

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

Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Технічної механіки та сільськогосподарських машин

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Удосконалення технології хімічного захисту
сільськогосподарських рослин з використанням агродронів.

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МГ-41
спеціальності 208

Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

Майка О.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Мартинюк В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Сташків М. Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Бабій А. В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Радик Д. Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

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

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра Технічної механіки та сільськогосподарських машин

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

студенту Майці Олександр Руклановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технології хімічного захисту
сільськогосподарських рослин з використанням агродронів.

Керівник роботи Мартинюк Вікторія Валентинівна, PhD

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

Затверджені наказом ректора від « 24 » січня 2024 року № 4/7-62

2. Термін подання студентом завершеної роботи 21 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи 1. Розрахувати форсунки (розхід обприскувального матеріалу)

2. Розрахувати максимальний шлях роботи дрона з такими параметрами (об'єм бака 16 літрів, ширина захвату 6.5 метрів). 3. Спроекувати мобільний технологічний пристрій для наземного сервісу. 4. Створити типові схеми обприскування з використанням мобільно технологічного пристрою для наземного сервісу.

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

Реферат. Вступ. 1. Огляд агродронів.

2. Удосконалення технології хімічного захисту захисту сільськогосподарських рослин з використанням агродронів

3. Проектна частина, обґрунтування технічного комплексу для авіаційної хімічної обробки рослин з використанням агродронів

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці. Загальні висновки.

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

1-2. Мета, предмет, об'єкт, задачі дослідження. Актуальність кваліфікаційної роботи.

3. Структура роботи. Зміст роботи. 4. Креслення дрона-обприскувача. 5. Креслення мобільно технологічного пристрою для наземного сервісу. 6. Креслення процесу зарядки та поповнення місткості а також напрям руху іншого завантаженого дрона. 7. Схема переміщення двох дронів на одному мобільному апараті. 8. Схема посадки одного дрона на двох кінцях поля на два мобільні апарати. 9. Схема роботи дронів на парних станціях з почерговою зарядкою активного дрона.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.	Окіпний І.Б., к.т.н., зав. каф. МТ		

7. Дата видач завдання

24 січня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін етапів виконання роботи	Примітка
1	Огляд агродронів	до 20.02.2024	
2	Удосконалення технології хімічного захисту сільськогосподарських рослин з використанням агродронів	до 30.03.2024	
3	Проектна частина	до 30.04.2024	
4	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.	до 12.05.2024	
9	Реферат. Вступ. Загальні висновки	до 30.05.2024	
10	Ілюстративний матеріал	до 10.06.2024	

Студент

(підпис)

Майка О.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Мартинюк В.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Автор роботи – Майка Олександр Русланович

Тема роботи – «Удосконалення технології хімічного захисту сільськогосподарських рослин з використанням агродронів». Робота виконана на кафедрі технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Керівник роботи – Мартинюк Вікторія Валентинівна, PhD, асистент кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, 13 підрозділів, загальних висновків, переліку посилань (37 найменувань), додатки на 2 сторінках. Загальний обсяг текстової частини 58 сторінок, на яких є рисунків 13 та 1 таблиця. Ілюстративний матеріал розміщений на 11 аркушах формату A4.

Актуальність теми. Використання агродронів у хімічному захисті рослин може вирішити низку складних завдань, забезпечуючи точність та ефективність обприскування, а також мінімізуючи втрати засобів захисту. Дослідження в цій області має великий практичний потенціал для підвищення продуктивності та стійкості сільськогосподарського виробництва, а також збереження довкілля.

Мета роботи: розробка та вдосконалення технологій хімічного захисту сільськогосподарських рослин з використанням агродронів.

Об'єкт дослідження: сучасні технології та методи захисту рослин у сільському господарстві, а також агродрони, як засіб механізації та автоматизації цих процесів.

Предметом дослідження: процеси і методи застосування хімічних засобів захисту, а також технічні можливості та ефективність використання агродронів у цілях обприскування та захисту культурних рослин.

Практичне значення: розроблено мобільний технологічний пристрій для наземного сервісу із процесом зарядки та поповнення місткості з хімічною рідиною.

Ключові слова: агродрон, сільське господарство, хімічний захист, дрон-оприскувач, схема обприскування.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- $A_{\text{год}}$ – площа обробки за годину, гектари/година,
 $A_{\text{день}}$ – площа обробки за день, гектари/день,
 $A_{\text{рік}}$ – площа обробки за рік, гектари/рік.
 $A_{\text{рік}}$ – річна продуктивність, га/рік
 B_p – робоча ширина захвату дрона м;
 $B_{\text{тхм}}$ – середня технічна швидкість руху дрона до першого проходу в загінці км/год;
 C – ємність акумулятора, А·год.;
 $C_{\text{обслуговування}}$ – витрати на обслуговування агродрона за рік, грн.
 d – діаметр краплі, мм;
 $D_{\text{рік}}$ – кількість робочих днів на рік, дні/рік,
 E – загальна енергія, Вт·год;
 H – середня довжина захвату, м.
 $H_{\text{день}}$ – кількість робочих годин на день, години/день,
 L – середня довжина відстані проходу дрона до першого проходу в загінці, м;
 L_0 – довжина шляху що пролітає дрон між двома послідовними заправками, м;
 L_p – робоча довжина гону поля, м;
 n – кількість крапель на секунду через одну форсунку, крапель/с;
 N_0 – норма витрати робочої рідини, л/га;
 N_x – кількість холостих поворотів за час спорожнення ого бака;
 $n_{\text{ц}}$ – кількість циклів дрона за зміну;
 P – споживана потужність, Вт;
 $P_{\text{гаР}}$ – дохід з одного гектара, грн
 Q – швидкість потоку через форсунку, мл/с;
 $R_{\text{рі}}$ – річний дохід, грн
 S – площа обробки за повний цикл м²;

T – час роботи, год;

T_0 – тривалість робочого ходу дрона за один цикл год;

t_0 – тривалість робочого ходу, год;

$T_{пз}$ – тривалість підготовчо заключних робіт год;

T_x – довжина одного холостого повороту дрона, м;

t_x – тривалість зміщення дрона у кінці робочого ходу, год;

$t_{зап}$ – тривалість запраки бака дрона, год;

$t_{оч}$ – тривалість очікування заправки, год;

$t_{пр}$ – тривалість перевірки оператором основних налаштувань польоту, год;

$t_{рух}$ – тривалість літання і руху дрона з робочим розчином від місця заправки до першого проходу;

$t_{ц}$ – тривалість циклу, год;

V – напруга акумулятора, В;

V – об'єм краплі, мм³;

V_x – швидкість дрона при зміщенні його ліворуч на заданій загінці, км/год;

$V_б$ – місткість бака дрона, л;

V_p – робоча швидкість дрона км/год;

η – ефективність системи, %;

τ – коефіцієнт використання часу зміни;

T_0 – основний час роботи год;

$T_{мо}$ – тривалість виконання технічного обслуговування дрона год;

$T_{зм}$ – тривалість зміни;

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. ОГЛЯД АГРОДРОНІВ	9
1.1. Особливості застосування агродронів для хімічного захисту сільськогосподарських культур	9
1.2. Огляд і конструкція агродронів	13
2. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНОГО ЗАХИСТУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ РОСЛИН З ВИКОРИСТАННЯМ АГРОДРОНІВ	19
2.1 Обґрунтування до комплектування технологічного обладнання	19
2.2. Розрахунок експлуатаційної продуктивності дрона Agras T-16.....	23
2.3. Вибір експлуатаційно-технологічних параметрів обладнання	27
2.4. Розрахунок техніко-економічних показників агродрону	31
3. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	34
3.1. Аналіз конструкції агродронів-аналогів	34
3.2. Обґрунтування технологічного комплексу для авіаційної хімічної обробки рослин з використання дронів оприскувачів	38
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	47
4.1. Вимоги до організації роботи із пестицидами. Техніка безпеки при роботі з пестицидами	47
4.2. Заходи безпеки під час приготування робочих рідин пестицидів. Техніка безпеки при роботі з пестицидами	48
4.3. Заходи безпеки під час виходу людей на поля оброблені пестицидами	49
4.4 Засоби індивідуального захисту під час роботи з пестицидами. Охорона праці при роботі з пестицидами	50
4.5. Перша лікарська допомога	51
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	53
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	54
ДОДАТКИ	58

ВСТУП

В умовах сучасного аграрного сектора велике значення набуває ефективне застосування хімічних засобів захисту рослин для забезпечення врожайності та якості продукції. Однак, зростаючі вимоги до екологічної безпеки та мінімізації впливу на довкілля ставлять перед аграрними виробниками складні виклики. Виникає необхідність удосконалення технологій захисту рослин, зокрема шляхом впровадження сучасних засобів автоматизації та механізації.

Використання агродронів – це один з потенційних напрямів розвитку, який може значно покращити ефективність захисту рослин та знизити його негативний вплив на навколишнє середовище. Основними перевагами використання агродронів є їхня маневреність, можливість точного дозування та нанесення засобів захисту, а також швидкість обробки великих площ. Завдяки вбудованим сенсорам і системам навігації агродрони можуть реалізовувати точне мапування поля, ідентифікувати уражені ділянки та здійснювати таргетоване обприскування. Проте для ефективного впровадження таких технологій необхідно детально вивчити їхні технічні та економічні аспекти, а також врахувати фактори, пов'язані з правовою та екологічною регуляцією.

Сучасні аграрні системи зіштовхуються з рядом складних проблем, серед яких особливе місце займає ефективне використання хімічних засобів захисту рослин та збереження екологічної безпеки. Використання агрохімікатів призводить до зниження родючості ґрунтів, зміни умов середовища, що створює потребу у постійному вдосконаленні методів захисту рослин. Використання агродронів у хімічному захисті рослин може вирішити деякі з цих проблем, забезпечуючи точність та ефективність обприскування, а також мінімізуючи втрати засобів захисту. Дослідження в цій області має великий практичний потенціал для підвищення продуктивності та стійкості

сільськогосподарського виробництва, а також збереження довкілля для майбутніх поколінь.

В умовах швидкого розвитку технологій відкриваються нові можливості для використання сучасних сенсорів, систем штучного інтелекту та аналізу даних для підвищення ефективності та автоматизації процесів. Інтеграція цих технологій у систему управління агродронами може значно полегшити прийняття рішень щодо вибору оптимального режиму обприскування та зниження ризику виникнення помилок. Зростання інтересу до сталого розвитку та збереження навколишнього середовища також підкреслює важливість розвитку екологічно чистих методів захисту рослин. Використання агродронів у поєднанні з біологічними агентами контролю шкідників або альтернативними методами обприскування може сприяти зменшенню використання пестицидів та мінімізації їхнього впливу на довкілля, що стає важливим аспектом у контексті підвищення екологічної стійкості аграрного сектора.

1. ОГЛЯД АГРОДРОНІВ

1.1. Особливості застосування агродронів для хімічного захисту сільськогосподарських культур

У сучасних умовах розвитку сільського господарства, де швидкість, точність і ефективність виробничих процесів набувають особливого значення, застосування новітніх технологій стає необхідністю для досягнення високих результатів у вирощуванні сільськогосподарських культур. Однією з таких технологій, яка набуває все більшої популярності, є використання агродронів для хімічного захисту рослин. Агродрони, чії можливості та переваги зростають завдяки поєднанню передових технологій, навігаційних систем та датчиків, відкривають нові перспективи для підвищення ефективності та стійкості вирощування сільськогосподарських культур [1].

Аграрний сектор набуває все більшого значення для підвищення ефективності виробничих процесів та забезпечення високих врожаїв сільськогосподарських культур. Однією з інноваційних технологій, що привертає увагу фахівців та аграріїв, є використання агродронів для проведення захисту рослин. Агродрони представляють собою безпілотні літальні апарати, які оснащені спеціалізованими системами навігації, датчиками та контейнерами для розпилення хімічних засобів [5].

Однією з основних особливостей застосування агродронів є їхня висока маневреність та точність у виконанні завдань. Завдяки передовим системам навігації та автопілотам, агродрони можуть самостійно визначати оптимальні маршрути та точно виконувати обприскування рослин, уникаючи перекриття та

недоприскування. Це дозволяє знизити витрати на робочу силу та матеріали, а також максимально ефективно використовувати хімічні засоби захисту.

Другою важливою особливістю є можливість інтеграції агродронів з сучасними системами аналізу та обробки даних. Використовуючи вбудовані сенсори та камери, агродрони можуть здійснювати аналіз стану рослин та ідентифікацію уражених ділянок, що дозволяє здійснювати точне та таргетоване обприскування. Крім того, дані, отримані в результаті польотів, можуть бути аналізовані за допомогою алгоритмів штучного інтелекту для прогнозування поширення хвороб та оптимізації стратегій захисту рослин [3].

