості особливо за сонячної активності. Дану проблему можна вирішити за рахунок використання світлофільтрів. Крім того, сонячне світло відрізняється від штучних джерел освітлення широким спектром розподілених довжин хвиль (рис. 3.2), тому було ухвалено рішення враховувати також мінімальні значення освітленості [33].

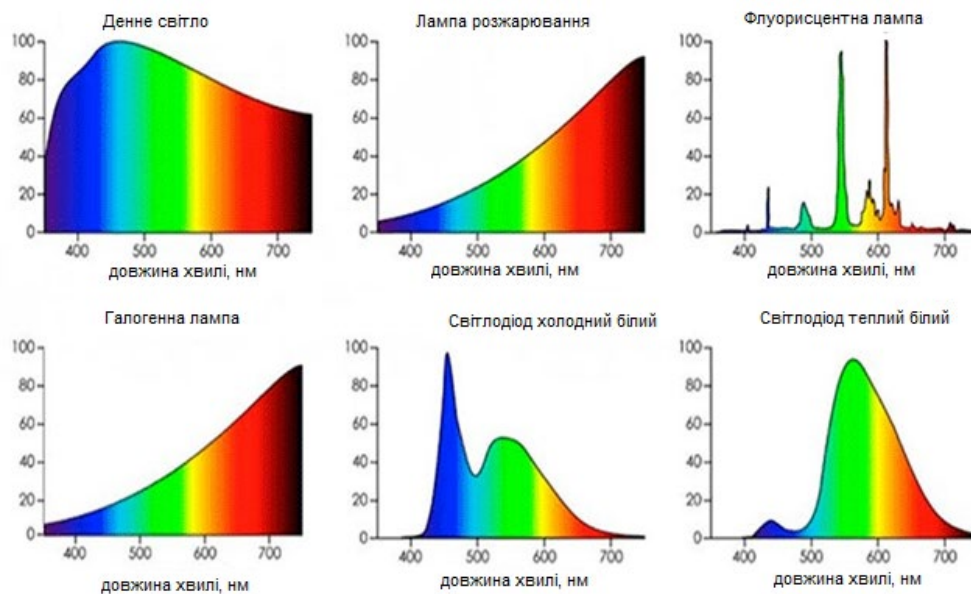


Рисунок 3.2 – Вигляд спектрів від різних джерел світла

Дослідження виконуємо в природних умовах за денного освітлення. Згідно довідкових даних величина освітлення в день коливається від 120 тис. люкс за сонячної погоди до 6 люкс за щільної грозової хмарності [33].

Для проведення експериментальних досліджень розроблено лабораторний стенд, що забезпечить імітацію робочого процесу в умовах поля (рис. 3.3).

Стенд складається з платформи з направляючими і встановленою на них кареткою, що приводиться черв'ячною передачею від крокового двигуна. На осі

з встановлено камеру машинного зору OpenMV Cam H7 Plus, з роздільну здатність 2592×1944 пікселів на базі процесору STM32H743II ARM Cortex M7 з тактовою частотою 480 МГц і швидкістю зйомки 120 кадр/с. Отримані зображення надходять до модуля оптичного їх аналізу. Обробку зображень виконуємо за допомогою утиліти System Visual Studio. Завдяки виконаному калібруванню камери піксельні координати розміщення культурних рослин та бур'янів відповідають реальним.



Рисунок 3.3 – Лабораторний стенд дослідження технічного зору;

1 – каретка, 2 – навіска, 3 – спектральна камера, 4 – культура, 5 – привід каретки; 6 – ПЕОМ

В камері використовується матриця OmniVision OV5640 за стандартом CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor). Переваги даної матриці: висока швидкодія, низьке енергоспоживання, дешеве та просте виробництво. Більш детальна технічна характеристика камери представлена в додатку Б.

На рисунку 3.4 представлено вигляд зображення під час дослідження впливу рівня освітленості на процес розпізнавання бур'янів за допомогою машинного зору.

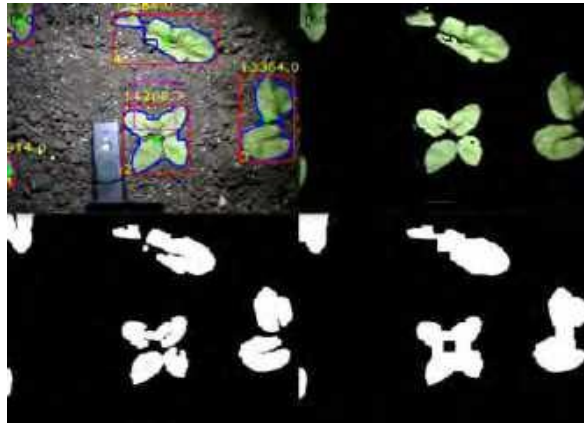


Рисунок 3.4 – Дослідження впливу рівня освітленості на процес розпізнавання бур'янів за допомогою машинного зору.

Перший дослід виконали за мінімального значення освітлення 8 лк, що підтвердило не припустимо низьку точність визначення бур'янів. При збільшенні освітлення до 20 люкс якість розпізнавання підвищилася, але найкращі результати спостерігалися при освітленні від 5000 до 60 тис. люкс, що відповідає показникам природнього денного освітлення.

Рисунок 3.5 показує результати аналізу спектра та шкали оцінки якості спектрального складу CRI та CQS.

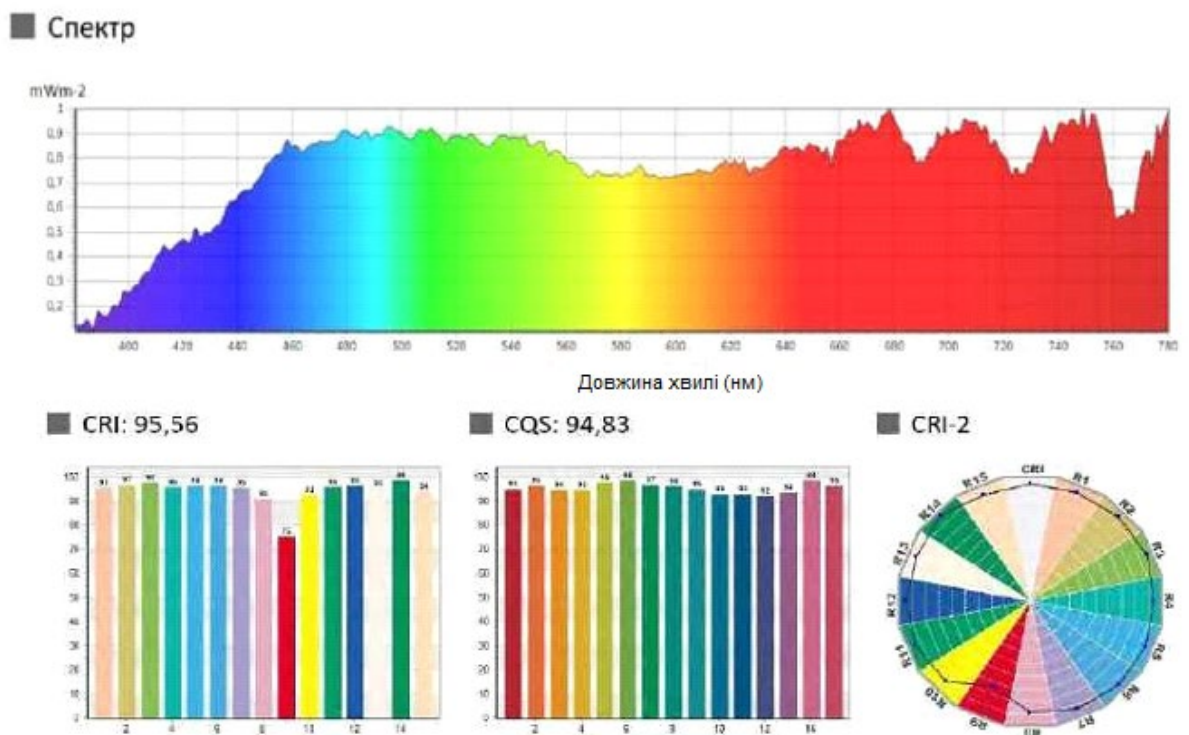


Рисунок 3.5 – Результати вимірювання параметрів освітлення першого вимірювання

- CQS (Color Quality Scale) – це новий параметр, що вимірює якість кольору джерела світла створений Національним інститутом стандартів і технологій (NIST). Значення 100 на шкалі CQS представляє найвищу якість передачі кольору джерела світла, тоді як 0 означає найгіршу якість;

– CRI (Ra) (Color Rendering Index) – це середнє значення R1 ~ R8. Показник 100 позначає вищу якість передачі кольору джерела світла, тоді як 0 вказує найгіршу якість.

Результати обробки фотографій зображення ґрунту та рослин на ньому у першому досліді за освітлення 8 лк представлено на рисунку 3.6.

Дослідження виконуємо на сходах столового буряку, яка за своєю структурою вегетуючої частини має схожість з багатьма бур'янами, що поширені на Дніпропетровщині.

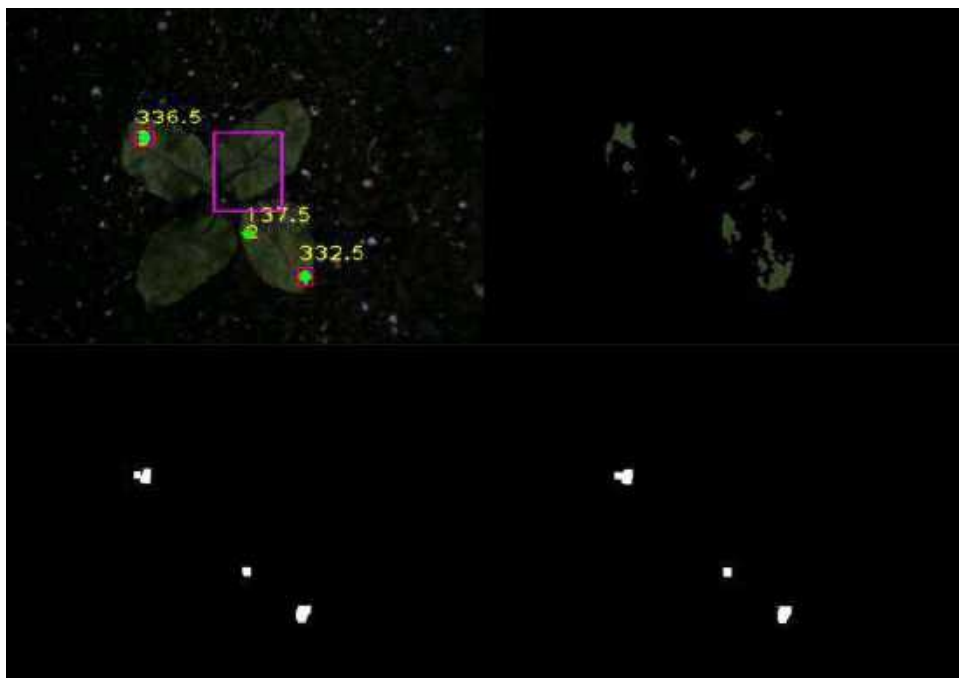


Рисунок 3.6 – Дослідження впливу освітлення 8 лк на розпізнавання культур

Наступний дослід виконали за освітлення в 500 люкс. Роботу графічного редактора за даного освітлення наведено на рисунку 3.7. Результати проведених досліджень впливу освітлення на розпізнавання рослин наведено в додатку В.

