

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Кафедра технічного сервісу та інженерного менеджменту
імені М.П.Момотенка**

УДК 631.34:632.51

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри технічного сервісу
та інженерного менеджменту
імені М.П.Момотенка

_____ **Роговський І.Л.**

“ ___ ” _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «УДОСКОНАЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ
ПОКАЗНИКІВ АВТОНОМНОЇ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ МАШИНИ ДЛЯ
ЗНИЩЕННЯ БУР'ЯНІВ»**

Спеціальність – 208 «Агроінженерія»
Освітня програма – «Агроінженерія»
Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

Гарант освітньої програми:

д.т.н., проф.

«підпис»

Братішко В.В.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доцент

«підпис»

Шимко Л.С.

Виконав

«підпис»

Марйоха Є.М.

Київ – 2024

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра технічного сервісу та інженерного менеджменту
імені М.П.Момотенка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технічного сервісу та
інженерного менеджменту
імені М.П.Момотенка,

“ _____ ” _____ **І.Л.Роговський**
_____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Марйосі Євгенію Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність – 208 «Агроінженерія»
Освітня програма – «Агроінженерія»
Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Удосконалення експлуатаційних показників автономної сільськогосподарської машини для знищення бур'янів».

затвержені наказом ректора НУБіП України від «07» грудня 2023 року №2223 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру: 10.11.2024 р.

Вихідні дані до роботи:

Науково – технічна література; результати науково-дослідних робіт щодо використання автономного роботизованого обладнання для сільськогосподарського виробництва з метою покращення технологічних процесів виробництва продукції рослинництва.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Стан питання і завдання дослідження застосування автономного роботизованого обладнання для сільськогосподарського виробництва
2. Пошук дизайну автономного роботизованого обладнання для виконання технологічної операції знищення бур'янів
3. Проектування автономного роботизованого обладнання (робота) для аграрного сектору
4. Результати досліджень
5. Рекомендації щодо використання автономного роботизованого обладнання

Дата видачі завдання 18.09.2023 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

_____ **Л.С. Шимко**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

_____ **Є.М. Марйоха**
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота містить розрахунково-пояснювальну записку на 97 стор. машинописного тексту.

Ключові слова: робот, бур'яни, сільське господарство, роботизована платформа, управління, розпізнавання.

Зокрема, було досліджено використання автономного сільськогосподарського роботизованого обладнання для ефективної боротьби з бур'янами. В результаті було розроблено автономну сільськогосподарську робототехнічну систему для знищення бур'янів та концепцію робота для використання в сучасному сільському господарстві на основі технології Farming 4.0, що складається з автономної платформи, системи моніторингу та розпізнавання бур'янів та системи управління обприскуванням та спалюванням бур'янів.

Була розроблена платформа, на якій модуль і компоненти цієї системи можуть бути розміщені для установки модулів "відстеження-розпізнавання-орієнтація" і системи розпилення/спалювання. Були створені алгоритми для управління компонентами і їх взаємодією, управління модулями робота-трактора, зокрема індукційною системою розпізнавання слідів, розпилення або згоряння.

ЗМІСТ

	ст.
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ РОБОТІВ ДЛЯ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА.....	8
1.1. Нововведення точного землеробства та вимоги до їх технічного забезпечення.....	8
1.2. Сучасні тенденції та конструкції рухомих автономних роботизованих пристроїв для боротьби з бур'янами	12
1.2.1. Роботизація в агропромисловому комплексі.....	12
1.2.2. Новітні автономні сільськогосподарські трактори та інноваційні робо- технічні системи	14
1.2.3. Сучасні досягнення аграрної робототехніки.....	27
1.3. Інженерні дослідження для створення вдосконалених моделей рухомих автономних роботизованих пристроїв для агропромислового виробництва для боротьби з бур'янами	29
1.3.1. Задачі управління роботом.....	29
1.3.2. Дослідження розпізнавання бур'янів.....	34
1.3.3. Завдання управління виконавчими пристроями	38
1.4. Комплектуючі елементи та їхнє застосування в рухомих автономних роботизованих пристроїв	39
1.5. Зміст проекту	41
РОЗДІЛ 2. КОНЦЕПЦІЯ ТА ДИЗАЙН.....	44
2.1. Пошукове ескізування дизайну	44
2.2. Визначення складових та загальних параметрів робота	47
2.3. Загальні інженерні завдання забезпечення функціонування роботизованого пристрою для знищення бур'янів.....	51
2.3.1. Визначення схеми керування роботом	51
2.3.2. Оцінка завдання наведення лазера	55
2.3.3. Забезпечення наведення форсунки.....	57

РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ АГРАРНОГО РУХОМОГО АВТОНОМНОГО РОБОТИЗОВАНОГО ПРИСТРОЮ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЙОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ.....	59
3.1. Проект рухомої автономної системи.....	59
3.2. Проектування системи спостереження	60
3.3. Проект інтегрованої системи спостереження	62
3.4. Технологія для виготовлення деталей прототипу автономного роботизованого пристрою	64
3.5. Інтерфейс середовища управління рухомим автономним сільськогосподарським роботом.....	70
3.6. Алгоритм забезпечення роботи	71
3.7. Дослідний зразок	74
РОЗДІЛ 4. ІННОВАЦІЙНИЙ ПРОЕКТ РУХОМОГО АВТОНОМНОГО РОБОТИЗОВАНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА	77
4.1. Система як об'єкт права власності	77
4.1.1. Патентний пошук у сфері автономних роботизованих пристроїв для агропромислового виробництва	77
4.2. Визначення характеристик проекту	84
4.2.1. Визначення характеристик ідеї проекту	85
4.2.2. Оцінка потенційного ринку ідей.....	86
4.2.3. Характеристика потенційних клієнтів	86
4.2.4. Аналіз конкуренції	87
ВИСНОВКИ.....	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	89
ДОДАТОК	94

ВСТУП

Сучасні підходи до обробки рослин досить ресурсоємні і неефективні. Більше 95% площі поля покрито шкідливими хімічними речовинами, які знижують якість продукції в ґрунтових умовах. Крім того, важка техніка в основному стискає землю, що призводить до її виродження.

Впровадження роботів, які можуть працювати в полі 24 години на добу і приймати незалежні рішення про стан сільськогосподарських культур і необхідності втручання в процес вирощування, зменшить шкідливий вплив на землю.

Прогнози світових експертів припускають, що в найближчі 30-50 років сільське господарство радикально зміниться, в першу чергу завдяки роботам і автоматизації. 1. Однією з найбільш актуальних областей в цій області є створення роботів для боротьби з бур'янами.

Мета дослідження: Розробка інноваційної концепції автономного сільськогосподарського робота-трактора для прополки, мехатронної системи, прототипування та тестування.

Задачі дослідження

1. На основі аналізу ринку та існуючих технологічних рішень для автономних роботизованих тракторів для боротьби з бур'янами запропоновано унікальну концепцію автономної мехатронної системи для пошуку та боротьби з бур'янами в сільському господарстві та розроблено прототип.

2. Проектування, розрахунок та моделювання основних технічних параметрів сортувального модуля робота-трактора.

3. Створити модель робота-трактора та розробити технологію для дослідження його роботи.

4. Розробити пропозицію стартап-проекту для маркетингу роботизованого трактора для обприскування та спалювання бур'янів у сільському господарстві.

Об'єкт дослідження

Процес проектування сортувально-дробильних модулів для сільськогосподарських роботів-тракторів та пошук технічних рішень.

Предмет дослідження

Зовнішній вигляд і компонування, функціональні та технічні характеристики загальних платформ, модулів керування рульовим керуванням і сортуванням сільськогосподарських роботів-тракторів.

1. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ РОБОТІВ ДЛЯ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

1.1. Нововведення точного землеробства та вимоги до їх технічного забезпечення

Основним трендом ресурсозберігаючих технологій у сільському господарстві є точне землеробство - управління продуктивністю сільськогосподарських культур з урахуванням мінливості рослинних середовищ існування в польових умовах. Метою є максимізація прибутку при оптимізації економічних і природних ресурсів. Це створює реальні можливості для виробництва високоякісної, екологічно чистої продукції та захисту навколишнього середовища. Такий підхід дозволяє значно збільшити економічну вигоду і, що найголовніше, покращити відтворюваність родючості ґрунту та рівень екологічності сільськогосподарської продукції. Точне землеробство дозволяє скоротити витрати на внесення добрив і насіння в середньому на 30%.

Останнє десятиліття стало свідком значного прогресу в сільськогосподарській техніці та технологіях, особливо в розробці та застосуванні технологій автоматизації та здатності збирати й аналізувати дані та інформацію, отримані від різних машин. Це підкреслюється в останній колективній монографії [1], яка висвітлює поточні виклики в сільськогосподарському машинобудуванні і вказує на те, що «до 2050 року населення світу має збільшитися на 30% з приблизно 7 мільярдів сьогодні до 9 мільярдів, а світове постачання продовольства має зрости на 50%». Тому постійне вдосконалення та інновації в сільськогосподарській техніці та технологіях є необхідними для вирішення цього завдання». У документі представлені загальні підходи, такі як використання машинного зору в сільськогосподарському машинобудуванні, системи безпілотних літальних апаратів і технології корисного навантаження, а також робототехніка для точного землеробства. Активний розвиток автономних транспортних засобів

для сільськогосподарського машинобудування відзначається як ще одна тенденція.

Цікавим є погляд на розвиток сучасної агроінженерії з боку Індустрії 4.0. У статті розглядаємо, як концепції інноваційного управління ланцюгом поставок в епоху Індустрії 4.0 могли не тільки забезпечити шлях подолання зазначених проблем, але й створити основу для розробки нових форм роботи та бізнес-моделей для Фермерства 4.0. Методи Industrie 4.0 активно досліджуються для галузях сільського господарства, що призвело до появи таких термінів, як Agriculture 4.0 та Farming 4.0. У статті А-Т. Браун аналізуються конкретні проблеми, з якими стикається сільське господарство вздовж ланцюга постачання сільськогосподарської продукції, щоб забезпечити успішне впровадження підходів Industrie 4.0, дослідження того, як підходи Industrie 4.0 можуть бути адаптовані для застосування до ланцюга постачання сільськогосподарської продукції (рис.1.1).

Базуючись на таких загальних поняттях, як Connected World (Підключений Світ) Internet of Things (Інтернет Речей), Smart Data (Розумні Дані), Product Lifecycle Management (Управління Життєвим Циклом Продукту) сформульовані операційні процеси сільського господарства: обробка великих масивів даних; інтелектуальне планування процесів; гнучкий доступ; захист потоку даних; модульні конструкції; зручність для користувачів (рис.1.2).

Технологічні рішення можуть зробити значний внесок у перетворення викликів в управлінні ланцюгами поставок сільськогосподарської продукції на можливості. Очевидно, що прості технології, такі як Connected World (Підключений Світ) Internet of Things (Інтернет Речей), Smart Data (Розумні Дані), Product Lifecycle Management (Управління Життєвим Циклом Продукту), разом із взаємозв'язком людей і сільськогосподарської техніки на всіх рівнях співпраці, забезпечують самооптимізуючу структуру ланцюга поставок сільськогосподарської продукції. Вбудовані в інноваційні платформи управління сільським господарством, ці технології можуть бути легко впроваджені та використані всіма зацікавленими сторонами. Однак нові

технології та програмне забезпечення для діджиталізації агробізнесу самі по собі не можуть вирішити всі проблеми цифрової трансформації ланцюгів поставок.



Рис. 1.1 - Вертикальна та горизонтальна інтеграція в ланцюжку постачання сільськогосподарської продукції



Рис. 1.2 - Вимоги до сільського господарства з погляду Industrie 4.0

Інфраструктура, навчання, кваліфікація, сприятливе структурне та правове робоче середовище, а також готовність до впровадження нових технологій також є важливими. Сучасна комунікаційна інфраструктура в сільській місцевості має важливе значення для роботи «Сільського господарства 4.0». Крім того, здатність використовувати структуровані та неструктуровані дані вздовж ланцюга постачання сільськогосподарської продукції має важливе значення для трансформації існуючих сільськогосподарських процесів у сільське господарство Індустрії 4.0.

Сьогодні можна визначити стан і перспективи окремих полів шляхом безперервного ретроспективного порівняльного аналізу супутникових знімків майже в реальному часі та історичних даних, а широке використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) зробило цю інформацію доступною для фермерів дуже швидко і за значно нижчою вартістю, ніж супутникові дані. Ринок використання БПЛА в сільському господарстві був другим за величиною в приватному секторі в 2020 році (див. Таблицю 1.1).

Таблиця 1.1 - Використання дронів у цивільних галузях

№	Галузь	Застосування дронів	Бюджет \$ млрд.
1	Інфраструктура	• Моніторинг інвестицій, технічне обслуговування, облік активів.	45,2
2	Сільське господарство	• Аналіз ґрунтів і дренажних систем, моніторинг стану посівів, прогнозування врожайності, обприскування пестицидами та внесення добрив.	32,4
3	Транспорт	• Доставка вантажів, медична логістика.	13,0
4	Безпека	• Моніторинг ліній і об'єктів, проактивне реагування на ризики.	10,5
5	Розваги і медіа	• Реклама, розважальні заходи, аерофотозйомка, шоу та спецефекти.	8,8
6	Страховання	• Підтримка у врегулюванні претензій, виявлення випадків шахрайства.	6,8
7	Телекомунікації	• Технічне обслуговування веж і передача сигналу.	6,3
8	Гірництво	• Планування, геологічна розвідка, оцінка екологічного впливу.	4,3

Стаття Хафіз також цікава тим, що містить дані про класифікацію сільськогосподарських дронів, ціни, застосування, переваги та недоліки останніх комерційних моделей, а також короткий огляд використання дронів в операціях з моніторингу посівів.

Найближчою до предметної області спеціальності є роботизовані та мехатронні системи для агроінженерії. Використання роботизованих машин у сільському господарстві стане поширеним у майбутньому. Автоматичні машини замінять людину в сільському господарстві, і вони можуть значно допомогти фермерам у досягненні ефективного сільського господарства. Книга Дана Чжан присвячена робототехніці та мехатроніці, які використовуються в сільському господарстві та містить досягнення останніх десятиліть у цій сфері.

1.2. Сучасні тенденції та конструкції рухомих автономних роботизованих пристроїв для боротьби з бур'янами

Мобільні автономні роботи є сучасним трендом у широкому спектрі галузей промисловості. Такі роботи активно розробляються для виконання завдань, пов'язаних з мобільністю та взаємодією з навколишнім середовищем, причому такі завдання можуть виконуватися без нагляду людини-оператора. Серед таких робіт є інтерес до аналізу сучасних тенденцій роботизації в сільському господарстві, останніх моделей інноваційних робіт та мехатронних систем, з акцентом на корисні аспекти для боротьби з бур'янами.

1.2.1. Роботизація в агропромисловому комплексі

Коли мова йде про роботизацію, варто відзначити тенденцію переходу сільськогосподарських машин на альтернативні джерела енергії, зокрема електричні, водневі та гібридні. У статті [6] розглянуто історію розвитку (рис. 1.3) і наведено різні варіанти силових установок для тракторів (рис. 1.4)..

Важливими є глобальні тенденції трансформації попиту на енергію в транспортному секторі та бачення енергонезалежної агроєкосистеми (рис. 1.5). Майбутні дослідження в галузі сільськогосподарської техніки будуть зосереджені на розробці навігаційних систем (тобто навігаційний контроль, екологічна обізнаність і планування шляху для оптимізації продуктивності машини) та впровадженні інтелекту для управління операціями і сприйняттям, пов'язаними з взаємодією машини/середовища/людини». Нарешті, впровадження нових робототехнічних технологій покращить реалізацію автоматизації сільськогосподарської техніки, і в майбутньому фермери будуть використовувати надійні, автономні транспортні засоби».

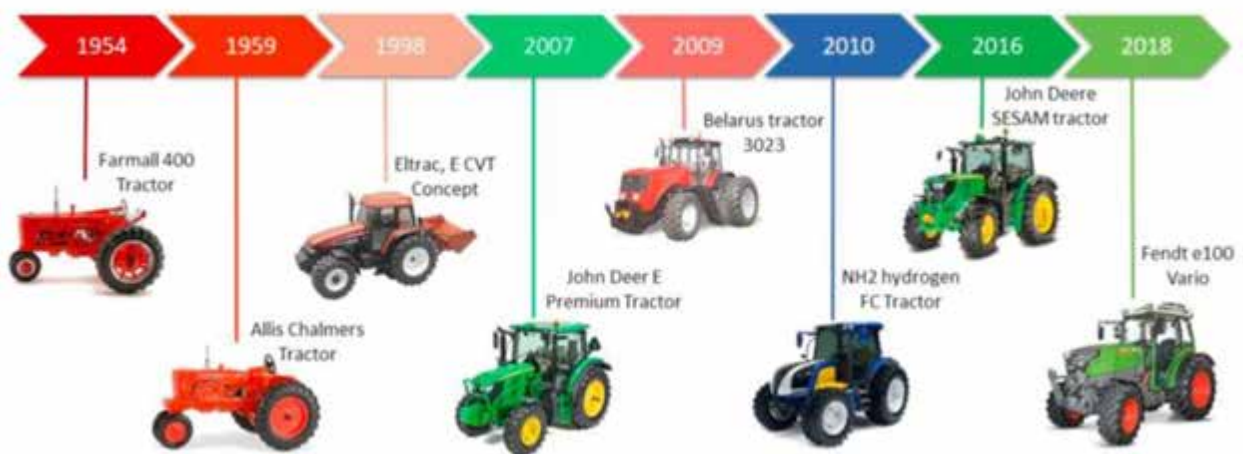


Рис. 1.3 - Розвиток гібридних тракторів

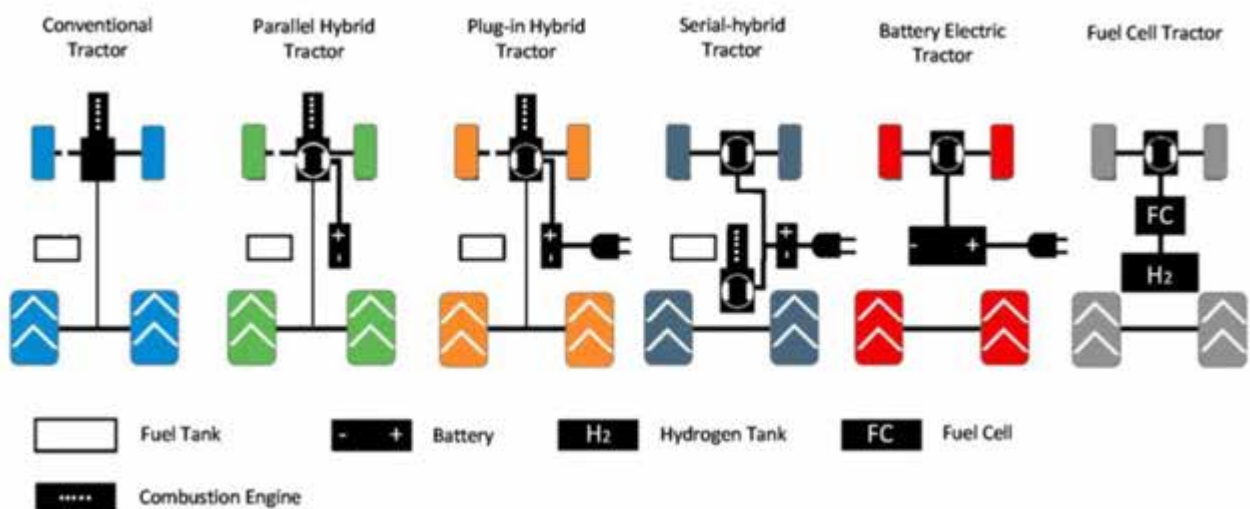


Рис. 1.4 - Конфігурації трансмісій гібридних електричних тракторів [6]

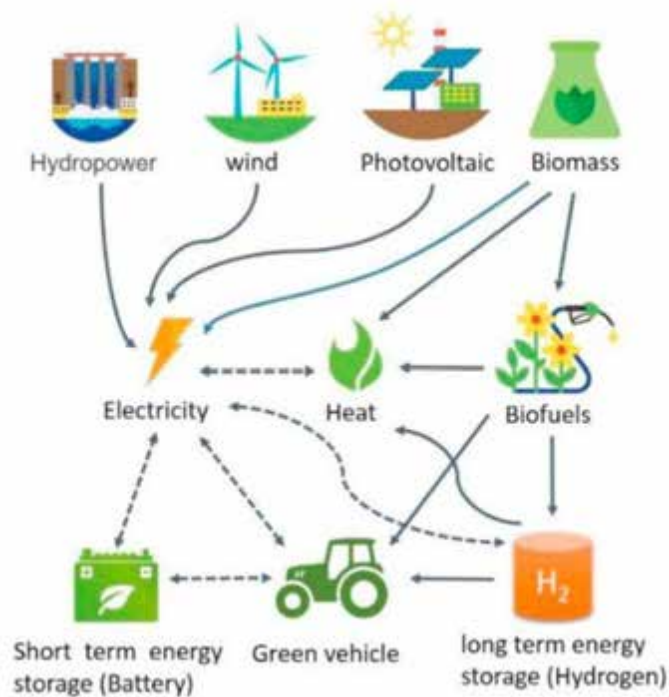


Рис. 1.5- Схематичне бачення енергонезалежної екосистеми ферми

1.2.2. Новітні автономні сільськогосподарські трактори та інноваційні робото-технічні системи

Провідні світові компанії та дослідницькі групи, такі як John Deere та Case IH, вже певний час займаються розробкою автономних сільськогосподарських тракторів різного призначення. Зокрема, представлені розробки для автономного обробітку ґрунту, які гарантують високу якість і керованість процесу.

Одна з перших концепцій автономного сільськогосподарського робота була представлена в роботі Ф. Буемі: Проект AgroBot складався з мобільної платформи, 2-DOF голови робота, 6-DOF маніпулятора, системи технічного зору, датчиків і відповідних систем управління. Проект був розроблений для невеликих фермерських господарств.

Основні напрямки роботизації в сільському господарстві сьогодні включають прототипи автономних тягових роботів-тракторів, малі наземні автономні роботи для польових робіт, малі наземні роботи для збору врожаю та

обслуговування, а також розробку БПЛА для широкого спектру завдань. Розглянемо ці групи.

На додаток до груп прототипів саморобних автономних роботизованих тракторів виділяються наступні розробки провідних світових компаній.

Автономний концепт Case IH Autonomous Concept Vehicle (рис. 1.6) - це концепт роботизованого трактора, розроблений для демонстрації можливостей дистанційного керування. У майбутньому ця технологія дозволить підвищити операційну ефективність при виконанні таких завдань, як оранка, посів, обприскування та збирання врожаю. Про розробку було оголошено у 2016 році.



Рис. 1.6 - Case IH Autonomous Concept Vehicle

Нова концепція автономного трактора John Deere (рис. 1.8) - це компактний електричний трактор з інтегрованим навісним обладнанням. Трактор має загальну потужність 500 кВт і може бути оснащений колесами або гусеницями. Залежно від застосування, для зменшення ущільнення ґрунту доступний гнучкий баласт від 5 до 15 тонн. Завдяки електричному приводу під час роботи немає викидів, а рівень шуму дуже низький.

Корпорація Kubota до свого 130-річчя продемонструвала автономний концепт X tractor — cross tractor. Це повністю автономний трактор, оснащений штучним інтелектом (ІІ) і технологією електрифікації. Спираючись на різні дані, такі як погода та темпи росту, АІ обирає відповідну операцію і своєчасно виконує дії. Даними про навколишнє середовище, отримані тракторами в

режимі експлуатації, можна автоматично обмінюватися з іншими машинами на місці, щоб працювати в централізованому режимі.

Повна електрифікація сприяє нульовим викидам і зменшенню навантажень на навколишнє середовище. Електроенергія забезпечується поєднанням літій-іонних і сонячних батарей.

Чотири гусениці змінюють свою форму, щоб підтримувати висоту трактора на оптимальному рівні. Для досягнення невеликого радіуса повороту,



можливо змінювати швидкість обертання чотирьох гусениць.

Рис. 1.7 - Корпорація Kubota продемонструвала автономний концепт X tractor - cross tractor



Рис. 1.8 - Autonomous cab-less tractor, developed by John Deere

У групі наземних малих автономних роботів для польових робіт можна виділити наступні.

HortiBot - одна з найдовших передових розробок автономних платформ. Модель була розроблена в Орхуському університеті (Данія) і кілька разів модернізувалася під час тестування та експлуатації. Робоча платформа HortiBot (рис. 1.9) базується на радіокерованій газонокосарці, здатній до автономної роботи. Робот використовує систему GPS і може обертатися навколо осі. Його габаритні розміри близькі до куба з довжиною грані 920 мм і вагою від 200 кг до 300 кг залежно від навісного обладнання; чотири колеса приводяться в рух приводом, керованим гідравлічними двигунами і центральним двигуном постійного струму для індивідуального управління колісними модулями. Індивідуальне керування колесами підвищує маневреність платформи, дозволяючи більш ефективно працювати на меншій площі. На сьогоднішній день ця модель є лише прототипом і ще не пішла в серійне виробництво.



Рис. 1.9 - Робот HortiBot

Робот VoniRob був розроблений компанією Deerfield Robotics. Цей робот (рис. 1.10) - багатофункціональний сільськогосподарський робот зі змінним навісним обладнанням, всі колеса якого контролюються і можуть рухатися в будь-якому напрямку. Це гнучка платформа з індивідуально керованими

колесами. Однією з переваг цього робота є те, що ширина колії може змінюватися від 0,75 м до 2 м, а висота над поверхнею землі - від 0,4 м до 0,8 м. Робот також може використовуватися як платформа для інших сільськогосподарських роботів. Платформа має 16 ступенів свободи і приводиться в рух за допомогою електродвигунів і гідравлічних приводів.

Платформа SwagBot - це універсальний електричний робот, яким можна керувати за допомогою комбінації даних GPS і пропріоцепції, зібраних під час нормальної роботи. Розроблена авторами модель була експериментально перевірена за допомогою тестів на витривалість, проведених на пересіченій місцевості.