Важливою перевагою є можливість зниження впливу на навколишнє середовище та здоров'я людини. Використання агродронів дозволяє зменшити ризик забруднення ґрунту та водойм хімічними речовинами, а також мінімізує експозицію працівників до шкідливих речовин під час обприскування. Таким чином, використання агродронів для хімічного захисту сільськогосподарських культур відкриває нові можливості для підвищення ефективності та стійкості виробництва, зниження витрат та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище [2].

Пріоритетом застосування агродронів є їхня здатність оперативно реагувати на зміни умов та потреби виробництва. Агродрони можуть бути легко програмовані для виконання різних завдань, таких, як обприскування певних ділянок поля заздалегідь визначеними засобами захисту, виявлення та локалізація поширення шкідливих організмів, а також моніторинг стану рослин. Це дозволяє сільськогосподарським виробникам швидко та ефективно реагувати на проблеми, що виникають у процесі вирощування культур.

Основним аспектом застосування агродронів є їхня універсальність та можливість адаптації до різноманітних умов та типів сільськогосподарських культур. Незалежно від розміру та типу поля, агродрони ефективно використовують для забезпечення захисту рослин від шкідливих організмів.

Більше того, їхня гнучкість дозволяє використовувати їх у різних фазах росту культур, що сприяє максимальній ефективності [12].

Зрештою, важливо підкреслити, що застосування агродронів сприяє підвищенню безпеки працівників сільського господарства. Відсутність необхідності у присутності людини на місці обприскування зменшує ризик отримання травм та хімічного впливу на здоров'я. Це особливо важливо в умовах використання отруйних хімічних речовин, де кожен випадок неправильного використання, може мати серйозні наслідки. Застосування агродронів для хімічного захисту сільськогосподарських культур є перспективним та активно прогресуючим.

Використання агродронів у сільському господарстві має широке застосування у різних сферах діяльності. Насамперед ці технологічні пристрої використовуються для збору інформації та аналізу стану полів і культур.

Агродрони дають змогу створювати карти полів у форматі 3D в реальному часі, що допомагає фермерам приймати оптимальні рішення щодо догляду за культурами, раціонального використання води для поливу та контролю за рівнем поживних речовин в ґрунті [22].

Завдяки новим технологіям, аграрії використовують агродрони для автоматизованої посадки насіння, що значно економить час та працю робітників. Вони оснащені необхідним обладнанням, що дозволяє піднімати в повітря значну кількість насіння, добрив або гербіцидів, що сприяє оптимізації процесу висівання.

За останні роки агродрони стали популярними для обприскування. Вони ефективно використовуються для нанесення засобів захисту на поля, знищення шкідливих організмів та внесення добрив для підвищення росту та розвитку культур. Застосування дронів дозволяє швидко та ефективно реагувати на виявлені проблеми, зменшуючи вплив на навколишнє середовище та здоров'я людини [27].



Рисунок 1.1. – Приклад картографування поля площею 5 Га

Агродрони використовуються для поливу. Завдяки вбудованим датчикам, дрони можуть виявити місця з надлишком або недостатком вологи на полях, що дозволяє налагоджувати ефективну систему поливу. Такий підхід дозволяє зменшити витрати води та підвищити продуктивність культур. Усе більше сільськогосподарських господарств використовують агродрони для моніторингу ділянок. Завдяки знімкам, які здійснюються за допомогою дронів, фермери можуть ефективно спостерігати за ростом культур, аналізувати стан поля та приймати вчасно рішення щодо догляду за ними [37].

Отже, застосування агродронів для хімічного захисту сільськогосподарських культур є ключовим напрямком розвитку сучасного сільського господарства. Їхні унікальні технічні можливості, такі як, висока маневреність, точність та автоматизація процесів, дозволяють ефективно та економічно виконувати різноманітні завдання, пов'язані з захистом рослин від

хвороб, шкідників та бур'янів. Застосування агродронів сприяє збільшенню врожайності та покращенню якості продукції шляхом точного та цільового нанесення хімічних засобів захисту. Вони також допомагають знизити витрати на робочу силу, засоби захисту та паливо, що робить процес сільськогосподарського виробництва більш ефективним та екологічно чистим [38].

1.2. Огляд і конструкція агродронів

Ваговою складовою сучасного сільського господарства є впровадження передових технологій для підвищення ефективності виробництва та забезпечення високих врожаїв. Однією з таких технологій є використання агродронів. Агродрони – це безпілотні літальні апарати, які здатні виконувати різноманітні функції в сільському господарстві, зокрема, проводити моніторинг, обприскування, посадку насіння та полив полів. Огляд і дослідження конструкції агродронів стає актуальною задачею у зв'язку з їхнім широким застосуванням [23].

Дрони використовуються для розпилення хімічних речовин, а також для внесення добрив, що проводиться під-час посіву. Інсектициди, розпилені за допомогою дронів, мають на меті запобігти нашествю комах на сільськогосподарські ділянки. Розпилення може проводитися як електричними дронами, так і мультидронами з двигуном внутрішнього згорання, який забезпечує електроенергією двигуни дрона.



Рисунок 1.2. – Аграрний дрон DJI Agras T3

DJI Agras T30 – це нова модель дрона, яка має ряд передових характеристик для обприскування, рис.1.2.;1.4. Він може піднімати у повітря до 30 кг корисного навантаження та мати ширину захвату обприскувачів близько 7 метрів. За одну годину цей дрон може обробити до 10 гектарів землі. Дрон оснащений 30-кілограмовим баком та максимальною шириною обприскування в 9 метрів, з ефективністю досягнення 97 гектарів на день. Також він має рівень захисту IP67, що гарантує його водонепроникність та безпеку в умовах різних погодних умов [4].

У DJI Agras T30 є нова гратчаста структура рами, яка після складання може зменшити розмір фюзеляжу на 80 %. Цей дрон також оснащений унікальною сферичною системою радіолокації, що дозволяє забезпечити додатковий верхній кут огляду для польоту в сліпих зонах, що робить його ще більш ефективним і безпечним у використанні.



Рисунок 1.3. – Аграрний мультидрон (гібридний) UAS-25G

Апарат UAS-25G має вдосконалений бензиновий двигун із вбудованим генератором, який комбінує переваги як палива, так і електрики, рис.1.3;1.4. Ця силова гібридна установка дозволяє ефективно використовувати електричну частину машини, повністю уникнувши потреби у зарядці акумуляторних батарей. Таким чином, машина може працювати виключно на бензині.

UAS-25G використовує двотактний опозитний двигун з водяним охолодженням, що є інноваційним кроком у розвитку безпілотних літальних апаратів. Радіаторна система охолодження двигуна додає надійності та продуктивності роботи цієї машини.

Agras T-16 є високотехнологічним агродроном, розробленим для точного обприскування та внесення добрив. Він оснащений баком для рідини ємністю 16 літрів, що дозволяє обробляти великі площі за короткий час. Ширина розпилення цього дрона становить від 4 до 6,5 метрів, що є достатнім для більшості фермерських господарств. Максимальна швидкість польоту досягає 10 м/с, а тривалість автономної роботи становить від 18 до 20 хвилин, що дозволяє ефективно виконувати завдання на полі.



а



б

а – використовується з DJI Agras T30 б – використовується з UAS-25G

Рисунок 1.4 – Пульти керування агродронами

Agras T-16 є високотехнологічним агродроном, розробленим для точного обприскування та внесення добрив, рис.1.5. Він оснащений баком для рідини ємністю 16 літрів, що дозволяє обробляти великі площі за короткий час. Ширина розпилення цього дрона становить від 4 до 6,5 метрів, що є достатнім для більшості фермерських господарств. Максимальна швидкість польоту досягає 10 м/с, а тривалість автономної роботи становить від 18 до 20 хвилин, що дозволяє ефективно виконувати завдання на полі.

Система обприскування T-16 є точною і автоматично регулюється, що забезпечує рівномірний розподіл добрив і хімікатів. Крім того, дрон оснащений сучасною системою навігації GPS + RTK, яка забезпечує високу точність польотів і обробки полів. Максимальне навантаження дрона становить 16 кг, що відповідає його назві.



Рисунок 1.5 – Агродрон DLI Agras T-16

Розгляд та дослідження конструкції агродронів виявляються важливими аспектами в сучасному господарстві. Огляд конструкції агродронів показує, що вони можуть мати різні технічні характеристики та функціональні можливості, спрямовані на виконання різноманітних завдань у сільському господарстві, включаючи моніторинг, обприскування, посадку насіння та полив. Важливою перевагою є їхній потенціал зниження витрат на робочу силу, засоби захисту та паливо, а також збільшення точності та ефективності роботи.

Таким чином, розвиток та впровадження агродронів відкриває нові перспективи для сільського господарства, сприяючи його модернізації, підвищенню врожайності та ефективності виробництва. Подальші дослідження в галузі конструкції та застосування агродронів обіцяють приносити нові технологічні рішення, що сприятимуть подальшому розвитку сільськогосподарського сектора.

2. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНОГО ЗАХИСТУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ РОСЛИН З ВИКОРИСТАННЯМ АГРОДРОНІВ

2.1. Обґрунтування до комплектування технологічного обладнання

Сучасне сільське господарство стикається з безпрецедентними викликами, пов'язаними з підвищенням врожайності та якістю продукції при одночасному збереженні ресурсів та збалансованому впливі на навколишнє середовище. Одним із винахідливих рішень, що дозволяє вирішувати ці завдання, є використання дронів. Агродрони, або безпілотні літальні апарати (БЛА), здатні ефективно та точно застосовувати засоби захисту на оброблювані поля, забезпечуючи рівномірний розподіл хімікатів та мінімізацію втрат.

Перелік технологічного обладнання для використання агродронів у хімічному захисті сільськогосподарських культур:

1. Системи розпилення засобів захисту:

- Дропери або дифузори для рівномірного розподілу хімікатів над полем.
- Гідравлічні насоси для подачі розчинів «див. рис. 2.1»
- Системи регулювання дози і області розпилення «див. рис. 2.2»

2. Датчики та додаткове обладнання:

- Мультиспектральні камери для збору даних про стан культур та потреби у захисті «див. рис. 2.3»
- Датчики вологості, температури та інших параметрів середовища «див. рис. 2.4»
- GPS-системи для точного навігації та мапування полів «див. рис. 2.5»

3. Системи управління та автоматизації:

- Автопілоти та системи автоматичного навігації для точного руху агродронів.
- Програмне забезпечення для планування маршрутів та контролю за процесом обробки.

4. Засоби безпеки та екологічності:

- Захисне обладнання для операторів агродронів.
- Екологічно безпечні розчини хімікатів та добавки для мінімізації впливу на довкілля.

5. Програмне забезпечення для аналізу та звітності:

- Системи обробки та аналізу даних для оцінки ефективності застосування засобів захисту.
- Засоби візуалізації та створення звітів для документування проведених робіт та отриманих результатів.

Це обладнання забезпечить ефективне та точне використання агродронів у хімічному захисті сільськогосподарських культур з мінімальним впливом на навколишнє середовище та максимальним економічним ефектом.

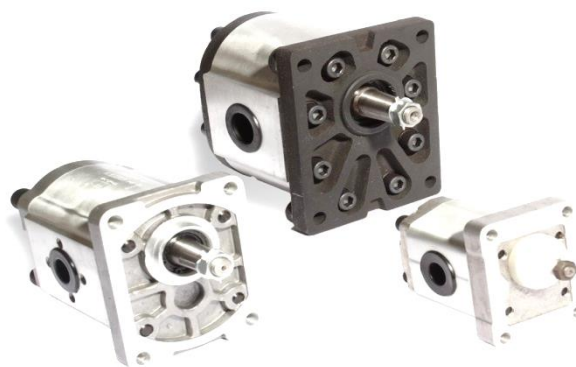


Рисунок 2.1 – Гідравлічні насоси для подачі розчинів

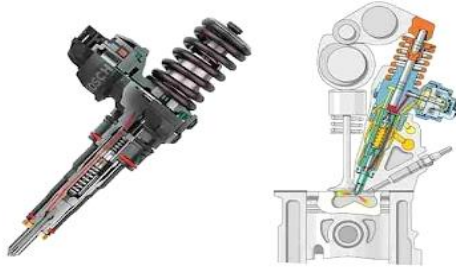


Рисунок 2.2 – Системи регулювання дози і області розпилення



Рисунок 2.3 – Мультиспектральні камери для збору даних



Рисунок 2.4 – Датчик вологості, температури та інших параметрів середовища



Рисунок 2.5 – GPS-системи для точного навігації та мапування

Завершення процесу обґрунтування до комплектування технологічного обладнання для використання агродронів у хімічному захисті сільськогосподарських культур є ключовим етапом у впровадженні цієї передової технології. Ретельно підібране обладнання визначає успіх у виробництві та можливість забезпечити ефективність, економічність та екологічність сільськогосподарських операцій. На підставі аналізу вимог та потреб сучасного сільськогосподарського виробництва, а також урахування впливу науково-технічного прогресу, було розглянуто необхідність і переваги використання різноманітного технологічного обладнання, такого як системи розпилення засобів захисту, датчики та системи автоматизації [8].