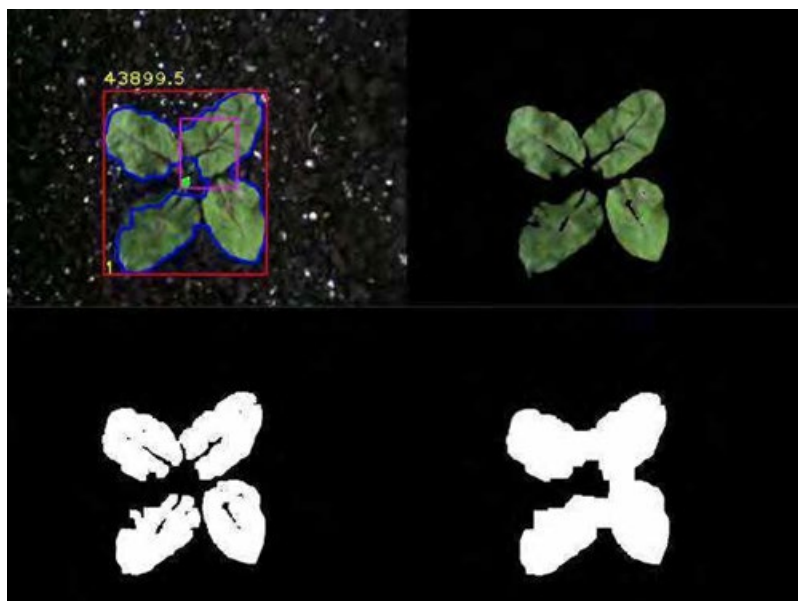


Рисунок 3.7 – Результати другого експерименту

Оцінку джерела освітлення за шкалою якості світла CQS представлено на зображенні (рисунок 3.8). Значення 100% є найкращою якістю джерела світла, тоді як 0% означає найгіршу якість. У разі якість освітлення очевидно високо, оскільки показники наближаються до 100% протягом всіх експериментів. Найменший показник, що відповідає 94%, відзначений при мінімальній освітленості, що зумовлено сильнішим впливом зовнішніх джерел світла через зменшення освітленості джерела, що імітує сонячне випромінювання. У середньому діапазоні цей показник становить 98%.

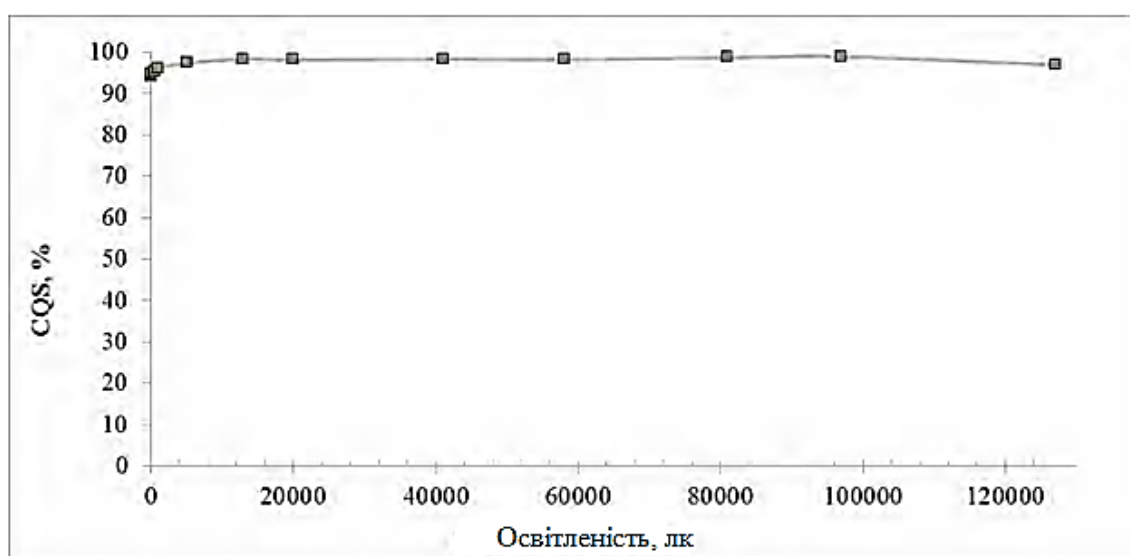


Рисунок 3.8 – Оцінка освітлення за показником CQS

Оцінка індексу кольору джерела світла за шкалою якості CRI наведено на рисунку 3.9. Значення 100% вказує на кращу якість джерела світла, тоді як значення 0 – найгірша якість, аналогічно показнику вище. Мінімальне значення 96%, у середньому діапазоні – перевищує 98%.

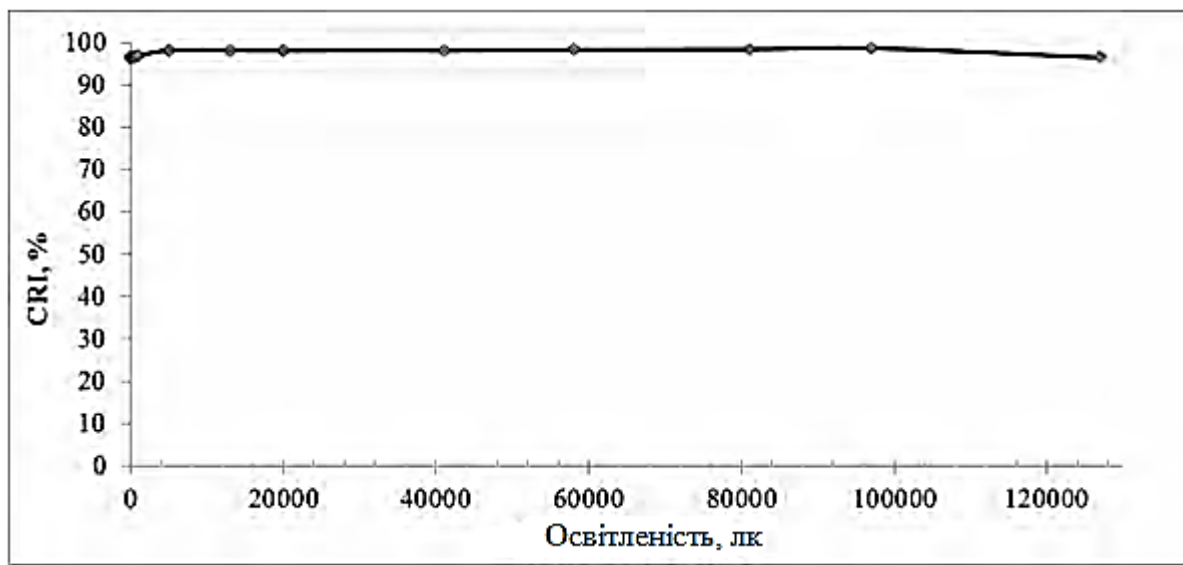


Рисунок 3.9 – Оцінка освітлення за показником CRI

На обох графіках є незначне зниження показників джерела світла в останньому досвіді, що описує максимальне освітлення. Це можливо через підвищення кількості відбитого світла під час проведення експерименту.

Таким чином, освітлення у кожному експерименті відповідає умовам експлуатації роботизованого пристрою контролю бур'янів.

Графік залежності площі розпізнаної поверхні від освітленості джерелом світла природного типу освітлення представлений на зображенні (рисунок 3.10, б). Для оцінки працездатності алгоритму було взято одну й ту саму рослину при всіх значеннях освітленості. Інші параметри залишалися незмінними, такими як висота від поверхні до об'єктива, режим роботи записуючого пристрою та інші; зміни стосувалися виключно освітлення. У зв'язку з цим площа розпізнаної

поверхні безпосередньо пропорційна кількості пікселів, на яких було виявлено рослину за алгоритмом.

У ході експерименту було отримано такі результати. Алгоритм тестувався на мінімальному значенні освітленості при 8 лк, що відповідає дуже слабкому освітленню. У цьому досвіді якість роботи неприйнятно низька. У разі оптимальним рішенням є використання штучних джерел освітлення, оскільки вплив природного освітлення буде несуттєво.

Помірне збільшення освітленості призвело до більш точного розпізнавання паростка столового буряка. Експеримент був проведений при освітленості 20 лк і з подальшим збільшенням інтенсивності світла спостерігалось поліпшення якості розпізнавання.

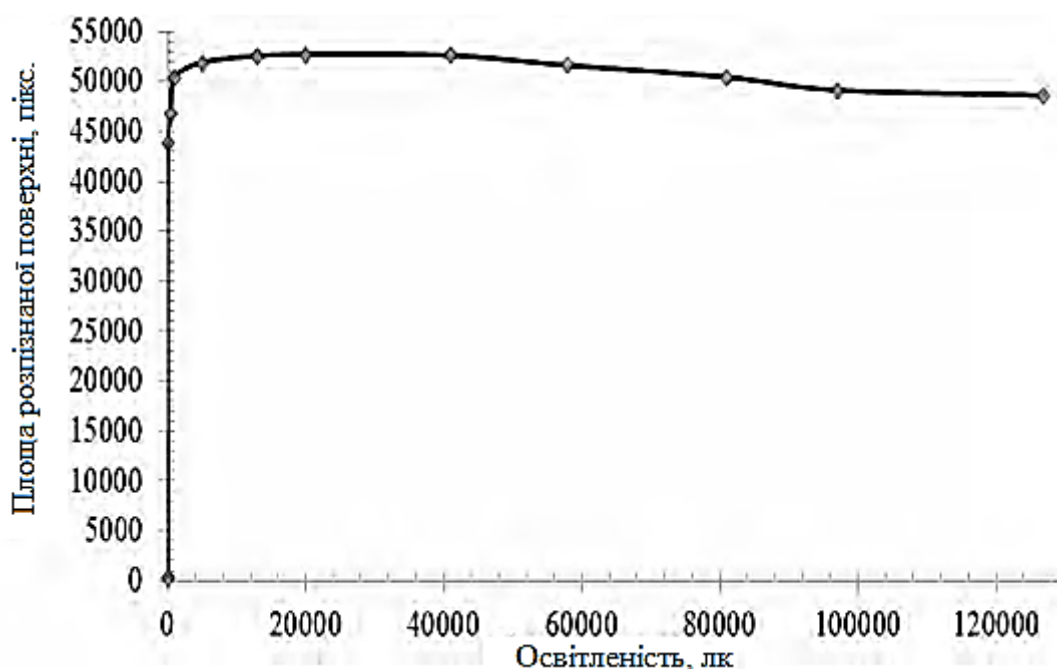


Рисунок 3.10 – Площа розпізнаного контуру на зображенні на відстані об'єктива камери до ґрунту 20 см

Максимальна якість отримана в діапазоні від 5000 до 60000 лк. Цей діапазон поширюється більшу частину часу дня.