Рис. 1.10 - Робот VoniRob

Робот Ladybird був створений вченими Австралійського центру польової робототехніки (ACFR) при Сіднейському університеті (рис. 1.11). Ladybird - це універсальний робот, енергетичні потреби якого забезпечує вбудована в нього

батарея. батарея заряджається за допомогою фотоелектричного модуля, що використовує сонячну енергію.



Рис. 1.11 - Робот Ladybird

Акумулятор складається з акумуляторної батареї, яка може працювати 7-9 годин на день, а за сприятливих погодних умов може живитися від вбудованого фотоелектричного модуля. Автономна навігація робота та розпізнавання культур здійснюється за допомогою мультимодального набору сенсорів, що складається з гіперспектрального, теплового, інфрачервоного, панорамного, стерео, LiDAR та GPS. Сферична LiDAR-камера, що працює як вперед, так і назад, використовується для виявлення рядків і об'їзду перешкод. Планування маршрутів здійснюється на основі GPS-карт. Інфрачервоні камери, гіперспектральне лінійне сканування та стереобачення допомагають визначити врожайність. Розрахунки та обробка виконуються на ПК (Intel Core i7-3610QE, 16 ГБ оперативної пам'яті).

У центрі **Faku** також є робот **RIPPA™** (робот для інтелектуального зондування та чутливих застосувань) для сортування у виробництві овочів. У цьому дослідженні ми змінили розташування платформи, щоб показати, що

вона легка в порівнянні з сонечками і надійна і зручна при роботі на фермах (рис. 1). 1.12).



Рис. 1.12 - Робот RIPPA™

Фотоелектричний модуль, встановлений на даху робота, заряджає акумулятор з семигодинним терміном служби, що дозволяє йому працювати автономно 24 години на добу, сім днів на тиждень. Робот також оснащений технологією боротьби з бур'янами, відомою як VIIPA™ (Variable Injection Intelligent Precision Applicator - інтелектуальний прецизійний аплікатор зі змінним впорскуванням), яка дозволяє йому швидко та автономно висушувати ділянку та впорскувати невелику кількість рідини. Здатність працювати на схилах значно розширила сферу використання цього робота, дозволивши йому працювати на попелищах, які є поширеними в Європі.

Компанія Naio Technologies розробляє одразу кілька моделей автономних сільськогосподарських роботів.

Прополувальний робот OZ - це невеликий робот, який допомагає у виконанні трудомістких і важких сільськогосподарських завдань. Робот являє собою автономну чотириколісну платформу розміром 130x47x83 см, вагою 150

кг, з часом автономної роботи 8 годин і максимальною швидкістю 18 км/год. Робот оснащений системою GPS, може нести корисне навантаження до 300 кг і може обробити площу 1000 квадратних метрів за одну годину (Рис. 1.13).

Робот OZ Dino призначений для сортування великих овочевих культур. Dino рухається автономно з точністю до 2 см завдяки системі наведення, яка поєднує інформацію з RTK GPS та інших датчиків. Він підходить для сортування салату, цибулі, моркви, пастернаку, капусти, цибулі-порей, цвітної капусти та різних трав (часнику, коріандру, м'яти тощо). Ширина колії робота регулюється в діапазоні від 160 до 220 см, він важить 1250 кг і може рухатися зі швидкістю 4 км/год протягом 8-10 годин (рис. 1.14).



Рис. 1.13 - Робот OZ Weeding Robot



Рис. 1.14 - Робот OZ Dino

Компанія описує Dino Robot як першу роботизовану машину для виноградників, яка пропонує альтернативу використанню гербіцидів. Робот важить 1 700 кг, має довжину 450 см, ширину 142-185 см і може регулюватися на висоту 200 ± 30 см. Він рухається зі швидкістю 6 км/год і має час автономної роботи 8 годин (рис. 1.15).



Рис. 1.15 - Робот-виноградар Ted [<https://www.naio-technologies.com/>]

Робот AgBotII був розроблений у Квінслендському технологічному університеті. Цей модульний робот може працювати в групах з іншими автономними роботами (рис. 1.16). Для навігації по полю робот використовує камери, датчики та вдосконалені системи розпізнавання. Він призначений для механічної та хімічної боротьби з бур'янами. На відміну від важкої сільськогосподарської техніки, AgBot II дуже легкий, що зменшує ущільнення ґрунту, спричинене роботою. Робот має два бічні модулі, що містять привід, акумулятор і необхідну електроніку. Передній і задній колісні модулі призначені для управління диференціалом. Вартість робота була знижена за рахунок зменшення кількості приводних блоків.

Робот ecoRobotix - швейцарська компанія, яка виробляє повністю автономного робота-обприскувача на сонячних батареях для прополки просапних культур, пасовищ і міжрядь (рис. 1.18).



Рис. 1.16 - Робот AgBotII



Рис. 1.17 - Робот AgBotII

Пристрій позиціонується на фермі за допомогою RTK GPS (Real Time Kinematic, Global Positioning System) приймача та камери і рухається вздовж посівних рядів для виявлення бур'янів у міжряддях. Після систематичного виявлення бур'янів рука робота вносить невелику кількість гербіциду. Швидкість робота регулюється відповідно до концентрації бур'янів, і найкраща

продуктивність досягається при низьких і середніх концентраціях на сухих ґрунтах. Робот може обробляти до 3 га/день або 10 га/тиждень на рівні поля при швидкості вітру до 60 км/год. Однією з найважливіших переваг цього продукту є можливість отримувати команди зі смартфона.

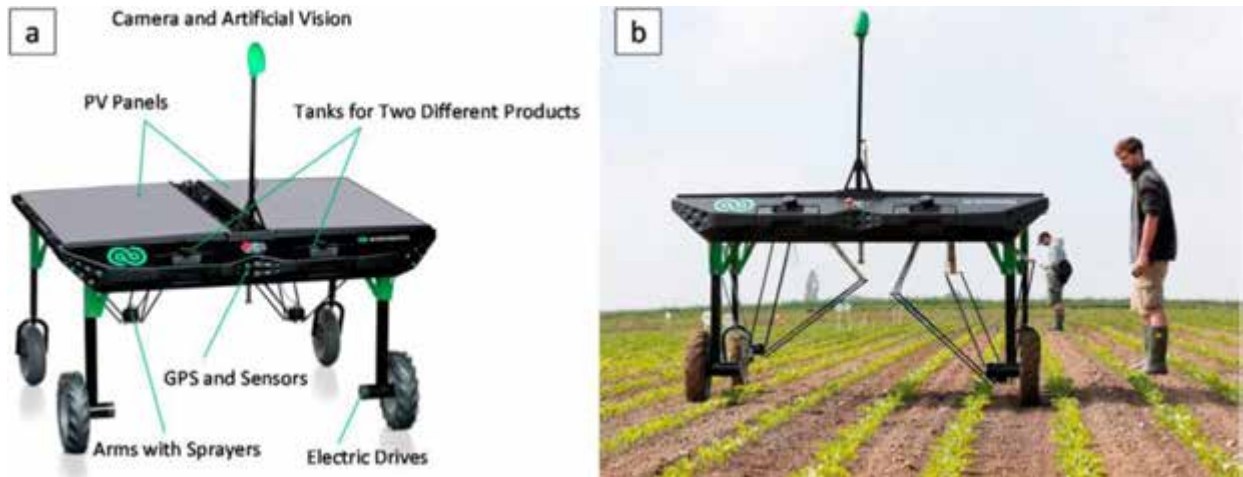


Рис. 1.18 - Автономний робот для прополки: а - складові елементи; в - випробування в полі

Робот Thorvald II - перспективна розробка Норвезького університету природничих наук Thorvald II - це новий модульний робот, який дозволяє комбінувати різних роботів за допомогою одного базового модуля і змінювати їх конфігурацію, використовуючи лише основні ручні інструменти. Модулі призначені для створення високоякісного робота, який можна швидко налаштувати для використання в конкретному середовищі (рис. 1.19).



Рис. 1.19 - Модулі Thorvald II. Зліва-направо: низька вузька версія для теплиць, триколісна версія, версія з диференціальним приводом, висока версія для фенотипування, стандартна версія

Випробування і досвід роботи з роботами Thorvald II вселяють великі надії на майбутнє. Робот добре працює в абсолютно різних середовищах, і конструкція машини постійно вдосконалюється відповідно до досвіду роботи на місцях. Мета полягає в тому, щоб мінімізувати час складання та витрати на збірку, оскільки це дозволяє створити недороге та високоефективне стадо роботів. Робот братиме участь в експериментах у Норвегії та Великобританії з такими функціями, як вимірювання вологості ґрунту та визначення фенотипів на відкритих майданчиках, обробка та логістика цвілі ультрафіолетовим випромінюванням у полуничних тунелях, моніторинг огірків та помідорів у теплицях та обробка ультрафіолетовим випромінюванням.

Група малих наземних роботів для збирання врожаю та обслуговування включає

На додаток до великих дослідницьких та інноваційних проектів, існує також значна кількість менших проектів для широкого спектру застосувань, від дому до ферми.

У статті описано розробку недорогого сільськогосподарського робота для посіву сільськогосподарських культур. Прототип системи складається з двох частин: мобільної бази для переміщення робота та механізму висіву, прикріпленого до мобільної бази. Мобільна база має чотириколісну конструкцію для полегшення пересування по пересіченій місцевості, в той час як механізм висіву використовує концепцію кривошипно-повзункового механізму для безперервного впорскування саджанців у ґрунт. Випробування посівів показали, що робот зміг висадити 138 саджанців за п'ять хвилин, що на 92% точніше, ніж 102 саджанці, висаджені людиною. Це означає підвищення ефективності посадки сільськогосподарських культур більш ніж на 35 відсотків.

У науковій статті представлено концепцію модульного робота для збирання фруктів з дерев. У статті представлені результати вимірювання та моделювання реального дерева та обчислення часу, необхідного для досягнення роботом кожного фрукта залежно від його структури та положення. Використаний підхід полягає у пошуку найкращого варіанту для виконання заздалегідь визначеного завдання, такого як збільшення кількості зібраних плодів або мінімізація часу збору врожаю. Результати моделювання на основі реальної 3D-моделі дерева показують, що модульний робот може зібрати на 30-40% більше плодів, ніж стаціонарний робот такої ж складності.

Інший напрямок сільськогосподарських робіт - садові роботи. Наприклад, в роботах представлено автономного робота, який підстригає кущі для створення навісу відповідної форми, а в іншій - інтелектуальний автономний садовий робот для догляду за рослинами, в тому числі і в домашніх умовах.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) мають високу маневреність і недоступні для наземних роботів. У статті представлено аналіз використання безпілотних літальних апаратів у сільському господарстві за останнє десятиліття та його зміни з плином часу. У статті обговорюється використання дронів у сферах моніторингу посівів та внесення пестицидів для точного землеробства. На рис. 1.20 показано основні типи БПЛА, що використовуються в сільському господарстві.



а)



б)



в)

Рис. 1.20 - Типи БПЛА: а - літаюче крило; б - гелікоптер; в - дрон-мультикоптер

Потенціал використання дронів поширюється на широкий спектр операцій з моніторингу здоров'я та стану посівів (Таблиця 1.2).

Водночас можна стверджувати, що БПЛА ніколи не зможуть повністю замінити наземну роботизовану техніку через об'єктивно високе енергоспоживання та наявність сильних вихрових струмів під дроном.

Таблиця 1.2 - Використання дронів у моніторингу стану посівів

Сільськогосподарські роботи	Використання даних на основі зображень	Переваги перед іншими системами аерофотозйомки
<ul style="list-style-type: none"> • Розвідка врожаю • Моніторинг здоров'я посівів • Обстеження перед посівом • Рекомендація щодо азоту • Моніторинг врожайності • Моніторинг стресу рослин • Оцінка посухи • Аналіз старіння • Індексація площі листя • Класифікація дерев • Розпилення пестицидів у потрібному місці • Обприскування добривами 	<ul style="list-style-type: none"> • Оцінка висоти рослин • Підрахунок рослин • Моніторинг здоров'я рослин • Розрахунок наявних поживних речовин • Класифікація захворювання • Виявлення бур'янів • Відносні оцінки біомаси • 3d / об'ємні дані (пальи, латки, ями та пагорби) 	<ul style="list-style-type: none"> • Дешевше зображення • Більша точність • Раннє виявлення проблем • Частіші індексні звіти • Швидше реагування • Краща стабільність

1.2.3. Сучасні досягнення аграрної робототехніки

Аналіз, проведений в розділах 1.2.1 та 1.2.2 дозволяє виокремити глобальні та локальні тренди сучасного світового сільського господарства.

Глобальними трендами є:

- Збільшення частки генерування та споживання відновлюваної енергії;
- Цифровізація об'єктів і процесів;
- Збільшення частки точного землеробства;
- Підвищення ступеня автономності (не залежності від оператора) технічних засобів у сільському господарстві;

- Роботизація та штучний інтелект;

В частині роботизації сільськогосподарського виробництва **локальними трендами є:**

- Автономізація великих тягових машин та навісного обладнання;
- Збільшення частки невеликих автономних машин і роботів та розвиток технологій роботи рою;
- Застосування принципу модульності;
- Зростання кількості та розширення сфери застосування безпілотних літальних апаратів;
- Розвиток різноманітних автономних систем які взаємодіють через технології інтернету речей.

Для роботизації боротьби з бур'янами, що є конкретною темою магістерської дисертації, перспективним напрямком є створення невеликих наземних роботів з високою автономністю та штучним інтелектом для розпізнавання бур'янів. Попередній аналіз дозволяє умовно класифікувати сільськогосподарських роботів на два класи, великі та малі, відповідно до їх розміру. Великі сільськогосподарські роботи, як правило, багатофункціональні, мають високу потужність і запаси енергії, а також використовують внутрішні системи управління та обчислювальні системи для виконання значної частини своїх завдань. Малі сільськогосподарські роботи зазвичай виконують обмежені функції, зазвичай включають рій роботів, а більшу частину інтелектуальної роботи виконує централізований сервер, який також слугує для координації роботи рою роботів. На нашу думку, другий підхід є більш перспективним.

Виходячи з цього, концепція проекту представлена в розділі 1.5.

У таблиці 1.3 наведено наше бачення приблизних параметрів перспективної моделі сільськогосподарського робота для боротьби з бур'янами. Ми плануємо розвивати проект, виходячи зі значень малих роботів.

Таблиця 1.3. Параметри перспективних моделей агро роботів

Параметр	Значення для великогабаритних	Значення для малогабаритних
----------	-------------------------------	-----------------------------

	агро роботів	агро роботів
Маса, кг	500 - 2000	50 - 500
Габарити (Д+Ш+В), м	3 - 9	0,5 - 3
Швидкість переміщення, км/год	2 -	10
Автономність, годин	4 - 12	0,5 - 4

1.3. Інженерні дослідження для створення вдосконалених моделей рухомих автономних роботизованих пристроїв для агропромислового виробництва для боротьби з бур'янами

1.3.1. Задачі управління роботом

У загальному випадку керування автономним роботом слід розглядати як задачу керування будь-яким транспортним засобом з фіксованою масою з центром ваги, колісною системою з параметрами шасі, керованістю кожної осі, підвіскою, параметрами шин і гусениць, гальмівними системами тощо. У цьому відношенні корисним є підручник. Деякі з наведених у ньому проблем, наприклад, водіння на високій швидкості, можуть бути неактуальними. Водночас, для аналізу параметрів кінематики автономного роботизованого трактора FLIBot 2.0 можна використовувати значну кількість математичних моделей.

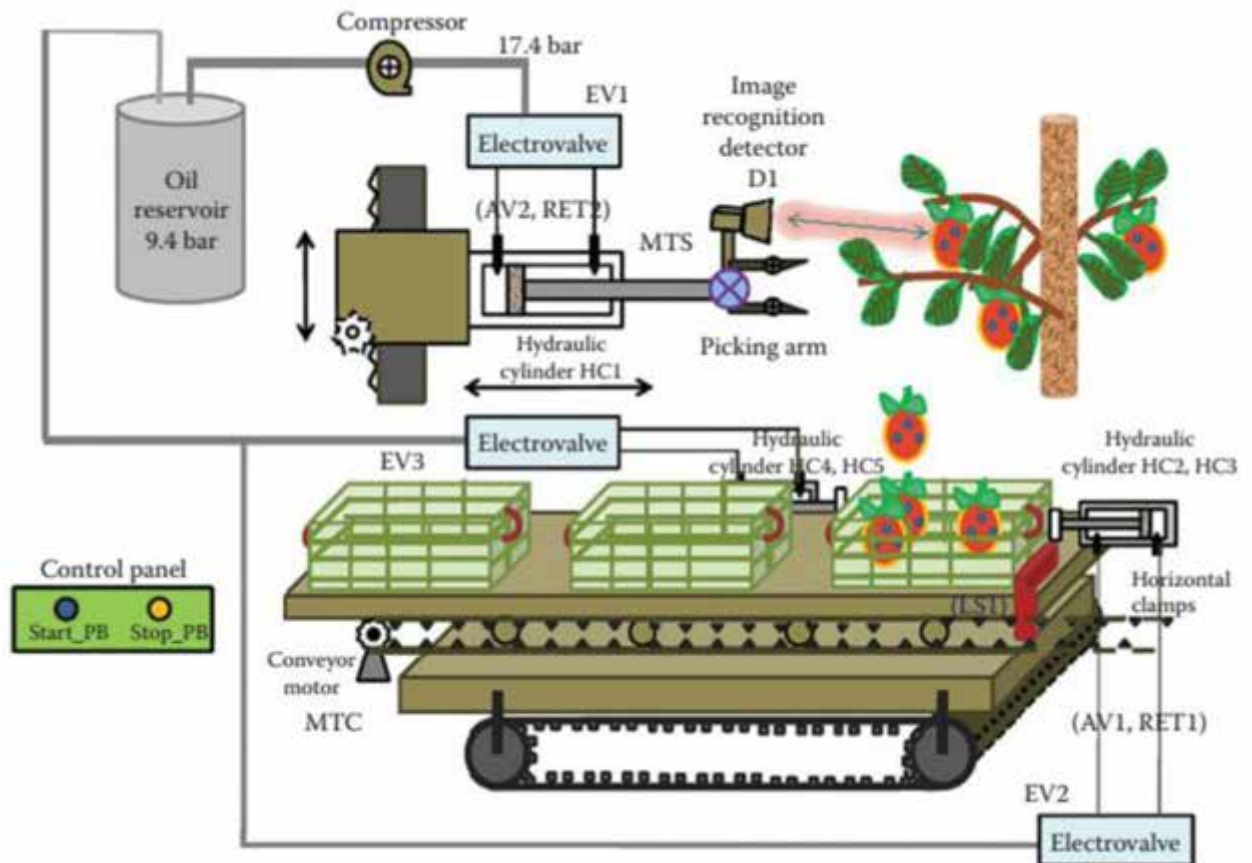


Рис. 1.21 - Процес автоматизації збирання фруктів

Можливості використання та керування мехатронними електричними системами можна знайти в підручнику [18]. Детально описано вибір та моделювання електричних та електроприводних виконавчих механізмів, таких як електронасоси, електрогідравлічні циліндри, електровентильатори та електрогідравлічні клапани. Велика увага приділяється проектуванню логічних контролерів, починаючи з основ проектування логічних систем, визначення процесів і функціонального аналізу, формального моделювання дискретних систем, проектування схем логічних контролерів, програмування логічних контролерів, електричних схем, вибору системи автоматизації, проектування відмовостійкості, блокування і верифікації, і закінчуючи прикладами застосування.

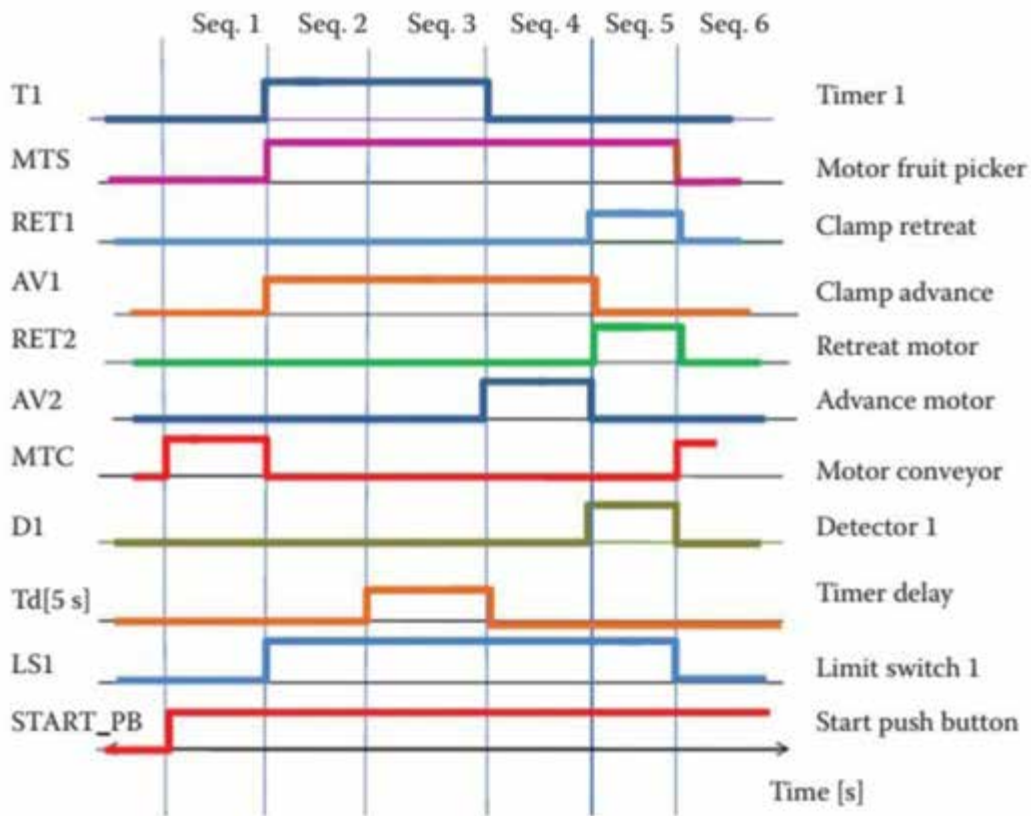


Рис. 1.22 - Хронологічна діаграма процесу збору фруктів

Ще одним цікавим аспектом є детальне обговорення вибору та моделювання елементів зондування та збору даних. Систематично розглядаються елементи зондування і вимірювання - велика кількість аналогових і цифрових датчиків з широким спектром застосування - і питання, пов'язані зі створенням промислових мереж передачі даних, включаючи топологію, компоненти мережі, специфікації обмежень, протоколи зв'язку, управління, критерії продуктивності, бенчмаркінг і компроміси. Робота базується на систематичному огляді наступних тем. 36

У роботі Сатіш Кумар розглядається ситуація, коли трактор з'єднаний з причепом і обидва автоматизовані для навігації. В роботі представлені вимоги до комунікаційної архітектури для управління як трактором, так і системою навігації. Основна ідея полягає в тому, щоб керувати системою навігації через мережу ISO 11783 (рис. 1.23), яка, з одного боку, забезпечує канал зв'язку, але, з іншого боку, обмежує потік інформації.

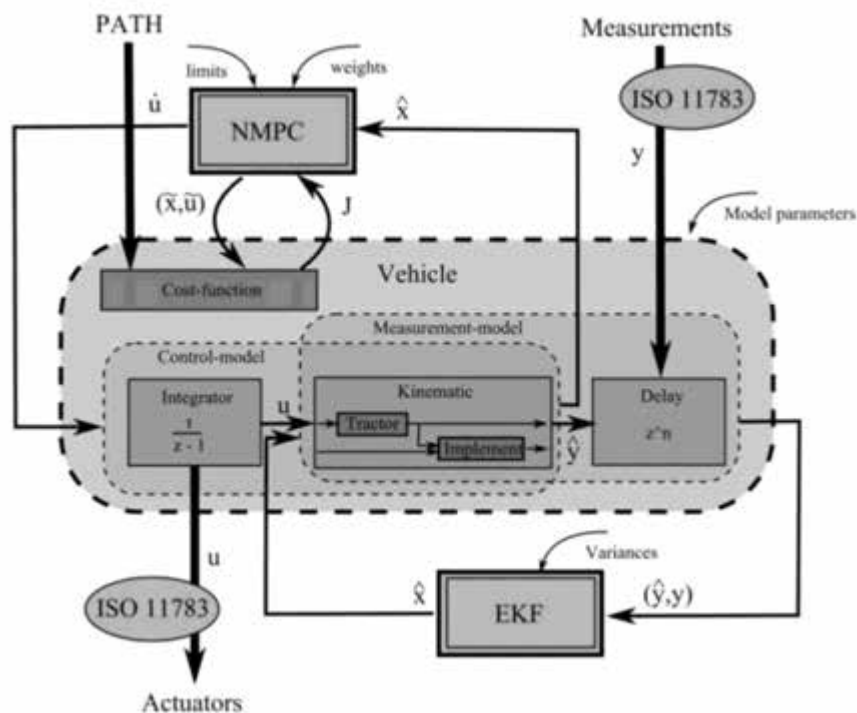


Рис. 1.23 - Потіки інформації всередині програмного забезпечення між класами зберігання та різними модулями.

Найбільш близькою до концепції FLiBot 2.0 є система. Тут зазначається, що в умовах дедалі більшої обмеженості сільськогосподарських угідь і зростання витрат на енергію та робочу силу потрібна більш ефективна сільськогосподарська техніка зараз і в майбутньому. Для підвищення цієї ефективності розглядається проблема відстеження траєкторії руху автономних тракторів як сільськогосподарських виробничих машин. Для управління динамікою рульового керування трактора пріоритетним є управління на основі прогнозованої моделі, яка може враховувати обмеження на стан системи та виконавчих механізмів (рис. 1.24). Динаміка рискання визначається за допомогою нелінійної ідентифікації системи в частотній області з використанням методу найменших квадратів. Швидкість контролюється пропорційно-інтегрально-похідним контролером, а кінематичний контролер траєкторії використовується для розрахунку бажаної швидкості підсистеми і бажаного сигналу швидкості рискання, щоб мінімізувати помилки відстеження

в поздовжньому і поперечному напрямках. Також показані всі передатні функції.