Таким чином, обґрунтування до комплектування технологічного обладнання є важливим кроком у забезпеченні успішного впровадження агродронів у хімічному захисті сільськогосподарських культур. Оптимально підібране обладнання дозволить досягти максимальної продуктивності та забезпечити стабільність та економічність виробництва, що відповідає сучасним вимогам сталого розвитку сільського господарства.

2.2. Розрахунок експлуатаційної продуктивності дрона Agras T-16

Не рекомендовано використовувати дрон у несприятливі погодні умови: вітер який перевищує 28 км/год, дощ, туман, сніг, ураган та інші. Також слід пам'ятати про краї поля щоб уникнути виливу засобів захист рослин на суміжні території. Використовуючи програмне забезпечення Agras T16 це дозволяє зробити та встановити границю поля.

Розрахунок експлуатаційної продуктивності Agras T16 за годину змінного робочого часу визначаємо за залежністю:

$$W_{\text{год}} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau. \quad (2.1)$$

Коефіцієнт використання часу зміни визначаємо за залежністю:

$$\tau = \frac{T_0}{T_{\text{зм}}}. \quad (2.2)$$

Розрахунок часу чистої роботи за зміну визначаємо за залежністю:

$$T_0 = t_0 \cdot n_{\text{ц}}. \quad (2.3)$$

Звідси:

$$n_{\text{ц}} = \frac{T_0 - (T_{\text{нз}} + T_{\text{мо}} + T_{\text{ф}})}{t_{\text{ц}}}. \quad (2.4)$$

Тривалість циклу, в даному випадку – це час повного спорожнення бака дрона (16 л), який визначаємо за залежністю:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{оч}} + t_{\text{зап}} + t_{\text{пух}} + t_0 + t_x + t_{\text{пер}}. \quad (2.5)$$

Таким чином розрахункову формулу для визначення тривалості руху для першого проходу визначаємо за залежністю:

$$t_{\text{рух}} = 2 \left(t_{\text{зл}} + \frac{10^{-3} \cdot L}{V_{\text{тхн}}} \right). \quad (2.6)$$

Підставляємо значення:

$$t_{\text{рух}} = 2 \left(0,0083 \frac{10^{-3} \cdot 50}{20} \right) = 0,0216 \text{ год.}$$

Тривалість робочого ходу дрона (час спорожнення бака), визначаємо за залежністю:

$$t_0 = \frac{10^{-3} \cdot l_0}{V_p}. \quad (2.7)$$

Довжина шляху (польоту), що пролітає дрон між двома послідовними заправками:

$$l_0 = \frac{10^4 \cdot V_6}{B_p \cdot H_0}. \quad (2.8)$$

Отже,:

$$l_0 = \frac{10^4 \cdot 16}{6,5 \cdot 5} = 4923 \text{ м.}$$

Тривалість робочого ходу дрона:

$$t_0 = \frac{10^{-3} \cdot 4500}{25} = 0,18 \text{ год.}$$

Тривалість холостого ходу (зміщення його ліворуч протягом циклу) визначають за наступною залежністю:

$$t_x = \frac{10^{-3} \cdot l_x \cdot n_x}{V_x}. \quad (2.9)$$

Кількість холостих проходів агрегату визначається за залежністю:

$$n_x = \frac{l_0}{l_p}. \quad (2.10)$$

Підставляємо значення:

$$n_x = \frac{4500}{450} = 10 \text{ проходів.}$$

Визначаємо тривалість ходу за залежністю 2.9:

$$t_x = \frac{10^{-3} \cdot 6,5 \cdot 10}{5} = 0,013 \text{ год.}$$

Отже, тривалість циклу, підставляємо значення з залежності 2.5:

$$t_{\text{ц}} = 0,015 + 0,035 + 0,0216 + 0,18 + 0,013 = 0,265 \text{ год.}$$

Тоді кількість циклів дрона підставляємо значення 2.4:

$$n_{\text{ц}} = \frac{6 - (0,5 + 0,2 + 0,6)}{0,265} = 18 \text{ циклів.}$$

Час чистої роботи складає:

$$T_0 = 0,18 \cdot 18 = 3,24 \text{ год.}$$

Коефіцієнт використання часу зміни:

$$\tau = \frac{3,24}{6} = 0,54.$$

Отже, продуктивність роботи Agras T16 за годину:

$$W_{\text{год}} = 0,1 \cdot 6,5 \cdot 25 \cdot 0,54 = 8,8 \text{ га/год.}$$

Розрахунок параметрів робочого органу агродрону виконаний з урахуванням потреб сучасного сільського господарства та вимог до точності та ефективності обробки поля. Використання легкої, але міцної конструкції забезпечить оптимальне співвідношення між навантаженням та вагою, а високоякісна система живлення гарантуватиме надійну роботу протягом тривалого часу.

2.3. Вибір експлуатаційно-технологічних параметрів обладнання

Вибір експлуатаційно-технологічних параметрів агродронів у хімічному захисті сільськогосподарських культур є важливим завданням, яке визначає ефективність, гарантує безпеку використання, екологічність процесу та залежить від певних факторів, таких як:

1. Категорія завдання: залежно від форми роботи, наприклад оприскування, внесення добрив чи спостереження за розвитком рослин, виникає потреба у різних видах агродронів та їх експлуатаційно-технологічних параметрів.

2. Розмір поля: залежно від вантажопідйомності дрона, вони можуть обробляти більшу кількість гектарів за короткий проміжок часу.

3. Види культур: рослини залежно від різновиду потребують особливого режиму обробки та специфічного дозування препаратів.

Ці фактори є ключовими для забезпечення максимальної ефективності та рентабельності використання агродронів.

Ключові параметри які слід врахувати при виборі агродрона:

Тип апарату: залежно від зазначених вище факторів, розуміємо, що для відповідних цілей існують різноманітні види агродронів.

Мультикоптери, вирізняються простотою використання, найчастіше використовуються для обробки невеликої території та складної за формою ділянки.

Літаки з нерухомим крилом, генерують підйомну силу рухаючись вперед. Їх особливість полягає в тому, що вони пролітають велику відстань із значною швидкістю. Найбільш актуальні для застосування на більш масштабних територіях але з простішою формою.

Гібридні агродрони, об'єднують властивості мультикоптерів і літаків з нерухомим крилом. Як і першим, характерно злітати та приземлятись вертикально, а від інших вони запозичили здатність пролітати далекі відстані.

Гібриди є найбільш універсальними для виконання своїх функцій, проте вони значно вирізняються в ціні, тобто є найдорожчими.

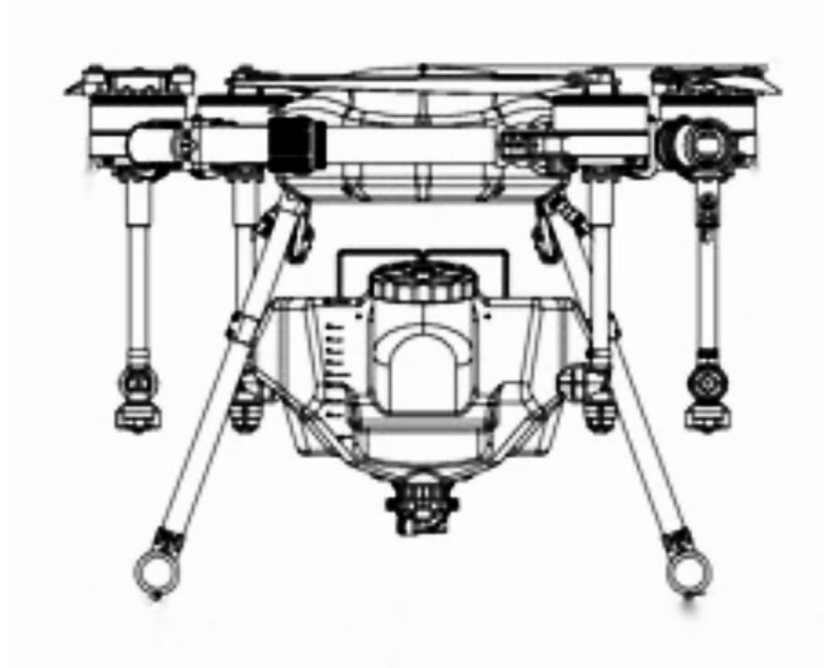


Рисунок 2.6 – Креслення дрона-оприскувача

Вантажопідйомність: визначає собою кількість препаратів що може містити в собі апарат. Чим більша вантажопідйомність тим більше можливо обробити площі за менший час, проте це відповідно впливає на вартість дрона. Середня місткість дронів становить 30-40 літрів.

Час польоту: характеристика, що визначає скільки дрон може працювати без перезарядки акумулятора. Більший час польоту дає змогу обробити більшу площу за менший час.

Система навігації дозволяє автоматично переміщатися по полю а також реалізовувати завдання з високою точністю. Існує ряд систем навігації які часто використовуються у дронах, зазначимо найпоширеніші:

GPS (Global Positioning System), вона застосовує супутники з метою визначення розташування агродрона з точністю до метра. Дана система є недорогою та простою у використанні що є перевагою серед інших, проте

вагомим недоліком GPS є те, що воно може бути неточним за певних умов, наприклад якщо поблизу розташована висока будівля.

INS (Inertial Navigation System), не залежить від супутників, тому її можна застосовувати в умовах коли інші системи недоступні. Попри це INS є дорогою та складною у використанні, що зменшує її актуальність серед сільськогосподарських товаровиробників.

Система розпилення – це один з найбільш важливих параметрів у агродронів, оскільки їх існує багато видів таких як, штангові, дисперсні і роторні. Варто розглянути покращення системи розпилення агродрона саме шляхом початку застосування ультразвукових форсунок, оскільки вони гарантують рівномірне покриття, зменшення витрат рідин, а також збільшення ефективності агрохімікатів. Для кращого розуміння цього явища варто провести розрахунки.

Розрахунок параметрів ультразвукових форсунок:

Розмір крапель:

$$d=50-100_{\text{мкм}}=0.05-0.1\text{мм.} \quad (2.11)$$

Об'єм краплі:

$$V = \frac{4}{3} \pi \cdot \frac{(0.075)^3}{2} \approx 2.21 \cdot 10^{-4} \text{мм}^3. \quad (2.12)$$

Для середнього розміру краплі 0.075 мм.

Кількість крапель на секунду через одну форсунку:

$$Q=0,5_{\text{мл/с}}=0,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{л}}{\text{с}}=0,5 \cdot 10^6 \text{м}^3/\text{с}. \quad (2.13)$$

$$n = \frac{Q}{V} = \frac{0,5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}}{2,21 \cdot 10^{-10} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}} \approx 226 \text{кр/с.} \quad (2.14)$$

Розрахунок для стандартних форсунок:

Розмір крапель, згідно залежності 2.11:

$$d = 200-400_{\text{мкм}} = 0,2-0,4 \text{мм.}$$

Об'єм краплі, розраховуємо за залежністю 2.12:

$$V = \frac{4}{3} \Pi \cdot \left(\frac{0,3}{2}\right)^3 \approx 1,41 \cdot 10^2 \text{мм}^3.$$

Для середнього розміру краплі 0,3мм.

Кількість крапель на секунду через одну форсунку, згідно з 2.13:

$$Q = 1_{\text{мл/с}} = 1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{л}}{\text{с}} = 1 \cdot 10^6 \text{м}^3 / \text{с.}$$

Відповідно до 2.14:

$$n = \frac{Q}{V} = \frac{1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}}{1,41 \cdot 10^{-10} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}} \approx 7092 \text{кр/с.}$$

Пропозиція експлуатації ультразвукових форсунок для вдосконалювання системи оприскування агродрона забезпечує більш рівномірне покриття, падіння витрат рідини та підвищення ефективності внесення агрохімікатів. Завдяки цьому вдосконаленню агродрон, досяг вищої ефективності та став дешевшим інструментом для сільського господарства.

2.4. Розрахунок техніко-економічних показників агродрону

Розрахунок техніко-економічних показників для використання агродронів у хімічному захисті сільськогосподарських культур є важливим етапом при прийнятті рішення щодо інвестицій та використання даної методики внесення добрив. Для розрахунку використовуватимемо агродрон DJI Agrass T-30.

Перш за все зазначимо ключову характеристику даної моделі:

Час польоту становить 25-30 хвилин, вантажопідйомність дорівнює 30 літрів, зона дії орієнтовно 20 гектарів за годину. Ціна даного дрона становить 612 750 грн.

