

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: «Підвищення продуктивності агродронових систем
обприскування з розробкою технологічних схем їх застосування»

Виконав: студент _____ 4 _____ курсу, групи МГ-41
спеціальності _____ 208 Агроінженерія _____

(шифр і назва спеціальності)

_____ Купчак О.З.
(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 _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

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 Купчаку Олегу Зіновійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення продуктивності агродронових систем обприскування з розробкою технологічних схем їх застосування

Керівник роботи Мартинюк Вікторія Валентинівна, PhD.

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

Затверджені наказом ректора від « 22 » січня 2026 року № 4/9-56

2. Термін подання студентом завершеної роботи 11 червня 2026 року

3. Вихідні дані агродронові системи обприскування сільськогосподарських до роботи культур .Показники продуктивності агродронових систем обприскування та параметри технологічних схем їх застосування

4. Зміст роботи. Реферат. Вступ. 1. Аналіз технологій та схем обприскування сільськогосподарських угідь агродронами. 2 Рекомендації до вдосконалення технологічного комплексу обслуговування агродронів. 3. Обґрунтування запропонованих технологічних схем експлуатації агродронів.4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Загальні висновки.

5. Перелік графічного матеріалу 1. Мета, предмет, об'єкт, завдання.

2. Актуальність теми роботи. 3 Технологічні схеми обробітку агрокультур агродронами

4. Варіанти технологічних схем роботи агродрона. 5. Схеми обприскування та

розміщення форсунок. 6. Порівняльна оцінка технологічних схем обприскування

агродронами.7-8. Схеми керування роботою агродрона в особливих умовах.

9. Технологічні комплекси та схематизація роботи агродронів. 10-15 Технологічні схеми

обробітку полів агродронами. 16. Практичне значення отриманих результатів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.	Лазарюк В.В, доцент		

7. Дата видачі завдання

28 січня 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін етапів виконання роботи	Примітка
1	Аналіз технологій та схем обприскування сільськогосподарських угідь агродронами	до 20.02.2026	
2	Рекомендації до вдосконалення технологічного комплексу обслуговування агродронів	до 31.03.2026	
3	Обґрунтування запропонованих технологічних схем експлуатації агродронів	до 08.04.2026	
4	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	до 30.04.2026	
5	Реферат. Вступ. Загальні висновки	до 12.05.2026	
6	Ілюстративний матеріал	до 10.06.2026	

Студент

_____ (підпис)

Купчак О.З.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Мартинюк В. В.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Автор роботи – Купчак Олег Зіновійович

Тема роботи – «Підвищення продуктивності агродронових систем обприскування з розробкою технологічних схем їх застосування». Робота виконана на кафедрі технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Керівник роботи – Мартинюк Вікторія Валентинівна, доктор філософії, старший викладач кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, переліку посилань (25 найменувань). Загальний обсяг текстової частини – 66 сторінок на яких є 23 рисунки.

Актуальність теми роботи. В умовах інтенсифікації сільськогосподарського виробництва та впровадження технологій точного землеробства особливої актуальності набуває підвищення ефективності виконання технологічних операцій, зокрема хімічного захисту рослин.

Обприскування посівів є однією з ключових операцій у рослинництві, що суттєво впливає на врожайність і якість продукції, а також на екологічну безпеку агровиробництва.

Застосування традиційних наземних обприскувачів часто обмежується станом ґрунту, рельєфом поля та фазами розвитку сільськогосподарських культур, що призводить до ущільнення ґрунту, пошкодження рослин і зниження загальної ефективності робіт. Агродронові системи обприскування дозволяють виконувати обробку посівів без контакту з ґрунтом, забезпечують високу маневровість, точність внесення препаратів і можливість роботи на полях складної конфігурації.

Разом із тим продуктивність агродронових систем значною мірою залежить від обґрунтованого вибору технологічних схем обприскування,

режимів польоту та організації робочого процесу. Тому дослідження продуктивності агродронових систем обприскування та визначення раціональних технологічних схем їх застосування є актуальним завданням, спрямованим на підвищення ефективності захисту рослин, зниження витрат ресурсів і розширення практичного використання агродронів у сільському господарстві.

Мета роботи: дослідження продуктивності агродронових систем обприскування та обґрунтування раціональних технологічних схем їх застосування з метою підвищення ефективності хімічного захисту сільськогосподарських культур.

Завдання:

1. Проаналізувати сучасний стан розвитку агродронових систем обприскування та існуючі технологічні підходи.
2. Визначити основні фактори, що впливають на продуктивність агродронів.
3. Провести розрахунок продуктивності та оцінити ефективність різних технологічних схем обприскування.
4. Розробити практичні рекомендації щодо оптимальної організації робочого процесу з використанням агродронових систем.