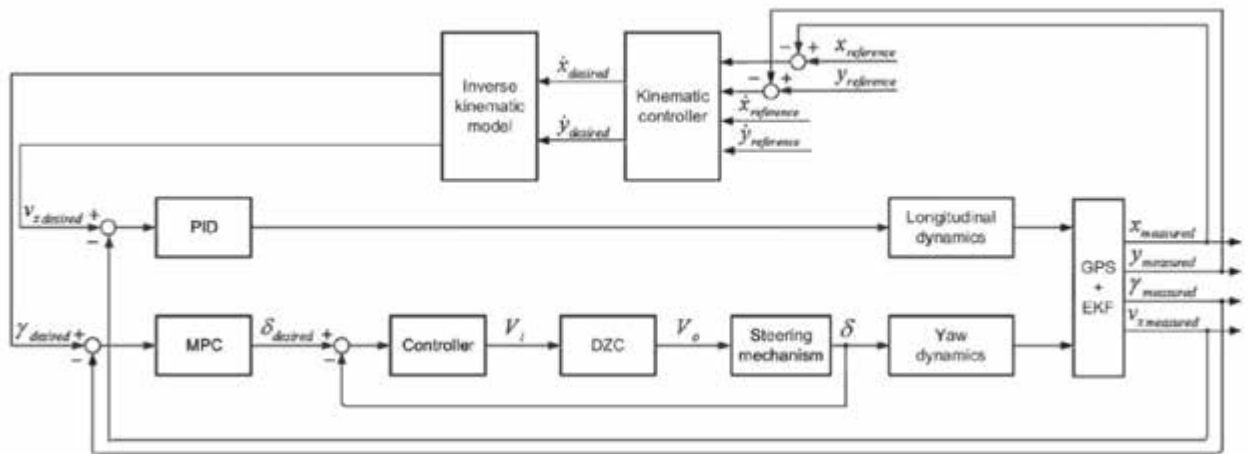


Рис. 1.24 - Структурна схема системи управління

У статті [Patrick Kaltjob] представлено стратегію багатоагентного спільного сортування в умовах часткової інформації про навколишнє середовище. Мета - продемонструвати можливість застосування стратегії спільної роботи для підвищення ефективності сортування автономних сільськогосподарських роботів (рис. 1.25). Показано, що при достатній кількості агентів команди автономних роботів можуть успішно прополувати поля з різною початковою щільністю насінневого банку, навіть якщо для початку прополки потрібно кілька днів. Крім того, було показано, що використання обміну інформацією між агентами значно покращує продуктивність системи зі збільшенням кількості агентів. Середовище моделювання Weed World було розроблено як простір для тестування цих алгоритмів. Це середовище забезпечує візуалізацію в реальному часі конкретної політики прополки і включає реалістичний ріст бур'янів. Воно визначає кількість агентів, необхідних для заданої початкової щільності насінневого банку, і різні дні, дозволені для початку процесу прополки.

У роботі Юха Бакмана розглядаються характеристики автономного руху транспортних засобів на пересіченій місцевості. У роботі Юха Бакмана

розглядається автоматичне оцінювання та класифікація рельєфу місцевості сільськогосподарськими транспортними засобами.

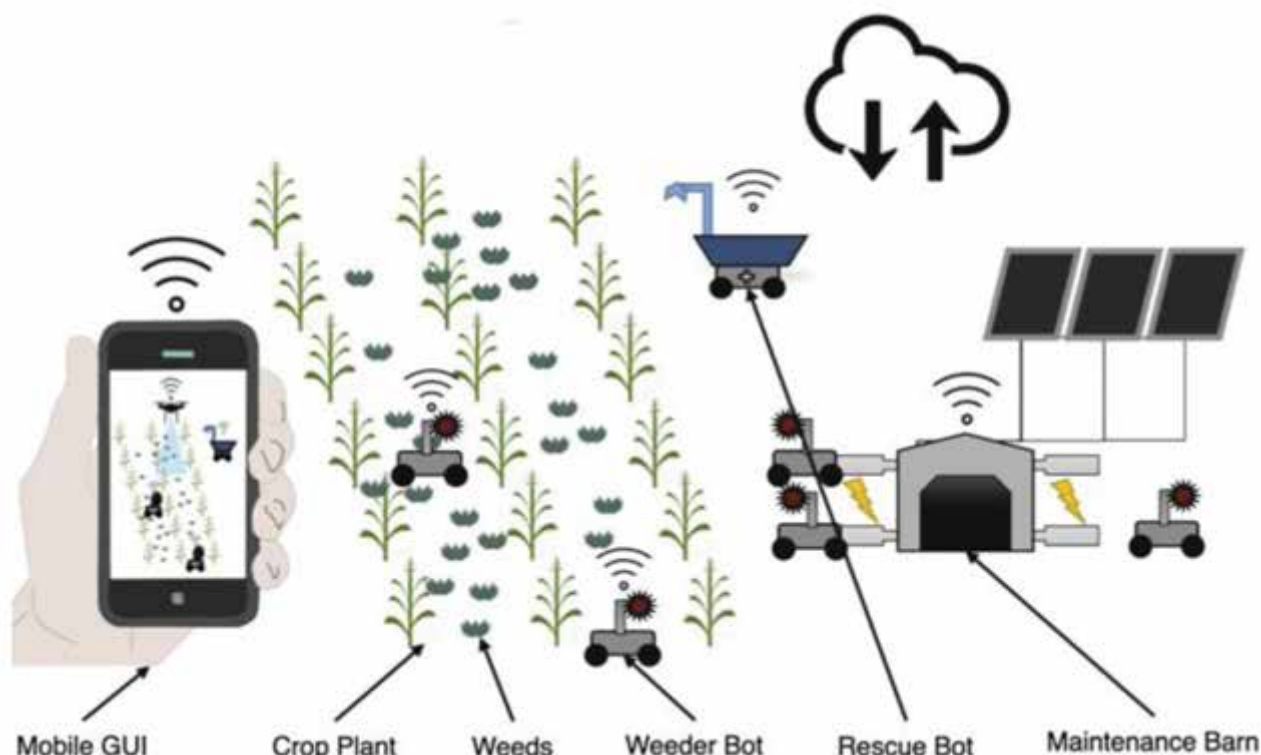


Рис. 1.25 - Концепція роботизованого сортування з командою сортувальних ботів та автоматизованим обслуговуванням сховищ. 47

Мобільність і безпека транспортних засобів, а також успіх важливих сільськогосподарських операцій, таких як посів, оранка, внесення добрив і контрольований рух, залежать від точної оцінки рельєфу або можуть бути покращені за допомогою точної оцінки рельєфу. Оцінка рельєфу виконується не тільки з використанням традиційних візуальних характеристик, тобто кольору і геометричних параметрів, але і з використанням контактних характеристик, тобто вимірювань фізичних динамічних ефектів, що визначають взаємодію між транспортним засобом і рельєфом місцевості.

Тому достатня кількість наукових робіт є достатньою для адекватного вирішення такого складного завдання, як управління агророботами FLIBot2.0.

1.3.2. Дослідження розпізнавання бур'янів

У проєкті FLIBot 2.0 одним з найскладніших завдань з точки зору прикладної механіки є використання технічного зору для відстеження бур'янів та штучного інтелекту для їх розпізнавання.

Алгоритми використання технічного зору в середовищі MathLab та управління об'єктами на основі цих даних описані в базовому підручнику.

Перша частина книги містить загальні відомості про системи координат та їх часові перетворення, включаючи процедури реалізації в MathLab.

Друга частина охоплює мобільні роботи, особливо колісні (автомобільного типу, з диференціальним керуванням, всеспрямовані). Також представлені моделі та алгоритми для безпілотників. Обговорюється навігація колісних роботів на відкритих просторах (типових для сільського господарства) і в закритих приміщеннях, а також планування траєкторій руху. Важливою темою є локалізація (визначення положення робота в глобальній системі координат і прив'язка його до карти).

Розділ 3 присвячено керуванню роботизованими актуаторами з різними ступенями свободи. Основна увага приділяється синтезу та аналізу різних типів маніпуляторів, включаючи прямі та зворотні задачі механічної кінематики та визначення траєкторій руху актуатора. Наведено теоретичні основи та приклади застосування для розв'язання задач визначення швидкостей і прискорень в елементах маніпулятора. Окремо розглянуто проблеми моделювання динаміки механізму та керування.

Четверта частина охоплює комплекс питань, пов'язаних з машинним зором. Розглядаються фізичні основи та спектральне представлення світла, його розклад на червоний, зелений і синій компоненти (RGB), а також процес формування зображення, включаючи використання оптичних систем, обробка та трансформація зображення, розпізнавання й виділення його елементів. Значна частина прикладів стосується сільськогосподарської сфери, як, наприклад, на рисунку 1.26. Крім того, аналізується застосування кількох зображень з різних точок зору, що дозволяє створювати стереозображення.

Остання, п'ята частина зосереджена на питаннях управління роботами на основі візуальних даних, у випадках, коли камера розташована на рухомому виконавчому органі (рис. 1.27,а) або стаціонарно (рис. 1.27,в).

Цей підручник можна вважати одним із ключових джерел для розробників автономних мобільних роботів із системами технічного зору, призначеними для використання в сільському господарстві.

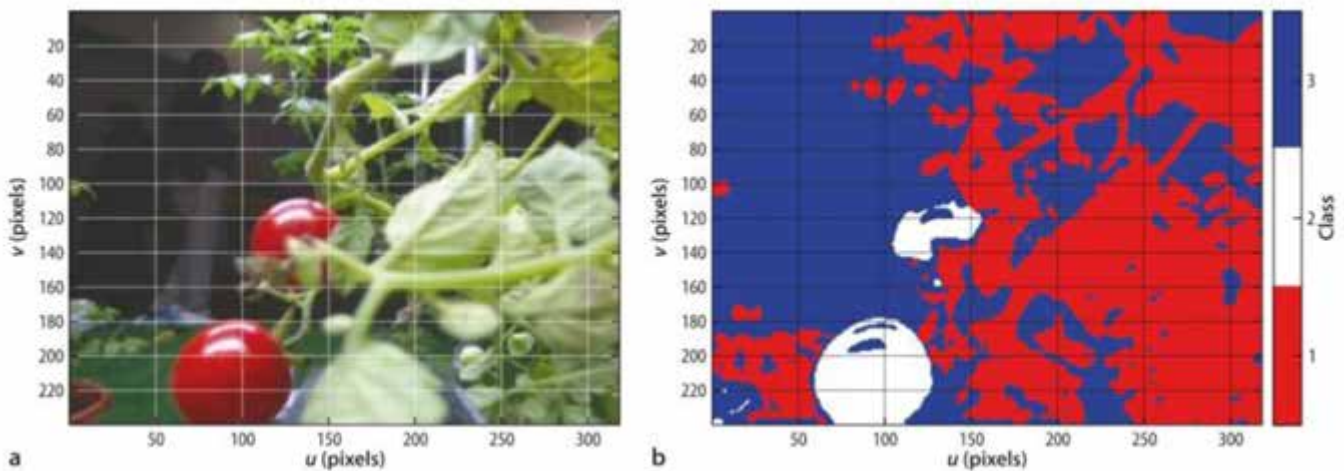


Рис. 1.26 - Приклад садового зображення

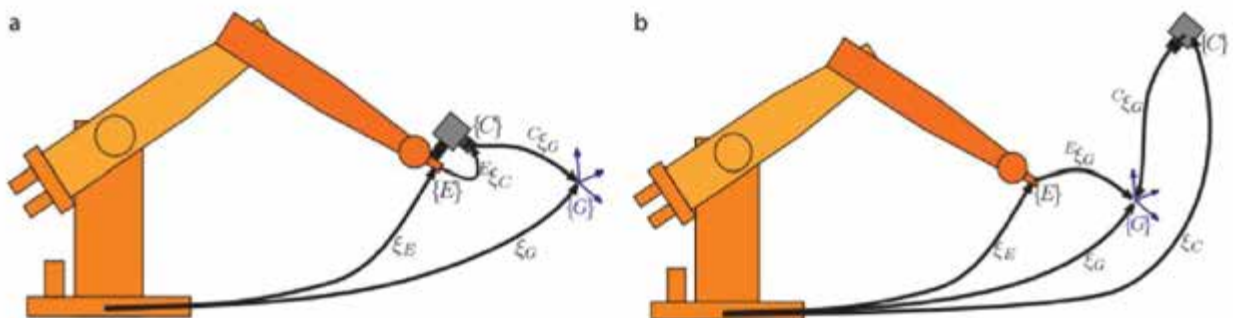


Рис. 1.27 - Системи координат: виконавчий орган $\{E\}$, камера $\{C\}$, ціль $\{G\}$: а - конфігурація із замкнутим циклом; б - конфігурація із відкритим циклом

У колективній монографії [24] представлено численні приклади та результати практичного застосування машинного зору в різних галузях. До

теми даної дисертації найбільш близькими є розділи 9–11, у яких обговорюються питання визначення параметрів і стану біомаси.

У статті Джуліо Рейна описано результати практичних випробувань робота AgBot II, який використовує систему класифікації бур'янів на основі візуальних даних для забезпечення автономної точної прополки, без необхідності попереднього знання видів бур'янів (рис. 1.28). Продемонстровано триетапний конвеєрний процес, що включає початкове спостереження за полем, автономну обробку й маркування даних, а також точну прополку.

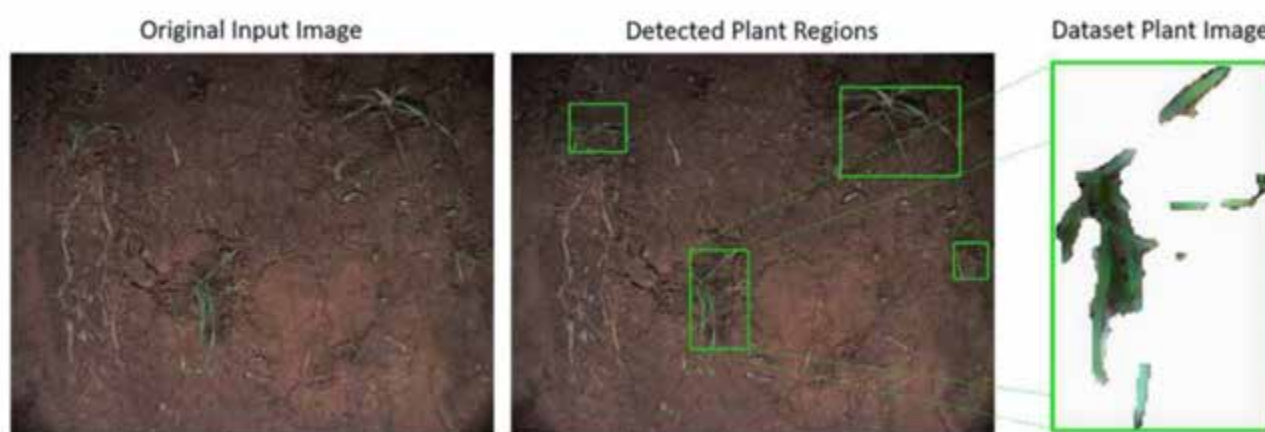


Рис. 1.28 - Приклад генерації набору даних.

Польові випробування показали, що ця система дозволяє маркувати в 12,3 та 23,3 рази менше зразків порівняно з традиційними методами повного маркування даних, досягаючи при цьому 78% та 97% точності класифікації для відповідних наборів даних, без потреби у попередньому знанні видів бур'янів.

У науковій статті описано використання робота VoniRob для класифікації пікселів датчиків MWLP з метою розрізнення культурних рослин і бур'янів. Класифікація ґрунтується на спектральних характеристиках для відокремлення ґрунту від біомаси та на 3D ознаках поверхні для відмінності між культурами і бур'янами. В поєднанні з сітковою агрегацією ця система забезпечує приводи прополки готовими вхідними даними. Таким чином, вирішуються основні питання надійності автоматичної класифікації рослин в польових умовах, такі як перекриття та сегментація. Крім того, класифікація на основі пікселів

забезпечує швидке й просте налаштування системи під нові польові умови за допомогою In-Field-Labeling, що дозволяє навіть непідготовленим користувачам тренувати нейромережу на власних даних. Описаний підхід до позначення невеликих наборів даних у великій кількості польових ситуацій створює передумови для довгострокових або постійних стратегій машинного навчання.

Проект ASETA займається розробкою теорії та методів для роботизованих систем у сільському господарстві. В рамках цього проекту безпілотні літальні апарати та наземні транспортні засоби застосовуються для автоматичного виявлення та знищення бур'янів на полях цукрових буряків. У статті Джона Біллінгслі описано автоматизовану систему для прополки, яка оснащена комп'ютерним зором і системою розпізнавання.

Отже, можна зробити висновок, що останніми роками відбувається активний розвиток досліджень у сфері машинного зору для виявлення бур'янів. Досягнуті результати свідчать про перспективи ефективного застосування цих технологій уже сьогодні, з потенціалом для подальшого вдосконалення в майбутньому.

1.3.3. Завдання управління виконавчими пристроями

Передбачають зниження витрат гербіцидів при боротьбі з бур'янами через точкове вприскування. На першому етапі необхідно визначити розташування рослин на ґрунті за результатами динамічного моніторингу, а потім ідентифікувати бур'яни. Після цього, використовуючи систему зворотного зв'язку, при проходженні форсунок над бур'янами подається команда для дозованого розпилення гербіцидів. Подібна система описана в роботі Девіда Холла, де машинний зір використовується для розрізнення овочевих культур і бур'янів. Кожен бур'ян у рядку обробляється окремими краплями гербіциду, що дозволяє уникнути потрапляння препарату на врожай і значно зменшити його витрати. Модуль Blythii кожні 200 мс фіксує зображення, сегментує і класифікує його для створення карти розпилення, яка передається на

контролер, що враховує рух і керує електромагнітними клапанами відповідно до карти розпилення (рис. 1.29). Крім того, система дозволяє обробляти рослини і у вертикальній площині, якщо це необхідно для конкретних завдань.

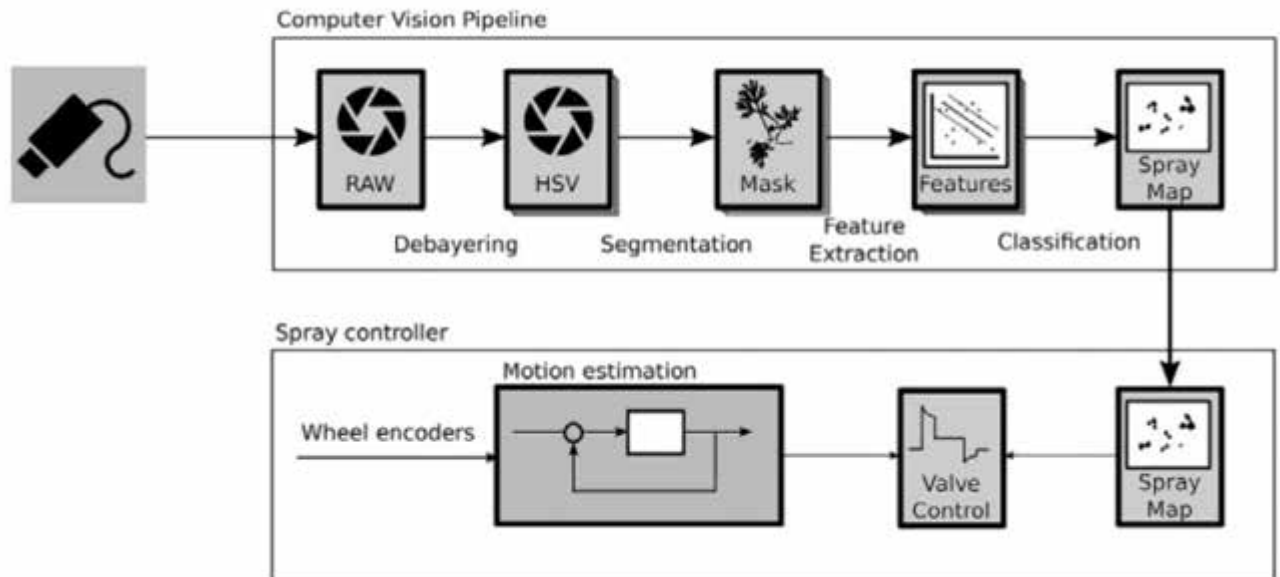


Рис. 1.29 - Взаємодія системи машинного зору та контролеру вприскування гербіцидів.

У вирішенні завдань моделювання динаміки складових елементів робота у середовищі MATHLAB буде корисною монографія Стротмана.

1.4. Комплектуючі елементи та їхнє застосування в рухомих автономних роботизованих пристроїв

Основою забезпечення руху автономного робота-трактора є електроприводи. При підборі параметрів електродвигуна з урахуванням завдань управління корисним може стати навчальний посібник Хансена.

Автономну роботу трактора забезпечують мобільні джерела енергії, такі як сонячні панелі та акумулятори. Їхні сумарні параметри повинні відповідати вимогам щодо потужності та забезпечувати достатній рівень автономності як за часом роботи, так і за відстанню, яку має подолати робот. У статті Шива Горджяна розглядаються можливості налаштування інтегрованих систем

заряджання з використанням сонячних панелей (рис. 1.30), а також представлена еволюція літій-іонних батарей за останні 50 років.

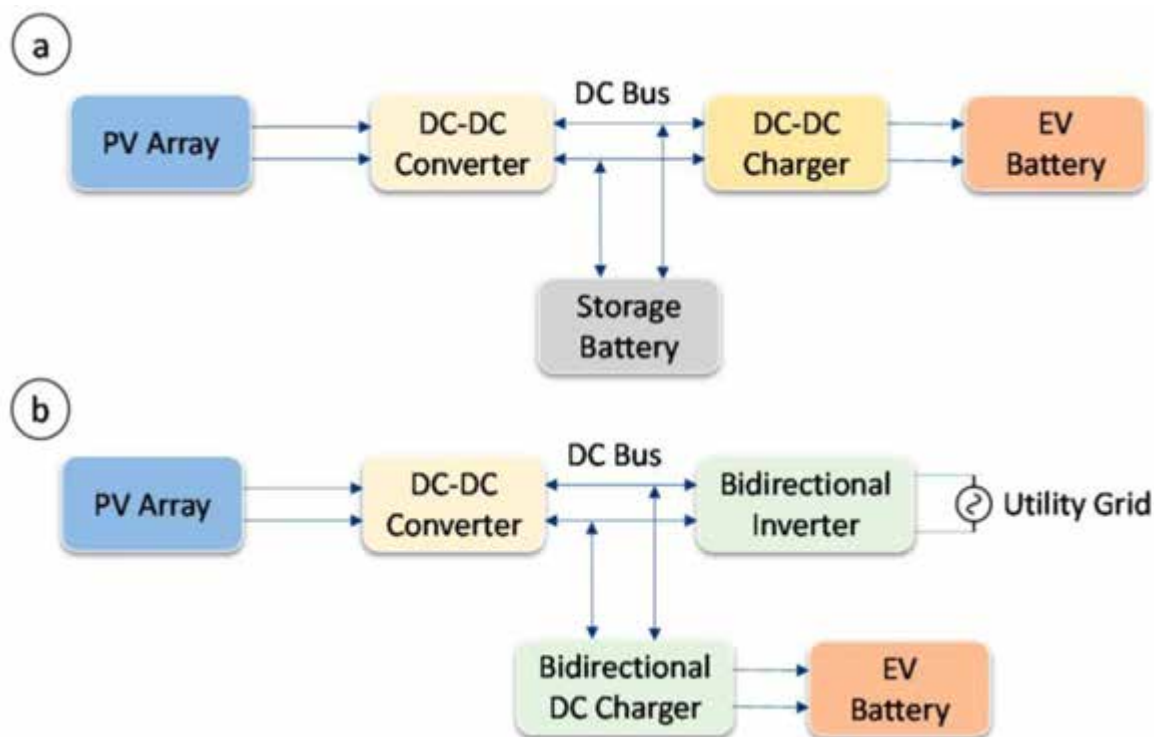


Рис. 1.30 - Позабортна конфігурація інтегрованих систем зарядки з використанням сонячних панелей: а) конфігурація поза мережею, б) конфігурація в мережі

В статті Хафіз наведено узагальнення можливості застосування різних камер (див. табл. 1.4).

Таблиця 1.4 - Датчики обробки зображень, що використовуються в точному сільському господарстві

Сенсор	Можливості визначити	Переваги	Недоліки
Камера видимого спектру (RGB)	Колір, Розмір, Форму, Контур, Поверхня	<ul style="list-style-type: none"> • Легко ідентифікується при візуальному огляді • Недорогий і компактний • Мінімальне навантаження для БПЛА • Висока якість зображення • Зручний у використанні 	<ul style="list-style-type: none"> • Всього три канали • Важко виявити значну кількість функцій • Неможливо виявити аномалії в даних • Необходима ще більш висока розрешаюча здатність
Мультиспектральна камера	Зовнішній вигляд і геометрію,	<ul style="list-style-type: none"> • Зображення з розширеним спектральним діапазоном порівняно з RGB: 	Необхідність використання комп'ютера Більша вага і вища вартість

	NVDI (Normalized Difference Vegetation Index)	<ul style="list-style-type: none"> • Містить більше даних, ніж стандартне цифрове зображення RGB • Фіксує спектральні смуги, наближені до інфрачервоного діапазону (NIR) • Надає інформацію про коефіцієнт відбиття у видимому діапазоні та індекси рослинності 	Якість отриманих зображень залежить від погодних умов Обмежена роздільна здатність зображень Висота польоту БПЛА та можливість отримання зображень
Гіпер-спектральна камера	Індекси RVI та NDVI	<ul style="list-style-type: none"> • Формує зображення за допомогою тисяч вузьких спектральних смуг • Генерує багатовимірні набори даних • Може виявляти більше характеристик порівняно з мультиспектральною камерою 	Необхідні високошвидкісні комп'ютери Дорожча та складніша в експлуатації Потребує значного обсягу пам'яті для зберігання даних Має значну вагу
Тепловізійна камера	Індекс вмісту води (Crop Water Stress Index - CWSI)	<ul style="list-style-type: none"> • - Відрізняються вищою спектральною та просторовою роздільною здатністю <ul style="list-style-type: none"> ▪ Дозволяють швидко визначати температуру поверхні ▪ Компактні розміри • - Легка вага 	Теплові знімки залежать від умов погоди Точність системи визначається роздільною здатністю камери Модель для оцінки стану водного забезпечення рослин залежить від багатьох змінних

Для обприскування можуть використовуватися різні типи форсунок - пристрої з одним або кількома отворами для розпилення рідини під тиском. Рідина може бути поживною (добриво), нейтральною (зволоження) або руйнівною (гербицид). Існують різні види розпилювальних форсунок: струменеві, вихрові та з обертовим розпилювачем. У нашому проєкті планується використовувати струменеві форсунки з електронним керуванням для точного та своєчасного вприскування рідини. Для створення прототипу можна використовувати автомобільні форсунки для омивання скла разом із насосом.