1. Капітальні витрати (до них першочергово належить вартість Agrass T-30). До додаткових витрат належать:

- Акумулятори (2 шт) – 81 700 грн
- Зарядний пристрій – 20 425 грн
- Програмне забезпечення – 40 850 грн
- Навчання оператора – 20 425грн;
- Ремонт – 40 850грн;
- Послуги страхування – 20 425 грн;

Отже, розрахунок:

$$\Sigma=612\,750+81\,700+20\,425+40\,850+20\,425+40\,850+20\,425=800\,660 \text{ грн.}$$

Загальні капітальні витрати становлять орієнтовно 800 660 грн.

2. Витрати по експлуатації:

- Амортизація – 83 742 грн/рік;
- Обслуговування – 40 850 грн/рік;
- Заміна акумуляторів (що 2 роки) – 40 850 грн/рік;

- Паливо/електроенергія – 61 275 грн /рік;
- Інші витрати – 20 425 грн /рік;

$$\Sigma=83742+40850+40850+61275+20425=247142 \text{ грн.}$$

Загальні експлуатаційні витрати становлять 247 142 грн/рік.

3. Продуктивність:

- Площа обробки становить 20 га/год;
- 8 робочих годин на день і 200 робочих днів на рік;

Площа обробки за день:

$$A_{\text{день}} = A_{\text{год}} \cdot N_{\text{день}} = 20 \cdot 8 = 160 \text{ га/день.}$$

Площа обробки за рік:

$$A_{\text{рік}} = A_{\text{день}} \cdot D_{\text{рік}} = 160 \cdot 200 = 32000 \text{ га/к}$$

Отже, згідно розрахунків продуктивність дрона за рік становить 32 000 га.

4. Рентабельність інвестицій (ROI):

За умови зазначених розрахунків річний дохід становитиме:

$$R_{\text{рік}} = A_{\text{га/рік}} \cdot P_{\text{га}} = 32000 \cdot 2042 = 65\,344\,000 \text{ грн/рік}$$

Прибуток:

$$P_{\text{чистий}} = R_{\text{рік}} - C_{\text{обсл.}} = 65\,344\,000 - 247\,142 = 65\,096\,858 \text{ грн/рік}$$

$$ROI = \left(\frac{P_{\text{чистий}}}{C_{\text{капітальні}}} \right) \cdot 100\% = \left(\frac{65,096,858}{837,425} \right) \cdot 100\% = 77,7\%$$

Рентабельність інвестицій – це такий показник, що використовується для розуміння ефективності інвестицій. Він зазначає кількість чистого прибутку, що було отримано за кожну одиницю вкладених коштів.

Отже, на сьогоднішній день дрони є економічно вигідними для ведення господарства та використання їх з метою покращення технологій хімічного захисту сільськогосподарських рослин.

3. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

3.1. Аналіз конструкції агродронів-аналогів

В сучасному світі технології активно втілюються в аграрну сферу для підвищення продуктивності та ефективності сільськогосподарського виробництва. Одною з таких є використання агродронів. Аналіз конструкції цих безпілотних літальних апаратів стає ключовим етапом у розумінні їхнього потенціалу та можливостей. Агродрони представляють собою інноваційні технологічні рішення, спрямовані на автоматизацію процесів обробки поля та моніторингу врожаю. Аналіз конструкції цих дронів дозволяє зрозуміти їхню функціональність, робочі характеристики, а також визначити оптимальні параметри для досягнення найкращих результатів у сільському господарстві.

Під час аналізу конструкції агродронів важливо враховувати такі аспекти, як типи сенсорів, що використовуються для збору інформаційних даних, максимальна вага підйому, час автономної роботи, стійкість до погодних умов та можливості інтеграції з іншими сільськогосподарськими технологіями. Правильно підібрана конструкція агродрону визначає його ефективність у вирішенні конкретних завдань сільського господарства, таких як обробка рослин за допомогою добрив або засобів захисту, моніторинг стану посівів та виявлення захворювань або шкідників.

Agras T30 – це нове покоління дронів від DJI з інноваційною конструкцією та можливістю переносити до 40 кг вантажу. Ці цифрові рішення для сільського господарства, розроблені DJI, значно підвищують продуктивність та ефективність обробки посівів. Покращений режим планування маршруту включає у себе з'єднаний маршрут, який дозволяє дрону автоматично літати за заданим маршрутом та уникати перешкод, які були

визначені під час планування поля. Нова інтелектуальна функція з економії ресурсів розраховує залишкову рідину, що дозволяє користувачам ефективно контролювати процес обробки.

Дрон оснащений системою радару зі сприйняттям сфери, інноваційною системою, яка застосовується в галузі сільського господарства. Вона включає всенаправлений цифровий радар та верхній радар і відповідає за такі функції, як обліт рельєфу, розпізнавання перешкод та їх уникнення. Завдяки курсовим камерам на передній та задній частині апарату та яскравим прожекторам система забезпечує комплексну безпеку у будь-який час доби та за будь-якої погоди.

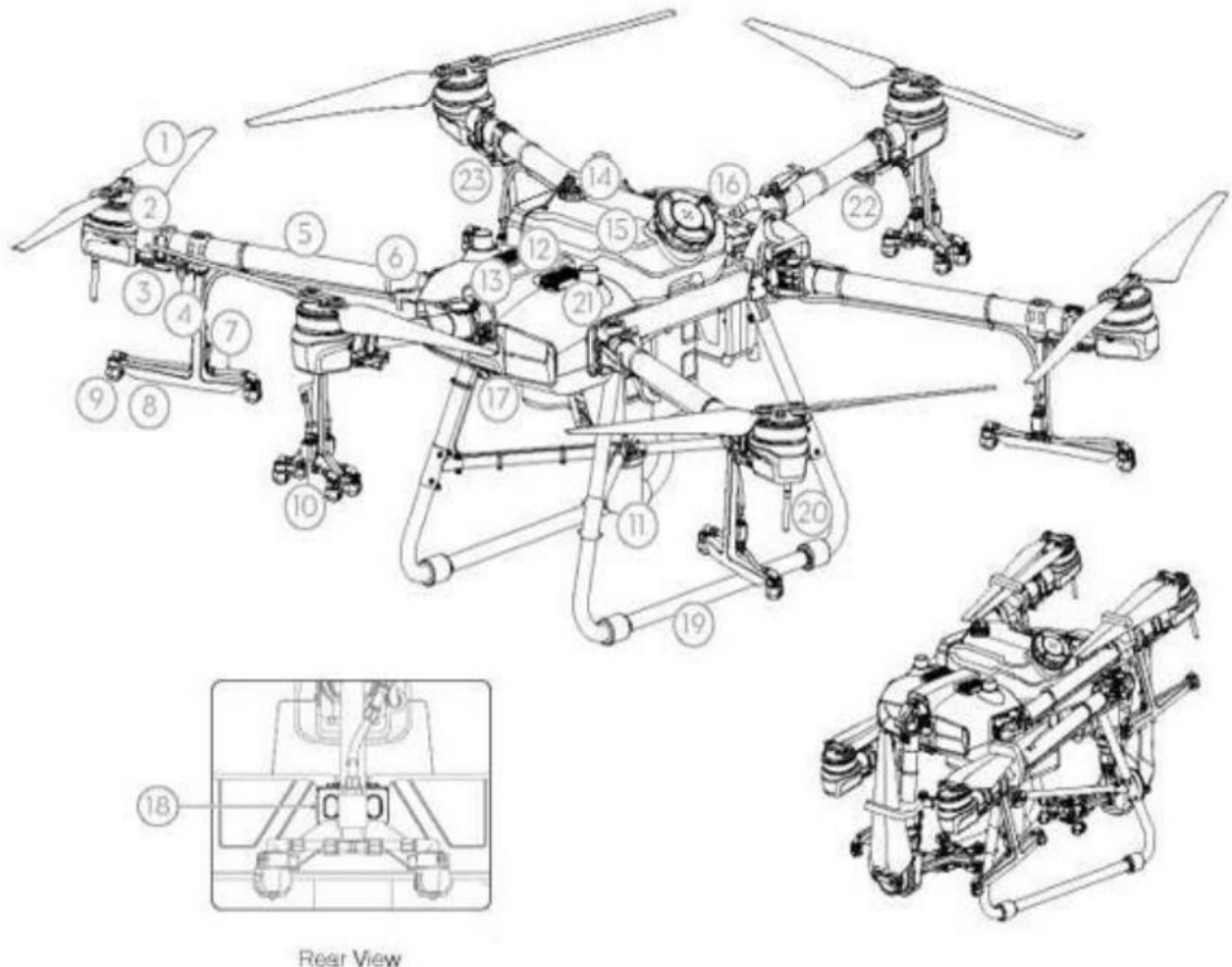
Використовуючи передові поршневі насоси та 16 оприскувачів, система обробки пропонує підвищений діаметр, швидкість, розподіл і ефективність розпилення. Двоканальний електромагнітний витратомір та датчик рівня рідини постійної дії забезпечують більш точні виміри, ніж будь-коли.

Для обробки садів може використовуватися технологія розпізнавання гілок, що забезпечує більш точне розпилення за допомогою системи радару зі сприйняттям сфери та хмарного сховища Agras від DJI. Ступінь захисту дрона відповідає IP67 (IEC 60529). Основні елементи покриті трьома шарами захисту, що робить T30 стійким до іржі, а також пило- та водонепроникним, тому його можна просто мити водою.

Smart Controller Enterprise використовує систему передачі DJI Ocusync™, має максимальну відстань управління до 7 км і підтримує функції Wi-Fi і Bluetooth. Пульт дистанційного керування оснащений 5,5-дюймовим яскравим екраном з вбудованим додатком DJI Agras, що значно покращує плавність і стабільність. При підключенні RTK-модема до пульта дистанційного керування користувачі можуть планувати операції з точністю до сантиметра.

Режим керування декількома дронами пульта дистанційного керування може використовуватися для координації роботи кількох дронів одночасно, що

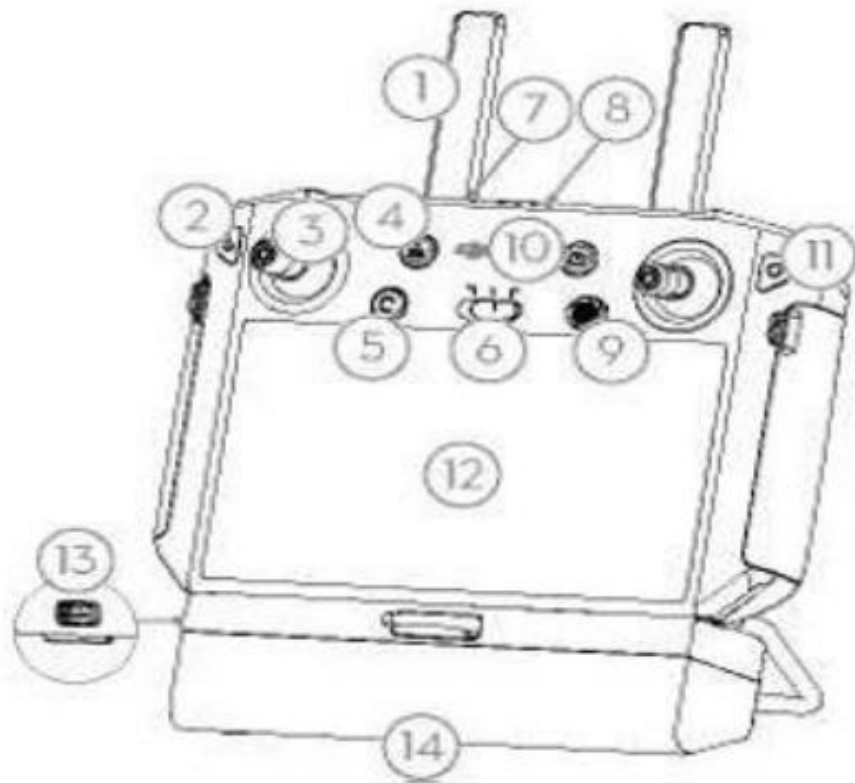
дозволяє пілотам працювати ефективно. Для живлення пульта дистанційного керування можна використовувати як вбудований, так і зовнішній акумулятор. Загальний час роботи до 4 годин, що повністю відповідає вимогам для тривалих і високоінтенсивних операцій.



–1 - Пропелери; 2 - Мотори; 3 - ESC; 4 - Індикатори передньої частини дрону (на змiнах M2 і M6); 5 - Промені; 6 - Складні датчики виявлення (вбудовані); 7 - Шланги; 8 - Опрыскувачі; 9 – Розпилювачі; 10 - Електромагнітні випускні клапани; 11 - Всенаправлений цифровий радар; 12 - Верхній радар (вбудований); 13 -Тепловідводи; 14 - Датчик рівня рідини; 15 - Бак; 16 - Відсік для акумулятора; 17 - Фронтальна курсова камера; 18 - Задня курсова камера; 19 - Посадочне шасі; 20 - Антени OCUSYNC; 21 - Бортові антени D-RTK; 22 - Індикатори стану дрону (на змiнах M1 і M4); 23 - Задні індикатори дрону (на змiнах M3 і M5).