Об'єкт дослідження: агродронові системи обприскування сільськогосподарських культур.

Предмет дослідження: показники продуктивності агродронових систем обприскування та параметри технологічних схем їх застосування.

Методи дослідження: у роботі використано методи аналізу та узагальнення науково-технічної літератури і нормативних документів. Застосовано розрахункові методи для визначення теоретичної та експлуатаційної продуктивності агродронових систем обприскування. Аналітичними методами оцінено вплив основних технологічних параметрів на

ефективність обприскування. Порівняльний аналіз використано для обґрунтування раціональних технологічних схем.

Практичне значення отриманих результатів. Результати роботи дозволяють підвищити ефективність застосування агродронів, оптимізувати технологічні схеми обприскування, зменшити витрати робочої рідини та ресурсів, а також впровадити сучасні методи точного землеробства для підвищення продуктивності та екологічної безпеки виробництва.

Ключові слова: агродрон, обприскування, продуктивність, технологічна схема, захист рослин, ефективність, сільськогосподарські культури.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СХЕМ ОБПРИСКУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ АГРОДРОНАМИ	10
1.1 Огляд польових обприскувачів сільськогосподарських угідь	10
1.2 Класифікація технологічних схем обприскування агродронами	12
1.3 Базова технологічна схема обприскування агродроном	14
1.4 Варіанти технологічних схем роботи агродрона	17
1.5 Схеми керування нормою виліву	22
1.6 Схеми обприскування з урахуванням особливих умов	23
1.7 Інтеграція агродронів у комплексні технологічні схеми точного землеробства	27
1.8 Критерії вибору оптимальної технологічної схеми.....	30
2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ОБСЛУГОВУВАННЯ АГРОДРОНІВ	32
2.1 Організація сервісного обслуговування агродронів із використанням мобільних станцій	32
2.2 Покрокова схематизація роботи агродрона.....	37
3 ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АГРОДРОНІВ	41
3.1 Опис запропонованих технологічних схем роботи агродронів	41
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	54
4.1. Вимоги до організації робіт із пестицидами	54
4.2. Заходи безпеки під час приготування робочих рідин пестицидів	55
4.3. Заходи безпеки під час виходу людей на оброблені поля	56
4.4. Засоби індивідуального захисту під час роботи з пестицидами.	58
4.5 Перша лікарська допомога	60
ВИСНОВКИ	63
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	64
ДОДАТКИ	67

ВСТУП

Сільське господарство сучасної України та світу перебуває в умовах постійного зростання вимог до продуктивності, ефективності використання ресурсів і якості отримуваної продукції. Одним із ключових факторів підвищення врожайності є своєчасний і якісний захист сільськогосподарських культур від бур'янів, шкідників та хвороб. Традиційні способи внесення засобів захисту рослин, такі як наземні обприскувачі та ручні методи, мають низку обмежень. Вони спричиняють ущільнення ґрунту, пошкодження рослин, мають обмежену продуктивність та ефективність на полях складної конфігурації. Це підвищує витрати робочої рідини та енергії, а також може негативно впливати на екологічний стан агровиробництва.

В умовах інтенсифікації сільського господарства та впровадження технологій точного землеробства перспективним рішенням є використання агродронових систем обприскування. Агродрони забезпечують високу маневреність, точність внесення препаратів, можливість роботи на полях зі складним рельєфом і навіть у важкодоступних місцях, знижуючи ризик механічного пошкодження культур і ущільнення ґрунту. Водночас ефективність їх застосування значною мірою залежить від продуктивності системи та правильно обраних технологічних схем обприскування, включно з висотою польоту, швидкістю руху, шириною захвату та нормою внесення робочої рідини. Недостатнє обґрунтування цих параметрів може призводити до неефективного використання агродронів та обмежувати їх практичне впровадження.

Актуальність теми зумовлена сучасними викликами аграрного виробництва: необхідністю підвищення продуктивності технологічних операцій, оптимізації ресурсів, зменшення негативного впливу на довкілля та впровадження елементів точного землеробства. Вивчення продуктивності агродронових систем обприскування та обґрунтування раціональних

технологічних схем дозволяє створити науково обґрунтовані рекомендації для їх ефективного використання у виробничих умовах.

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості їх впровадження у виробничі процеси для підвищення ефективності агродронових обприскувань, економії робочої рідини та ресурсів, зниження витрат часу та енергії, а також для покращення екологічної безпеки агровиробництва.