Для знищення бур'янів можна застосовувати лазери з достатньою потужністю для ефективної обробки. Альтернативний варіант – використання лазерів, призначених для різання матеріалів, як зазначено, наприклад. У цьому

випадку джерелом лазерного випромінювання виступає світлодіод потужністю від 5 Вт з довжиною хвилі 450 нм (синій лазер), який живиться струмом 12 В, оснащений оптичною системою фокусування та вбудованим охолодженням. Для механічного видалення бур'янів можна застосовувати різні інструменти – від простих тяпок до спеціалізованих пристроїв, що ефективно діють на конкретні види бур'янів.

1.5. Зміст проекту

Сільськогосподарський робот FLIBot 2.0 розглядається як ключовий виконавчий елемент інтегрованої системи автоматизованого контролю бур'янів "FLIBot Systems". Ця система (рис. 1.32) включає: автотрейлер-матку (1), систему спостереження на базі дронів (2), систему точного позиціонування за допомогою GPS та тимчасових радіомаяків (3), що встановлюються на період виконання робіт, і рій автономних роботів FLIBot 2.0 (4).

Автотрейлер-матка слугує мобільною базою, яка забезпечує запаси енергії, хімічні рідини та транспортує всі компоненти системи до потрібної ділянки, одночасно виконуючи функцію центра управління.

Після того, як автотрейлер-матка досягає визначеної позиції та фіксується на ній, рій дронів проводить аеророзвідку, аналізуючи ділянку для визначення зон, що потребують обробки. Крім того, дрони використовуються для доставки і розміщення тимчасових радіомаяків, які підтримують точне позиціонування всіх елементів системи в координатах поля. На основі результатів оцінки стану ділянки, виконаної на центральному сервері автотрейлера-матки, визначаються кількість і розподіл індивідуальних завдань для роботів FLIBot 2.0.

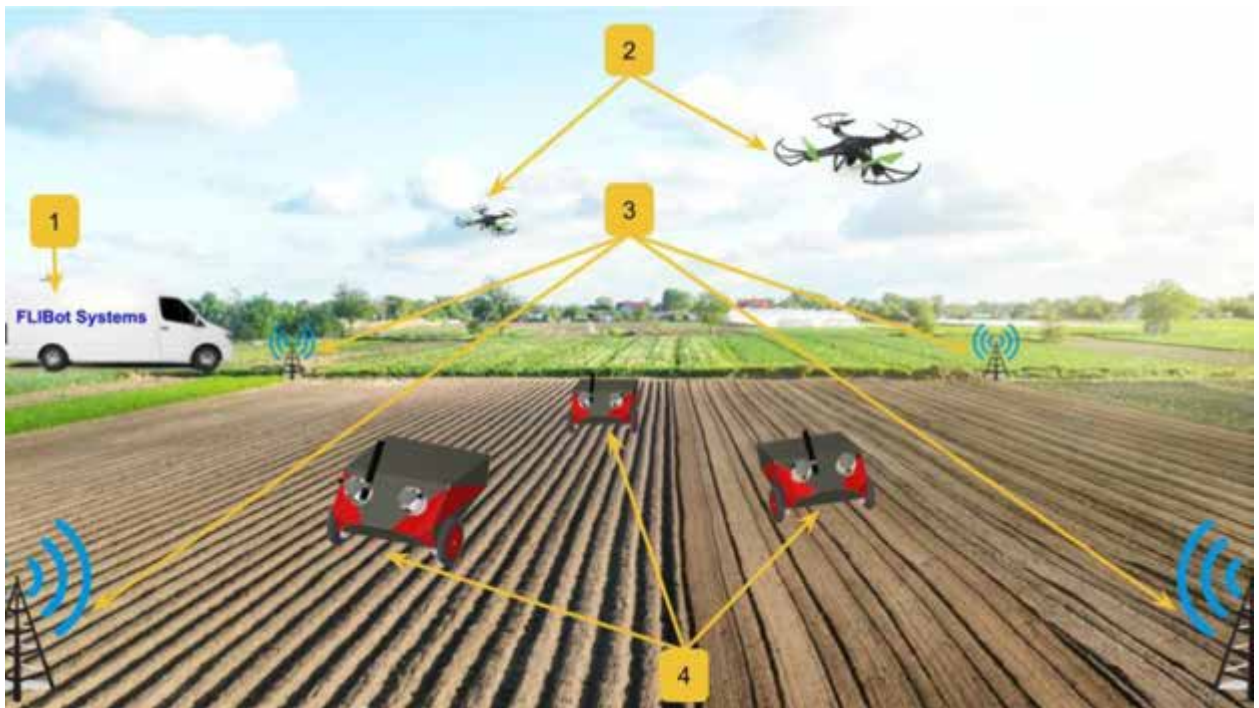


Рис. 1.32 - Концепція сучасної автономної системи боротьби з бур'янами за допомогою рою роботів FLIBot 2.0:

- 1 - Автотрейлер-матка
- 2 - Аеродрони
- 3 - Локальні радіомаяки для GPS-навігації
- 4 - Рій автономних сільськогосподарських роботів FLIBot 2.0

Типове завдання для окремого робота:

- Вирушити до зазначеної точки (координати).
- Розпочати рух уздовж рядка, спостерігаючи стан посівів через камери та передаючи відеопотік на центральний сервер.
- У разі виявлення бур'яну та отримання від сервера його координат і методу знищення – активувати функцію знищення бур'янів хімічним або енергетичним способом.
- Продовжити рух до завершення завдання або до вичерпання енергоресурсу/гербіцидів.
- Повернутися на базу (автотрейлер-матку) для поповнення запасів енергії або гербіцидів, після чого виконати наступне завдання або

завершити роботу.

Основні вимоги для розробки автономного робота FLIBot 2.0:

- Система позиціонування в координатній системі, сформованій автотрейлером-маткою, для виходу до стартової точки і повернення на базу.
- Система відеомоніторингу з високошвидкісним каналом для передачі потокового відео на сервер.
- Можливість автономного розпізнавання рядка і забезпечення самостійного руху вздовж нього.
- Система наведення для засобів знищення бур'янів у зазначеній сервером точці.

Розробка робота не потребує великої автономності (місткості батареї), адже тривалість безперервної роботи може становити 30-40 хвилин, після чого робот повернеться на базу для швидкої заміни батареї. Запас хімічної рідини також розрахований на цей час і може бути швидко поповнений.

Висновки розділу:

Отже, аналіз сучасних підходів до роботизації боротьби з бур'янами допоміг виявити перспективні технічні рішення і концепції, на основі яких сформовано власне бачення проєкту автономного сільськогосподарського робота FLIBot 2.0. Його сутність буде детально описано в наступних розділах.

2. КОНЦЕПЦІЯ ТА ДИЗАЙН

Для успішного виконання завдань, визначених у розділі 1.5, необхідно розробити привабливий і впізнаваний зовнішній вигляд робота, який виділятиме його серед аналогічних пристроїв. Це сприятиме підвищенню інтересу до проекту та створить враження інноваційного підходу.

Наступним етапом є визначення компонентів робота. Їх доцільно розділити на дві категорії: ті, які доцільно придбати в готовому вигляді, і ті, які необхідно виготовити самостійно. Перевагу слід надати готовим компонентам, щоб скоротити час і зменшити витрати на розробку.

Після цього слід скласти перелік інженерних завдань, які потрібно вирішити для забезпечення повноцінного функціонування робота як єдиної системи. У цей список мають увійти всі аспекти – від механічної конструкції та інтеграції електронних компонентів до розробки програмного забезпечення, яке координуватиме роботу всіх складових.

Цей розділ присвячений докладному розгляду всіх зазначених аспектів розробки.

2.1. Пошукове ескізування дизайну

Під час вибору продукції споживачі, як правило, спершу оцінюють її зовнішній вигляд, а вже після цього ознайомлюються з технічними характеристиками. Більше того, дослідження підтверджують, що іноді покупці схильються до візуально привабливіших продуктів, навіть якщо вони поступаються за параметрами менш естетичним аналогам. Щоб зацікавити потенційних покупців, важливо розробити для автономного сільськогосподарського робота FLIBot 2.0 дизайн платформи, який буде одночасно привабливим і функціональним.

Ергономічність техніки також є ключовим фактором, адже від неї залежить зручність і ефективність експлуатації. Таким чином, основна мета полягала у створенні такого дизайну платформи, який не лише забезпечував би

необхідні функції, а й привертав би увагу покупців, підвищуючи загальну конкурентоспроможність робота.

Перший ескіз робота був схожий на легковий автомобіль без кабіни, що дозволяло створити декілька варіацій дизайну. Перша варіація передбачала наявність однієї камери для виявлення цілей, з окремо розташованими лазером і форсункою. Такий підхід забезпечував можливість одночасної обробки кількох рослин різними методами. Для спрощення процесу монтажу і демонтажу баків, батарей та інших компонентів, що потребуватимуть регулярного обслуговування, було обрано просту форму конструкції.

Друга варіація ескізу включала встановлення двох камер, обладнаних лазерами і форсунками. Це рішення мало низку переваг. Зокрема, дві камери збільшували бінокулярний зір робота, забезпечуючи більший кут огляду, можливість визначення відстані і усунення сліпих зон, де могли залишатися бур'яни. Крім того, завдяки двом камерам робот міг одночасно оглядати один рядок насаджень з трьох сторін, підвищуючи ефективність виявлення і знищення бур'янів.

Під час аналізу першого варіанту було виявлено низку недоліків. Зокрема, естетична форма колісних арок призводила до накопичення вологого ґрунту під час дощу. Крім того, використання автомобільної системи керування обмежувало маневреність робота, а деякі декоративні елементи, такі як бампери, не виконували жодної практичної функції. Через це виникла необхідність розглянути альтернативний варіант.

Другий варіант. Другий варіант дизайну був схожий на попередню модель FLIBot 1.0. Як і його попередник, FLIBot 2.0 обладнаний чотирма незалежними приводними колесами, що забезпечували високу маневреність під час роботи. Ця платформа також оснащена двома камерами з можливістю встановлення на них елементів для знищення бур'янів, таких як форсунка або лазер.

Під час аналізу цього варіанту були виявлені кілька недоліків:

- Передня частина робота має загострену форму, що виглядає привабливо, але нерационально використовує простір. Тому було прийнято рішення зробити передню частину більш рівною.

- Використання чотирьох незалежних приводних коліс значно підвищує маневреність, але вимагає значних фінансових вкладень і ускладнює систему керування. У зв'язку з цим вирішено замінити цю конфігурацію на систему з двома передніми приводними колесами і одним поворотним колесом позаду платформи.

Проаналізувавши перші два прототипи, було вирішено створити третій зразок робота, в якому враховані всі недоліки попередніх варіантів. У фінальному дизайні робота-трактора FLIBot 2.0 (рис. 2.1) реалізовано триколісне шасі: два передніх колеса є приводними та керованими, а заднє спарене колесо, яке виконує функцію опори та самовстановлення, зменшує тиск на ґрунт.

Робот оснащений двома камерами, на кожен з яких встановлено лазер і форсунку для випалювання та обприскування рослин відповідно. Завдяки розміщенню всіх систем забезпечення руху по бортам робота вдалося значно збільшити кліренс, що запобігає приминанню рослин під час його роботи. Система обприскування, встановлена на кожен камеру, дозволяє одночасно видаляти бур'яни та удобрювати культурні рослини, що максимально підвищує ефективність роботи.

Розташування баків і сонячних батарей у верхній центральній частині платформи забезпечує оптимальний баланс ваги, що зменшує вплив трактора на ґрунт, покращуючи стійкість та маневреність робота.

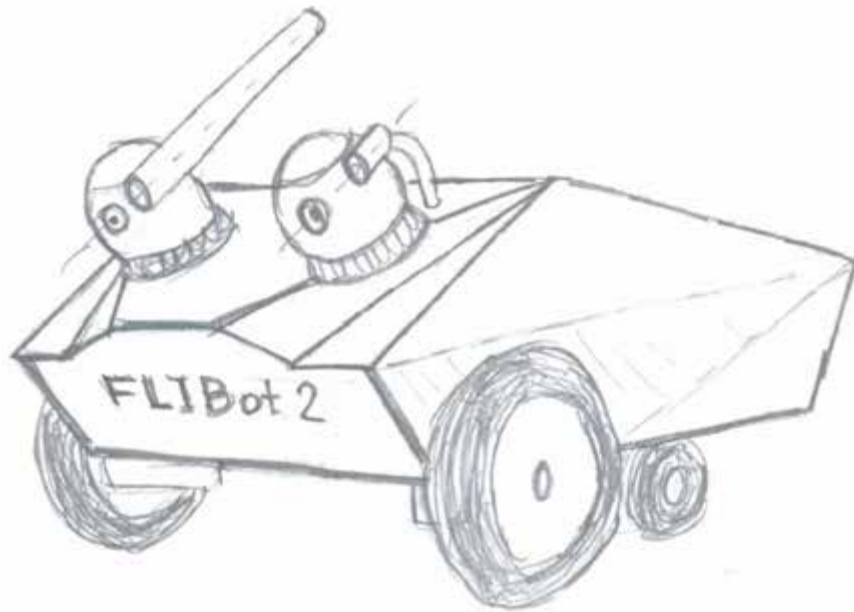


Рис. 2.1 - Фінальний варіант ескізу FLIBot 2.0

2.2. Визначення складових та загальних параметрів робота

Після затвердження зовнішнього вигляду та концепції робота-трактора для обробки рослин наступним етапом є визначення його складових елементів та загальних параметрів. На рис. 2.4 представлено перелік і взаємозв'язок основних підсистем робота. На схемі тонкими лініями позначено інформаційні та керувальні з'єднання, пунктиром – ті, що реалізовані за допомогою бездротових технологій, а потовщеними лініями – живлення.

1. Мобільна платформа. Конструкція робота призначена для забезпечення його пересування, фіксації всіх компонентів системи та надання привабливого зовнішнього вигляду. Пересування реалізовано за допомогою двох привідних і одного опорного колеса. Привідні колеса являють собою готовий блок, який включає в себе двигун постійного струму і редуктор. На кожному з коліс встановлено датчик зворотного зв'язку, що дозволяє відстежувати кут повороту та кутову швидкість обертання. Маневреність робота досягається за рахунок диференціального повороту привідних коліс.

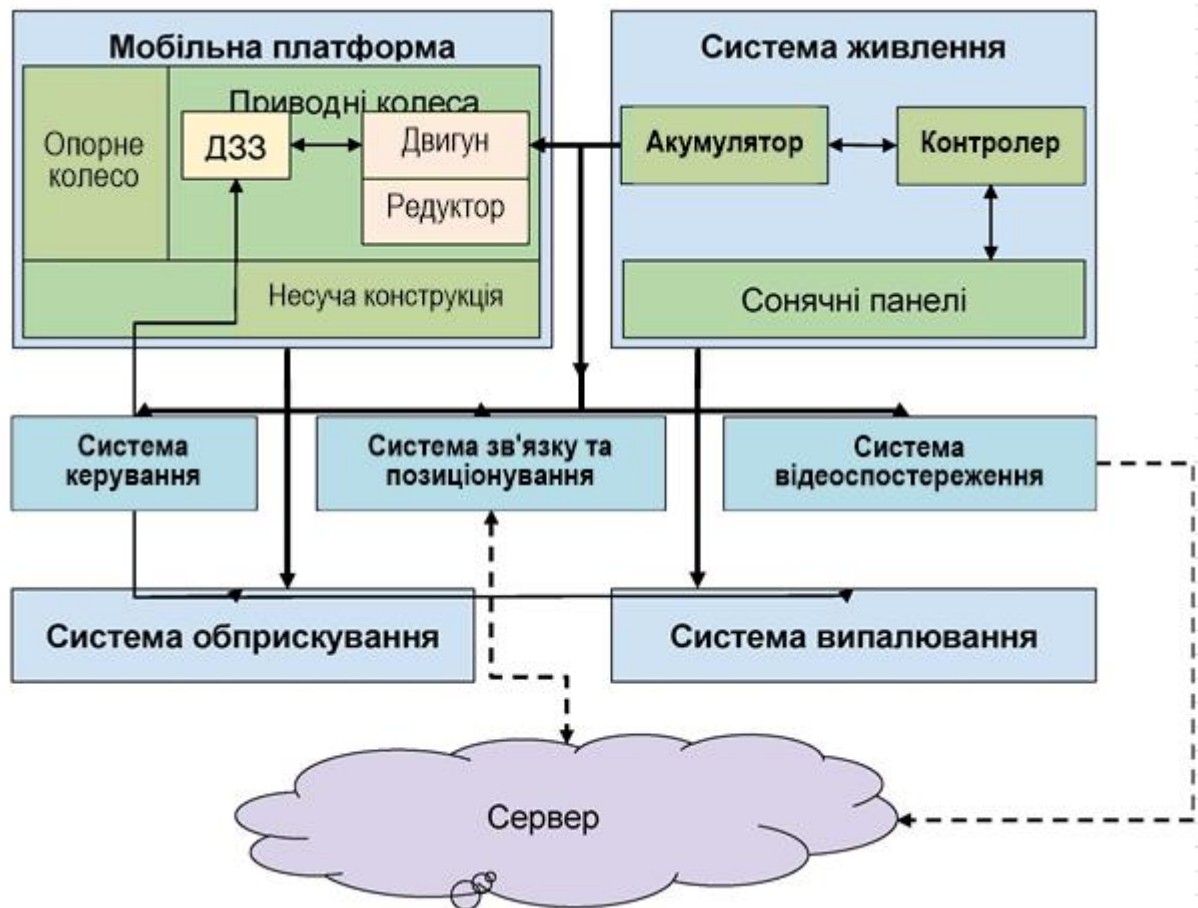


Рис. 2.4 - Системи робота FLIBot 2.0 Розглянемо ці системи і підсистеми.

2. Система живлення. Ця конструкція є інтегрованою системою "акумулятор – сонячні панелі", об'єднаною за допомогою системи управління живленням. Джерелом живлення виступають літій-залізо-фосфатні акумулятори, які виконують подвійну функцію – слугують основним джерелом енергії та накопичувачем енергії, що надходить від сонячних панелей і зарядного пристрою. Для забезпечення автономної роботи робота було прийнято рішення встановити сонячну панель, яка підзаряджає акумулятори, що значно збільшує тривалість роботи робота без потреби в збільшенні ємності акумуляторів.

3. Система керування. Система управління забезпечує виконання всіх завдань руху робота, включно з досягненням заданої точки, рухом вздовж рядків, маневруванням, а також контролем виконавчих механізмів і підсистем, зокрема відеокамер, які інтегровані з системами обприскування та

випалювання. Контроль траєкторії руху та керування обладнанням для обробки рослин здійснюватиметься через контролер Arduino. Вибір цього контролера обумовлений оптимальним співвідношенням ціни та продуктивності, оскільки він повністю відповідає вимогам проєкту й значно дешевший від аналогів.

Мапа розташування бур'янів створюватиметься на сервері на основі даних із системи відеоспостереження, тоді як система управління буде обчислювати поточну точку наведення з урахуванням руху робота та обраного способу знищення бур'янів.

4. Система відеоспостереження. Ця система складається з двох відеокамер із Wi-Fi-з'єднанням, що забезпечують бінокулярний машинний зір, дозволяючи частково створювати тривимірну модель об'єктів і визначати відстань до них. Камери встановлені з можливістю обертання у двох площинах, що розширює зону огляду і дозволяє спрямовувати обидві камери на один об'єкт. Для навігації та спостереження використовуються модулі ESP з камерами, які можна програмувати для розпізнавання об'єктів.

Рухомі камери також слугують для наведення систем обприскування та випалювання. Така комбінація дозволяє адаптувати роботу під різні завдання: удобрення рослин, знищення бур'янів, точний полив тощо, що досягається шляхом заміни програмного забезпечення.

5. Система зв'язку та позиціонування.

Система навігації реалізується за допомогою GPS-датчика для визначення позиції, прив'язки до локальних радіоміток, а також двостороннього зв'язку робота із сервером.

6. Система обприскування. Система призначена для точного і дозованого внесення порції хімічної рідини у визначену точку, координати якої передає система управління роботом. Наведення на цільову точку забезпечується за допомогою серводвигунів, що керують відеокамерою, на яку закріплена форсунка. Обприскування здійснюється форсункою, що під тиском порційно подає рідину (гербіцид, воду або добриво залежно від завдання). Для

цього використовується високонапірний насос, здатний створювати тиск близько 9 атм, що є оптимальним для таких операцій.

Форсунку слід закріпити в жорсткому з'єднанні з камерою наведення. Завдяки цьому, після калібрування і поєднання центру камери з точкою потрапляння струменя, можна досягти високої точності внесення рідини в задане місце.

7. Система випалювання.

Для реалізації лазерного випалювання бур'янів на ранніх етапах було обрано лазерний модуль, здатний випалювати молоді пагони рослин. Як і у випадку з форсункою, лазерний модуль має бути точно налаштований відносно камери, щоб точки влучання лазерного променя і струменя рідини співпадали з центром наведення камери. На початкових етапах проєкту як обприскувальна, так і лазерна системи налаштовані для точного ураження на фіксованій відстані. В майбутньому планується встановити серводвигуни, що дозволять автоматично регулювати точку влучання залежно від дистанції до цілі.

2.3. Загальні інженерні завдання забезпечення функціонування роботизованого пристрою для знищення бур'янів

2.3.1. Визначення схеми керування роботом

Для виконання завдань з переміщення і маневрування робота необхідно обрати оптимальну колісну конфігурацію та мінімізувати кількість приводів для спрощення конструкції. На рис. 2.5 представлено схему управління платформою з чотирма привідними колесами, кожне з яких може повертатися на 180° навколо своєї осі. Така конфігурація застосовується в роботах, таких як HortiBot, BoniRob і FLIBot 1. Вона забезпечує максимальну маневреність, дозволяючи роботу розвертатися на місці або різко змінювати напрямок руху з нульовим радіусом повороту. Основним недоліком такого рішення є складність конструкції, зокрема збільшення кількості проводів (4 для обертання і 4 для

руху), а також підвищені вимоги до системи керування через збільшення кількості координат, які потребують точного контролю.

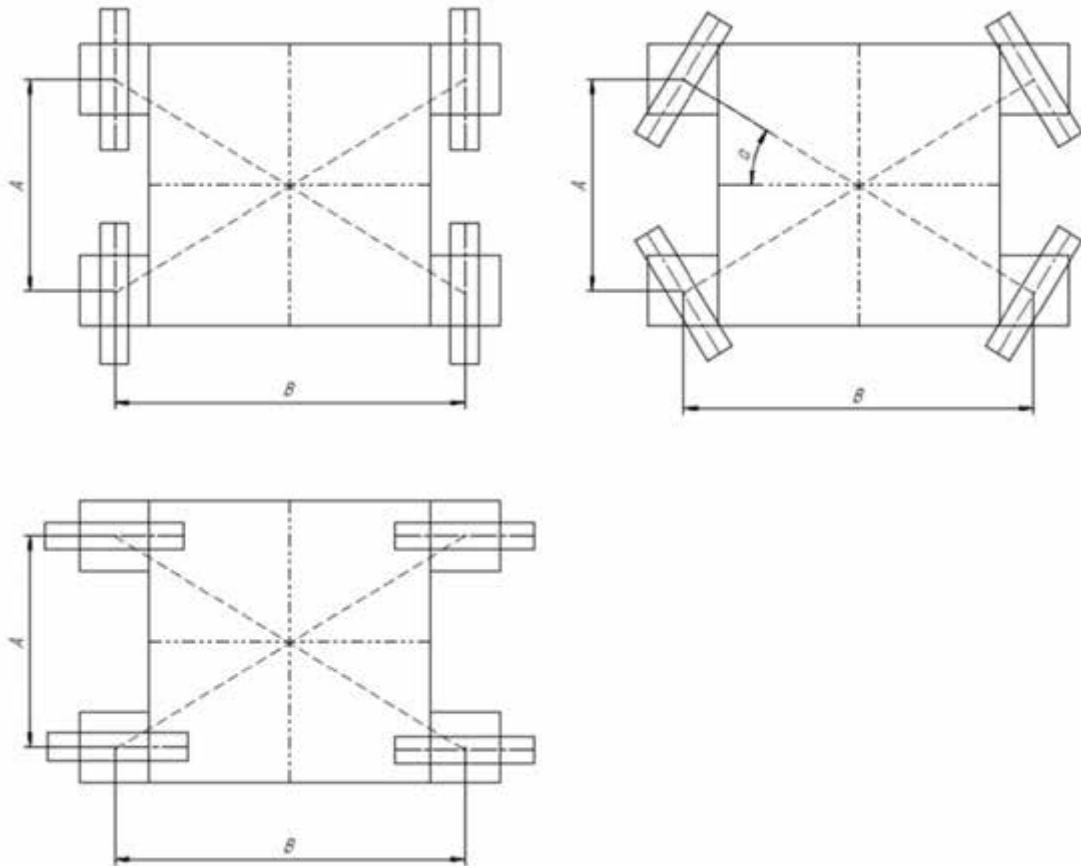


Рис. 2.5 - Схема керування з 4-ма привідними та 4-ма поворотними колесами

Ще одним ефективним варіантом стала пропозиція використання платформи з двома поворотними та двома приводними колесами. Така конфігурація характерна для проєктів, таких як AgBot II, і представлена на рис. 2.6. Ця схема дозволяє зменшити кількість необхідних двигунів, що спрощує конструкцію та знижує витрати. Проте, у порівнянні з попередньою схемою, вона дещо обмежує маневреність: робот не може розвертатися на місці чи змінювати напрямок руху без радіусу повороту.

Водночас вимоги до системи управління для такої платформи значно спрощуються, оскільки зменшується кількість координат, які потрібно контролювати. Однак синхронізація роботи приводних і поворотних коліс

залишається важливим аспектом для забезпечення стабільності руху та точності маневрування.