Рисунок 3.1 – Конструкція агродрону

Пульт керування дроном RC-N1 DJI Mini 2 оснащений технологією OcuSync 2.0 DJI для передавання інформаційних даних на далеких відстанях, що забезпечує максимальну дальність передачі сигналу до 10 км, а також передачу відеознімків з дрона в додаток DJI Fly на смартфон пристрої з роздільною здатністю 720p[30].



1 - Антени; 2 - Кнопка; 3 - Важелі управління; 4 - Кнопка RTN; 5 - Кнопка C (налаштовується). 6 - Перемикач режиму польоту; 7 - Статус світлодіоду; 8 - Світлодіоди рівня заряду акумулятора; 9 - Кнопка 5D (налаштовується) 10 - Кнопка живлення; 11 - Кнопка підтвердження; 12 - Сенсорний екран; 13 - Порт зарядки USB-C; 14 - Кришка відсіку для модема;

Рисунок 3.2 – Конструкція пульта керування агродроном

На відкритій ділянці без електромагнітних завад OcuSync 2.0 передає відеосигнал з роздільною здатністю до 720p незалежно від висоти польоту. Пульт управління працює на частоті 2,4 ГГц. OcuSync 2.0 зменшує затримку приблизно 200 м/с, покращуючи продуктивність камери за допомогою

алгоритму декодування відео та бездротового зв'язку. Ємність вбудованого акумуляторної батареї становить 5200 мА·год, а максимальний час роботи – 6 годин. Пульт керування заряджає мобільний пристрій з силою струму 500 мА при напрузі 5 В. Пульт управління автоматично заряджає пристрої Android. Для пристроїв на базі iOS спочатку переконайтеся, що зарядку включено в налаштуваннях DJI Fly [30]. Таблицю з інструкцією використання пульта агродрона наведено в додатку А.

У результаті огляду інноваційних можливостей дрона Agras T30 від DJI та його обладнання можна зробити загальний висновок про його вражаючий потенціал у покращенні сільського господарства та сільськогосподарської технології. Завдяки передовим технологіям у сфері обробки та розпилення, Agras T30 пропонує вражаючий рівень продуктивності та ефективності.

Застосування сучасних систем управління та контролю, таких як Smart Controller Enterprise з системою передачі DJI OCUSSYNCTM та можливість планування операцій з точністю до сантиметра, дозволяють оптимізувати процеси управління та координації декількома дронами, що значно підвищує ефективність використання цих технологій у сільському господарстві

3.2. Обґрунтування технологічного комплексу для авіаційної хімічної обробки рослин з використанням дронів обприскувачів

В основі кваліфікаційної роботи бакалавра лежить завдання покращити технологію хімічного захисту рослин за допомогою агродронів. Необхідно спроектувати зарядну станцію для дронів обприскувачів та змодельовати технологічний процес обприскування поля з відповідними розрахунками.

Завдання вирішується за допомогою технологічного комплексу хімічної обробки рослин авіацією, який є малогабаритним багатогвинтовим

автоматичним безпілотним літаючим апаратом, і сервісний наземний мобільний технологічний апарат. При цьому сервісний наземний мобільний технологічний апарат розташований з однієї сторони поля та має щонайменше дві базові точки для заправлення та підзарядки дронів-обприскувачів для невеликих територій. Разом з тим для великих площ сервісні наземні мобільні технології розташовані з обох боків поля та мають одну базову точку для заправлення та підзарядки дронів-обприскувачів.

На рисунку 3.1 зображено дрон-обприскувач, який має основу 1, на якій з'єднуються гвинтові апарати. Під основою 1 встановлена місткість 3, а клапан 4 керує заправленням хімічною рідиною. Підзарядний пристрій 5 може підзаряджати дрон-обприскувач. У нижній частині дрона-обприскувача закріплена штанга 6, яка містить розпилювачі 7 хімічної рідини. Рисунок 3.2 - огляд на рисунок 3.1, вигляд зверху;

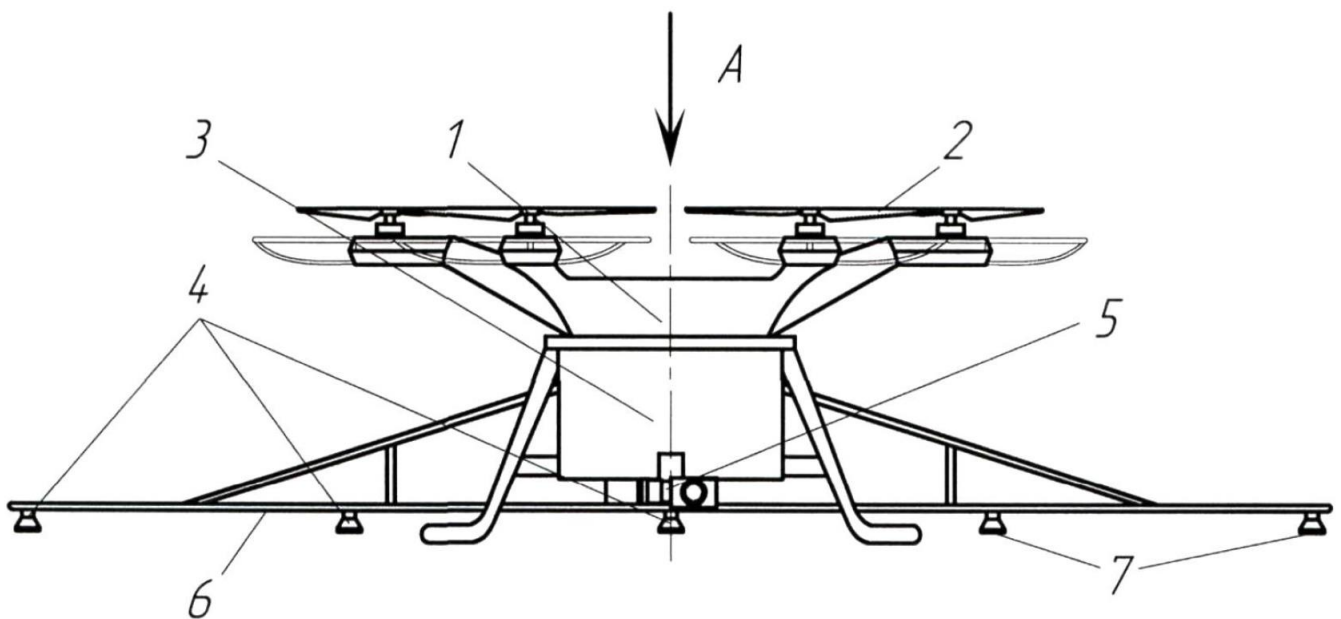


Рисунок 3.1 – Дрон обприскувач

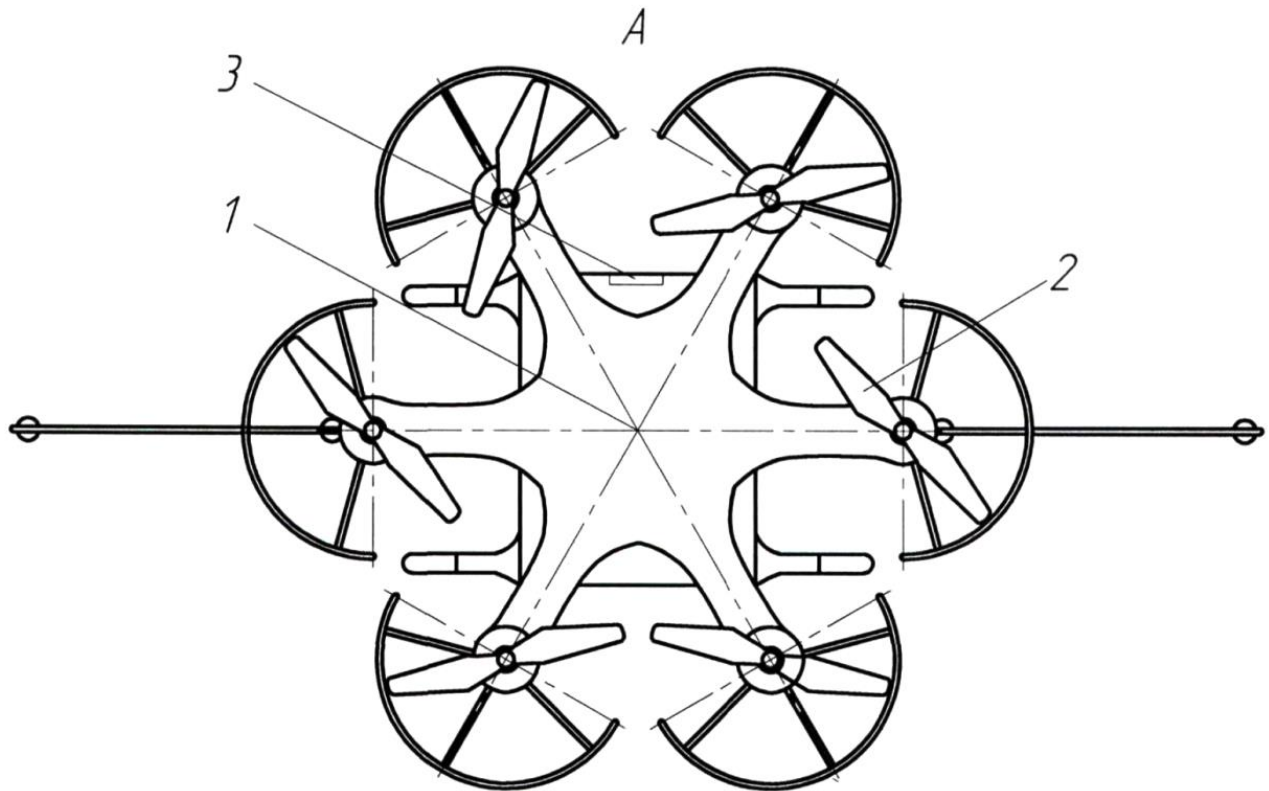


Рисунок 3.2 – Дрон обприскувач вигляд зверху

На рисунку 3.3 зображено мобільний технологічний пристрій для наземного сервісу. Сервісні наземні мобільні технологічні апарати 8 розташовані з однієї або обох сторін поля та містять бак 10 для заповнення хімічною рідиною та зарядка з акумуляторами 11.

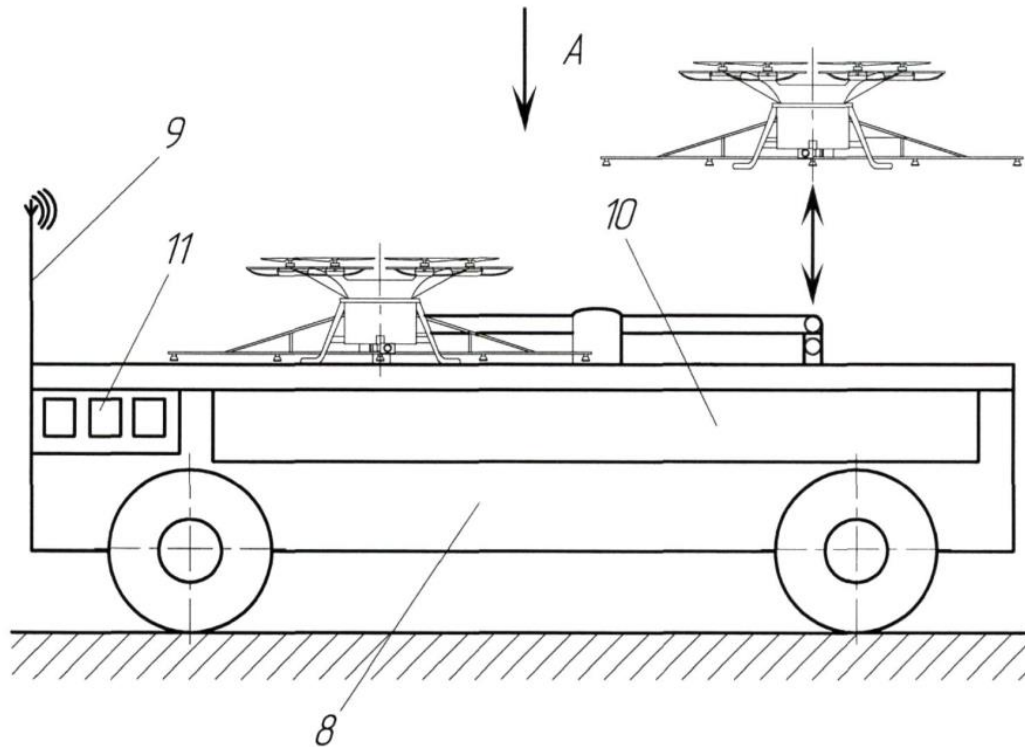


Рисунок 3.3 – Мобільний технологічний пристрій для наземного сервісу

На рисунку 3.4 зображено процес зарядки та поповнення місткості з хімічною рідиною, а також напрям руху іншого дрону, який завантажений; на рисунку 3.5 показано схему руху дронів-обприскувачів на невеликих ділянках поля; на рисунку 3.6 Схема руху дронів-обприскувачів на великих ділянках землі показана.