Таким чином, алгоритм розпізнавання роботизованого пристрою контролю бур'янів може бути застосований у польових умовах протягом будь-якого часу доби.

При подальшому підвищенні рівня освітленості спостерігалось невелике зниження якості через надмірну яскравість, яка впливала на роботу спектральної камери. Навіть за максимальної освітленості алгоритм продовжував ідентифікувати рослини з прийнятною якістю.

Для забезпечення роботи алгоритму вночі можна використовувати штучні джерела світла, які створюють освітлення, схоже на природне, в середньому діапазоні проведених експериментів.

Отже, алгоритм розпізнавання, реалізований у запропонованому пристрої для контролю бур'янів, може ефективно працювати у польових умовах у будь-який час доби.

3.4 Методика та результати досліджень процесу розпізнавання рослин за різної висоти розміщення спектральної камери

Мета дослідження встановити залежність якості розпізнавання рослин за допомогою механічного зору при розміщенні його спектральної камери на різній висоті. Дослідження виконуємо з використанням лабораторної установки (рис. 3.3). Експеримент виконуємо для п'яти різних ділянок дослідної площі за ступенів освітлення відповідно 5000, 10000, 20000, 40000, 60000, 80000, 100 тис і 120 тис люкс. Висоту розміщення камери змінюємо в межах від 20,5 до 40,5 з кроком 2,5 см

Проведення даного дослідження дозволить покращити алгоритм розпізнавання бур'янів шляхом порівняння площі з розпізнаною частиною рослини. На рисунку 3.11 представлено графічні результати експериментальних досліджень процесу розпізнавання рослин за різної висоти

розміщення спектральної камери після обробки даних, зокрема нормування показників.

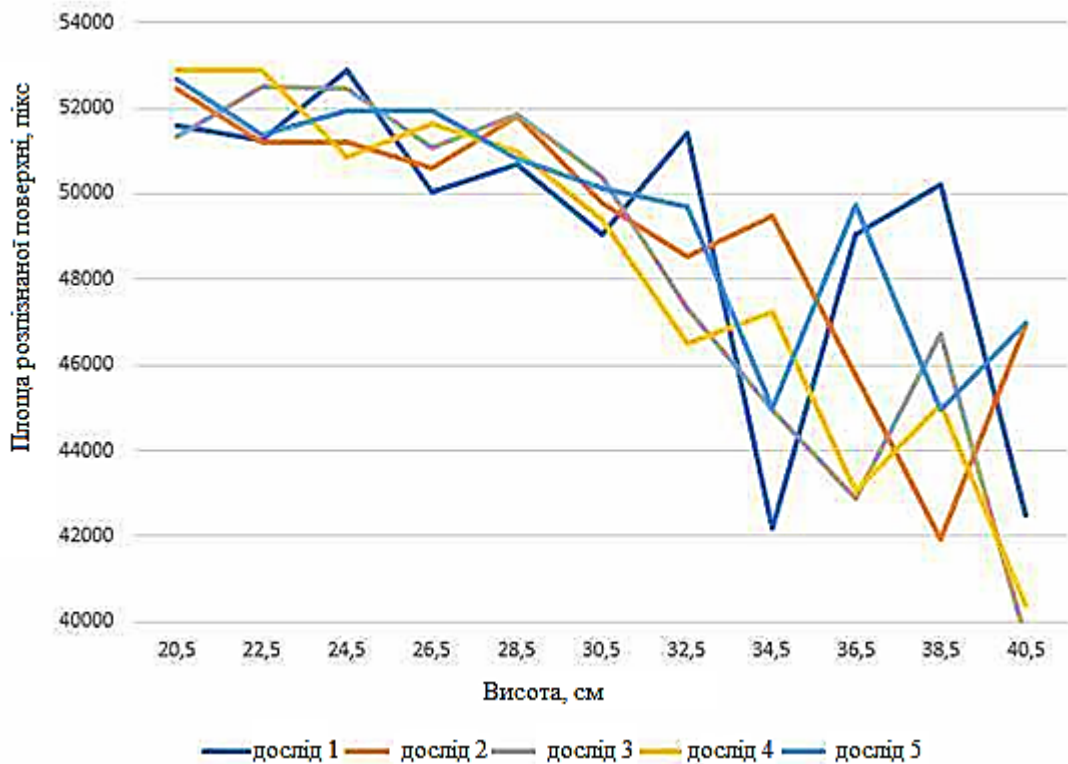


Рисунок 3.11 – Результати досліджень процесу розпізнавання рослин за різної висоти розміщення спектральної камери

Як видно з графіків, після перевищення висоти 30,5 см у роботі алгоритму починають спостерігатися шуми, які знижують точність досліджень. Також помітне загальне зменшення розпізнаної площі рослин за підсумками всіх експериментів.

Це дозволяє зробити висновок, що збільшення відстані до ґрунту негативно впливає на ефективність роботи алгоритму, особливо при висоті понад 30 см. Оптимальні результати досягаються в межах від 20,5 до 30,5 см.

Вплив освітлення за різної висоти розташування спектральної камери ілюструє графік представлений на рисунку 3.12, що дозволяє визначитися з відстанню об'єктиву камери в оптимальному діапазоні освітленості – від 5 тис. до 120 тис. люкс.

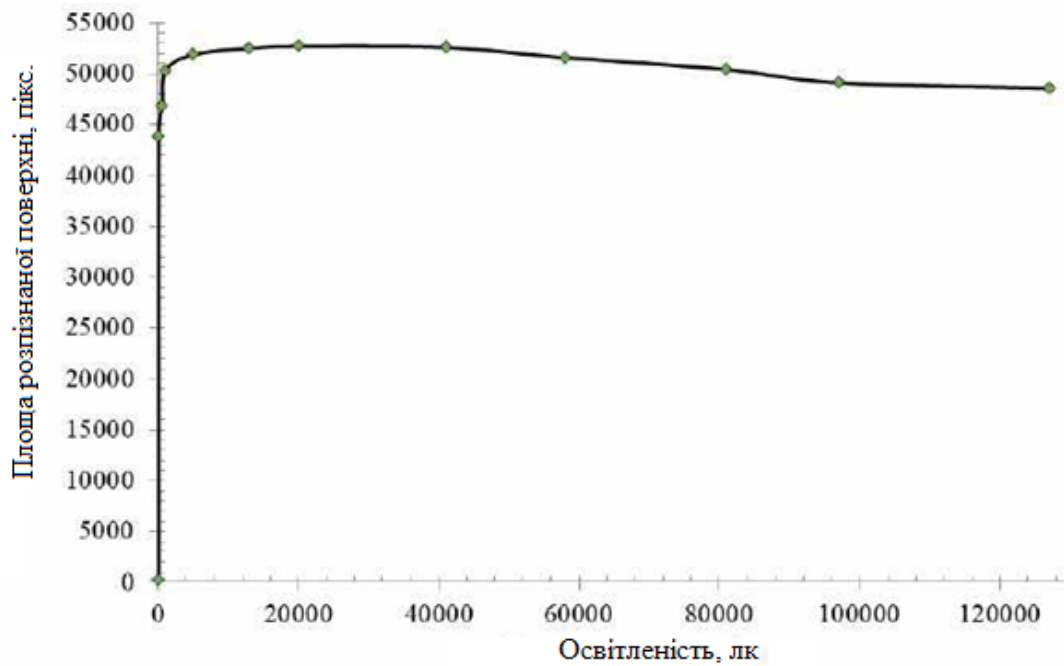


Рисунок 3.12 – Дослідження залежності площі розпізнаної поверхні від ступеня освітлення на висоті 20,5 см

Результати роботи механічного зору при проведенні досліджень на висоті від 20,5 до 40,5 см наведено на рисунку 3.13 для висоти розташування камери 20,5 см.

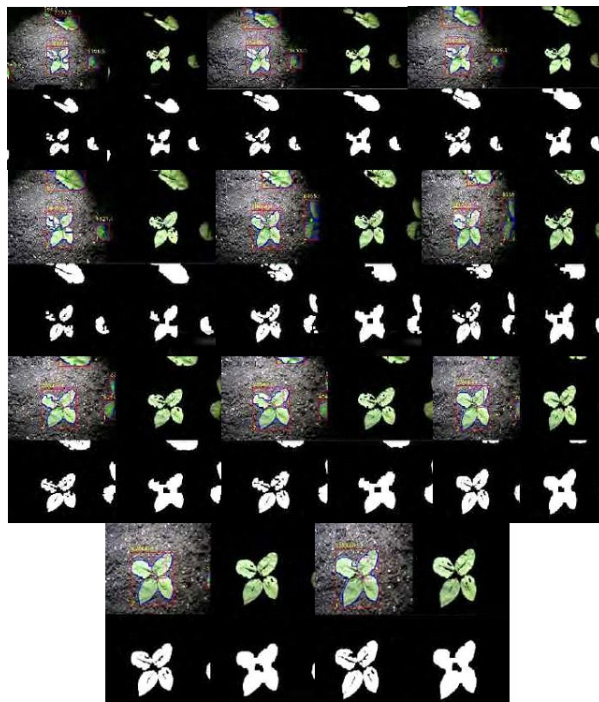


Рисунок 3.13 – Робота алгоритму розпізнавання технічного зору на висоті 20,5 см за освітленості 40 тис. лк

Результати для п'яти різних ділянок досліджень наведено в таблиці 3.2 а графічний варіант на рисункові 3.14.