Оцінюючи переваги та недоліки обох розглянутих схем, було вирішено розробити третій варіант, який об'єднає сильні сторони попередніх рішень та мінімізує їхні недоліки.

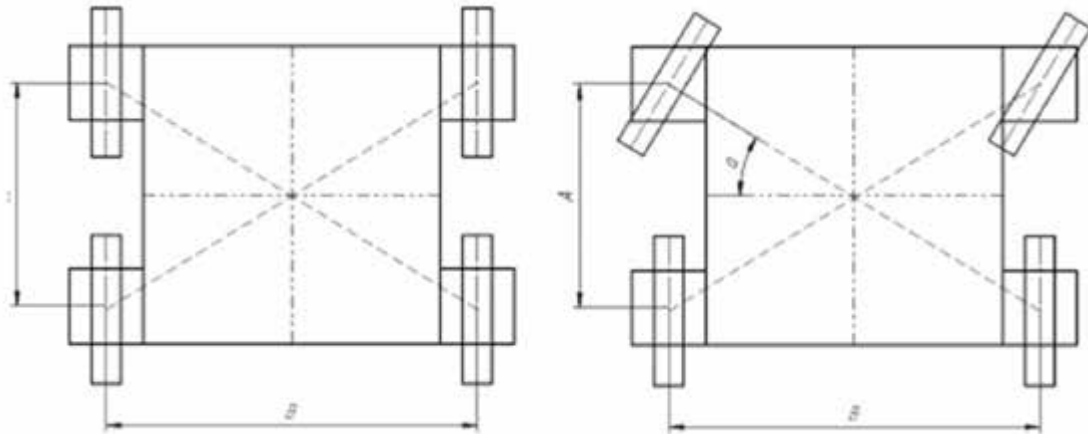


Рис. 2.6 - Схема керування з 2-ма приводними та 2-ма поворотними колесами

На рис. 2.7 представлено схему керування автономною платформою FLIBot 2.0, прийняту для цього проєкту. Дана схема включає два приводних колеса з функцією керування, які забезпечують повороти платформи за рахунок різної частоти обертання кожного колеса. Задню частину робота підтримує одне поворотне некероване колесо, яке виконує роль опори і здатне обертатися на 360° .

Подібна схема використовується в інших моделях агророботів і поєднує переваги обох попередніх варіантів. За рахунок єдиного поворотного колеса, яке може обертатися на 360° , платформа здатна здійснювати розворот на місці навколо вертикальної осі одного з приводних коліс. Проте, на відміну від схеми з чотирма приводними колесами, при такому маневрі може спостерігатися наїзд приводних і опорного коліс на рядки рослин.

Ця конфігурація вимагає лише два двигуни, що подібно до другої схеми, і одночасно дозволяє розворот на місці, як у першій схемі. Вимоги до системи управління при цьому мінімальні: приводи повинні мати зворотний зв'язок за

положенням для точного контролю руху. Це також спрощує програмне забезпечення, яке контролює лише режими обертання двох приводних коліс, тоді як заднє поворотне колесо слугує виключно опорою і не потребує управління.

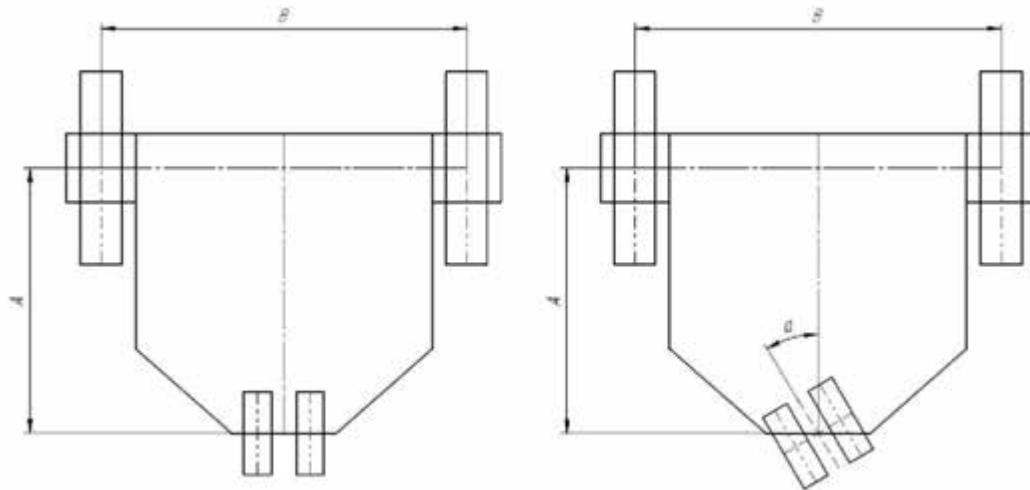


Рис. 2.7 - Схема керування з 2-ма приводними та одним опорним колесами

Порівняння трьох вище описаних варіантів наведені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Варіанти реалізації управління рухом

Роботи	Приводних коліс	Поворотних коліс	Переваги	Недоліки
HortiBot, BoniRob, FLIBot 1	4	4	Найвища маневреність	Найвища складність керування та висока вартість
AgBot II	2	2	Помірна складність та вартість	Низька маневреність
FLIBot 2.0	2		Висока маневреність й невисока вартість	Обмеження в маневреності

Як видно, обрана для робота FLIBot 2.0 схема має значні переваги, хоча зазначений недолік потребує детального пояснення, яке наведено нижче. На рис. 2.8 показано послідовність розвороту робота-трактора. Алгоритм розвороту виглядає так: 1 – робот виїжджає за межі оброблюваного поля; 2 –

виконує поворот на 90 градусів; 3 – переміщується до наступної групи рядків; 4 – знову повертається на 90 градусів, щоб зайняти нову позицію.

З рисунка видно, що використання концепції з двома керованими приводними колесами та одним некерованим поворотним колесом дозволяє ефективно обробляти ділянки поля, не пропускаючи рядків. Це забезпечує оптимізацію траєкторії руху робота. Рис. 2.8 також демонструє розміри зони, необхідної для маневру робота під час переходу до наступної групи рядків.

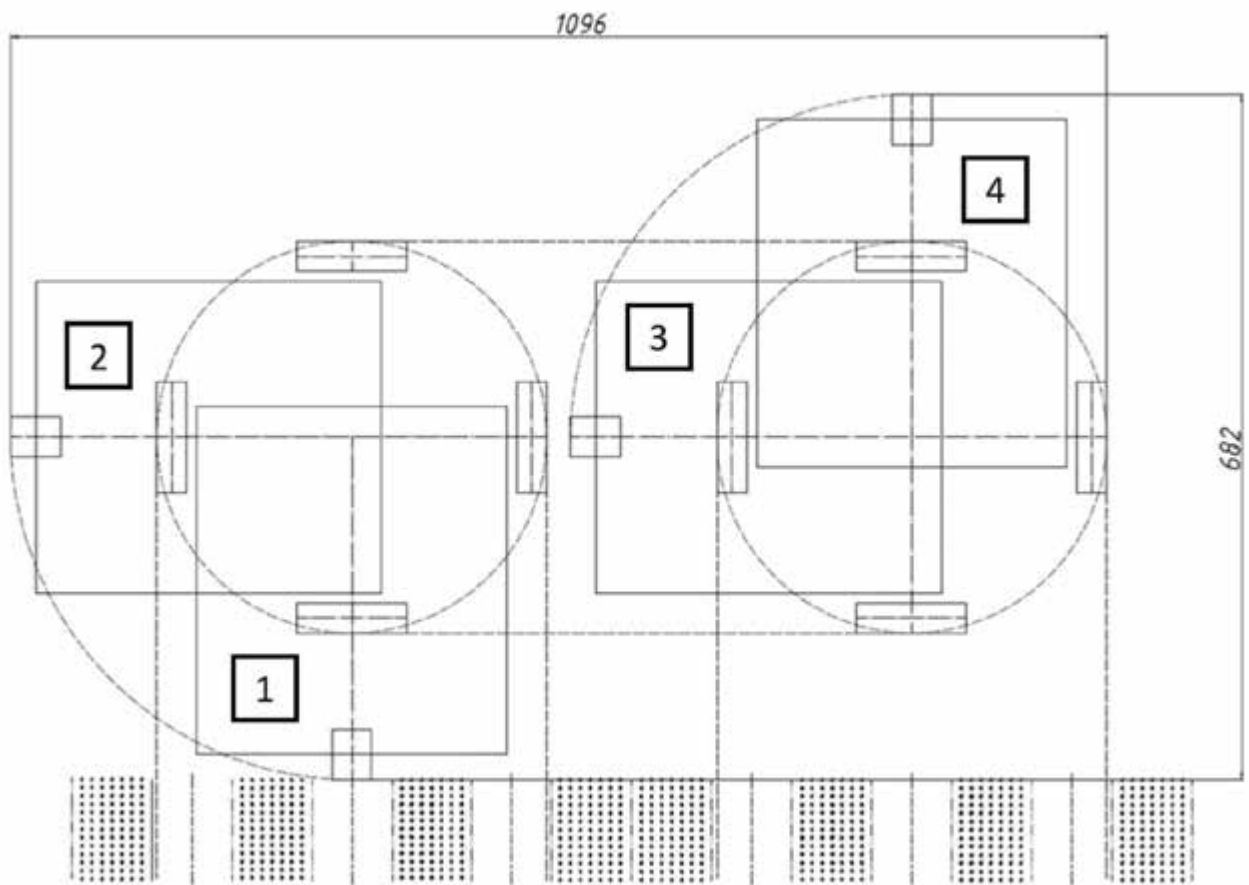


Рис. 2.8 - Схема розвороту робота

2.3.2 Оцінка завдання наведення лазера

На рис. 2.9 представлено розрахункову схему для наведення лазера на точку, де розташований бур'ян, який необхідно випалити. Після отримання координат цієї точки система повинна сумістити оптичну вісь камери з

об'єктом, а також, з урахуванням відстані, виконати доворот камери на такий кут, щоб лазерний промінь точно потрапив у цільову точку.

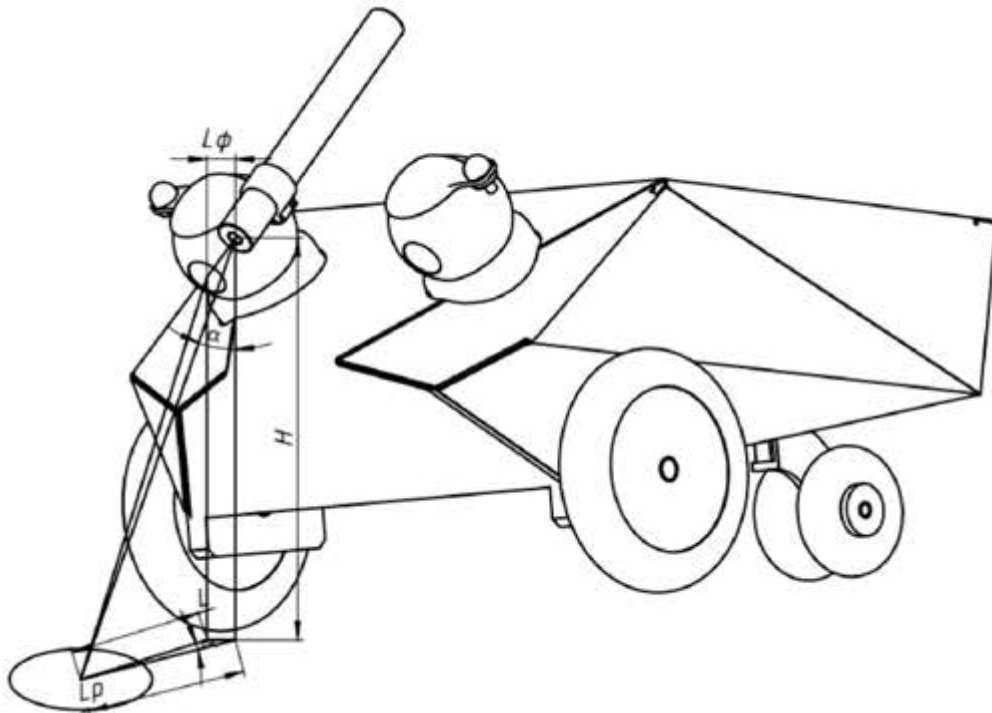


Рис. 2.9 - Схема наведення лазера на ціль

Система наведення лазера складається з двох основних компонентів: поворотної камери для розпізнавання та наведення, а також лазера для знищення бур'янів. Лазер закріплений на камері таким чином, що випромінювач лазера і об'єктив камери знаходяться в одній площині. Принцип роботи цієї системи полягає в наступному: під час руху автономної платформи камера сканує поверхню та ідентифікує бур'яни.

Як тільки камера виявляє ціль, вона автоматично наводиться на неї, так що оптична вісь камери проходить через об'єкт. Далі камера визначає пряму відстань до рослини. На основі цих даних програмне забезпечення робота здійснює розрахунок, що дозволяє точно навести лазер на ціль. Знаючи відстань між осями камери і лазера, а також відстань до об'єкта, проводиться наступний розрахунок:

$$L_p = \sqrt{L_\phi^2 + L^2}, \quad (2.1)$$

де L_p - відстань від лазера до цілі

L_ϕ - фіксована відстань між віссю об'єктива та віссю лазера

L - відстань від об'єктива камери до цілі

Для визначення кута повороту камери, необхідного для точного наведення лазера на ціль, застосовується наступна формула:

$$\gamma = \arcsin \frac{L_\phi}{L_p}, \quad (2.2)$$

Після отримання значення необхідного кута повороту камера повертається, спрямовуючи вісь лазера точно на ціль. Після цього розпочинається процес випалювання бур'яну лазерним променем.

2.3.3. Забезпечення наведення форсунки

Система обприскування робота FLIBot 2.0 побудована аналогічно системі випалювання, тобто процес наведення осі форсунки на ціль ідентичний наведенню лазера. Однак для точного спрямування рідини на рослину необхідно врахувати форму і траєкторію струменя, який утворюється під час обприскування. Для цього потрібно провести відповідні розрахунки згідно з розрахунковою схемою, представленою на рис. 2.10.

Щоб зрозуміти процес наведення форсунки, важливо врахувати, як поводить себе рідина після виходу з форсунки. Струмінь, що випускається, складається з трьох основних частин: компактної, роздробленої та розсіяної.

Компактна частина струменя має циліндричну або близьку до неї форму, зберігаючи цілісність.

Роздроблена частина характеризується розширенням струменя, який починає руйнуватися на окремі частинки.

Розсіяна частина утворюється на кінці струменя і складається з дрібних крапель рідини.

Визначення цих частин допомагає налаштувати форсунку для досягнення точного попадання рідини на цільову рослину.

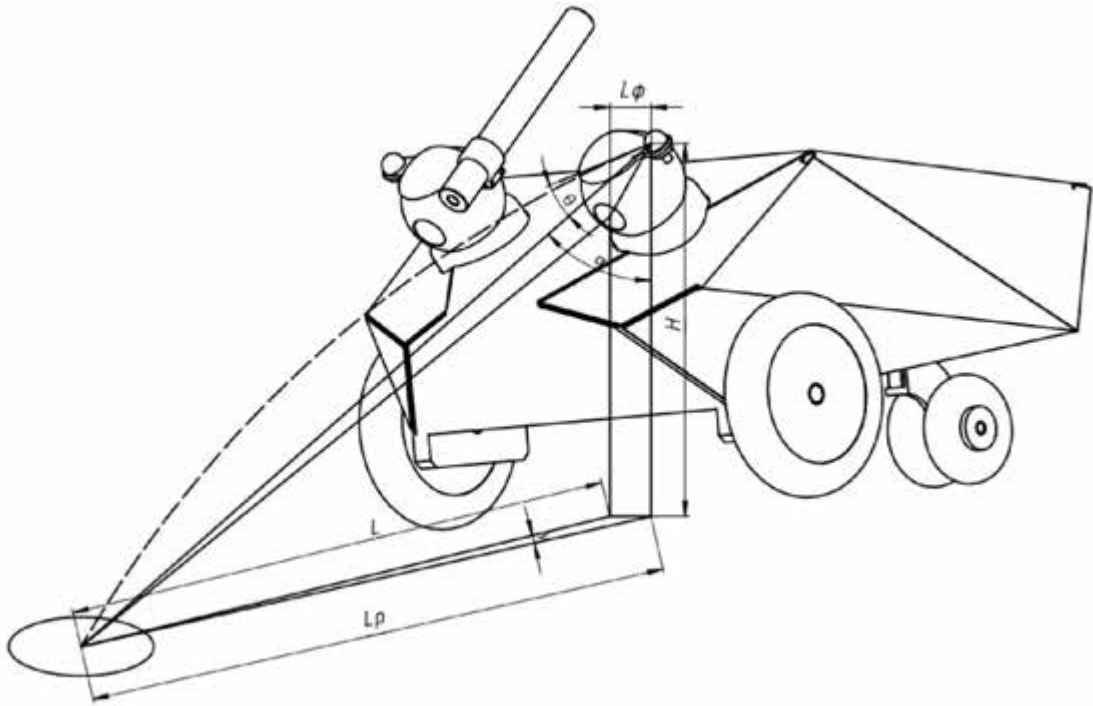


Рис. 2.10 - Схема наведення системи обприскування

Для забезпечення точного точкового обприскування необхідно, щоб струмінь рідини досягав цілі на етапі, коли він ще є компактним. Для цього, при розрахунку траєкторії струменя, необхідно визначити довжину його компактної ділянки. Довжина цієї частини струменя може бути розрахована за наступною

формулою:

$$l \approx 0.415 \sqrt[3]{\theta H^2 d_0}, \quad (2.3)$$

де d_0 - діаметр вихідного отвору, мм;

H - напор перед вихідним отвором, м;

θ - кут нахилу осі форсунки до горизонту, град.

Для нашого робота, враховуючи відомі значення напору та діаметра форсунки, цю формулу можна переписати в такому вигляді:

$$l \approx 0.415 \sqrt[3]{3\theta}, \quad (2.4)$$

Для розрахунку траєкторії польоту струменя застосуємо наступні формули:

$$z = xtg\theta_0 - \frac{x^2}{4H \left(1 - \frac{\lambda x}{d_0 \cos \theta_0}\right) \cos^2 \theta_0}, \quad (2.5)$$

де λ - коефіцієнт спротиву під час руху струменя в повітрі.

В свою чергу λ визначається як:

$$\lambda = 0.25 \left(1 - e^{-\frac{H}{1600d_0}} \right), \quad (2.6)$$

$$\lambda = 0.25 \left(1 - e^{-\frac{H}{1600 \cdot 0.00075}} \right) \approx -1.074,$$

Дальність польоту струї L дорівнює:

$$L = 0.42H + 1000d_0, \quad (2.7)$$

В нашому випадку дальність польоту струменя L дорівнює:

$$L = 0.42 \cdot 2 + 1000 \cdot 0,00075 = 1,59 \text{ м}$$

В залежності від того, як саме робот повинен обробити певну рослину, можна вибрати відповідний алгоритм розрахунку для досягнення компактного або розпиленого струменя. Горизонтальною базою для цих розрахунків робот використовуватиме відстань від форсунки до цілі.

Висновки по розділу

Для реалізації концепції, викладеної в розділі 1.5, було виконане пошукове ескізування, яке дозволило обрати технічно ефективно й водночас привабливе рішення у вигляді триколісної платформи. Два передніх колеса цієї платформи є приводними й оснащені датчиками зворотного зв'язку, що забезпечує точне управління і високу маневреність.

Були розроблені схеми та математичні залежності, необхідні для функціонування системи наведення на ціль, яка враховує варіант обробки рослини – випалювання або обприскування хімічною рідиною.

3. ПРОЕКТУВАННЯ АГРАРНОГО РУХОМОГО АВТОНОМНОГО РОБОТИЗОВАНОГО ПРИСТРОЮ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЙОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ

Для проектування й створення дослідного зразка сільськогосподарського робота FLiBot 2.0 згідно з концепцією, викладеної в розді 1.5 та концептуальними засадами дизайну, викладеними в розд. 2 розроблено проектну документацію, технологію виготовлення прототипу та виготовлено дослідний зразок.

3.1. Проєкт рухомої автономної системи

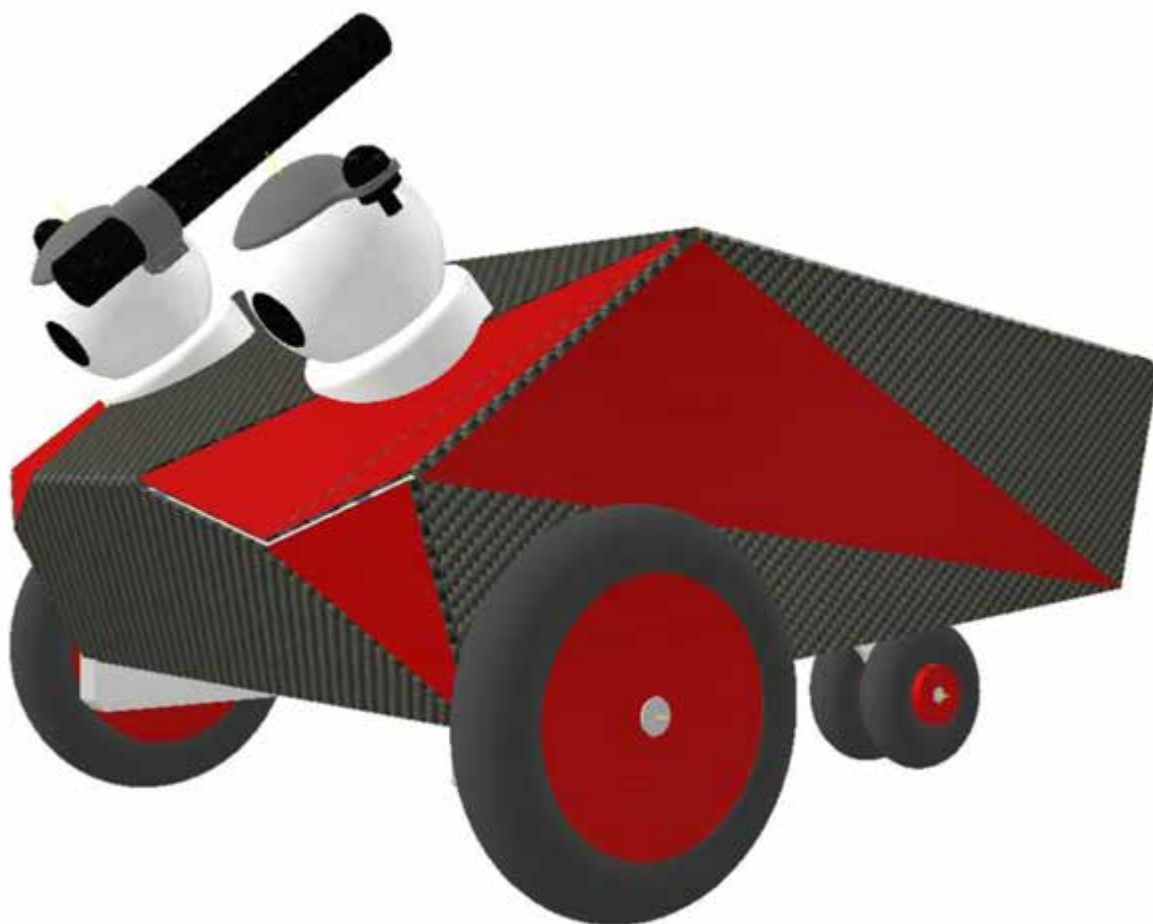


Рис. 3.1 – 3D-модель автономного робота для знищення бур'янів

Розглянемо конструкції найбільш функціонально насичених деталей.

Деталь "Обшивка" призначена для забезпечення естетично привабливого вигляду платформи, а також для захисту її елементів від впливу зовнішнього

середовища, зокрема ультрафіолетового випромінювання, вологи та пилу. Основна функція обшивки полягає у запобіганні механічним пошкодженням внутрішніх систем робота під час експлуатації.

3D-модель деталі "Обшивка" та її розгортка представлені на рис. 3.2.

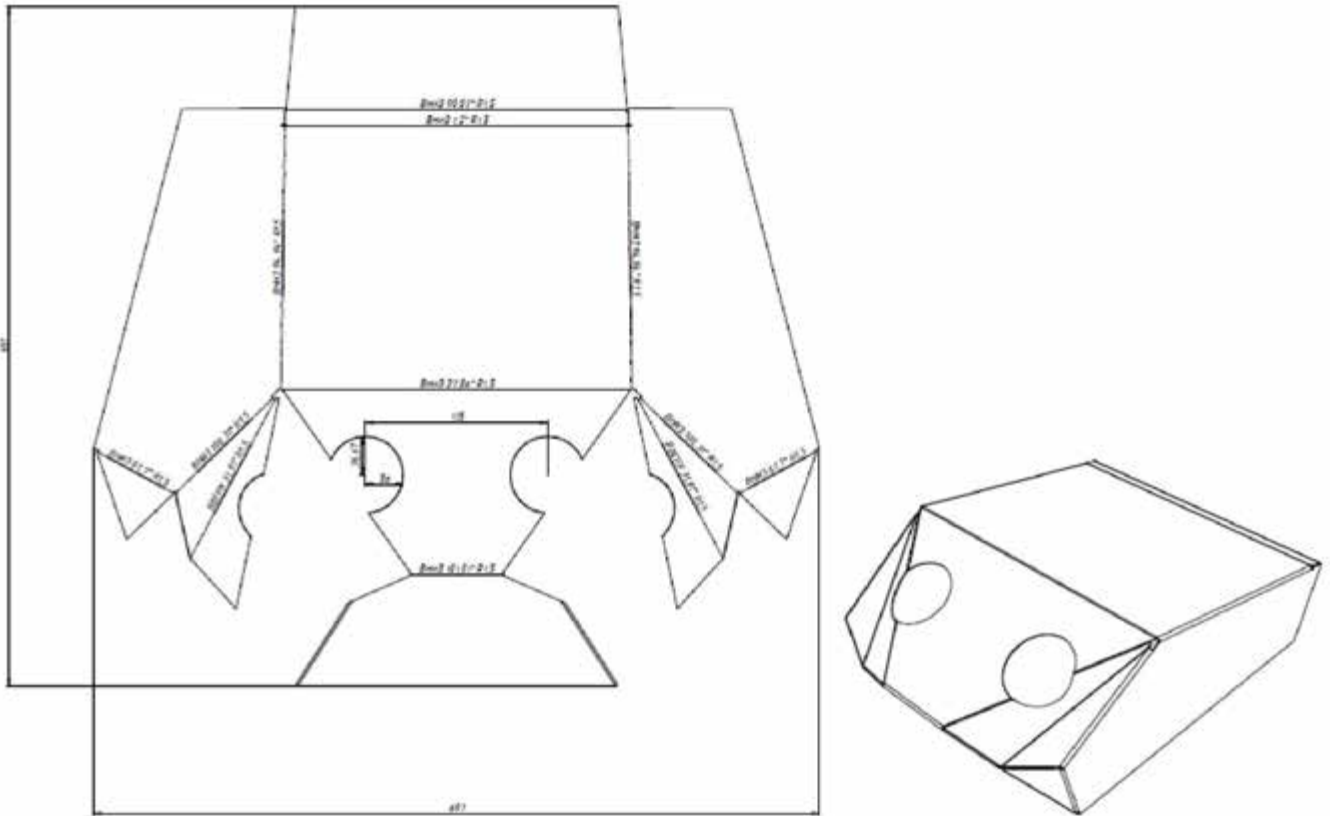


Рис. 3.2 - деталь "Обшивка"

3.2.Проект інтегрованої системи "спостереження-обприскування"

нтегрована система "Спостереження-обприскування" (рис. 3.3) призначена для виявлення цільових рослин серед загального масиву насаджень та їх точкової обробки хімічною рідиною.