Сервісний наземний мобільний технологічний апарат 8 розташований з однієї сторони поля та містить щонайменше дві базові точки під час оброблення невеликих площ хімічною речовиною. 12, 13 (рисунок 3.5) для перезарядки та заправлення дронів-обприскувачів. У цей процес один дрон-обприскувач, заправлений хімічною рідиною, піднімається над поверхнею поля для хімічної обробки рослин, а другий дрон підзаряджається і наповнюється хімічними речовинами.

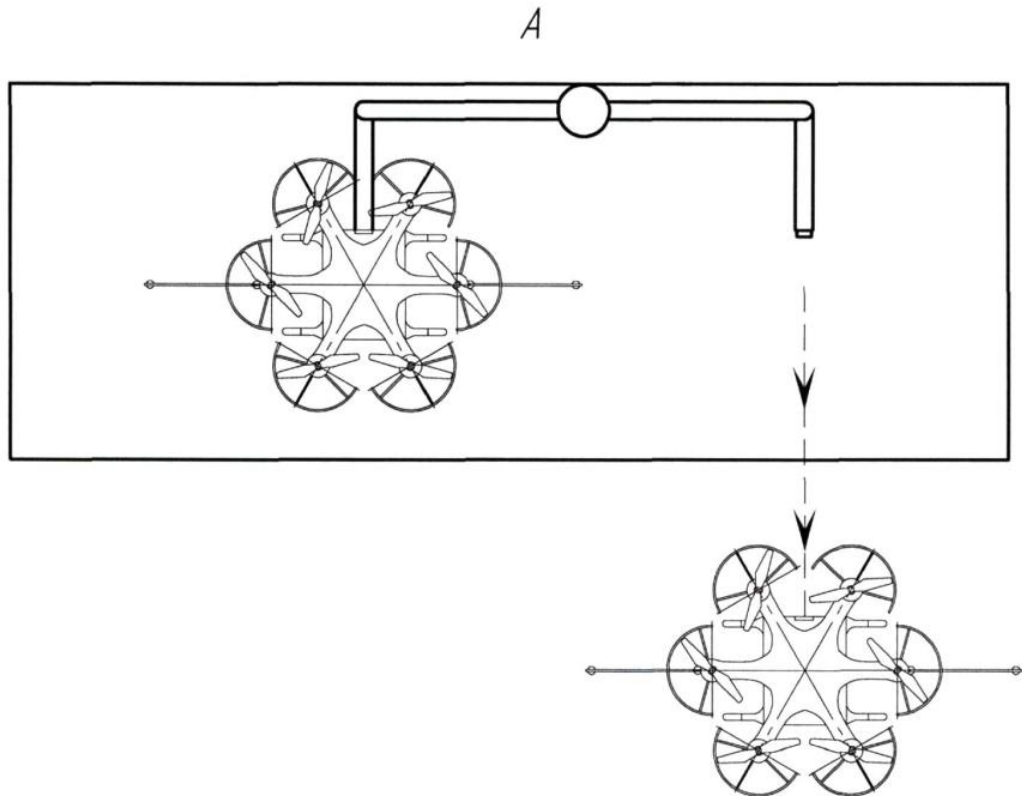


Рисунок 3.4 – Процес зарядки та поповнення місткості з хімічною рідиною, а також напрям руху іншого дрону, який завантажений.

Сервісні наземний мобільний технологічний апарат 8 переміщується з позиції «а» в позицію «б», коли перший дрон-обприскувач здійснює зворотно-поступальний рух, забезпечуючи обробку площ посівів шириною $2H$. (рисунок 3.5).

Згідно формули (2.8) можемо розрахувати максимальну довжину поля для схеми згідно рисунку 3.5:

$$L_{max} = \frac{l_0}{2} - H. \quad (3.1)$$

Де H – це ширина захвату

$$L_{max} = \frac{4923}{2} - 6,5 = 2455 \text{ м.}$$

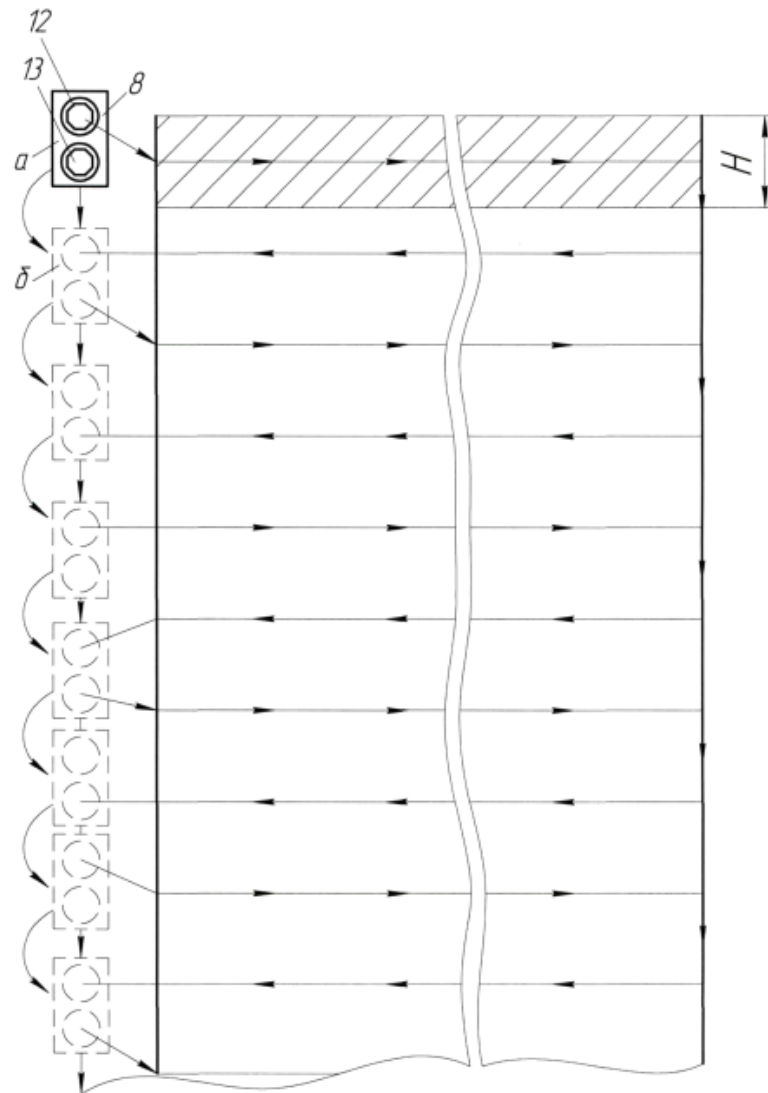


Рисунок 3.5 – Схема переміщення двох дронів на одному мобільному апараті

Сервісні наземні мобільні технології 8 розташовані з обох боків поля під час обробки великих площ і мають одну базову точку 14 для заправлення та підзарядки дронів-обприскувачів. У процесі роботи перший дрон-обприскувач обприскує поле з шириною оброблення H , переміщаючись з точки «в» в точку «г». Коли це відбувається, інший дрон-обприскувач отримує заряд і наповнює місткість 3 хімічною рідиною, а мобільний технологічний апарат 8 переміщується з точки «г» в точку «д». (рисунок 3.6).

Згідно формули (2.8) можемо розрахувати максимальну довжину поля для схеми згідно рисунку 6:

$$L_{\max} = l_0. \quad (3.2)$$

Де H – це ширина захвату;

$$L_{\max} = l_0 = 2455 \text{ м.}$$

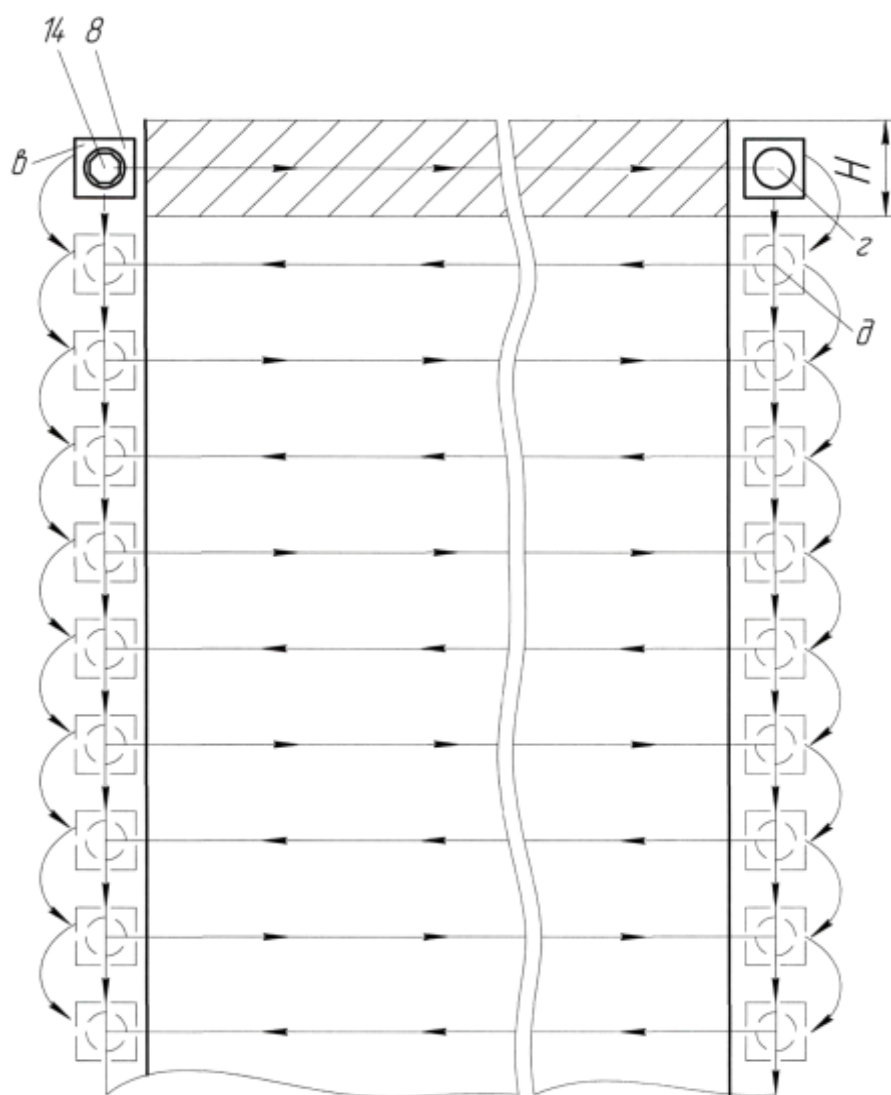


Рисунок 3.6 – Схема посадки одного дрона на двох кінцях поля на два мобільні апарати

На рисунку 3.7 представлено платформу А та Б на яких розміщено три дрона(1,2,3), на одній з платформ завжди є вільне місце на яке приземляється активний дрон для підзарядки та заправки.

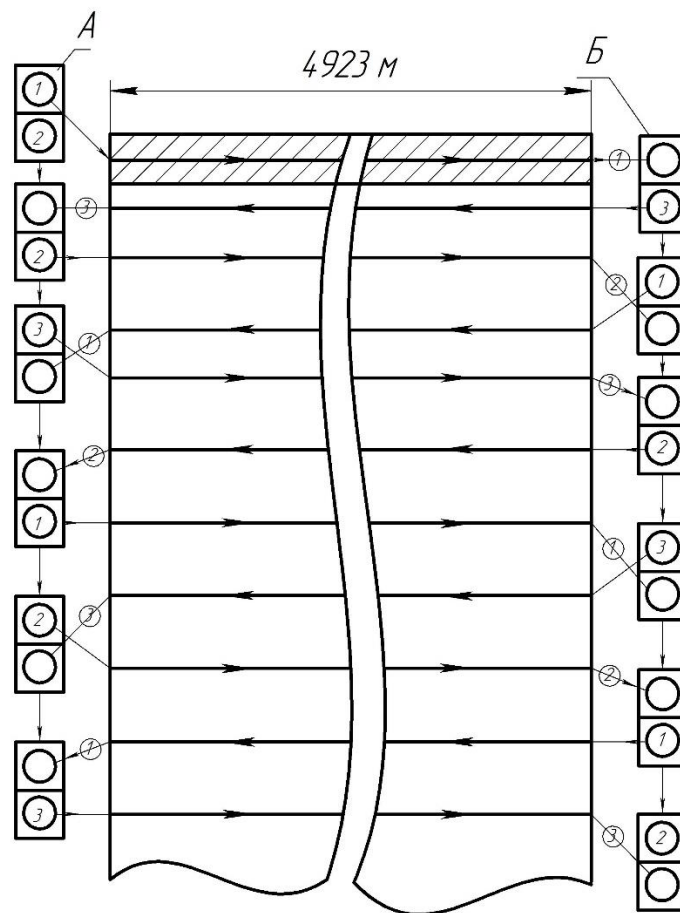


Рисунок 3.7 – Схема роботи дронів на парних станціях з почерговою зарядкою активного дрона

Площа обробки за один рейс:

$$S=L \cdot H=2455 \cdot 6,5=15957,5 \text{ м}^2.$$

Висунутий технологічний комплекс для авіаційної хімічної обробки рослин із застосування дронів-обприскувачів дозволить ефективно виконувати хімічну обробку посівів рослин на різних ділянках.