Таблиця 3.2 – Результати дослідження площі розпізнавання

Площа, пікс	Висота, см										
	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11
	20,50	22,50	24,50	26,50	28,50	30,50	32,50	34,50	36,50	38,50	40,50
`S1	51588	42539	37021	29939	26228	22112	20453	14889	15481	14253	10873
`S2	52447	51187	51184	50623	51831	49753	48521	49492	45767	41924	46925
`S3	51335	52524	52433	51076	51873	50371	47353	44927	42912	46741	39613
`S4	52872	52887	50862	51637	50984	49369	46531	47227	43063	45054	40361
`S5	52684	51369	51948	51923	50809	50127	49732	44982	49747	44971	46961

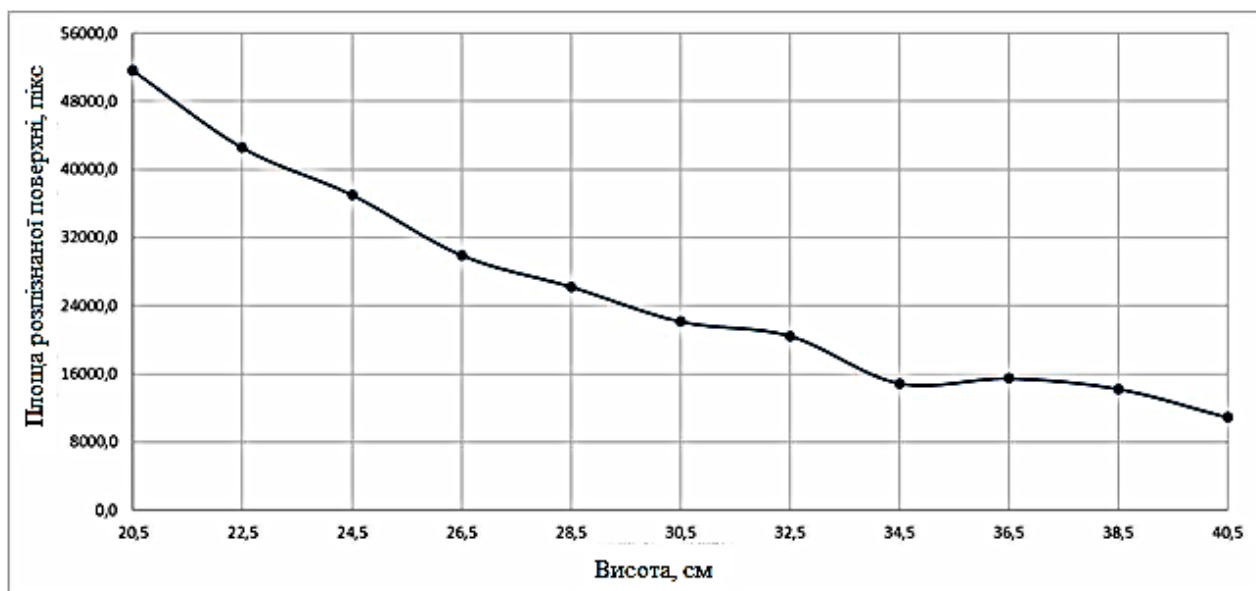


Рисунок 3.14 – Вплив висоти розташування спектральної камери на площу розпізнавання поверхні

З графіка видно, що зі збільшенням значення висоти кількість пікселів, що характеризують рослину, зменшується. Щоб реально оцінити вплив висоти на якість роботи алгоритму, треба обробити результати, щоб виключити зменшення рослини у кадрі. Для цього скористаємося рівнянням:

$$S_1 = S'_1; \bar{S}_2 = S'_2 \frac{h_2^2}{h_1^2}; S_3 = S'_3 \frac{h_3^2}{h_1^2}; S_4 = S'_4 \frac{h_4^2}{h_1^2} \dots, \quad (3.1)$$

3.5 Дослідження точності роботи пристрою розпізнавання бур'янів

Алгоритм роботи пристрою складається з двох етапів. На першому етапі відбувається виявлення культурних рослин та бур'янів по отриманим чотирьом зображенням, де культурні рослини позначені зеленим, бур'ян червоним, а ґрунт – сірим (рис. 3.15, а). Наступним етапом алгоритму є колірна сегментація для виявлення зелених рослин. На зображенні (рисунок 3.15 б) представлено результат екстракції, де чітко видно велике зелене листя (вважається листям столового буряка), тоді як інші рослини (бур'яни) виглядають менш виразно і виділяються серед сірих відтінків ґрунту та чорного лотка. Через наявність візуального шуму (камені, грудки землі тощо) зображення було піддане фільтрації із накладанням чорної маски. Крім того, вплив освітлення спричинив утворення тіней на рослинах, що могло вплинути на визначення їхніх центроїдів. Для усунення порожнин у зображенні було застосовано процедуру заливки шляхом побудови контурів. Перший метод сегментації використовував різницю в площі листя, яка розраховувалася за допомогою Python із застосуванням відповідної функції. Розраховану область порівнювали з напрацьованою базою контурів, щоб ідентифікувати її як культурну рослину (столовий буряк).

В результаті проведеної сегментації бур'яни позначено червоним кольором. Отже на визначення рослин за площею витрачається до 0,098 с і використовуючи метод ерозії та дилатації витрачалось до 0,036 с.

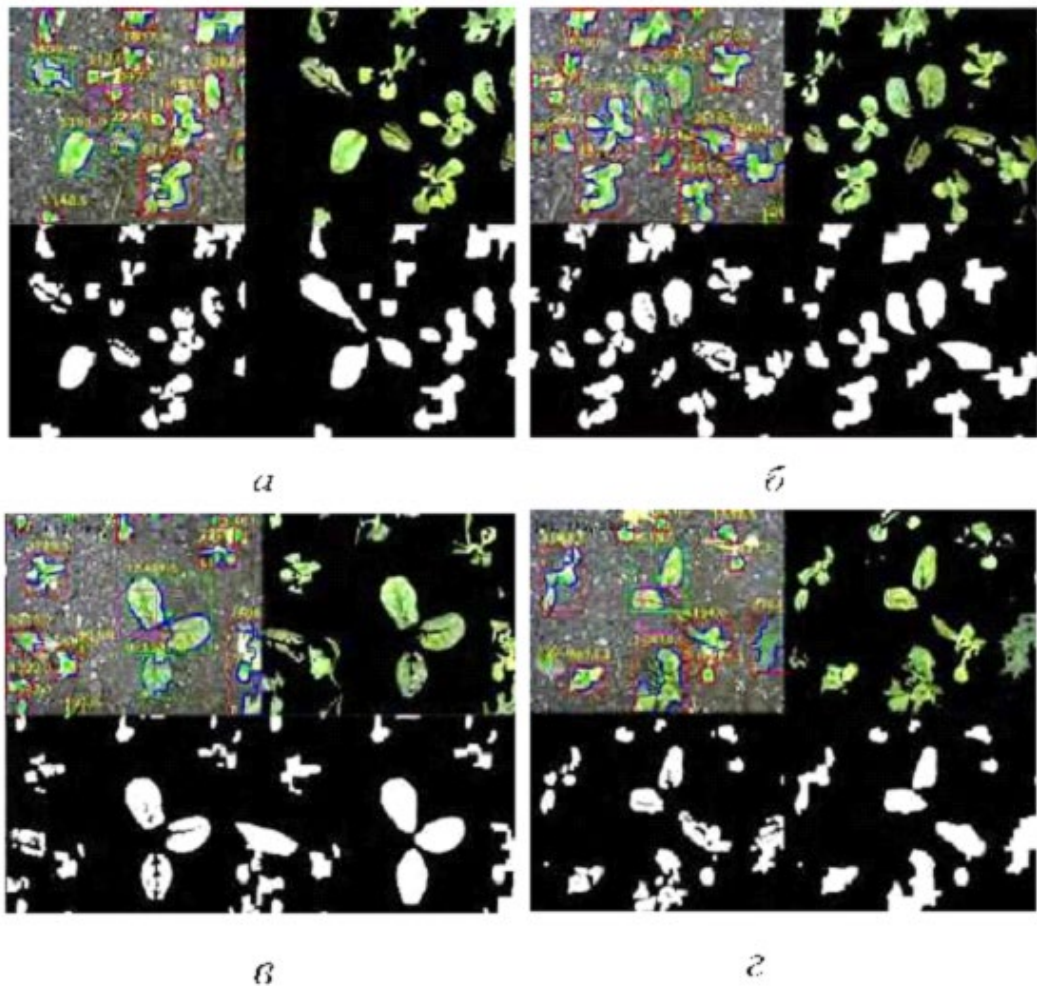


Рисунок 3.15 – Протокол обробки зображень

а – оригінальне зображення; б – використання колірної сегментації визначення зелених рослин; в – отримання подвійного зображення г – визначення культурних рослин

Оцінити роботу пристрою для визначення бур'янів за наведеним вище алгоритмом можливо шляхом візуального аналізу отриманих зображень та порівняти їх показники з реальним розташування культурних рослин і бур'янів. Для оцінки точності роботи алгоритму пристрою було обрано різні дослідні ділянки та отримано 50 зображень. Докладно результати досліджень точності роботи пристрою наведено в додатку Г. На рисунку 3.16 наведено результати точності роботи пристрою розпізнавання бур'янів та культурних рослин.

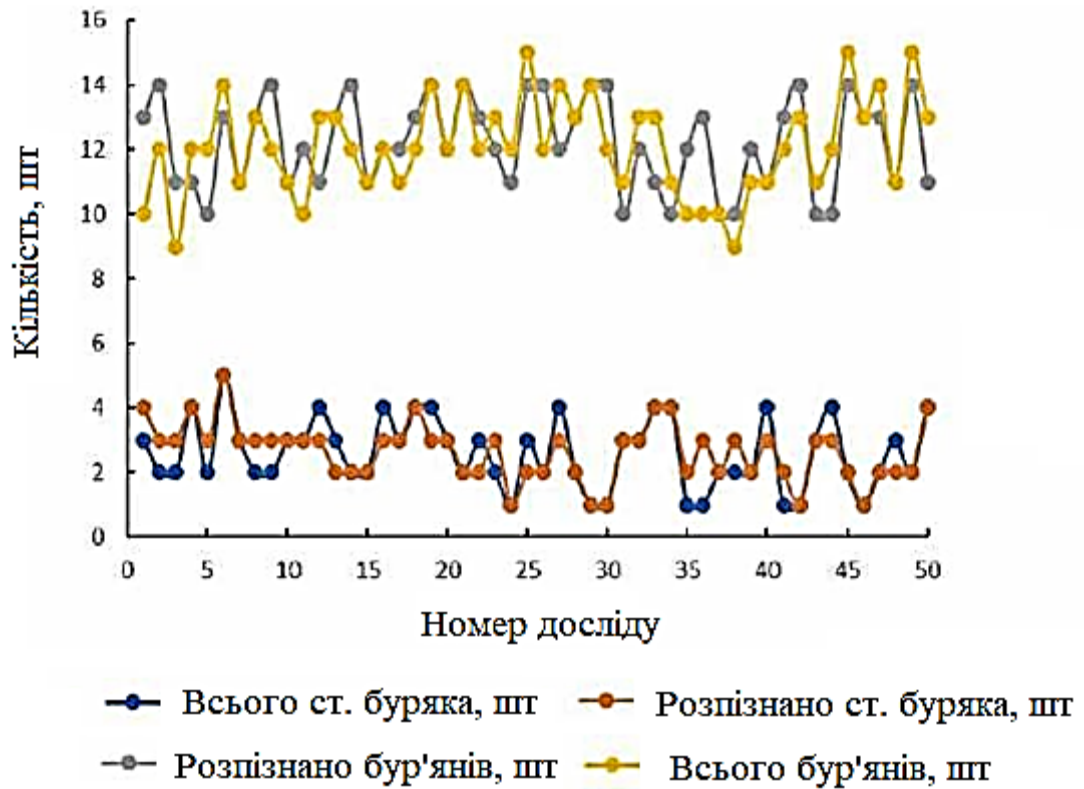


Рисунок 3.16 – Результати точності роботи пристрою розпізнавання рослин

За результатами проведеного аналізу роботи пристрою для розпізнавання бур'янів встановлено, що точність роботи алгоритму склала близько 98%.