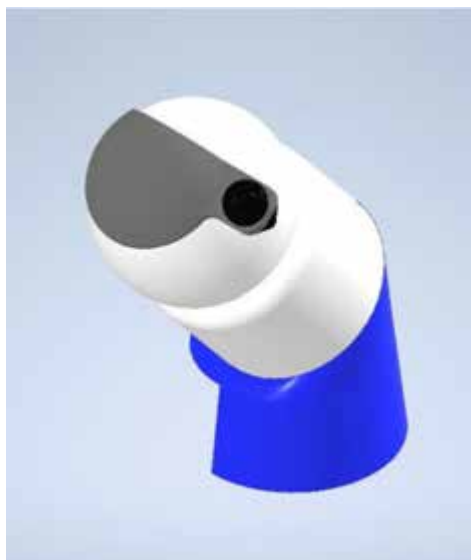


Рис. 3.3 - 3D модель системи спостереження-обприскування

Деталь "Кріплення форсунки" призначена для точного закріплення форсунки на корпусі камери, що забезпечує стабільність і правильне позиціонування форсунки для ефективного обприскування. Ескіз та 3D-модель цієї деталі наведені на рис. 3.4.

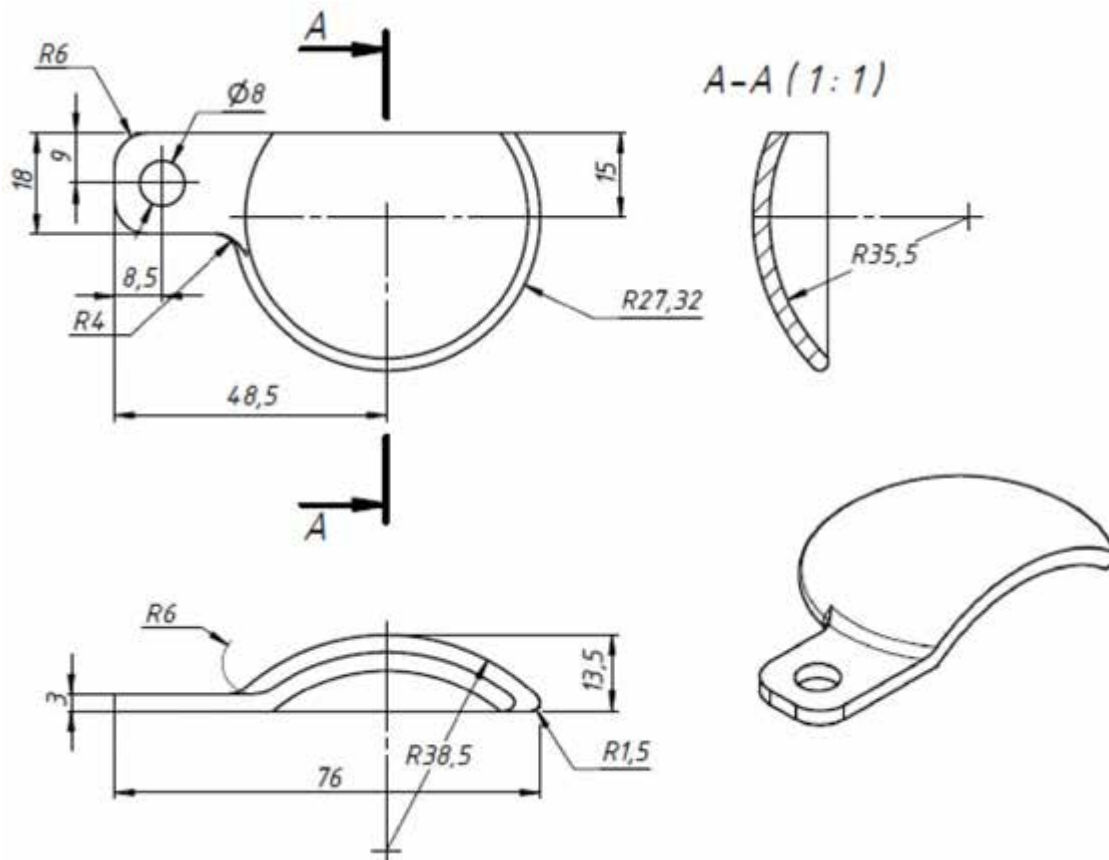


Рис. 3.4 - Деталь "Кріплення форсунки"

3.3. Проект інтегрованої системи спостереження

Інтегрована система "Спостереження-випалювання" (рис. 3.5) призначена для виявлення необхідних видів рослин серед усього різноманіття насаджень та знищення їх у разі необхідності лазером.



Рис. 3.5 - 3D модель системи спостереження-випалювання

Деталь "Кріплення лазера" призначена для точного закріплення лазера на корпусі камери, що забезпечує стабільне наведення лазера на ціль. За потреби на це кріплення може бути встановлено додаткову форсунку, що розширює можливості обробки рослин. Ескіз та 3D-модель деталі представлені на рис. 3.6.

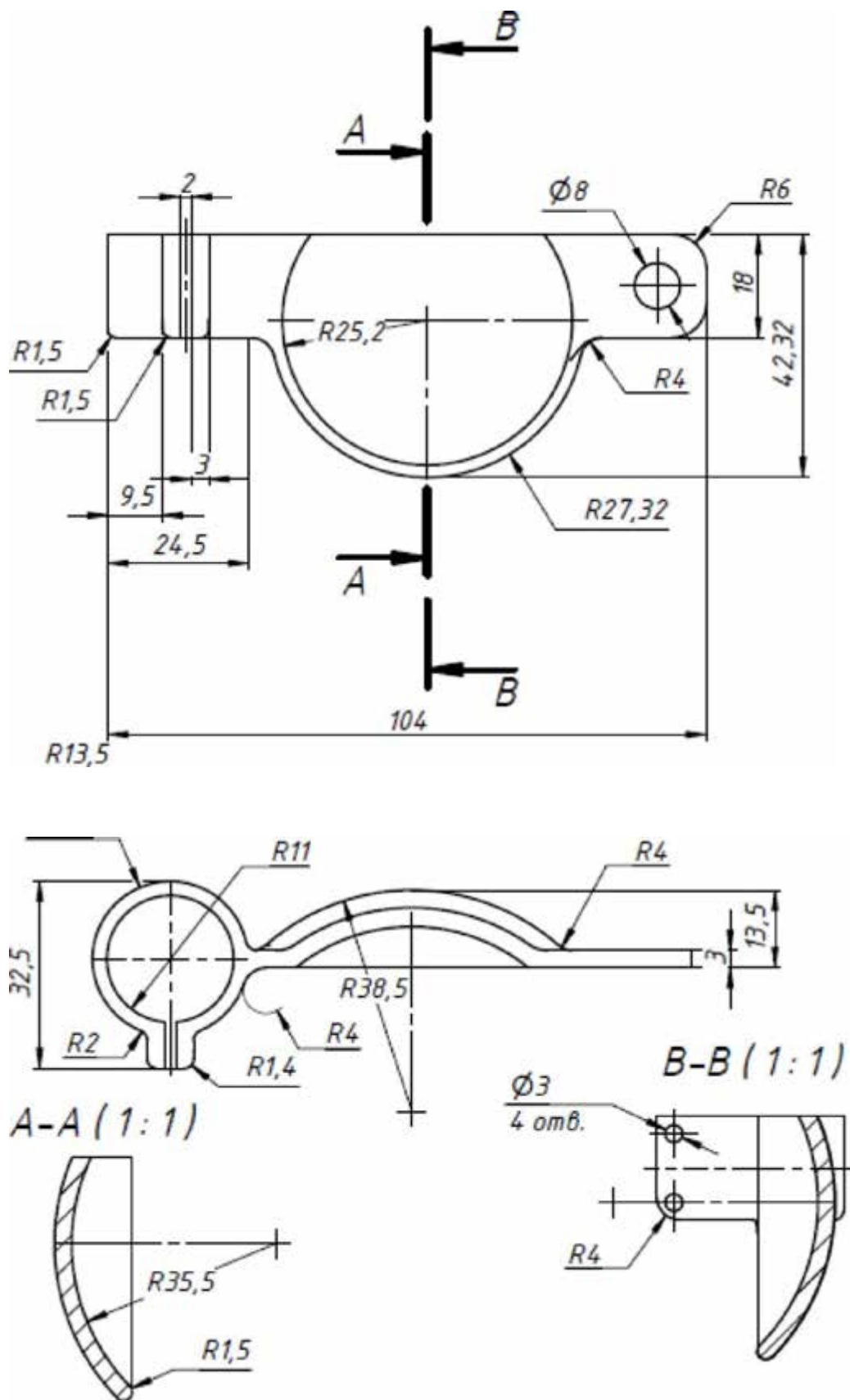


Рис. 3.6 - деталь "Кріплення лазера"

3.4. Технологія для виготовлення деталей прототипу автономного роботизованого пристрою

Для виготовлення оригінальних деталей макету робота FLIBot 2.0 ми активно застосовували адитивні технології на базі Fablab KPI. Ці технології дозволяють створювати деталі методом послідовного накладання шарів матеріалу. Такий підхід має як переваги, так і недоліки, які наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Адитивні технології. Переваги і недоліки.

Переваги	Недоліки
Невисока вартість обладнання Мінімальні відходи у виробництві Можливість виготовлення деталей будь-якої форми Низька собівартість продукції	• Розмір деталей обмежений розмірами робочої зони Обмежений вибір матеріалів, придатних для 3D-друку Поверхні деталей часто потребують додаткової обробки

Застосування адитивної технології для виготовлення деталі "Платформа камери".

На рис. 3.7 представлена 3D-модель деталі "Платформа камери", на рис. 3.8 – інтерфейс програмного середовища для підготовки керуючої програми, а на рис. 3.9 – результат виготовлення деталі. Час виготовлення деталі склав 1 годину 33 хвилини, а маса готового виробу становить 24 грами.

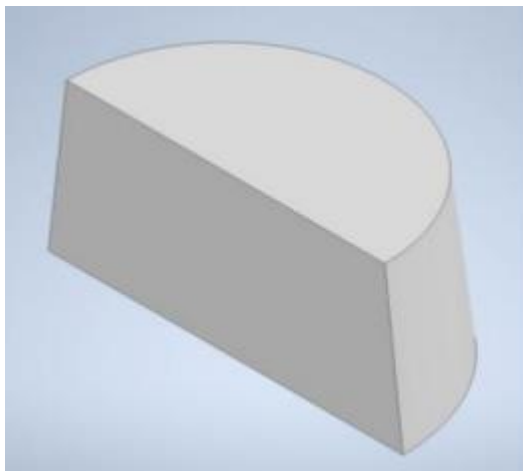


Рис. 3.7 - 3D-модель деталі "Платформа камери"

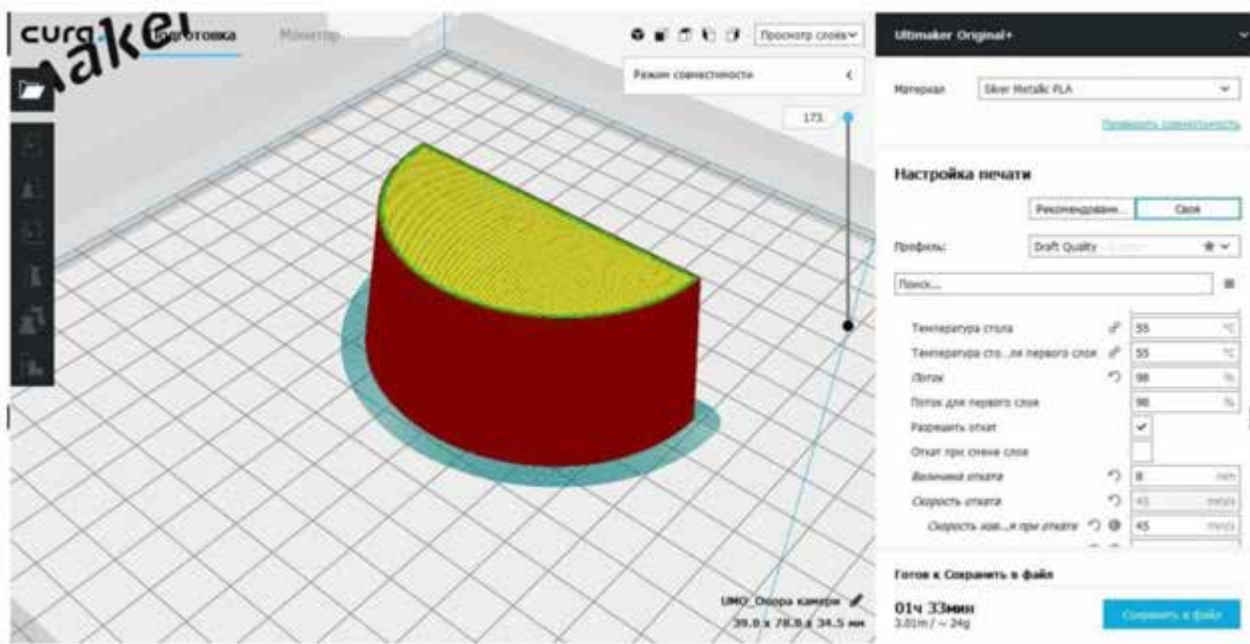


Рис. 3.8 - Інтерфейс програмного середовища підготовки керуючої програми виготовлення деталі "Платформа камери"

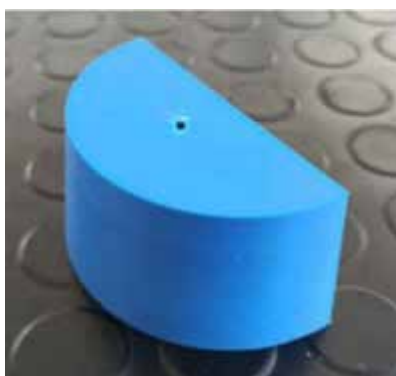


Рис. 3.9 - Результат виготовлення деталі "Платформа камери"

Застосування адитивної технології для виготовлення деталі "Нахилена проставка".

На рис. 3.10 представлена 3D-модель деталі "Нахилена проставка", на рис. 3.11 – інтерфейс програмного середовища для підготовки керуючої програми, а на рис. 3.12 – результат виготовлення деталі. Час виготовлення цієї деталі склав 2 години 15 хвилин, а її маса становить 31 грам.

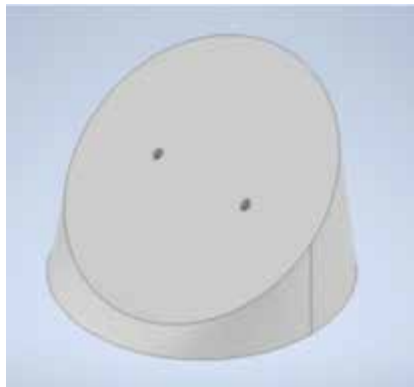


Рис. 3.10 - 3D-модель деталі "Нахилена проставка"

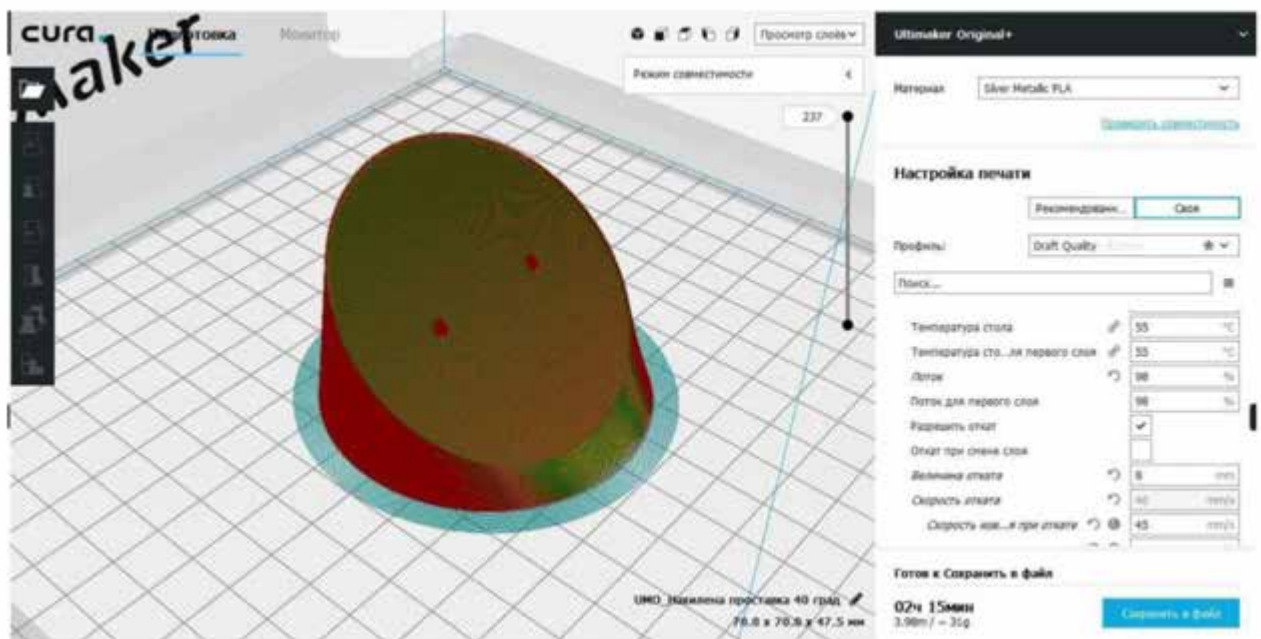


Рис. 3.11 - Інтерфейс програмного середовища підготовки керуючої програми виготовлення деталі "Нахилена проставка"



Рис. 3.12 - Результат виготовлення деталі "Нахилена проставка"

Застосування адитивної технології для виготовлення деталі "Кріплення насоса".

На рис. 3.13 представлена 3D-модель деталі "Кріплення насоса", на рис. 3.14 – інтерфейс програмного середовища для підготовки керуючої програми, а на рис. 3.15 – результат виготовлення деталі. Час виготовлення цієї деталі склав 1 годину 7 хвилин, а її маса становить 15 грамів.

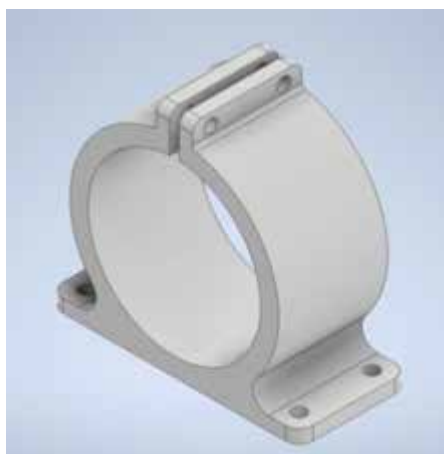


Рис. 3.13 - 3D-модель деталі "Кріплення насоса"

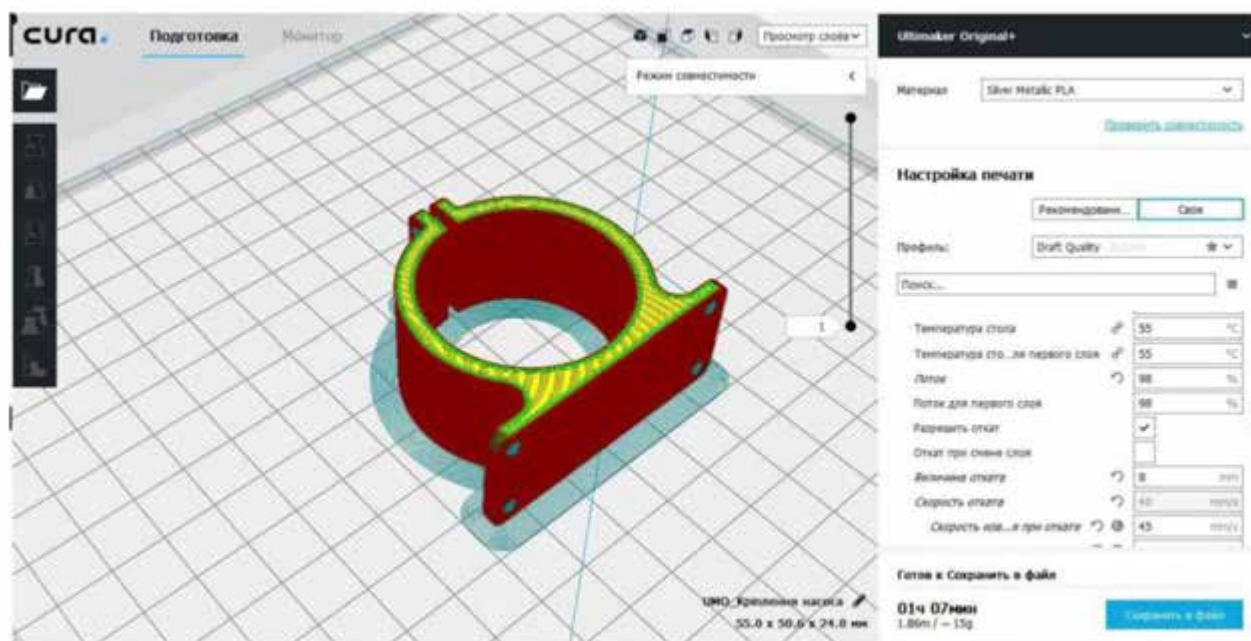


Рис. 3.14 - Интерфейс программного средовища підготовки керуючої програми виготовлення деталі "Кріплення насоса"



Рис. 3.15 - Результат виготовлення деталі "Кріплення насоса"

Застосування адитивної технології для виготовлення деталі "Кріплення лазера".

На рис. 3.16 представлена 3D-модель деталі "Кріплення лазера", на рис. 3.17 – інтерфейс програмного середовища для підготовки керуючої програми, а на рис. 3.18 – результат виготовлення деталі. Час виготовлення деталі "Кріплення лазера" склав 1 годину 10 хвилин, а її маса становить 14 грамів.



Рис. 3.16 - 3D-модель деталі "Кріплення лазера"

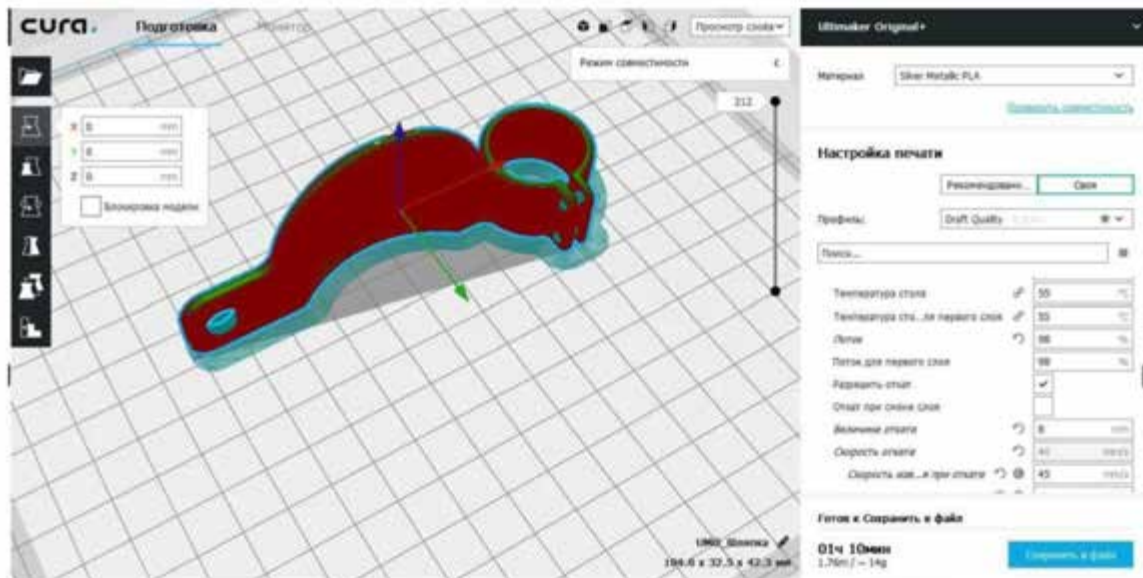


Рис. 3.17 - Інтерфейс програмного середовища підготовки керуючої програми виготовлення деталі "Кріплення лазера"



Рис. 3.18 - Результат виготовлення деталі "Кріплення лазера"

Застосування адитивної технології для виготовлення деталі "Кріплення форсунки".

На рис. 3.19 показана 3D-модель деталі "Кріплення форсунки", на рис. 3.20 – інтерфейс програмного середовища для підготовки керуючої програми, а на рис. 3.21 – результат виготовлення деталі. Час виготовлення цієї деталі склав 36 хвилин, а її маса становить 8 грамів.