Недоліками цієї авіаційної системи є обмеженість маневрування та нерегульованість виконання технологічних процесів у різних ґрунтово-кліматичних умовах.

Основним недоліком цього технологічного комплексу авіаційної хімічної обробки рослин з використанням дронів-обприскувачів є надзвичайно складна технологічна схема обробки полів, а також незлагоджена взаємодія між двома або більше дронів-оприскувачів.

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Вимоги до організації робіт із пестицидами. Техніка безпеки при роботі з пестицидами

1. Правильна організація робіт – одна з основних умов запобігання шкідливому впливу пестицидів на організм людини.

2. З пестицидами у великих колективних господарствах працюють на пунктах хімізації постійні бригади, які пройшли медогляд, навчені та проінструктовані з техніки безпеки, й оволодівають способами надання першої допомоги. Керівниками таких бригад (груп) призначають людей, які мають досвід роботи з пестицидами чи пройшли курс спеціальної підготовки.

3. Не допускаються до роботи особи, молодші 18-річного віку, вагітні жінки та матері-годувальниці, особи після хірургічних операцій (упродовж року) та ті, що мають медичні протипоказання. Категорично забороняється допускати до роботи осіб у нетверезому стані.

4. Тривалість робочого дня під час роботи з надзвичайно небезпечними препаратами має не перевищувати 4 годин (з доопрацюванням упродовж 2 годин у нешкідливих умовах), з іншими пестицидами — 6 годин.

5. На період роботи з пестицидами робітників слід забезпечити засобами індивідуального захисту, безкоштовним спецхарчуванням відповідно до медичних вказівок, організувати душ і прання одягу.

6. Слід стежити за дотриманням правил техніки безпеки, виробничої та особистої гігієни.

7. Для харчування і відпочинку відводять спеціально обладнане місце, не менше як за 200 м з навітряного боку від робочого поля, де мають бути бачок з питною водою, рукомийник, мило, рушник, аптечка першої допомоги.

8. Перед початком хімічної обробки посівів повідомляють місцеве населення про місце і строки роботи; на відстані не менше 300 м від меж поля, що оброблятимуть, виставляють єдині застережні знаки; власників бджолосімей попереджають про потребу вжити заходів щодо їх охорони. Знаки знімають по закінченні встановленого терміну. Санітарно-захисна зона за наземної обробки має бути не меншою за 500 м, а за авіаційної – 1000 м.

9. Керівник роботи зобов'язаний стежити за станом і самопочуттям працюючих. За першої ж скарги працюючого слід відсторонити від роботи, надати першу допомогу та кваліфіковану медичну.

4.2 Заходи безпеки під час приготування робочих рідин пестицидів. Техніка безпеки при роботі з пестицидами

1. Приготування робочих рідин – найбільш трудомісткий і небезпечний процес, оскільки при цьому в повітрі робочої зони підвищується концентрація пестицидів, яка перевищує допустиму в 15-20 разів і більше, а за часткової механізації в 6-7 разів.

2. Робочі рідини слід готувати на пунктах хімізації або на спеціально виділених майданчиках із твердим покриттям, яке легко вимити. Майданчик обладнують на відстані не менше 200 м від житлових і тваринницьких приміщень і джерел водопостачання. На ньому розміщують тару з препаратами, місткість з водою і гашеним вапном, ваги, гирі, відтаровані відра тощо.

3. Робочі рідини з високотоксичних препаратів дозволяється готувати лише за допомогою механізованих агрегатів типу АПЖ-12 тощо, що обладнані гідромішалками та забезпечують утворення однорідної гомогенізованої робочої рідини, що поліпшує роботу обприскувача.

4. Місткість, з якої препарат подається в змішувач після наповнення, слід щільно закрити спеціальною кришкою з отвором для всмоктувального шланга.

5. Перед заповненням змішувача потрібно перевірити в ньому фільтри.

6. Усі працюючі на майданчиках для приготування робочих рідин пестицидів мають обов'язково користуватися засобами індивідуального захисту. Готуючи рідини, слід дотримуватися правил особистої безпеки: під час заповнення місткостей стояти з навітряного боку; стежити, щоб краплі та пил не потрапляли на одяг і відкриті частини тіла; якщо рідина випадково попала на тіло, її потрібно негайно видалити ватним тампоном, а потім змити водою з милом.

7. Закінчивши роботу, залишки невикористаних препаратів слід здати на склад, майданчик обробити кашкою хлорного вапна (1 кг/4 л води), земляний майданчик після обробки вапном перекопати. Категорично забороняється залишати пестициди й приготовлені робочі рідини без охорони.

4.3 Заходи безпеки під час виходу людей на поля, оброблені пестицидами

1. Вихід людей на оброблені поля, ділянки дозволяється тільки по закінченні карантинного терміну. Оскільки для більшості сучасних препаратів встановлені терміни проведення механізованих робіт через 3 доби після обробки, а ручних – 7.

2. У разі випадання дощів напередодні, рясної роси та за підвищення температури понад 20°C вихід людей на поля для прополювання та робіт, що не пов'язані з розпушуванням ґрунту, дозволяється в другій половині дня, після 15-ї години.

3. За добу перед проведенням ручних робіт з догляду за посівами просапних культур слід проводити попереднє розпушування міжрядь, щоб прискорити випаровування хімічних сполук.

4. Під час проведення ручних робіт на площах, оброблених пестицидами, працюючі мають стояти обличчям до вітру. За бокового вітру слід розвертатися так, щоб його напрямок був у бік ділянки, на якій уже проведено ручні роботи.

5. Не допускається проведення ручних робіт на слабкопрівітрюваних ділянках (улоговини поблизу лісосмуг тощо) у безвітряну погоду.

6. Не можна проводити ручні роботи на ділянках, що межують із площами, на яких обробляють рослини пестицидами. Зона санітарного розриву за наземного застосування пестицидів має становити не менше 300 м з урахуванням напрямку вітру, за авіаційного — не менше 1000 м.

4.4 Засоби індивідуального захисту під час роботи з пестицидами.

Охорона праці при роботі з пестицидами

1. Працюючі мають бути забезпечені засобами індивідуального захисту та аптечкою першої долікарняної допомоги за рахунок господарства чи підприємства, а в приватному секторі — за власні кошти.

2. Керівництво господарства чи підприємства має забезпечувати збереження, прання, чищення, знезараження і ремонт спецодягу, взуття та інших засобів індивідуального захисту.

3. Застосування індивідуального захисту має відповідати виду робіт

4. Знімати засоби індивідуального захисту треба у такій послідовності: не знімаючи, спочатку очистити засоби захисту рук, гумові рукавички, промити їх у вапняному молоці, потім у чистій воді та ретельно обтрусити, після чого

зняти окуляри та респіратор, чоботи й комбінезон, знову очистити засоби захисту рук і зняти їх.

5. Зберігати засоби індивідуального захисту потрібно в індивідуальних шафах у приміщенні, ізольованому від хімікатів, продуктів, кормів.

4.5 Перша лікарська допомога

1. За будь-якої роботи з пестицидами на місці роботи слід мати аптечку першої долікарської допомоги

2. За перших ознак отруєння – запаморочення, нудота, головний біль – потерпілому слід негайно надати першу допомогу, не очікуючи медичного працівника. Насамперед, слід вивести потерпілого на свіже повітря, потім зняти з нього спецодяг, захистивши свої руки гумовими рукавичками.

3. Якщо препарат попав в організм через шлунково-кишковий тракт, потерпілого треба напоїти водою, краще теплою, або слабо-рожевим розчином марганцевокислого калію, розчином гірчиці (1 чи 0,5 чайної ложки на склянку води) і штучно викликати блювоту; якщо у нього запаморочення, викликати блювоту не можна. Після блювоти слід випити 0,5 склянки води з 2-3 столовими ложками активованого вугілля чи 2-3 яєчних білки на 1 л води, суспензію крохмалю з водою, потім, після видалення отруйної речовини із шлунку, сольовий проносний засіб (20 г гіркої солі на півсклянки води). У разі потрапляння в шлунок рідкого аміаку потрібно провести промивання 1-2 % розчином оцтової кислоти.

4. Якщо отруєння токсикантами сталося через дихальні шляхи (кашель, задуха, синюшність), треба зробити теплі інгаляції 2 % розчином питної соди (за отруєння аміаком — 1-2 % розчином оцтової чи лимонної кислоти). В разі сильного кашлю і спазмів у горлі слід прийняти 1 пігулку від кашлю, що

містить кадеїн фосфату, шию обв'язати чимось теплим. Якщо сталося порушення або зупинилося дихання, треба зробити штучне дихання, у разі задухи забезпечити вдихання кисню з кисневої подушки, допоки не зменшаться посиніння і задуха.

5. У разі потрапляння препаратів в очі їх слід ретельно промити водою, чи 2 % розчином питної соди, або борної кислоти, за ураження очей аміаком – 0,5 % розчином квасців, за різкого болю закапати 1-2 краплі 30 % розчину альбуциду.

6. Якщо пестицид потрапив на шкіру, його слід негайно змити водою або, не розмазуючи, зняти ватою, марлею, а потім обмити водою з милом. За ураження шкіри аміаком – обмити обпечені ділянки водою, накласти примочки із 5 % розчину оцтової або лимонної кислоти.

7. У разі запаморочення потерпілому слід дати понюхати вату, змочену нашатирним спиртом, можна розтирати шкіру в ділянці скронь, у разі зупинки дихання — зробити штучне. За хриплого дихання штучне робити не можна. За послаблення серцевої діяльності треба зробити масаж серця через грудну клітку. Якщо з'являються судоми, хворого потрібно вивести на чисте повітря.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даній роботі проаналізовано процес удосконалення хімічного захисту сільськогосподарських культур за допомогою агродронів, який відкриває нові можливості для підвищення ефективності та екологічної безпеки процесів обробки полів. Дослідження та практичні випробування підтверджують наступні особливості застосування агродронів: агродрони оснащені передовими системами навігації та точного розпилення, що дозволяє проводити обробку полів з великою точністю та цілеспрямованістю. Що дозволяє мінімізувати втрати ресурсів та забезпечує оптимальне використання хімічних препаратів.

Використання агродронів дозволяє здійснювати обробку полів більш точно та ефективно, що сприяє зменшенню ризику забруднення ґрунтів, водою та повітря токсичними речовинами.

1. На підставі результатів дослідження пропонуємо експлуатацію ультразвукових форсунок для вдосконалення системи обприскування агродрона, яка забезпечує більш рівномірне покриття, падіння, та витрати рідини з підвищенням ефективності внесення агрохімікатів. Завдяки цьому вдосконаленню агродрон, може досягти вищої ефективності та стати економічно вигідним «інструментом» для сільського господарства.

2. Розрахована довжина шляху (польоту), що пролітає дрон між двома послідовними заправками.

3. Розроблено мобільний технологічний пристрій для наземного сервісу із процесом зарядки та поповнення місткості з хімічною рідиною, а також розроблено схеми руху агродронів.