3.6 Висновки

1. За результатами проведених досліджень встановлено, що площа розпізнавання рослини змінюється в незначному діапазоні від 43 900 до 52 608 пікс за освітлення від 8 тис. до 60 тис. люкс. Найкращий умови визначення бур'янів являється темна пора доби.

2. За результатами проведених досліджень встановлено, що ефективна робота пристрою по висоті знаходиться в межах від 20,5 см до 30,5 см.

3. Дослідженнями підтверджено ефективність роботи пристрою розпізнавання бур'янів з точністю до 98 %.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Організація охорони праці

Для зниження травматизму та запобігання нещасних випадків у агрогосподарстві створено систему охорони праці, яка включає комплекс заходів, спрямованих на забезпечення безпеки працівників та запобігання нещасним випадкам. Основна відповідальність за недотримання правил та травмування робітників покладається в першу чергу на керівника. По підрозділам за організацію та виконання основних пунктів охорони праці покладено на головного агронома (рослинництво, тік) та головного інженера (ферма, машинний двір). Контроль за виконання основних пунктів здійснює інженер з охорони праці. До основних пунктів відносяться:

Розробка інструкцій з безпеки: кожен працівник має бути ознайомлений із правилами роботи на техніці, у виробничих приміщеннях, а також із заходами першої допомоги в разі надзвичайних ситуацій.

Регулярне навчання та перевірка знань: проведення інструктажів із техніки безпеки перед початком польових робіт, зокрема щодо роботи з хімічними засобами захисту рослин та експлуатації сільськогосподарської техніки.

Контроль стану обладнання та техніки: регулярний технічний огляд тракторів, комбайнів, обприскувачів та іншого обладнання для забезпечення їхньої справності.

Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ): надання спецодягу, захисних окулярів, респіраторів, рукавиць та інших ЗІЗ залежно від виконуваних завдань.

Моніторинг умов праці: періодичне оцінювання умов праці на робочих місцях, включаючи перевірку рівня шуму, вібрацій, температури, освітлення та шкідливих хімічних речовин.

Створення безпечних умов транспортування: контроль за дотриманням правил перевезення працівників і вантажів у межах господарства.

Екстрений план дій: розробка чіткого алгоритму дій на випадок аварійних ситуацій або стихійних лих, що можуть вплинути на робочий процес.

Забезпечення ефективної охорони праці — це запорука збереження життя та здоров'я працівників, підвищення продуктивності праці та зменшення ризиків фінансових втрат у агрогосподарстві.

В головній садибі господарства розміщено куточок з охорони праці обладнаний необхідними засобами для проведення навчань та інструктажів з охорони праці, наочними плакатами (рис. 4.1)



Рисунок 4.1 – Наочні плакати куточка з охорони праці

Кожна виробнича ділянка забезпечена аптечками та засобами пожежогашіння (вогнегасники, лопати, багри, відра та ін.) (рис. 4.2).



Рисунок 4.2 – Стенд пожежної безпеки

В місцях підвищеної пожежної небезпеки розміщено наочні плакати (рис. 4.3) з алгоритмом поведіння в даних ситуаціях (попередження керівництва, проведення заходів з пожежогасіння, евакуація постраждалих та надання первинної допомоги). До таких місць відноситься пункт зберігання та видачі паливо-мастильних матеріалів, тік, ферма.

ДІЇ ПРИ ПОЖЕЖІ

- Виявивши загорілий об'єкт, негайно повідомити про це диспетчера пожежної служби за номером 112.
- Виявивши загорілий об'єкт, негайно повідомити про це диспетчера пожежної служби за номером 112.
- Виявивши загорілий об'єкт, негайно повідомити про це диспетчера пожежної служби за номером 112.
- Виявивши загорілий об'єкт, негайно повідомити про це диспетчера пожежної служби за номером 112.

ПЕРВИННІ ЗАСОБИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ

ВУГЛЕКИСЛОТНІ ВОГНЕГАСІННИ

ПЕРСУРНІ

ПРИ ПОЖЕЖІ 101

ПАМ'ЯТАЙ!

- Виявивши загорілий об'єкт, негайно повідомити про це диспетчера пожежної служби за номером 112.
- Виявивши загорілий об'єкт, негайно повідомити про це диспетчера пожежної служби за номером 112.
- Виявивши загорілий об'єкт, негайно повідомити про це диспетчера пожежної служби за номером 112.
- Виявивши загорілий об'єкт, негайно повідомити про це диспетчера пожежної служби за номером 112.

ПРАВИЛЬНО ДІЙ ПРИ ЛІКВАДАЦІЇ ПОЖЕЖІ

- Виявивши загорілий об'єкт, негайно повідомити про це диспетчера пожежної служби за номером 112.
- Виявивши загорілий об'єкт, негайно повідомити про це диспетчера пожежної служби за номером 112.
- Виявивши загорілий об'єкт, негайно повідомити про це диспетчера пожежної служби за номером 112.
- Виявивши загорілий об'єкт, негайно повідомити про це диспетчера пожежної служби за номером 112.

ЗБЕРЕГАЙТЕ СПОКІЙ!

- Виявивши загорілий об'єкт, негайно повідомити про це диспетчера пожежної служби за номером 112.
- Виявивши загорілий об'єкт, негайно повідомити про це диспетчера пожежної служби за номером 112.
- Виявивши загорілий об'єкт, негайно повідомити про це диспетчера пожежної служби за номером 112.
- Виявивши загорілий об'єкт, негайно повідомити про це диспетчера пожежної служби за номером 112.

ПЕРША МЕДИЧНА ДОПОМОГА ПРИ ОПІКАХ

- Виявивши загорілий об'єкт, негайно повідомити про це диспетчера пожежної служби за номером 112.
- Виявивши загорілий об'єкт, негайно повідомити про це диспетчера пожежної служби за номером 112.
- Виявивши загорілий об'єкт, негайно повідомити про це диспетчера пожежної служби за номером 112.
- Виявивши загорілий об'єкт, негайно повідомити про це диспетчера пожежної служби за номером 112.

ПРИЧИНИ ПОЖЕЖ

- Виявивши загорілий об'єкт, негайно повідомити про це диспетчера пожежної служби за номером 112.
- Виявивши загорілий об'єкт, негайно повідомити про це диспетчера пожежної служби за номером 112.
- Виявивши загорілий об'єкт, негайно повідомити про це диспетчера пожежної служби за номером 112.
- Виявивши загорілий об'єкт, негайно повідомити про це диспетчера пожежної служби за номером 112.

ЗНАНИ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

Важливі правила поведінки в місцях пожежної небезпеки, включаючи евакуаційні шляхи та заборони.

Рисунок 4.3 – Пожежна безпека

Для зниження ризиків ураження струмом від блискавки персоналу тварин та обладнання на території та приміщеннях господарства встановлюються громовідводи. Їх основна мета — захист будівель, техніки, обладнання та сировини від пошкоджень або займання внаслідок електричних розрядів під час грози.

Громовідвід забезпечує:

Запобігання пожежам: зводить ризик займання будівельних матеріалів або зберігаємого врожаю через тепловий вплив блискавки.

Захист електрообладнання: зменшує ймовірність пошкодження електричних мереж та техніки через перенапругу, спричинену грозовим розрядом.

Безпека людей: мінімізує загрозу для працівників, які можуть постраждати від прямого або непрямого впливу блискавки.

Збереження стабільної роботи підприємства: запобігає простою або збиткам, викликаним наслідками грозових явищ.

Наявність громовідводів є важливою складовою системи безпеки та захисту майна в аграрних підприємствах.

4.2 Вимоги з охорони праці під час експлуатації мостової машини

Підготовка персоналу

До роботи допускаються тільки працівники, які пройшли відповідну підготовку, інструктаж з охорони праці та медичний огляд.

Працівники повинні володіти навичками безпечної експлуатації електрообладнання.

Перевірка технічного стану

Перед початком роботи необхідно провести огляд машини: перевірити справність електроприводу, систем управління та безпеки.

Забороняється використання несправного обладнання.

Електробезпека

Усі металеві частини машини повинні бути заземлені відповідно до правил.

Робота повинна виконуватись тільки за нормальних погодних умов; забороняється працювати під час грози.

Електропривод повинен бути вимкнений під час обслуговування або ремонту машини.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Працівники повинні використовувати захисний одяг, взуття з ізоляційною підошвою, рукавиці та, за необхідності, окуляри або маски.

Усі ЗІЗ мають відповідати встановленим стандартам і регулярно перевірятися.

Організація робочої зони

Робоче місце має бути очищене від сторонніх предметів, які можуть перешкоджати безпечній роботі.

Забезпечується належне освітлення робочої зони, особливо під час виконання робіт у темний час доби.

Робочий процес

Під час роботи забороняється залишати машину без нагляду.

Працівники повинні дотримуватись визначених швидкісних режимів та правил експлуатації.

Заборонено перевищувати встановлені норми навантаження машини.

Ремонт та обслуговування

Усі ремонтні роботи виконуються тільки після повного відключення електроживлення.

Перед початком робіт необхідно встановити попереджувальні знаки або бар'єри.

Аварійні ситуації

У разі несправності або аварії роботу слід негайно припинити, відключити електроживлення та повідомити керівника.

Працівники повинні знати порядок дій у разі аварії, включаючи правила евакуації та надання першої допомоги.

Дотримання цих вимог забезпечує безпеку працівників, зменшує ризик травматизму та підвищує ефективність роботи мостової машини.

4.3 Розрахунок заземлення мостової машини

1. Визначення параметрів заземлювального пристрою [34]

Нормативний опір заземлення для електроустановок до 1000 В повинен бути не більше 10 Ом.

Для електроустановок, що працюють у сільському господарстві, можуть застосовуватися спеціальні вимоги залежно від умов експлуатації (грунт, кліматичні особливості тощо).

2. Вибір типу заземлювача

Заземлювачі бувають:

- ***Природні***: металоконструкції, що вже знаходяться в землі (труби, каркаси).
- ***Штучні***: спеціально встановлені металеві стрижні, пластини або смуги.