Рис. 3.19 – 3D-модель деталі "Кріплення форсунки"

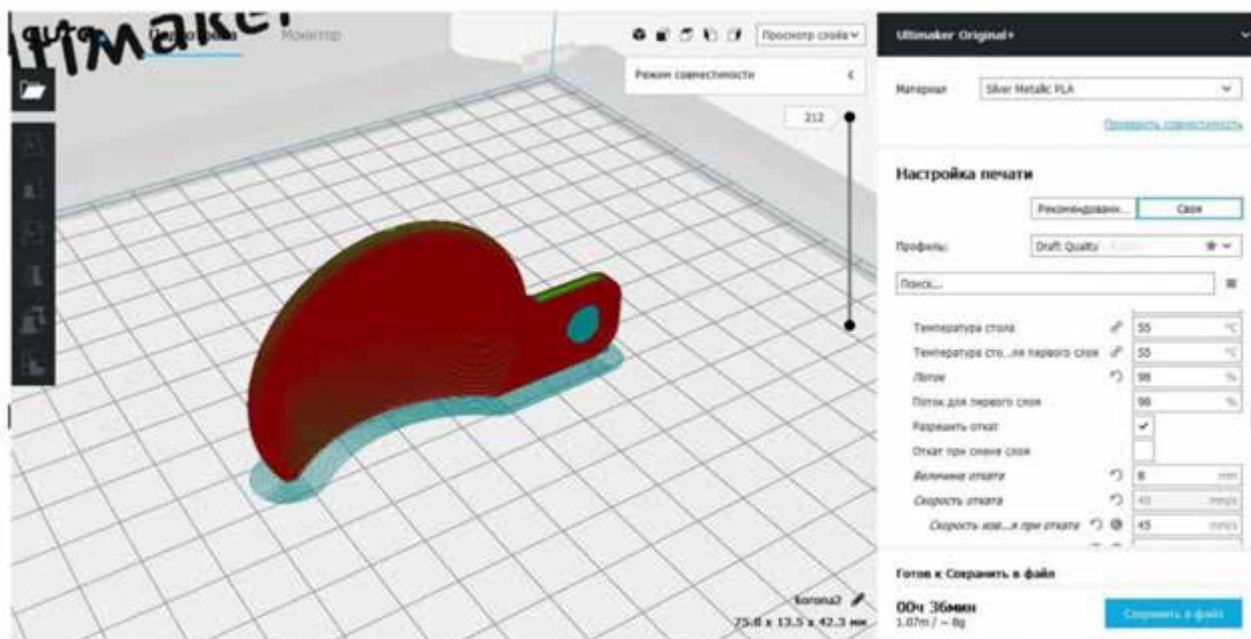


Рис. 3.20 - Інтерфейс програмного середовища підготовки керуючої програми виготовлення деталі "Кріплення форсунки"

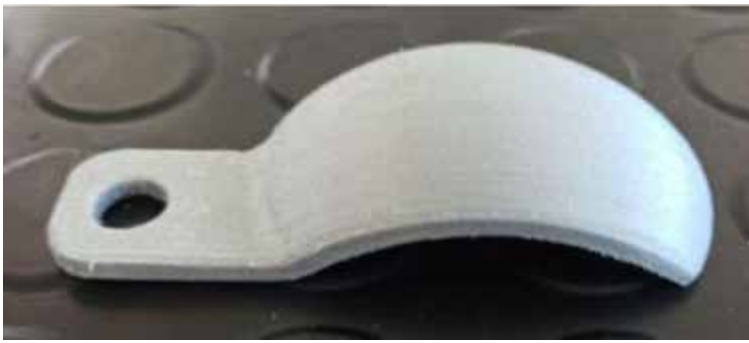


Рис. 3.21 - Результат виготовлення деталі "Кріплення форсунки"

3.5. Інтерфейс середовища управління рухомих автономних сільськогосподарським роботом

Для дистанційного управління роботом було вирішено використовувати систему RemoteXY, яка дозволяє розробляти та використовувати мобільні графічні інтерфейси для керування контролерами зі смартфона або планшета.

Система RemoteXY включає такі компоненти:

- Редактор мобільних графічних інтерфейсів, доступний на веб-сайті remotexy.com, для створення інтерфейсів керування контролерами.
- Мобільний додаток RemoteXY, який забезпечує підключення до контролера і відображає графічний інтерфейс. Додаток доступний для завантаження.

Відмітні особливості:

- Конфігурація графічного інтерфейсу зберігається безпосередньо в контролері.
- При підключенні до контролера не відбувається взаємодії зі сторонніми серверами для завантаження інтерфейсу.
- Конфігурація інтерфейсу завантажується на мобільний додаток прямо з контролера.

На рис. 3.22 представлено інтерфейс керування роботом FLIBot 2.0.



Рис. 3.22 - Інтерфейс додатка RemoteXY

Для запуску робота необхідно перевести тумблер OFF/ON у положення ON. Це активує керуючу програму робота, дозволяючи розпочати управління. Далі на екрані розташовані важелі з правого і лівого боків, які відповідають за роботу правого та лівого двигунів, обертаючи відповідне колесо. Залежно від взаємного положення важелів можна здійснювати повороти або прямолінійний рух. На рисунку 3.22 важелі знаходяться в центральному положенні, тобто при нахилі важеля в певний бік обертання колеса відбуватиметься вперед або назад.

Центральний джойстик дозволяє плавно керувати роботом. Щоб змінити чутливість джойстика, необхідно пересунути важіль, розташований ліворуч від джойстика, вгору або вниз. Залежно від цього налаштування робот швидше або повільніше реагуватиме на зміни положення джойстика.

Для управління нахилом телефону чи планшета потрібно активувати кнопку G, перевівши її в положення ON. Це змінює режим управління, дозволяючи керувати рухом робота за допомогою нахилу пристрою, при цьому налаштування чутливості залишаються незмінними.

3.6. Алгоритм забезпечення роботи

Дії робота FLIBot 2.0 залежать від його взаємодії з іншими компонентами системи FLIBot Systems. Цикл автономної роботи для виконання типового завдання (див. розд. 1.5) може бути реалізований за допомогою алгоритму.

Типове завдання, яке виконує робот FLIBot 2.0 за командою центральної бази, полягає в автономному переміщенні до початку і-го рядка (база передає координати в локальній системі координат), після чого робот приступає до наступного етапу – руху вздовж рядка. Деталі цієї процедури будуть розглянуті нижче.

Досягнувши кінця рядка, робот виконує низку перевірок, щоб переконатися, що має достатньо енергії, запасу рідини (гербіцидів) і що завдання, видане базою, ще не повністю виконане. Якщо є сумніви щодо можливості успішного продовження, робот отримує команду повернутися на базу для поповнення енергії, запасу рідини або завершення роботи на цій ділянці. В інших випадках робот продовжує виконання завдання, переходячи до наступного рядка.

Алгоритм реалізації процедури "Рухатись вздовж рядка" наведений на рис. 3.23 і є модернізованою версією алгоритму з рис. 1.29. Основна ідея алгоритму полягає у циклічному повторенні дій з частотою не менше 5 разів на секунду. Процедура включає такі етапи:

1. Отримання зображень із камер спостереження.
2. Передача пакету зображень на базу.
3. Очікування відповіді від бази щодо наявності бур'яну на зображенні.
4. У разі виявлення бур'яну визначення координат його розташування з урахуванням поточного зміщення робота.
5. Розрахунок точки упередження для точного наведення виконавчого органу.
6. Передача команди на активацію електричного клапана (для форсунки) або лазера.

База виконує аналіз зображень, включаючи їх обробку, сегментацію, виділення контурів, класифікацію та формування мапи розташування бур'янів із зазначенням координат і зон.

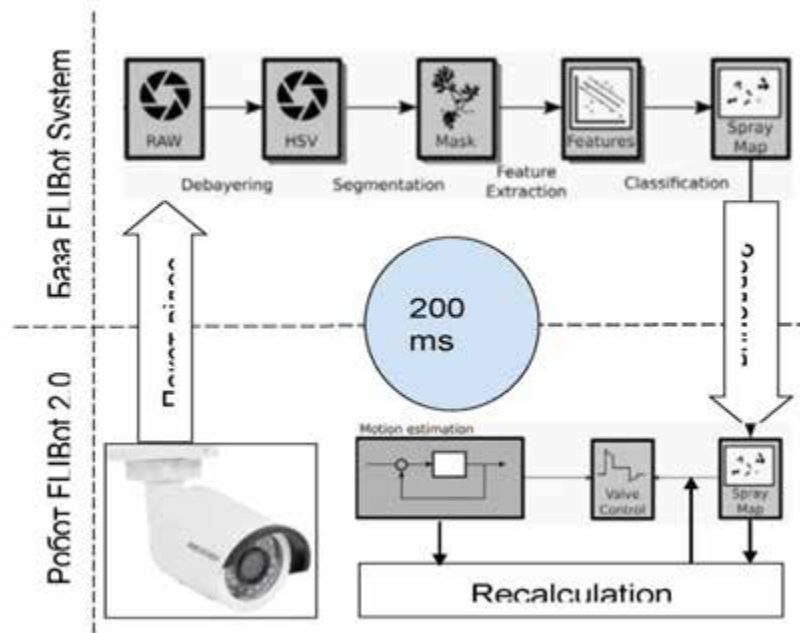


Рис. 3.23 - Цикл взаємодії платформи автономного робота FLIBot 2.0 з центральною базою (процедура "Рух вздовж рядка")

Наведені алгоритми складають основу для побудови системи управління роботом і його взаємодії з базою. Разом вони забезпечують реалізацію завдань автономного знищення бур'янів.

3.7. Дослідний зразок

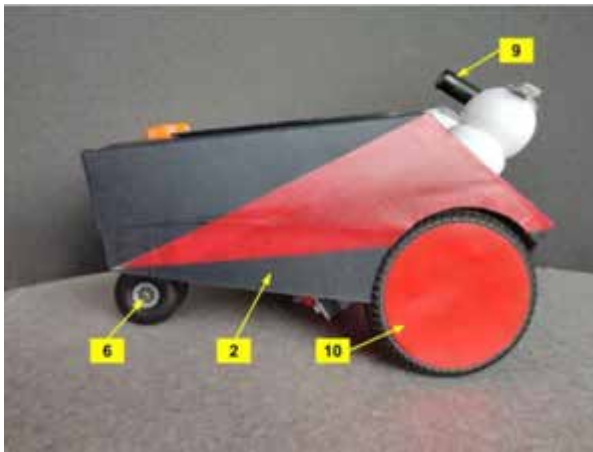
У лабораторії FabLab КРІ при кафедрі конструювання машин створено дослідний зразок сільськогосподарського робота FLIBot 2.0. На рис. 3.24 представлено загальний вигляд робота, а на рис. 3.25 – вигляд без елементів обшивки.



а)



б)

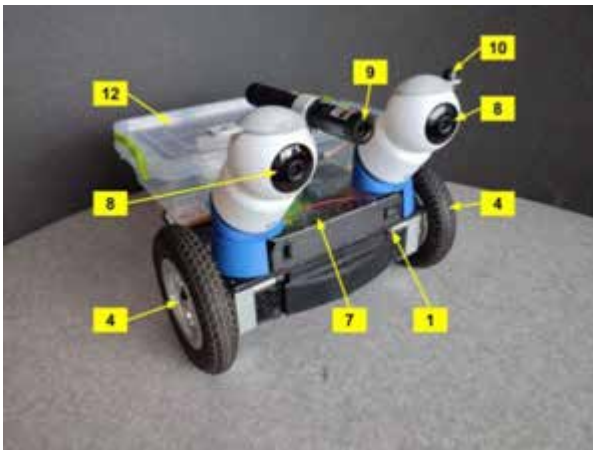


в)

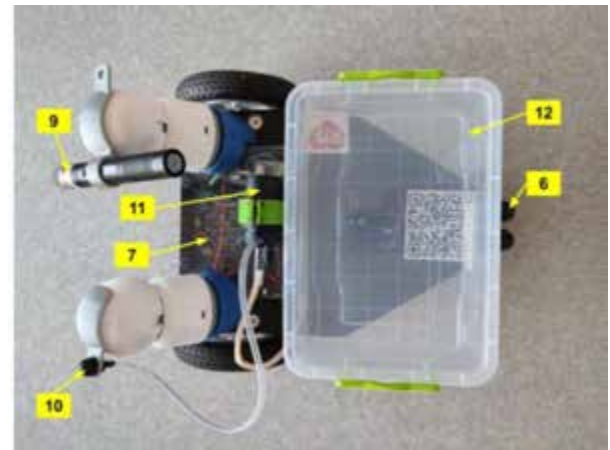


г)

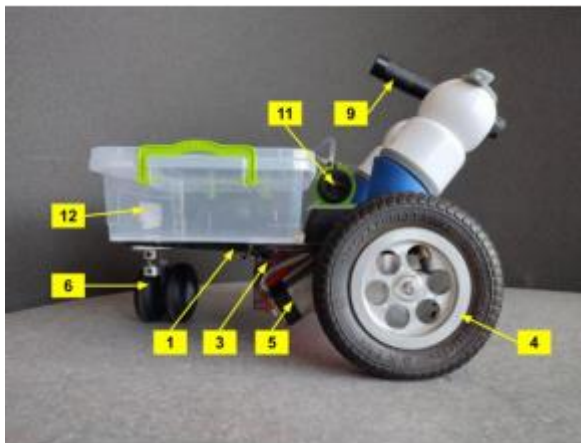
Рис. 3.25 - Дослідний зразок сільськогосподарського робота FLIBot 2.0: а - вид під кутом; б - вид зверху; в - вид збоку; г - вид спереду



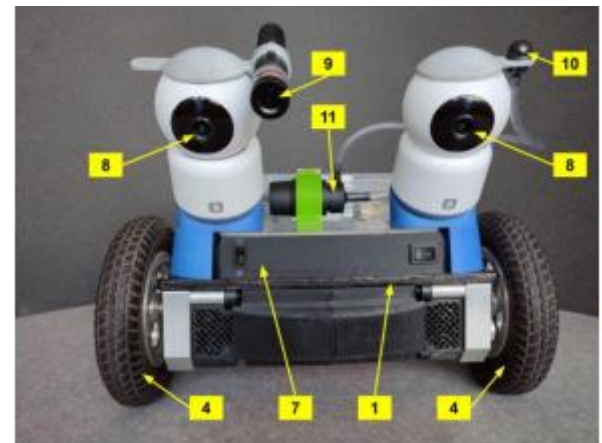
а)



б)



в)



г)

Рис. 3.26 - Дослідний зразок сільськогосподарського робота FLIBot 2.0 (без елементів обвісу): а - вид під кутом; б - вид зверху; в – вид збоку; г - вид спереду

На цих рисунках номерами позначені:

- 1 – несуча платформа;
- 2 – обвіс;
- 3 – акумулятор;
- 4 – приводні колеса;
- 5 – привід колеса з редуктором;
- 6 – опорне колесо;
- 7 – блок управління;
- 8 – камери спостереження;
- 9 – лазерний винищувач;
- 10 – форсунка обприскувача;
- 11 – помпа обприскувача;
- 12 – бак для рідини.

На рис. 3.27 крупним планом зображені інтегровані з відеокамерами системи:

- а) система випалювання,
- б) система обприскування.



Рис. 3.27 - Система випалювання (а) та система обприскування (б)

Висновки по розділу

У цьому розділі представлені результати проєктування автономного сільськогосподарського робота та його функціонально важливих вузлів. Зокрема, описано проєкт рухомої платформи та інтегрованих систем "спостереження – випалювання" і "спостереження – обприскування". Розроблено конструкторську документацію як для робота загалом, так і для окремих модулів, яка повністю подана в Додатку А, а для основних деталей – у тексті розділу.

Показано результати використання передових технологій для створення прототипів, зокрема адитивних технологій. Усі необхідні оригінальні деталі було спроектовано з використанням Autodesk Inventor, а керуючі програми підготовлено в програмному забезпеченні Cura. Виготовлення деталей здійснено на 3D-принтері Ultimaker у лабораторії FabLab KPI на кафедрі конструювання машин.

Розроблено інтерфейс взаємодії людини з роботом. На цьому етапі обрано програмне забезпечення RemoteXY, безкоштовна версія якого дозволяє організувати таку взаємодію через смартфон. Також створено алгоритмічне забезпечення для автономного руху робота при виконанні типового завдання з контролем його працездатності, а також для автономного руху вздовж рядка зі спостереженням за полем. Цей алгоритм передбачає передавання інформації на сервер, обробку інформації на сервері з виявленням бур'янів і передачу команд виконавчим органам для знищення бур'янів енергетичним або хімічним методом.

Виготовлено та протестовано дослідний зразок автономного сільськогосподарського робота для знищення бур'янів FLIBot 2.0.

4. ІННОВАЦІЙНИЙ ПРОЕКТ РУХОМОГО АВТОНОМНОГО РОБОТИЗОВАНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Для оцінки ступеня інноваційності проекту сільськогосподарського робота FLIBot 2.0 важливо визначити його потенціал як об'єкта права інтелектуальної власності та розглянути можливості розвитку як стартап-проекту.

Для вирішення першого завдання необхідно провести патентний пошук подібних рішень та виявити унікальні особливості FLIBot 2.0, які відрізняють його від аналогів. Це дозволить підготувати матеріали для захисту тих аспектів інтелектуальної власності, які роблять цей проєкт унікальним.

Щоб оцінити потенціал проєкту як стартапу, потрібно провести аналіз його характеристик, визначити технологічну здійсненність, оцінити потенційний ринок і цільову аудиторію, а також визначити можливі загрози та переваги проєкту. Крім того, доцільно здійснити аналіз конкуренції на ринку, що дозволить оцінити перспективи розвитку проєкту.

Цей розділ присвячений розгляду цих питань.

4.1. Система як об'єкт права власності

4.1.1. Патентний пошук у сфері автономних роботизованих пристрів для агропромислового виробництва

Для пошуку використовувалась база даних Espacenet Patent Search, яка за запитом "agricultural robot" і з параметром "Query language: en / de / fr" надала перелік із 463 патентів, поданих за останні 25 років. Аналіз розподілу цих патентів за роками (рис. 4.1) показав значне зростання активності у цій сфері за останні 5 років, що підтверджує актуальність створення агророботів у світі та підкреслює важливість патентування власних унікальних технічних рішень.

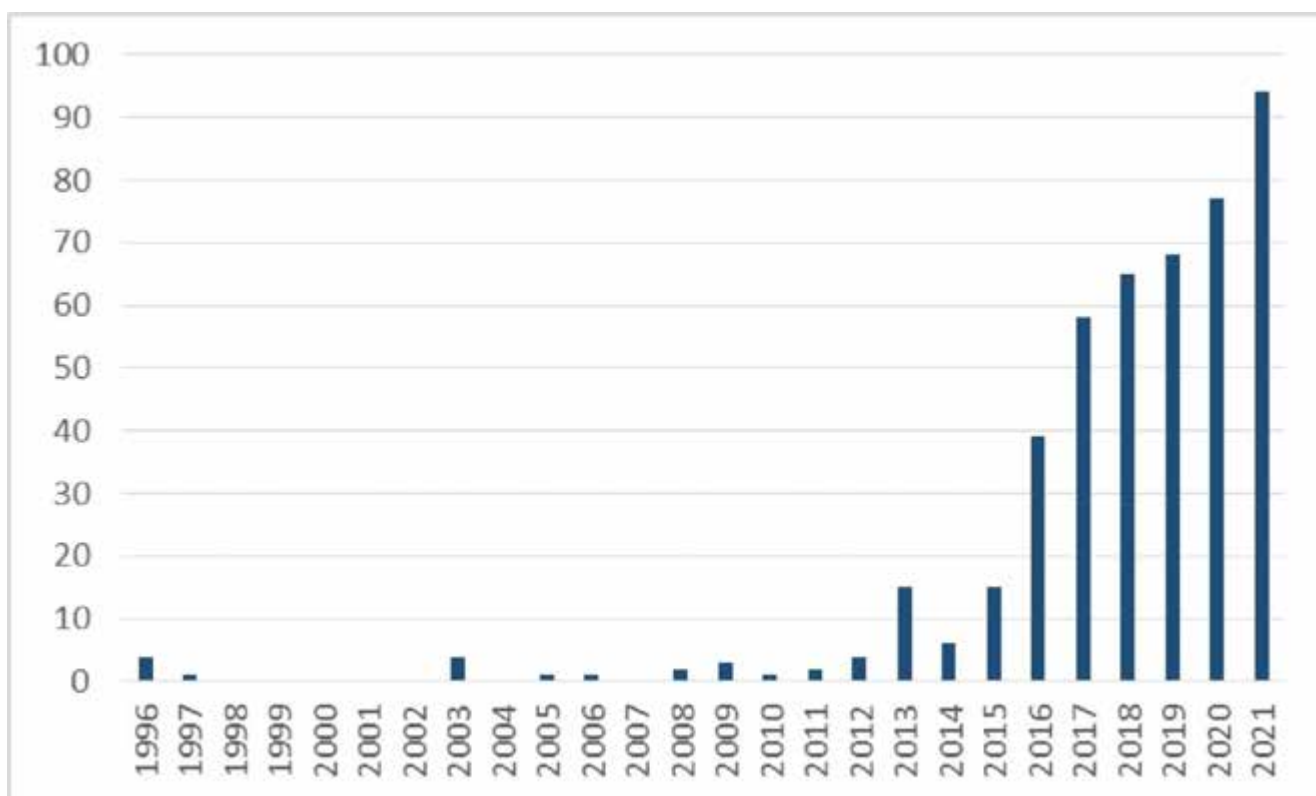


Рис. 4.1 - Динаміка патентування агро роботів в світі

Найближчим технічним рішенням до нашої концепції автономної системи боротьби з бур'янами на базі роботів є патент "GB2583787A Autonomous farming devices, systems and methods". Основні пункти, захищені цим патентом, включають:

П.1. Спосіб ведення сільського господарства за допомогою автономних роботів, призначених для моніторингу та догляду за фермерською ділянкою. Метод передбачає:

моніторинг фермерської ділянки щонайменше одним автономним роботом моніторингу, який пересувається по ділянці, збираючи дані за допомогою набору датчиків;

обробку зібраних даних для створення інструкцій для окремого робота-доглядника, відмінного від робота моніторингу;

виконання цих інструкцій роботом-доглядником, який переміщується по ділянці та здійснює операції з догляду, включаючи принаймні одну з наступних

функцій: посів насіння, прополювання, а також обробку рослин добривами, фунгіцидами, гербіцидами або пестицидами.

Цей патент є найближчим за функціональністю до нашого проєкту, оскільки також передбачає використання окремих роботів для моніторингу та догляду, що відповідає концепції FLIBot 2.0 як частини інтегрованої системи боротьби з бур'янами.

П.2. Спосіб ведення сільського господарства за п.1, який додатково включає:

використання станції обслуговування на ділянці, призначеної для автоматичного обслуговування сільськогосподарських роботів, включаючи поповнення енергії, передачу даних, заправку витратних матеріалів, перемикання інструментів або зміну конфігурацій завдань;

визначення ліміту операцій для робота, після досягнення якого він повинен повернутися на станцію обслуговування для подальшого ефективного виконання своїх завдань;

розрахунок маршруту для повернення робота на станцію обслуговування до досягнення цього ліміту;

ведення робота по фермі до станції для обслуговування;

автоматичне обслуговування робота на станції обслуговування.

П.3. Спосіб за п.2, в якому станція обслуговування обладнана станцією заміни батарей, що дозволяє автоматично замінювати розряджену батарею робота на заряджену.

П.6. Спосіб за будь-яким попереднім пунктом, де інструкції містять маршрутні точки із завданнями догляду, прив'язаними до конкретних місць. Робот-доглядник отримує інструкції і переміщується по фермі, виконуючи завдання догляду у визначених місцях.

Загалом патент охоплює 18 пунктів захисту.

Найближчим до нашого рішення є патент на "Agricultural robot system and method", захищений у Австралії та США під номерами AU2005314708A1 і

US2011137456A1. Патент захищає низку технічних рішень, з яких найбільш близьким до нашого є проєкт "Scout" (рис. 4.2).

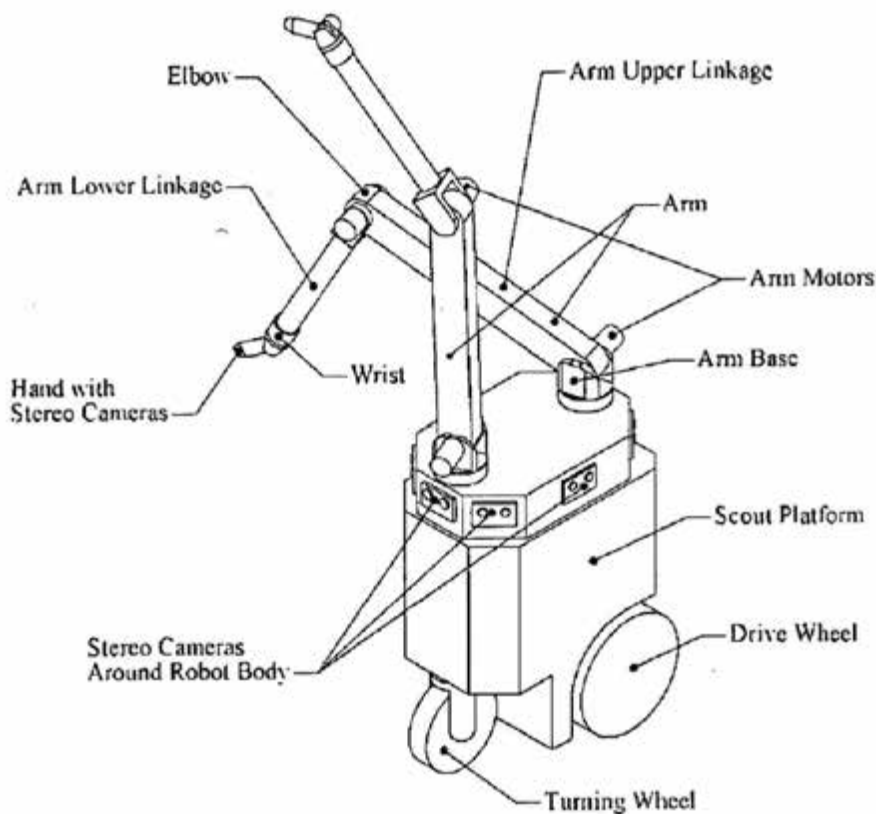


Рис. 4.2 - Проєкт автономного робота "Scout"

Основними збіжними пунктами винаходу є такі.