4. Розглянуті методи використання агродронів для хімічного захисту сільськогосподарських культур. Запропонований мобільний технологічний пристрій для наземного обслуговування дронів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ачасов А. Б., Ачасова А. О., Тітенко Г. В., Селіверстов О. Ю., Сєдов А. О. Щодо використання БПЛА для оцінки стану посівів // Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна. сер. Екологія. 2015. вип. 13. С. 13-18.
2. Білінська В. Сучасні інноваційні технології в сільському господарстві: основна характеристика та перспективи впровадження. Вісник Київського національного університету ім. Т. Шевченка. 2015. № 7 (172). С. 74-80.
3. Богачевська К. Теоретичні підходи до визначення поняття «диверсифікація підприємства» як економічної категорії. Вісник Криворізького національного університету. 2012. № 33. С. 261-263.
4. Бокань А. А. Диверсифікація підприємства: передумови види та форми. Вісник економічної науки України. 2010. № 2 (18). С. 21-24.
5. Горобець Н. М. Напрямки діджіталізації аграрного виробництва. Economy, finance, law: current problems and development prospects: collective monograph. Anisiia Tomanek OSVČ. Prague Czech Republic. 2020. p. 5-15.
6. Денисенко М. П., Новіков Д. В. Сучасний стан та перспективи розвитку сільського господарства України. Агросвіт. 2019. № 12. С. 15-21.
7. Довбиш А. С. Інформаційно-надлишковий алгоритм машинного навчання для системи розпізнавання транспортних засобів / А. С. Довбиш, Ю. В. Сімоновський, О. В. Коробченко, М. А. Летюга // Вісник НТУ "ХПІ", 2019. - № 45 (1217). Р. 17-22.
8. Довбиш А. С., Будник М. М., П'ятаченко В. Ю., Мироненко М. І. Інформаційне екстремальне машинне навчання бортових систем розпізнавання транспортних засобів. кібернетика та системний аналіз, 2020, С. 56
9. Запірченко Л. Економічна доцільність використання бпла в агровиробництві. Матеріали X Міжнародної науковопрактичної конференції, Кропивницький: ЦНТУ, 2022. 312 с.

10. Захист і карантин рослин : міжвідомч. темат. наук. зб. / Засновник Нац. акад. аграр. наук України. Ін-т захисту рослин. Київ : Ін-т захисту рослин НААН, 2019. Вип. 65. 240 с.

11. Захист рослин. Терміни і поняття : навч. посіб. / Ж. П. Шевченко, І. І. Мостов'як, І. В. Крикунов, С. М. Мостов'як, О. Г. Сухомуд ; Уман. нац. ун-т садівництва ; за заг. ред. Ж. П. Шевченко, І. І. Мостов'як. Умань : Сочінський М. М., 2019. 408 с.

12. Зінченко Д.М., Салімі Хаджі М. Фарід, Яригін В.М. Аеродинамічний розрахунок спеціального сільськогосподарського літака // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. С. 37-40.

13. Канченко В.А., Мариношенко О.П., Карнаушенко Р.В., Чепур М.Л. Малий безпілотний літальний апарат ентомологічної доставки ліків // Інформаційні системи, механіка та керування. 2022. С. 88-95.

14. Кашкаров А., Діордієв В., Сабо А., Новіков Г. Напівавтономні дрони для сільського господарства на тракторній базі. *acta technologica agriculturae*. 2019. № 4. с. 152-155.

15. Клочан В.В. Система інформаційно-консультаційного забезпечення аграрної сфери. Миколаїв : МДАУ, 2012. 371 с.

16. Коваль І. В. Агроконсалтинг як інструмент підвищення ефективності аграрного сектора та розвитку сільських територій Західного регіону України. Соц.-ек.проблеми сучас.періоду України. 2013. Вип. 6 (104). С. 281-291.

17. Кубай О.Г., Коломієць Х.М. Аграрне виробництво в системі забезпечення продовольчої безпеки держави. Проблеми системного підходу в економіці. 2017. Вип. 5 (61). с. 63-69.

18. Куценко Ю.М., Яковлєв В.Ф., Смуригін В.М., Ковальов О.В., Вужицький А.В. Електричні машини та апарати: підручник: Аграрна освіта, 2020. 449 с.

19. Лобас М.Г. Цифровізація агросфери в сучасних економічних умовах. Київ : ННЦ ІАЕ, 2019. 598 с.

20. Мазур С.О., Чабанюк Я.В., Шерстобоева О.В., Дем'янюк О.С., Бровко І.С., Кордунян О.О., Грузінський С.Ю., Шацман Д.О. Оптимізація мікробного біорізноманіття ґрунтів агроєкосистем: Методичні рекомендації. К., 2018. 58 с.

21. Мазур С.О., Чабанюк Я.В., Шерстобоева О.В., Дем'янюк О.С., Бровко І.С., Кордунян О.О., Грузінський С.Ю., Гуменюк І.І., Подгурська І.О., Мазур М.В., Бойко К.І., Шацман Д.О. Новітні ресурсощадні технології і техніки в сільському господарстві для збереження та покращення родючості ґрунтів: Методичні рекомендації. К., 2018. 85 с.

22. Мілоненко В., Маранда С., Карнаушенко Р. Безпілотний літальний апарат "А-1" для біологічного захисту рослин шляхом одночасного моніторингу стану полів // Техніка і технології АПК. 2021. № 8 (35). С. 11-14.
Гевко Р.Б., Хомик Н.І., Жаровський О.С., Довбуш Т.А Деталі машин та основи автоматизованого конструювання: навчальний посібник до лабораторних робіт Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2021. 256 с.

23. Гогіташвілі Г.Г., Лапін В.М. Основи охорони праці. Львів: Новий світ, 2000. 230 с

24. Довбуш А.Д. Прикладна механіка і основи конструювання: навчально-методичний посібник до розрахунково-графічної роботи / А.Д. Довбуш, Н.І. Хомик, Т.А. Довбуш, Н.А. Рубінець. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2015. 116.

25. Довбуш Т.А. Методи проектування сільськогосподарських машин: навчально-методичний посібник до курсового проектування /Т.А. Довбуш, Н.І. Хомик, А.Д Довбуш. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. 72 с.

26. Довбуш Т.А. Опір матеріалів: навчальний посібник до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи / Т.А.Довбуш, Н.І.Хомик, А.В. Бабій, Г.Б.Цьонь, А.Д.Довбуш. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А.,2022. 220с

27. Лапін В.М. Безпека життєдіяльності людини. Львів: ЛБК НБУ; Київ: Знання, 2000. 188 с.
28. Хомик Н.І. Вступ до фаху: навчальний посібник для студентів спеціальності 208 «Агроінженерія» / Н.І. Хомик, Г.Б. Цьонь, Т.А. Довбуш, І.Й. Блозва, А.Д. Довбуш. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 348 с.
29. Хомик Н.І. Деталі машин. Курс лекцій для студентів заочної форми навчання. / Н.І. Хомик, А.Д. Довбуш, О.П. Цьонь. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. 160 с.
30. Andreikiv, O.E., Babii, A.V., Dolinska, I.Y. *et al.* Determination of the Residual Life of the Spraying Boom of a Field Sprinkler in the Maneuvering Loading Mode. *Mater Sci* 56, 112–118 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11003-020-00404-2>
31. Babii A., Dovbush T., Khomuk N., Dovbush A., Tson A., Oleksyuk V. Mathematical model of a loaded supporting frame of a solid fertilizers distributor *Procedia Structural Integrity*, 2022. No 36, 203-210. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.025>
32. Dovbush Taras, Khomyk Nadia, Dovbush Anatolii, Dunets Bogdan. Evaluation technique of frame residual operational life. *Scientific Journal of the Ternopil national technical university*. Tern.: TNTU, 2019. Vol. 93. No. 1. P. 61-69.
33. Dovbush Taras, Khomyk Nadia, Tson Hanna, Dovbush Anatolii, Improvement of prt-9 constructive system on the basis of frame elements strength balance. *Scientific Journal of the Ternopil national technical university*. Tern.: TNTU, 2020. Vol. 100. No. 4. P. 40-45.
34. Dovbush Taras, Khomyk Nadia, Dovbush Anatolii, Palyukh A. Estimation of the load capacity and the strain-stress state of rod transporters. *Scientific Journal of the Ternopil national technical university*. Tern.: TNTU, 2022. Vol 108. No 4. P. 5-15.
35. Hevko R.B., Tkachenko I.G., Khomyk N.I., Gumeniuk Y.P., Flonts I.V., Gumeniuk O.O. Determination of technical-and-economic indices of root crop

conveyer-separator during their motion on curved path. *INMATEH - Agricultural Engineerin*, 2020. Vol. 61. Is. 2. P. 175-182.

36. Хомик Н.І., Довбуш А.Д. Технічна механіка: навчально-методичний посібник до курсової роботи для студентів напряму підготовки «Електротехніка та електротехнології» денної та заочної форм навчання Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пулюя, 2013. 192 с.

37. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» / Олексюк В.П., Сташків М.Я. Тернопіль: ТНТУ ім. І Пулюя, 2022. 48 с.

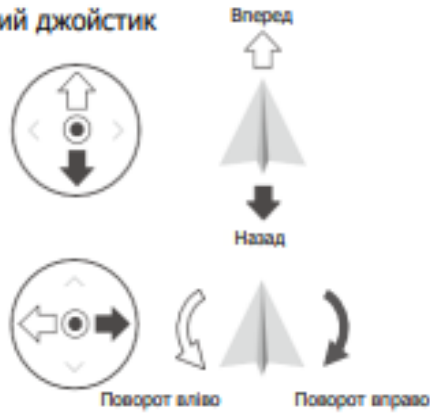
ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

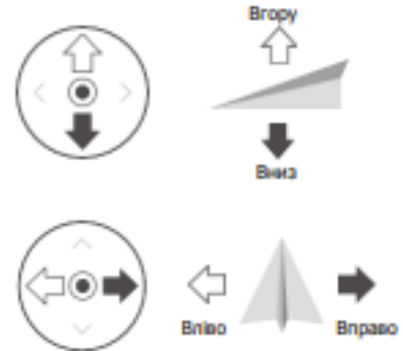
Керування дроном

Джойстики контролюють орієнтацію дрона (поворот), рух вперед/ назад (нахил), висоту (тягу), а також рух вліво/ вправо (крен). Режим джойстиків визначає функцію, виконувану при кожному русі джойстика.

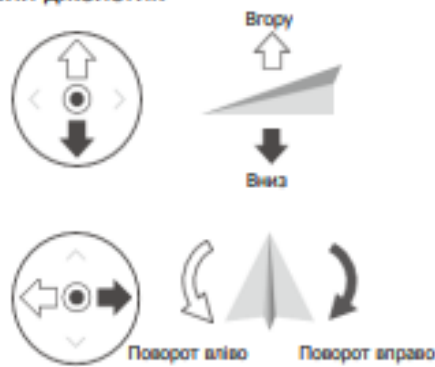
Режим 1 Лівий джойстик



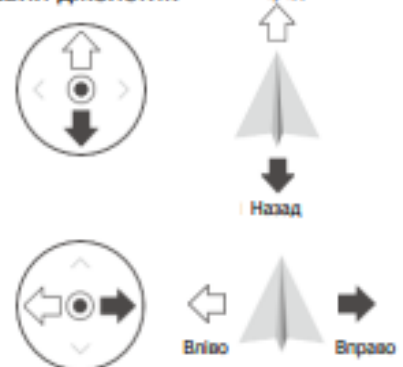
Правий джойстик



Режим 2 Лівий джойстик



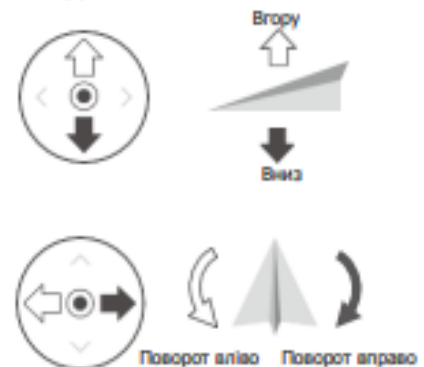
Правий джойстик



Режим 3 Лівий джойстик



Правий джойстик



Продовження таблиці

Пульт керування (Режим 2)	Дрон (← вказує напрямок носа дрона)	Примітки
		Джойстик ходу: переміщення лівого джойстика вгору або вниз змінює висоту дрона. Пересуньте джойстик вгору для набору висоти або вниз для зниження. Чим більше відхилення джойстика від центрального положення, тим швидше дрон буде змінювати висоту. Переміщайте цей джойстик плавно, щоб запобігти раптову зміну висоти.
		Джойстик повороту: пересування лівого джойстика вліво і вправо дозволяє керувати орієнтацією дрона. При переміщенні джойстика вліво дрон буде повертатися проти годинникової стрілки, при переміщенні джойстика вправо дрон буде повертатися за годинниковою стрілкою. Чим більше відхилення джойстика від центрального положення, тим швидше буде обертання дрона.
		Джойстик нахилу: переміщення правого джойстика вгору і вниз змінює нахил дрона. Натисніть джойстик угору, щоб направити дрон вперед, або вниз - щоб дрон почав рух назад. Чим більше відхилення джойстика від центрального положення, тим швидше дрон буде переміщуватися.
		Джойстик керування креном: переміщення правого джойстика вліво або вправо змінює крен дрона. При переміщенні джойстика вліво дрон летить вліво, а при переміщенні вправо - вправо. Чим більше відхилення джойстика від центрального положення, тим швидше дрон буде переміщуватися.