Для мостової машини зазвичай використовують штучні заземлювачі у вигляді сталевих стрижнів або пластин.

3. Визначення питомого опору ґрунту

Опір ґрунту залежить від його вологості, типу і щільності. Для більшості ґрунтів питомий опір коливається в межах від 10 до 100 Ом·м. У місцях із високим опором рекомендується використовувати спеціальні хімічні засоби для зниження опору або збільшувати кількість заземлювачів.

4. Розрахунок опору одиночного вертикального заземлювача

Формула для визначення опору вертикального заземлювача:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot L}{d}\right), \text{ Ом} \quad (4.1)$$

де: R — опір заземлювача, Ом;

ρ — питомий опір ґрунту, Ом·м;

L — довжина заземлювача, м;

d — діаметр заземлювача, м.

5. Визначення загального опору заземлення

Якщо використовується кілька заземлювачів, їхній загальний опір обчислюється за формулою:

$$R_{\text{заг}} = \frac{R}{n \cdot \eta}, \text{ Ом} \quad (4.2)$$

де $R_{\text{заг}}$ — загальний опір системи заземлення, Ом;

n — кількість заземлювачів;

η — коефіцієнт використання заземлювачів (залежить від відстані між ними, зазвичай 0,6–0,8).

6. Розрахунок кількості заземлювачів

Якщо одиночний заземлювач не забезпечує потрібного опору, кількість заземлювачів визначається за формулою:

$$n = \frac{R}{R_{\text{норм}} \cdot \eta}, \text{ шт} \quad (4.3)$$

де $R_{\text{норм}}$ нормативний опір заземлення, Ом.

7. Перевірка системи заземлення

Після встановлення система заземлення перевіряється вимірювальними приладами. У разі невідповідності нормативам вносяться зміни (збільшення кількості заземлювачів, зміна їхньої довжини або покращення контакту з ґрунтом).

Вихідні дані для виконання розрахунку:

1. Ґрунт із питомим опором $\rho=50$ Ом;
2. Один стрижень довжиною $L=2$ м;
3. Діаметр стержня $d=0,02$ м.

Розрахуємо опір одиночного заземлювача:

$$R = \frac{50}{2\pi \cdot 2} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot L}{0,02}\right) \approx 17,3 \text{ Ом}$$

Якщо нормативний опір 10 Ом, необхідно:

$$n = \frac{17,3}{10 \cdot 0,7} \approx 2,5 \text{ шт}$$

Отже, потрібно встановити мінімум 3 заземлювачі як показано на схемі .

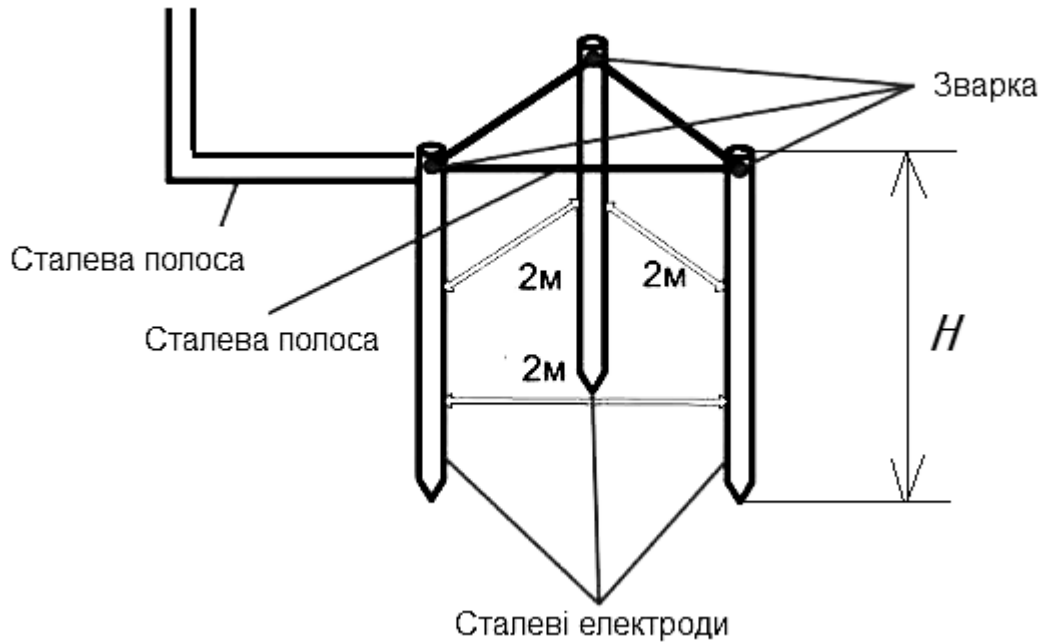


Рисунок 4.4 – Схема контуру заземлення мостової машини

4.4 Висновки

1. Розроблені заходи з охорони праці при експлуатації мостової машини на вирощуванні сільськогосподарських культур дозволять знизити травматизм персоналу.
2. Розроблена схема контуру заземлення згідно виконаних розрахунків забезпечить безпечну експлуатацію мостової машини в польових умовах.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ

Сучасне сільське господарство вимагає високої ефективності та точності під час виконання польових робіт. Використання мостової машини з пристроєм для розпізнавання та видалення бур'янів обладнаного машинним зором дозволяє автоматизувати процеси догляду за рослинами, підвищити якість обробітку та мінімізувати вплив людського фактора. Основні переваги впровадження пристрою:

Підвищення точності роботи (наприклад, визначення стану рослин і точне координування робочих органів полільника).

Зменшення витрат на ресурси (пальне, добрива, пестициди).

Оптимізація робочого часу.

Підвищення екологічності за рахунок зменшення відмови від використання хімічних засобів боротьби з бур'янами (гербіцидів).

Розрахунок за загально прийнятою методикою [35] виконаємо для базового варіанту до складу якого входить трактор ДТЗ-5404 з прополювальним культиватором КМО-2.1 та експериментального з використанням мостової машини з розробленим пристроєм для розпізнавання бур'янів з активною сапою ПРБАС-Е.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані економічного розрахунку

Показники	Базовий	Еспериментальний
Площа вирощування, га	20	20
Культура	Буряк столовий	Буряк столовий
Склад агрегату	ДТЗ-5404+ КМО-2.1	Агроміст + ПРБАС
Вид роботи	прополювання	прополювання

продовження табл. 5.1

Вартість енергетичної машини, грн	540000	450000
Балансова вартість полільника, грн	23500	21500
Швидкість агрегату, км/год	7	7,5
Вартість електроенергії, грн/кВт*год	10	10
Витрати на електроенергію, кВт/га	-	22
Продуктивність агрегату, га/год	0,34	0,19
Вартість дизеля, грн/кг	52	52
Витрати на паливно-мастильні матеріали, кг/га	10,8	-
Тривалість зміни, год	8	8
Кількість працівників, люд	1	1

Значення змінної продуктивності агрегату для боротьби з бур'янами визначимо за рівнянням:

$$W_{зм} = Q \cdot T_{зм} \quad (5.1)$$

де Q – значення продуктивності агрегату для прополювання га/год;

$T_{зм}$ – тривалість зміни, год.

Затрати робочого часу на виконання операції прополювання визначимо за формулою:

$$B = \frac{m \cdot T_{зм}}{W_{зм}}, \frac{\text{люд} - \text{год}}{\text{га}} \quad (5.2)$$

де m – значення кількості працівників задіяних на виконанні операції, осіб;

Завантаження згідно встановлених норм прополовального агрегату:

$$T_n = \frac{W_p}{W_{год}}, га \quad (5.3)$$

W_p – річний наробіток агрегату, га

Витрати на технічне обслуговування та ремонт агрегату для прополовання бур'янів:

$$T_{ні} = \frac{B \cdot 9,7\%}{T_n \cdot W_{год} \cdot 100\%}, грн \quad (5.4)$$

де B – Загальна вартість машинного агрегату для прополовання бур'янів:
Експлуатаційні витрати на агрегат для прополовання бур'янів:

$$V_{\Sigma e} = Z_n + G_{нмм} + T_p, грн \quad (5.5)$$

де Z_n – заробітна платня, грн;

$G_{нмм}$ – значення витрат на експлуатаційні матеріали, грн;

T_p – витрати на КР, ТО, ПР, грн.

Відрахування на зарплатню:

$$Z_n = T_c \cdot T_{ЗМ} \cdot 1,2 \cdot 2,2, грн \quad (5.6)$$

де T_c – тарифна ставка на виконання операції прополовання, грн/год;

1,2 – значення коефіцієнту додаткової оплати праці;

2,2 – значення коефіцієнту нарахувань на соціальні міроприємства.

Значення тарифної ставки на оплату праці визначимо за формулою:

$$T_c = \frac{W_H \cdot S_H}{W_{зм}}, \text{ грн} \quad (5.7)$$

де S_H – оплата за нормований виробіток, 600 грн

W_H – нормована змінна продуктивність праці, га/зм.

Значення амортизаційних відрахувань визначимо за формулою:

$$A_i = \frac{B \cdot A_i}{T_H \cdot W_{год} \cdot 100} \text{ грн} \quad (5.8)$$

де A_i – нормоване відрахування на амортизацію машин, 15 %.

Значення витрат на експлуатаційні матеріали визначимо за рівнянням:

$$G_{пмм} = g \cdot C \cdot S_{п}, \text{ грн} \quad (5.9)$$

де g – значення витрати палива на 1 га, кг;

C – комплексна вартість паливо-мастильних матеріалів, грн/кг

$S_{п}$ – площа вирощування культури, га

Визначаємо витрати на електроенергію за формулою:

$$E = Q \cdot C_e \cdot S_{п}, \text{ грн} \quad (5.10)$$

де Q – витрати електроенергії на 1 га, кВт;

C_e – вартість електроенергії, грн/кВт

Значення витрат на обслуговування та ремонти визначимо за рівнянням:

$$T_p = \frac{K \cdot T_{Hi}}{W_{год}}, \text{ грн} \quad (5.11)$$

де K – значення коефіцієнту умовного еталонного трактору, $K = 0,7$.