Основні пункти патенту AU2005314708A1 / US2011137456A1 на "Agricultural robot system and method":

Метод використання системи сільськогосподарських роботів, що включає:

- вхід на поле роботом-розвідником;
- наближення до рослини та фіксацію її координат роботом-розвідником;
- створення карти сільськогосподарських елементів, відображаючи їхнє розташування;
- продовження процесу картування до досягнення бажаного обсягу інформації про рослини на полі.

План дій, що включає використання щонайменше одного розташування з карти для виконання конкретної дії.

Збір екологічної інформації про сільськогосподарські елементи.

Передача інформації від робота-розвідника роботу-виконавцю, який переміщується до рослин і виконує відповідні операції на них. Робот виконавець продовжує обробку, поки всі рослини не будуть оброблені.

Передача інформації від робота-розвідника до сервера і подальше її передання роботу-виконавцю для розробки плану дій.

Патент захищає 18 пунктів, що стосуються інтелектуальної власності в цьому напрямі.

Ще один важливий патент – US11285612B2 "Coordinating agricultural robots" (рис. 4.3), спрямований на координацію напіваавтономних роботів для виконання завдань з мінімальним втручанням людини. Цей метод передбачає, що роботу делегується більшість завдань, а втручання людини відбувається лише тоді, коли робот не може безпечно виконати завдання з необхідним рівнем впевненості.

Ключовий пункт цього патенту описує спосіб, що реалізований за допомогою одного або кількох процесорів і включає:

розгортання множини роботів для виконання відповідного набору завдань, де кожне завдання пов'язане з конкретною рослиною;

визначення моменту, коли робот досягає рослини для виконання призначеного завдання;

передача управління роботом інтерфейсу ручного керування, що дозволяє оператору керувати кінцевим ефектором для виконання завдання;

отримання та обробка введених даних користувача через інтерфейс ручного керування для точного виконання операції.

Цей підхід дозволяє відносно невеликій кількості операторів керувати великим парком роботів, втручаючись лише в критичних ситуаціях для підвищення ефективності й безпеки операцій.

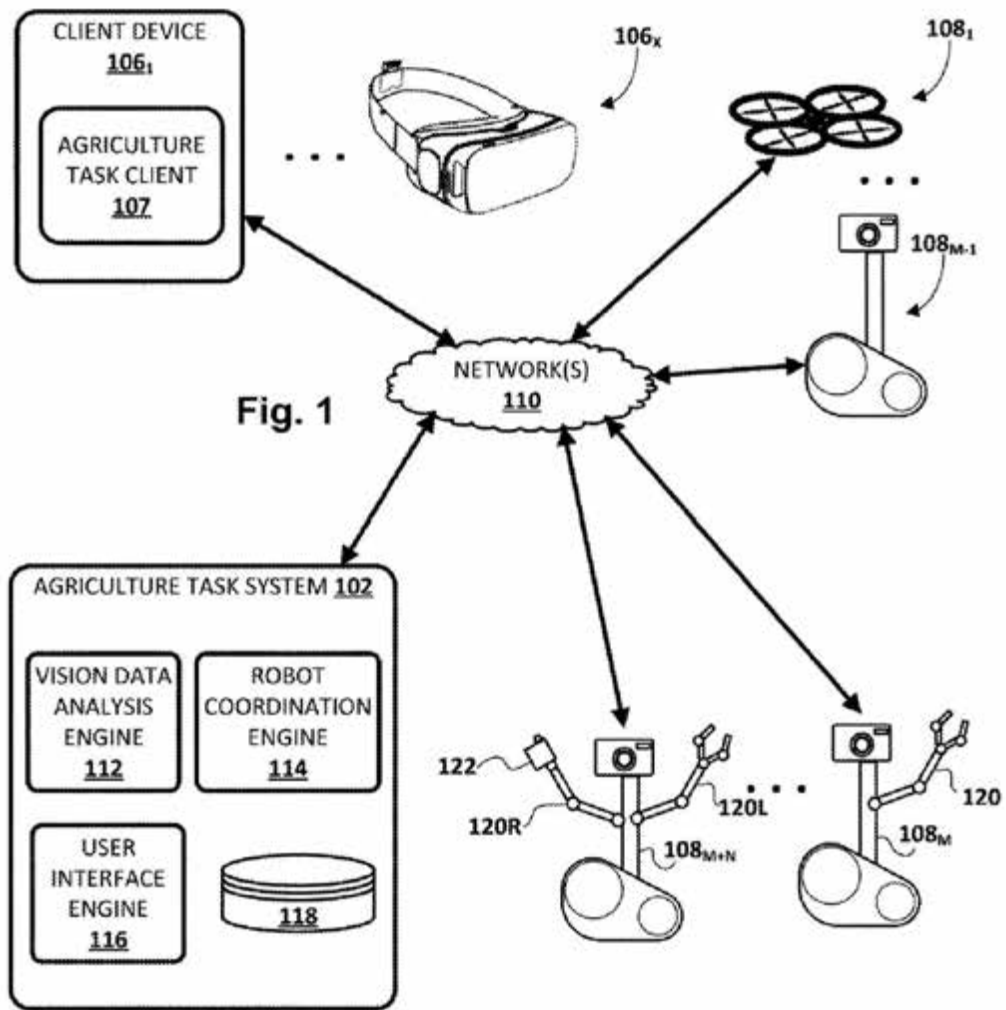


Рис. 4.3 - Координація сільськогосподарських роботів

Ще одним цікавим і близьким до нашого рішення є патент "AU2021101399A4 An agricultural smart robot device". Цей патент охоплює технології розумного аграрного робота, що призначений для автоматизації сільськогосподарських завдань із застосуванням інтелектуальних методів обробки даних і управління. (рис. 4.4).

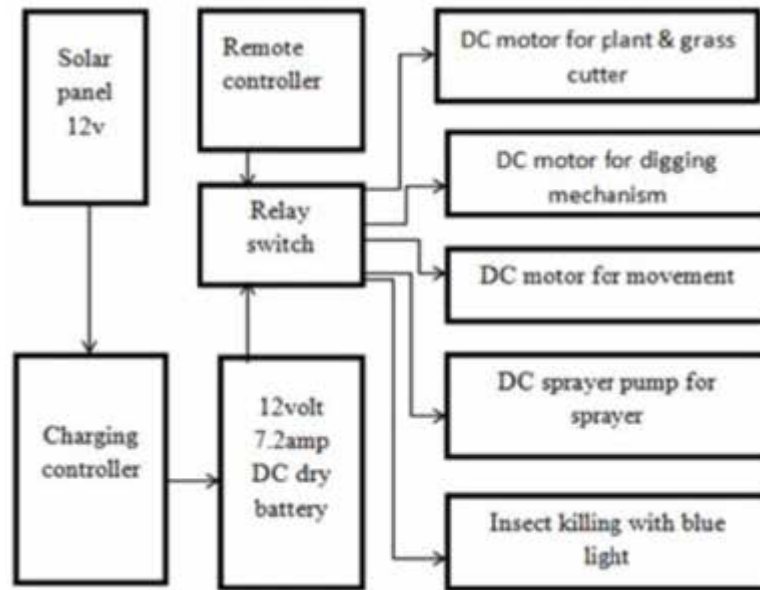


Рис. 4.4 - Сільськогосподарський розумний робот-пристрій

Згідно з патентом AU2021101399A4, захищено сільськогосподарський розумний робот-пристрій, що включає:

- a) Камеру або кілька камер для збору даних з поля;
- b) Мобільну платформу, інтегровану з камерою для пересування по полю;
- c) Центральну платформу, яка може функціонувати на сільськогосподарському полі, використовуючи камеру для збору даних про елементи сільськогосподарських культур. Ці дані мають геоприв'язку, яка відповідає розташуванню елементів на полі. Платформа може керуватися оператором або діяти автономно;
- d) Систему з декількох сільськогосподарських роботів, що включає принаймні два роботи. Перший робот має звуковий аналізатор, який реагує на акустичний сигнал, що надходить від другого робота. Цей сигнал містить інформацію про розташування об'єктів на частині поля, зібрану другим роботом;
- e) Маніпулятор робота з двома кінцями: один кінець з'єднаний із модулем акустичного датчика, а інший – з автономною мобільною платформою.

Ця сукупність сучасних патентів, що охоплює технічні рішення у сфері агророботів, є основою для підготовки власної заявки на патент для проекту FLIBot 2.0, яка буде представлена далі.

Елементи заявки на патент

Автономна автоматизована система знищення бур'янів, що включає щонайменше один робот, станцію доставки та обслуговування роботів із запасом витратних матеріалів і можливістю поповнення джерел енергії, щонайменше один сервер, систему спостереження, систему обробки даних, систему позиціонування, а також систему обміну даними між компонентами автономної системи. Відмінною особливістю є наявність додаткової системи локального координування, яка реалізована за допомогою щонайменше трьох мобільних радіомаяків. Система спостереження включає підсистеми глобального та локального спостереження: глобальне спостереження здійснюється аеродроном з можливістю моніторингу і транспортування, а локальне спостереження базується на кожному роботі, оснащеному пристроєм для отримання оптичних зображень об'єктів (див. рис. 1.32).

Робот, який складається з мобільної платформи, системи обміну даними, системи керування, автономного джерела живлення, щонайменше одного пристрою для отримання оптичних зображень об'єктів та виконавчого органу для знищення бур'янів. Відмінність полягає в тому, що виконавчий орган інтегрований із пристроєм для отримання оптичних зображень та реалізований у вигляді засобу енергетичного, хімічного та/або механічного ураження бур'янів (див. рис. 3.26).

4.2. Визначення характеристик проекту

Основна ідея цього стартап-проекту полягає в розробці та створенні платформи для сільськогосподарського робота, призначеного для хімічної чи енергетичної обробки полів з метою знищення бур'янів, а також для діагностики стану культур у процесі їх вирощування. Ключовою перевагою для

користувачів стане економічна ефективність цієї технології, адже вона суттєво зменшить потребу в людських ресурсах і дозволить більш раціонально використовувати хімічні препарати для догляду за рослинами. Крім того, платформа зможе значно знизити негативний вплив на оброблювані ґрунти, що сприятиме підвищенню їх родючості і, відповідно, продуктивності сільського господарства.

4.2.1. Визначення характеристик ідеї проєкту

Щоб чітко оцінити конкурентні переваги стартап-проєкту, слід проаналізувати його сильні та слабкі сторони порівняно з існуючими альтернативами. Для цього доцільно провести техніко-економічний аналіз проєкту. Наша платформа, наприклад, є значно дешевшою у виробництві завдяки скороченню кількості рухомих компонентів та систем управління. Функції системи розподілені таким чином, що робота з моніторингу виконується роботом, найближчим до об'єкта спостереження, тоді як розпізнавання бур'янів відбувається на центральному сервері. Це дозволяє використовувати простіші компоненти для системи управління робота.

Для зручності експлуатації робот обладнаний акумулятором, який легко замінити, що розташований під основною платформою. Такий дизайн зменшує час на обслуговування та підвищує ефективність використання FLIBot 2.0 у полі, а також покращує його стійкість завдяки зниженню центру мас. До інших переваг належать помірні вимоги до ємності акумулятора та резервуара для хімічних речовин, що зменшує загальну вагу, споживання енергії та навантаження на ґрунт. Однак це призводить до частішого обслуговування на базі, а час пересування до точки обробки є непродуктивним. Виходячи з цього, у проєкті передбачено зручну систему швидкої заміни важливих компонентів платформи.

4.2.2. Оцінка потенційного ринку ідей

Робот оснащений електроприводом, який об'єднує електродвигун з редуктором, що є надійним і доступним рішенням, перевіреним на практиці.

Управління поворотом забезпечується різницею швидкостей обертання передніх коліс, для чого застосовуються контролери, доступні на ринку.

Моніторинг здійснюється за допомогою камер, а дані передаються на центральний сервер за допомогою вбудованих Wi-Fi модулів. Технологія промислового інтернету речей вже довела свою ефективність у багатьох галузях.

Враховуючи наявні та необхідні технології, цей проект вважається готовим до реалізації.

4.2.3. Характеристика потенційних клієнтів

Ринок сільськогосподарських роботів є новим та інноваційним, оскільки жоден із таких проектів ще не випускається серійно. Наш проект має перспективу швидко завоювати ринок, враховуючи зростаючий попит на подібну техніку. Основними технічними викликами є розпізнавання бур'янів за різних погодних умов і на різних стадіях росту, що потребує ресурсів на навчання нейронних мереж. На даний момент виробництво та тестова експлуатація робота не вимагають спеціальних стандартів чи сертифікації.

Характеристика потенційних клієнтів

Основними клієнтами є фермерські господарства та агрокомплекси. Вони можуть мати різні вимоги щодо кількості закупівель, умов експлуатації та обслуговування техніки. Очікується, що головними критеріями вибору продукції будуть:

- доступна ціна;
- тривалий термін служби;

багатофункціональність у боротьбі з бур'янами та догляді за культурними рослинами;
надійність у роботі;
взаємозамінність деталей та ремонтпридатність;
сервісна підтримка та наявність запчастин на ринку.

Загрози для проекту

Основною загрозою є те, що технологія може не повністю відповідати очікуванням клієнтів щодо ефективності боротьби з бур'янами. Хоча вона значно екологічніша, користувачі можуть очікувати більшої ефективності порівняно з традиційними методами. Щоб зменшити вплив цієї загрози, необхідно проводити інформаційну кампанію, що популяризуватиме точне та екологічно чисте землеробство. Іншою загрозою є велика конкуренція з боку потужних компаній-виробників, які мають широкий доступ до сучасних технологій. Для конкуренції необхідно пропонувати продукцію за доступною ціною і підкреслювати сильні сторони нових технологій.

4.2.4. Аналіз конкуренції

Зважаючи на олігополію в галузі, компанія має визначити свою нішу та активно розвивати рекламну кампанію, орієнтовану на аграріїв. Основною перевагою компанії є використання технології рою та розподілення функцій між системами. Щоб побудувати сильний бренд, необхідно накопичити широкий спектр зрілих технологій, які задовольняють потреби споживачів.

Висновки по розділу

На основі патентного пошуку визначено відмінності від існуючих рішень та підготовлено заявку на патент. Проект проаналізовано на відповідність як стартап, і матеріали готуються для участі у Фестивалі інноваційних проектів Sikorsky Challenge 2023.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз сучасного рівня роботизації для завдань боротьби з бур'янами дозволив виявити перспективні технічні рішення та концепції, на основі яких сформульовано бачення перспективного проекту автономного сільськогосподарського робота FLIBot 2.0.

2. Для реалізації концепції проведено ескізне проектування, що допомогло вибрати естетично привабливу та технічно ефективну конструкцію триколісної платформи. Два передніх колеса оснащені приводами і датчиками зворотного зв'язку, що забезпечує точне управління з високими показниками маневреності.

3. Розроблено схеми та математичні залежності, які необхідні для функціонування системи наведення на ціль, враховуючи варіанти знищення – випалювання або обприскування хімічною рідиною.

4. У цьому розділі представлено результати проектування автономного сільськогосподарського робота та його ключових вузлів. Продемонстровано проекти рухомої платформи, а також інтегрованих систем "спостереження – випалювання" та "спостереження – обприскування".

5. Для створення дослідного зразка застосовані новітні адитивні технології. Усі необхідні оригінальні деталі спроектовано в Autodesk Inventor, а керуючі програми підготовлено в програмному забезпеченні Cura.

6. Розроблено інтерфейс для взаємодії людини з роботом, для якого на початковому етапі обрано програмне забезпечення RemoteXY, що дозволяє керувати роботом зі смартфона. Створено алгоритми для автономного руху робота при виконанні типового завдання з контролем працездатності, а також процедуру руху вздовж рядка з моніторингом поля, передачею інформації на сервер, її обробкою для виявлення бур'янів і виконанням команд для їх знищення енергетичним або хімічним методом.

7. Виготовлено і протестовано прототип автономного сільськогосподарського робота для боротьби з бур'янами FLIBot 2.0. На основі патентного аналізу визначено відмінності від існуючих аналогів і підготовлено заявку на винахід.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Guangnan Chen. *Advances in Agricultural Machinery and Technologies*. CRC Press, 2018. 489 p. (ISBN 978-1-4987-5412-5)
2. Anja-Tatjana Braun, Eduardo Colangelo, Thilo Steckel. Farming in the Era of Industrie 4.0. 51st CIRP Conference on Manufacturing Systems. *Procedia CIRP*. Volume 72, 2018, Pages 979-984 (<https://doi.org/10.1016/i.procir.2018.03.176>)
3. Hafeez, M. A. Husain, S. P. Singh et al., Implementation of drone technology for farm monitoring & pesticide spraying: A review, *Information Processing in Agriculture*, 2022 (<https://doi.org/10.1016/j.inpa.2022.02.002>)
4. Dan Zhang and Bin Wei. *Robotics and Mechatronics for Agriculture*. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2018, 223 p.
5. Marco Ceccarelli, Emin Faruk Kececi. *Designs and Prototypes of Mobile Robots*. ASME Press, 2015. 202 p.
6. Shiva Gorjian, Hossein Ebadi, Max Trommsdorff, H.Sharon, Matthias Demant, Stephan Schindel. The advent of modern solar-powered electric agricultural machinery: A solution for sustainable farm operations. *Journal of Cleaner Production*, Volume 292, 10 April 2021, 126030 (<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126030>)
7. Amin Ghobadpour, Lo[^] Boulonb, Hossein Mousazadeha, Ahmad Sharifi Malvajerdi, Shahin Raviee. State of the art of autonomous agricultural offroad vehicles driven by renewable energy systems. *Special Issue on Emerging and Renewable Energy: Generation and Automation. Energy Procedia* 162 (2019), pp. 4-13.
8. Timo Oksanen, Juha Backman. *Guidance system for agricultural tractor with four wheel steering*. Aalto University, Finland. 6 p.
9. F. Buemi, M. Massa, G. Sandini, G. Costi. The Agrobot project. *Adv. Space Res.* 1996, Vol. 18, No. 1/2, pp. 185-189
10. C.G. S0rensen, R.N. J0rgensen, J. Maagaard, K.K. Bertelsen, L. Dalgaard, M. N0rremark. Conceptual and user-centric design guidelines for a plant nursing

robot, Biosystems Engineering, Volume 105, Issue 1, 2010, Pages 119-129, ISSN 1537-5110,

11. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.10.002>.

12. Nathan D. Wallace, He Kong, Andrew J. Hill, Salah Sukkarieh. Motion Cost Characterisation of an Omnidirectional WMR on Uneven Terrains. IFAC PapersOnLine 52-22 (2019) 31-36

13. Lars Grimstad, Pal Johan From. Thorvald II - a Modular and Reconfigurable Agricultural Robot. IFAC-PapersOnLine. Volume 50, Issue 1, July 2017, Pages 4588-4593 (<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1005>)

14. Hussain Nor Azmi, Sami Salama Hussien Hajjaj, Kisheen Rao Gsangaya et al., Design and fabrication of an agricultural robot for crop seeding,

15. Materials Today: Proceedings, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.191>

16. Mark Levin, Amir Degani. A conceptual framework and optimization for a task-based modular harvesting manipulator. Computers and Electronics in Agriculture. Volume 166, November 2019, 104987

17. (<https://doi.org/10.1016/i.compag.2019.104987>)

18. Bart M. van Marrewijk, Bastiaan A. Vroegindeweyj, Jordi Gene-Mola, Angelo Mencarelli, Jochen Hemming, Nikolaus Mayer, Maximilian Wenger, Gert Kootstra, Evaluation of a boxwood topiary trimming robot, Biosystems Engineering, Volume 214, 2022, Pages 11-27, ISSN 1537-5110, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.12.001>.

19. Sathiesh Kumar V, Gogul I, Deepan Raj M, Pragadesh S.K, Sarathkumar Sebastin J. Smart Autonomous Gardening Rover with Plant Recognition using Neural Networks. Procedia Computer Science 93 (2016) 975 - 981

20. Massimo Guiggiani. The Science of Vehicle Dynamics: Handling, Braking, and Ride of Road and Race Cars. Springer, 2014. 364 p. (<https://doi.org/10.1007/978-94-017-8533-4>)

21. Patrick Kaltjob. Mechatronic Systems and Process Automation: Model-Driven Approach and Practical Design Guidelines. CRC Press, 2018. 468 p. (ISBN 978-0-8153-7079-6)

22. Juha Backman, Timo Oksanen, Arto Visala. Applicability of the ISO 11783 network in a distributed combined guidance system for agricultural machines. Biosystems Engineering. Volume 114, Issue 3, March 2013, Pages 306-317

23. Erkan Kayacan, Erdal Kayacan, Herman Ramon, Wouter Saeys. Towards agrobots: Identification of the yaw dynamics and trajectory tracking of an autonomous tractor. Computers and Electronics in Agriculture. Volume 115, July 2015, Pages 78-87 (<https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.05.012>)

24. Wyatt McAllister, Denis Osipychov, Adam Davis, Girish Chowdhary. Agbots: Weeding a field with a team of autonomous robots. Computers and Electronics in Agriculture. Volume 163, August 2019, 104827 (<https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.05.036>)

25. Giulio Reina, Annalisa Milella, Rocco Galati. Terrain assessment for precision agriculture using vehicle dynamic modelling. Biosystems Engineering. Volume 162, October 2017, Pages 124-139 (<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.06.025>)

26. Peter Corke. Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in MATLAB. 2nd ed. 2017. 697 p. (<https://doi.org/10.1007/978-3-319-54413-7>)

27. John Billingsley, Peter Brett. Mechatronics and Machine Vision in Practice 3. Springer, 2018. - 270 p. (<https://doi.org/10.1007/978-3-319-76947-9>)

28. David Hall, Feras Dayoub, Tristan Perez, Chris McCool. A rapidly deployable classification system using visual data for the application of precision weed management. Computers and Electronics in Agriculture. Volume 148, May 2018, Pages 107-120

29. (<https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.023>)

30. Wolfram Strothmann, Arno Ruckelshausen, Joachim Hertzberg, Christian Scholz, Frederik Langsenkamp, Plant classification with In-Field-Labeling for crop/weed discrimination using spectral features and 3D surface features from a

multi-wavelength laser line profile system, Computers and Electronics in Agriculture, Volume 134, 2017, Pages 79-93, ISSN 01681699, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.01.003>.

31. Karl D. Hansen, Francisco Garcia-Ruiz, Wajahat Kazmi, Morten Bisgaard, Anders la Cour-Harbo, Jesper Rasmussen, Hans J0rgen Andersen. An Autonomous Robotic System for Mapping Weeds in Fields. 2013 IFAC Intelligent Autonomous Vehicles Symposium. The International Federation of Automatic Control. June 26-28, 2013. Gold Coast, Australia, p. 217-224

32. Trygve Utstumo, Frode Urdal, Anders Brevik, Jarle D0rum, Jan Netland, Oyvind Overskeid, Therese W. Berge, Jan Tommy Gravdahl, Robotic inrow weed control in vegetables, Computers and Electronics in Agriculture, Volume 154, 2018, Pages 36-45, !SSN 0168-1699, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.043>.

33. Ron Berenstein, Yael Edan. Human-Robot Cooperative Precision Spraying: Collaboration Levels and Optimization Function. 10th IFAC Symposium on Robot Control, September 5-7, 2012. Dubrovnik, Croatia

34. MATLAB for Engineers - Applications in Control, Electrical Engineering, IT and Robotics. Edited by Karel Perutka. Croatia. InTech, 2011, 519 p. (ISBN 978-953-307-914-1)

35. Електропривод: Механіка електроприводу. Електромеханічне перетворення енергії та електромеханічні властивості двигунів постійного струму: [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В.М. Пижов, Н.Д. Красношاپка, М.Я. Островерхов. - К.: КПІ ім. Ігоря - Електронні текстові дані (1 файл: 2,48 Мбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. - 198 с.

36. <https://agalasale.inua/p1110726688-moschnyj-lazer-dlya.html?source=merchant center&gclid=CiQKCQiwpcOTBhCZARIsAE AYLuUw zhsAThNaGGakS4vC4E1ulYgigftwPqTlsbt2VvKW6gO w- jfikaAlSIEALw wCB>

37. Siciliano, B., Khatib, O. (2016). Robotics and the Handbook. In: Siciliano, B., Khatib, O. (eds) Springer Handbook of Robotics. Springer Handbooks. Springer, Cham. 2259 p. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32552-1_1

38. Mordechai Ben-Ari, Francesco Mondada. Elements of Robotics. Springer, 2018. - 311 p. (<https://doi.org/10.1007/978-3-319-62533-1>)

39. Martin Svejda, Arnold Jager, Engineering based robot optimization methodology, IFAC-PapersOnLine, Volume 52, Issue 27, 2019, Pages 305310, ISSN 2405-8963, <https://doi.org/10.1016/i.ifacol.2019.12.678>

40. Штеренлихт Д. Гидравлика (учебник для вузов). М.: Энергоатомиздат, 1984. - 640 с.

41. Autonomous farming devices, systems and methods : patent GB2583787A.

42. Agricultural robot system and method : patent US2011137456A1.

43. Coordinating agricultural robots : patent US11285612B2.

44. An agricultural smart robot device : patent AU2021101399A4.

Додаткові інформаційні ресурси

45. <https://www.deere.co.uk/en/asriculture/future-of-farmins/>

46. <https://www.caseih.com/apac/en-sea/innovations/autonomous-farmins>

47. <https://www.researchgate.net/publication/318656550>
with- all-sensors-The-JAI-camera-is-mounted-inside-the-fis

48. <https://www.naio-technologies.com/>

49. <https://sasarobotics.com/>

50. <https://www.naio-technologies.com/en/oz/>

51. <https://dailytechinfo.org/robots/7568-bonirob-selskohozvavstvennv-robot-kompanii-bosch-kotorvv-boretsva-s-sornvakami-zabivava-ih-nazad-v-zemlvu.html>

52. <https://confluence.acfrusvd.edu.au/display/AGPub/Our+Robots>
https://arduino-see.pp.ua/product/esp32-cam-ov2640-wifi-blueltooth/?sclid=CiwKCAiAsbiOBhAHEiwAuO6Bkre-it2M50r2N3GoborU3uiOzBWAaWN22MuTKdXxi9bQpJshSGswIRoCxN8_OAvD
BwE

ДОДАТОК