Значення сумарних експлуатаційних витрат визначимо за рівнянням (5.5):

Значення експлуатаційних витрат на весь обсяг робіт визначаємо за рівнянням:

$$V_e = V_{se} \cdot W_p, \text{ грн} \quad (5.12)$$

Значення капітальних вкладень на 1 гектар визначимо за рівнянням:

$$K_B^B = \frac{B}{W_p}, \text{ грн} \quad (5.13)$$

Значення приведених витрат на 1 гектар визначимо за рівнянням:

$$\Pi_{v1} = V_{\Sigma e} + 0,15 \cdot K_B, \text{ грн} \quad (5.14)$$

Значення приведених витрат на весь обсяг робіт визначимо за рівнянням:

$$\Pi_{v2} = \Pi_{v1} \cdot W_p, \text{ грн} \quad (5.15)$$

Річний економічний ефект визначаємо за формулою:

$$E_p = \Pi_{v2}^b - \Pi_{v2}^n, \text{ грн} \quad (5.16)$$

Значення терміну окупності визначимо за формулою:

$$T_{ок} = \frac{B^n - B^b}{E_p} = \frac{395700 - 370000}{21080,6} = 1,21 \text{ року} \quad (5.17)$$

Результати розрахунку зведемо в таблицю 5.2

Таблиця 5.2 – Економічні показники кваліфікаційної роботи

Показники	Варіант		Експирем. варіант в (+/-) до базового
	Базовий	Експерим.	
Машинний агрегат	ДТЗ-5404+ КМО-2.1	Агроміст + ПРПБ-Е	-
Вартість агрегату, грн	563500	573500	10000
Площа, га	20	20	-
Вид виконаних робіт	Прополюв.	Прополюв.	-
Тривалість зміни, год	8	8	-
Змінна продуктивність агрегату, га/зм	9,44	9,6	0,16
Витрати на пальне, грн	11232	0	-11232
Витрати на електроенергію, грн	-	4400	4400
Відрахування на оплату праці, грн	3355,932	3300	-55,93
Відрахування на ремонт та технічне обслуговування, грн	9264,322	9206,917	-57,405
Відрахування на амортизацію, грн	24150	24407,14	257,14
Експлуатаційні витрати на прополювання бур'янів, грн	48002,25	41314,06	-6688,19
Річний економічний ефект, грн	13376,385		
Термін окупності, років	0,75		

Висновки:

Розробка пристрою для розпізнавання бур'янів та їх прополювання з використанням системи машинного зору для мостової машини є технічно доцільною та економічно вигідною, що підтверджено розрахунками. Економічний ефект на вирощуванні столового буряку на площі 20 га склав 13376,385 грн а термін окупності 0,75 року.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Застосування машинного зору для визначення та ідентифікації бур'янів являється основним етапом в реалізації інтелектуальних робочих інструментів з догляду за рослинами.

Розширення систем з розпізнавання бур'янів об'єднаних в загальну нейромережу дозволяє максимально наповнити базу бібліотек з образами різних бур'янів за різного освітлення, що підвищує точність рішень виконавчих пристроїв з видалення бур'янів.

З метою підвищення точності ідентифікації бур'янів обрано метод комбінованої сегментації, порівняння кольорів та контурів і наступного аналізу для прийняття рішень з використанням бібліотеки OpenCV.

2. В результаті проведених теоретичних досліджень тягової концепції доведено актуальність впровадження мостового землеробства. Для його реалізації на полі облаштовується координатно транспортна система з використанням одноконсольних мостових машин (агромостів).

За результатами теоретичних досліджень каретки агромоста отримано умови для усунення заклинювання її при переміщенні з пристроєм для розпізнавання бур'янів та робочих органів для їх видалення.

Розроблено пристрій для виявлення та знешкодження бур'янів адаптований для агрегування з агромостом. Використання машинного зору на базі камери OpenMV Cam H7 Plus дозволить виконувати моніторинг з розпізнаванням бур'янів і культурних рослин на різних етапах їх вегетації.

3. За результатами експериментальних досліджень:

- встановлено, що площа розпізнавання рослини змінюється в незначному діапазоні від 43 900 до 52 608 пікс за освітлення від 8 тис. до 60 тис. люкс. Найкращий умови визначення бур'янів являється темна пора доби.

- встановлено, що ефективна робота пристрою по висоті знаходиться в межах від 20,5 см до 30,5 см.

- підтверджено ефективність роботи пристрою розпізнавання бур'янів з точністю до 98 %.

4. Розроблені заходи з охорони праці при експлуатації мостової машини на вирощуванні сільськогосподарських культур дозволять знизити травматизм персоналу.

Розроблена схема контуру заземлення згідно виконаних розрахунків забезпечить безпечну експлуатацію мостової машини в польових умовах.

5. Розробка пристрою для розпізнавання бур'янів та їх прополювання з використанням системи машинного зору для мостової машини є технічно доцільною та економічно вигідною, що підтверджено розрахунками. Економічний ефект на вирощуванні столового буряку на площі 20 га склав 13376,385 грн а термін окупності 0,75 року.

Впровадження цієї технології забезпечить автоматизацію та оптимізацію догляду за рослинами, підвищить продуктивність та рентабельність аграрного виробництва. З урахуванням швидкої окупності проекту та екологічних переваг, запропоноване рішення є перспективним для широкого застосування в сучасному сільському господарстві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Якущенко В.В. Точне землеробство та системи прийняття рішень у сільському господарстві / В.В. Якущенко // Техніка в АПК. - 2014. - № 1 (112) - С. 60-61.
2. Features of the form for identifying young weeds using image analysis. / D.M. Voybek, J.E. Mayer, C. Von Bargaen, D.A. Mortensen // Transaction ASAE. – 1995. – 38(271). – P. 81.
3. Принципи функціонування автономного пристрою боротьби з бур'янами для точного землеробства / А.І. Дикун, І.Г. Коваль, М.А. Мірза // Міжнародна інноваційна онлайн конференція молодих вчених та студентів з проблем машинознавства/ Вінниця, 2020. - С. 740-743.
4. Програмне забезпечення для точного землеробства. Досвід впровадження та розробки/В.В. Якущенко, Д.А. Матвієнко // Модернізація сільськогосподарського виробництва на базі інноваційних машинних технологій та автоматизованих систем. XII Міжнародна науково-технічна конференція: збірка доповідей / ХНТУСГ ім. П. Василенка. - Харків, 2012. - С. 489-491.
5. Torr, P.H.S. Діяльність характерна для оцінки основної матерії під час зображення деградації / P.H.S. Torr, A. Sissermann // MVA. - 1997. - № 9. - P. 321-333.
6. Мальован, К.М. Системи розпізнавання бур'янів/О.В. Калач, К.М. Мальован // Обрії освіти. Науково-освітній журнал ТДАТУ. - Мелітополь, 2019. - № 21. - С. 5-16.
7. Microprocessor control system for a robotic platform for automated care for agricultural crops / A.I Dyshekov, M. A. Mirzaev, M. A. Shereuzhev, A. V. Peshnin // E3S Web Conf. 217 10005. – 2020. – P. 10.
8. Weed and crop discrimination using image analysis and artificial intelligence methods / M. Aitkenhead, I. Dalgetty, C. Mullins, McDonald, N. Strachan // Computers and electronics in Agriculture. - № 39 (3). - P. 157-171.

9. Zhang, N. Weed detection in soybean and small grain fields. / N. Zhang, D.K. Kuhlman, D.E. Peterson // Standard Research Proposal. Manhattan, Kans.: Biological and Agricultural Engineering Department. Kansas State University. – №. 43(6). – P. 1969-1978.
10. Zhang, N. Neural network application in weed identification using color digital image / N. Zhang, Y. Yang, M. Elfaki // Standard Research Proposal. Manhattan, Kans.: Biological and Agricultural Engineering Department. Kansas State University. – 2000. – №. 43(4). – P.1029-1037.
11. Hales, J. Field Analyser: A Modular Capture System for Automatic Weed Imaging and Analysis / J. Hales // Conference: International Workshop on Image Analysis Methods for the Plant SciencesAt. – Aberystwyth, Wales, UK, 2014. – P. 2.
12. Thompson, J. F. Weed detection in cereal crops / J. F. Thompson, J.V. Stafford, B. Ambler // Conference: 3rd International Conference on Precision Agriculture (ICPA'96). – Minnesota, USA, 1996. – P. 7.
13. Evaluation of hierarchical self-organising maps for weed mapping using / X.E. Pantazi, A.A. Tamouridou, T.K. Alexandridis, A.L. Lagopodi, J. Kashefi, D. Moshou // UAS multispectral imagery. Comput. Electron. Agric. – 2017. – №.139. – P. 224– 230.
14. Shape features for identifying young weeds using image analysis. / D.M. Woebbecke, G.E. Meyer, K. von Bargen, D.A. Mortensen // Transactions of the ASAE. – 1995. – № 38. – P. 271-281.
15. Principles of functioning of the autonomous device for weed control for precision agriculture / A.I. Dyshekov, I.G. Smirnov, M.A. Mirzaev, M.A. Shereuzhev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference of Young Scientists and Students "Topical Problems of Mechanical Engineering" / ToPME. – 2020. – P. 5.

16. Ramesh, J. Machine Vision / J. Ramesh, K. Rangachar, J. Schunk // McGrawHill, Inc., ISBN 0-07-032018-7. – 1995. – P. 549.
17. Vernon, D. Machine Vision. Automated visual control and vision of the robot /
D. Vernon // United States: N. p. – 1991. – P. 544.
18. Buhler, D.D. Challenges and opportunities for integrated weed management / D.D. Buhler // Weed Science. – 2002. – №50. – P. 273-280.
19. <http://www.thtechnology.co.uk/> Tillett and Hague Past Projects. Autonomous Crop Treatment Vehicle (1993-1996)
20. <http://www.thtechnology.co.uk/> Tillett and Hague Past Projects. Robocrop Vision Guidance.
21. Gerhards, R. Realtime weed detection, decision making and patch spraying in maize, sugarbeet, winter wheat and winter barley / R. Gerhards, S. Christensen // Weed Res. – 2003. – №43. – P. 385-392.
22. <https://www.suttonag.com/steketee-ic-weeder.htm>
23. https://rc-hobby.com.ua/infocenter/novosti-i-sobytiya/ecorobotix-predstavila-nazemnogo-robota_fermera-na-distantionnom-upravlenii/?PAGEN_1=289
24. <https://www.agricultural-robotics.com/fr/actualite/naio-technologies-four-autonomous-robots-have-gone-global>
25. Охмат П.К., Мельниченко В.І. Основи теорії та розрахунку трактора і автомобіля: Курс лекцій. Дніпропетровськ: ТОВ «ЕНЕМ», 2013. 340 с.
26. Улексін В.О. Концепція опорно-ходового апарата для агромоста / Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. – Львів: Львів. нац. аграр. ун-т, 2008. – № 12(2). С. 456...464.
27. В.Т. Надикто, В.О. Улексін. Колійна та мостова системи землеробства. Монографія. – Мелітополь.: Видавничий будинок ММД, 2008. – 270 с.
28. Мостове землеробство. Елементи теорії та результати досліджень: Монографія [Кобець А.С., Теслюк Г.В., Пугач А.М., Надикто В.Т., Улексін

В.О. Бойко В.Б., Теслюк Ю.В., Золотовська О.В.]. – Дніпро: ТОВ «Акцент ПП», 2022. – 340 с.

29. Wang, L. Calibration of several cameras with a one-dimensional object in general movements / L. Wang, F.C. Wu, Z.Y. Hu // IEEE 11th International Conference on Computer Vision. – Rio de Janeiro, 2007. – P.1-7.

30. Woodham, R.J. Photometric method for determining surface orientation from multiple images / R.J. Woodham // Opt. Eng. – 1980. – №19(1). – P.139–144.

31. Адлер Ю.П., Маркова Є.В., Грановський Ю.В. Планування експерименту під час пошуку оптимальних умов. М: Наука. 1976. 280 с.

32. Надикто В.Т. Основи наукових досліджень. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС. 2019. 268 с.

33. Murza, M.A. Influence of intensity of illumination on weed recognition algorithm / M.A. Murza, A.I. Dyshenko// E3S Web Conf. 193 01058. – 2020. – P.8.

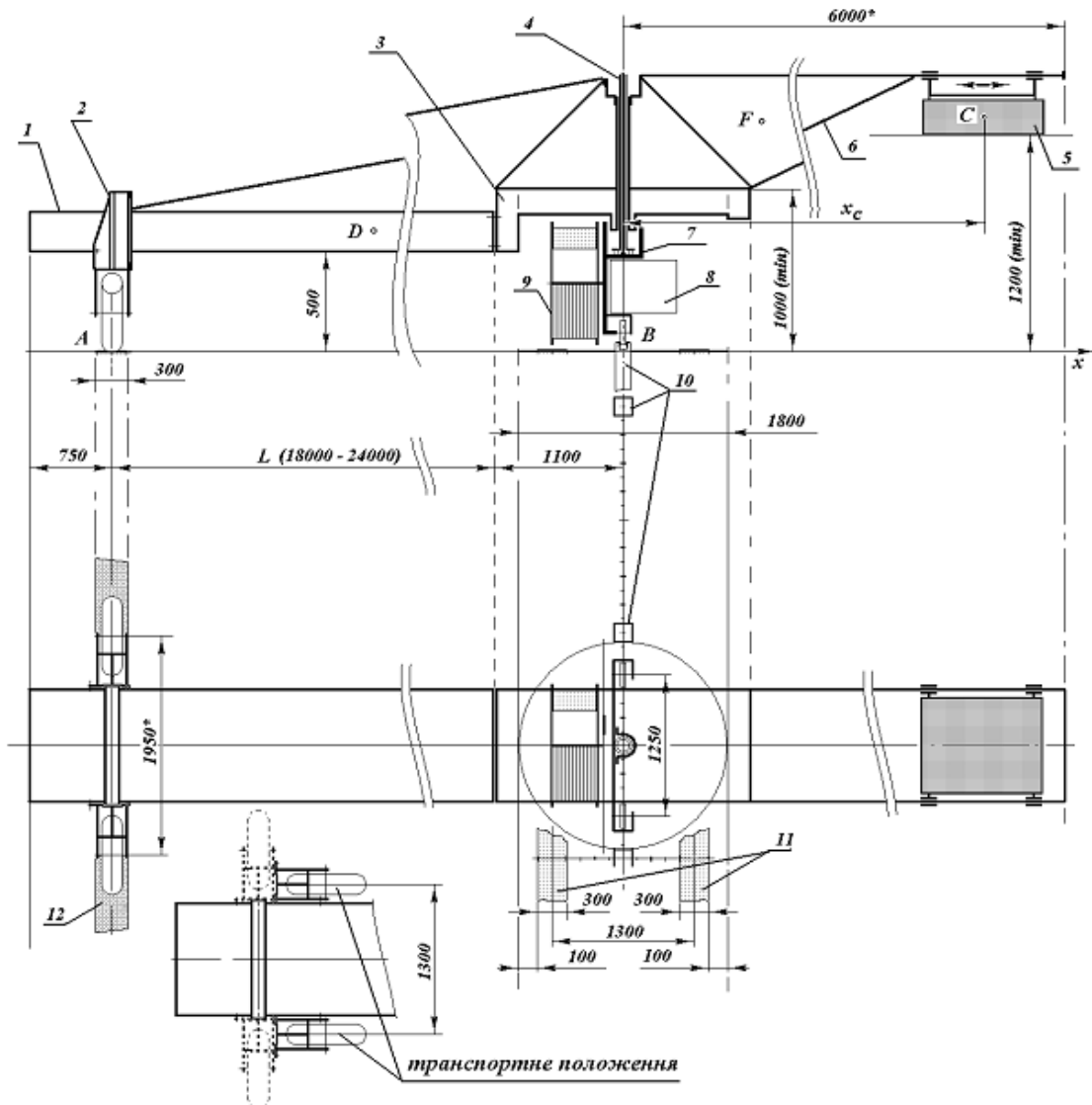
34. Основи охорони праці: підручник. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний та ін. – К.: Основа, 2006. – 448 с.

35. Черниш С.С.. Економічний аналіз. - К: видавничий центр учбової літератури, 2010. – 313 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Компонувальна схема агромоста та вихідні дані для розрахунків



- 1 – ферма агромоста; 2 – підтримуючий візок; 3 – центральна секція ферми агромоста;
 4 – поворотна вісь; 5 – врівноважуючий баласт; 6 – врівноважуюча секція ферми;
 7 – основний опорно-ходовий візок; 8 – простір для розміщення маніпулятора; 9 – кабельний барабан; 10 – опори в ґрунті; 11 – колії транспортної доріжки; 12 – допоміжна доріжка
 - довжину опорної балки-рейки, яка повинна бути кратною можливій відстані між рядками рослин при їх рядковому розташуванні (прийнято 2000 мм – кратна 100, 200, 400 та 500 мм);
 - розміри транспортних доріжок (ширина колії транспортного засобу 1300 мм, ширина сліду рушія транспортної машини – 300 мм, охоронні зони по сторонах колії – 100 мм, в сумі – 1800 мм); - ширина допоміжних доріжок з охоронними зонами (300 мм). Довжина робочої частини ферми згідно рекомендацій повинна знаходитися у межах 18...30 м.

Додаток Б

Характеристики записуючого пристрою

Тип матриці	CMOS
Розширення матриці, Мпікс	3
Максимальна частота, кадрів/с	30
Максимальне розширення, пікс	1920x1080
Оптика	Carl Zeiss Tessar
Матеріал лінзи об'єктиву	Скло
Число лінз	1
Цифровий зум	4x
Автоматичний фокус	так
Автоматичне регулювання балансу білого	Так
Робота при слабому освітленні	Так
Індикація включення	Так
Матеріал корпусу	Пластик
Поворот по горизонталі	90°
Інтерфейс зв'язку з ПК	USB 2.0
Кабель USB	вбудований
Довжина кабелю, м	1,8
Колір	Чорний
Габаритні розміри (В×Ш×Г), мм	94×43×71
Маса відеокамери, г	162

Додаток В

Результати досліджень роботи системи технічного зору

Номер	CRI, %	CQS, %	Освітлення, лк	Площа, пікс
1	95,56	94,83	8	335,5
2	96,68	94,96	20	43899,5
3	96,83	95,24	500	46844
4	97,08	96,03	1000	50323,5
5	98,29	97,43	5000	51891
6	98,31	98,44	13000	52529
7	98,23	98,19	20000	52703,5
8	98,24	98,39	41000	52593,5
9	98,43	98,29	58000	51597
10	98,56	98,75	81000	50425,5
11	98,82	98,99	97000	49115,5
12	96,64	97,01	127000	48585

Додаток Г

Результати обробки зображень рослин

№ п/п	Розпізнано рослин ст. буряку, шт	Всього рослин ст. буряку, шт	Розпізнано бур'янів, шт	Всього бур'янів, шт	Кіл-ть помилок, %	Помилка Ст.буряк	Помилка бур'ян
1	3	4	13	10	14,29	25,00	30,00
2	2	3	14	12	6,67	33,33	16,67
3	2	3	11	9	8,33	33,33	22,22
4	4	4	11	12	6,25	0,00	8,33
5	2	3	10	12	6,67	33,33	16,67
6	5	5	13	14	5,26	0,00	7,14
7	3	3	11	11	0,00	0,00	0,00
8	2	3	13	13	6,25	33,33	0,00
9	2	3	14	12	6,67	33,33	16,67
10	3	3	11	11	0,00	0,00	0,00
11	3	3	12	10	15,38	0,00	20,00
12	4	3	11	13	6,25	33,33	15,38
13	3	2	13	13	6,67	50,00	0,00
14	2	2	14	12	14,29	0,00	16,67
15	2	2	11	11	0,00	0,00	0,00
16	4	3	12	12	6,67	33,33	0,00
17	3	3	12	11	7,14	0,00	9,09
18	4	4	13	12	6,25	0,00	8,33
19	4	3	14	14	5,88	33,33	0,00
20	3	3	12	12	0,00	0,00	0,00
21	2	2	14	14	0,00	0,00	0,00
22	3	2	13	12	0,00	50,00	8,33
23	2	3	12	13	0,00	33,33	7,69
24	1	1	11	12	7,69	0,00	8,33
25	3	2	14	15	0,00	50,00	6,67

Продовження табл.

№ п/п	Розпізнано рослин ст. буряку, шт	Всього рослин ст. буряку, шт	Розпізнано бур'янів, шт	Всього бур'янів, шт	Кіл-ть помилوک, %	Помилка Ст.буряк	Помилка бур'ян
26	2	2	14	12	14,29	0,00	16,67
27	4	3	12	14	5,88	33,33	14,29
28	2	2	13	13	0,00	0,00	0,00
29	1	1	14	14	0,00	0,00	0,00
30	1	1	14	12	15,38	0,00	16,67
31	3	3	10	11	7,14	0,00	9,09
32	3	3	12	13	6,25	0,00	7,69
33	4	4	11	13	11,76	0,00	15,38
34	4	4	10	11	6,67	0,00	9,09
35	1	2	12	10	8,33	50,00	20,00
36	1	3	13	10	7,69	66,67	30,00
37	2	2	10	10	0,00	0,00	0,00
38	2	3	10	9	0,00	33,33	11,11
39	2	2	12	11	7,69	0,00	9,09
40	4	3	11	11	7,14	33,33	0,00
41	1	2	13	12	0,00	50,00	8,33
42	1	1	14	13	7,14	0,00	7,69
43	3	3	10	11	7,14	0,00	9,09
44	4	3	10	12	6,67	33,33	16,67
45	2	2	14	15	5,88	0,00	6,67
46	1	1	13	13	0,00	0,00	0,00
47	2	2	13	14	6,25	0,00	7,14
48	3	2	11	11	7,69	50,00	0,00
49	2	2	14	15	5,88	0,00	6,67
50	4	4	11	13	11,76	0,00	15,38
				Всього	5,87	16,50	9,10