Таким чином, дослідження продуктивності агродронових систем обприскування та розробка раціональних технологічних схем є актуальним науково-практичним завданням, спрямованим на підвищення ефективності захисту рослин і впровадження сучасних технологій точного землеробства.

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СХЕМ ОБПРИСКУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ АГРОДРОНАМИ

1.1 Огляд польових обприскувачів сільськогосподарських угідь

Широке впровадження безпілотних літальних апаратів у технології захисту рослин є одним із ключових трендів сучасного точного землеробства. Агродрони дозволяють виконувати обробку дрібноконтурних полів, зволжених ділянок, терасованих схилів, садів і виноградників, де застосування наземних штангових обприскувачів є утрудненим або економічно недоцільним [5;15]. На відміну від класичної авіації (літаки, вертольоти), агродрони працюють на малих висотах, з малою шириною захвату, але з високою точністю позиціонування та можливістю локального внесення препаратів, див. рис. 1.1.

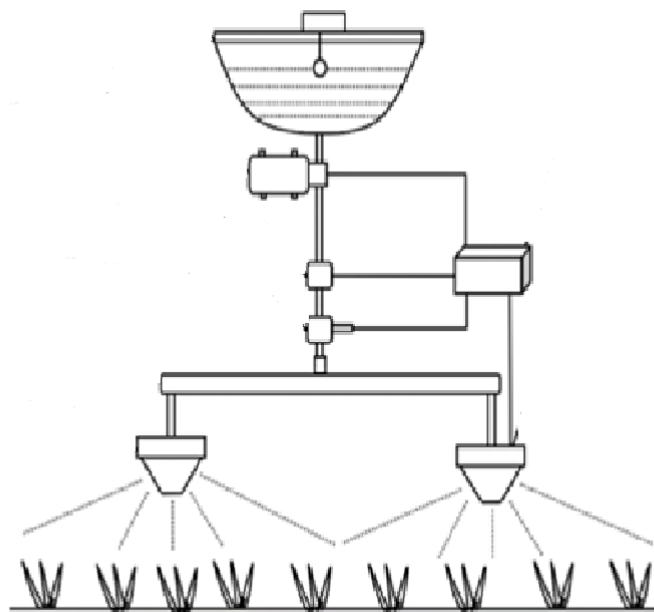


Рисунок 1.1 – Схематизація роботи агродрона

Якість процесу обприскування агродронами визначається не лише конструкцією апарата, а й обраною технологічною схемою: типом маршруту польоту, схемою перекриття смуг, конфігурацією розпилювачів, способом формування факела розпилення, алгоритмами керування, нормою виливу та взаємодією з іншими елементами систем точного землеробства. Від цих схем залежать рівномірність покриття, ступінь знесення крапель (дрифту), втрати робочого розчину, екологічне навантаження на агроєкосистему та економічні показники застосування агродронів [1;6].

В сільському господарстві використовують наземне, авіаційне та агродронове обприскування.

Наземні штангові обприскувачі характеризуються високою продуктивністю на великих масивах, проте мають суттєві обмеження:

- залежність від несучої здатності ґрунту;
- ущільнення ґрунту під колесами;
- складність обробки дрібноконтурних та пересічених полів;
- ризик пошкодження рослин колісними ходами.

Авіаційні обприскувачі (літаки, вертольоти) мають дуже велику ширину захвату, але:

- потребують значної інфраструктури;
- мають високі вимоги до безпеки;
- дають підвищений дрейф крапель через висоту польоту та швидкість.

Агродрони займають проміжне положення між наземною та традиційною авіаційною технікою для внесення засобів захисту рослин і добрив. Їх основними перевагами є висока маневровість, можливість роботи на малій висоті (1-5 м), точне позиціонування завдяки GNSS/RTK, забезпечення диференційованого внесення препаратів, а також мінімальне ущільнення ґрунту. Водночас використання агродронів має і певні обмеження, зокрема невелику ємність бака, залежність від ресурсу акумуляторів та необхідність

чіткої організації логістики заправки й заряджання під час польових робіт [3;13].

У табл. 1.1 наведена узагальнена класифікація типових агродронів за технологічними параметрами.

Таблиця 1.1 – Орієнтовна класифікація агродронів за ємністю бака та шириною захвату

Клас агродрона	Ємність бака, л	Ширина захвату, м	Орієнтовна продуктивність, га/год	Типові сфери застосування
Надмалий	5–10	2–4	1–3	Дослідні ділянки, демонстраційні посіви
Малий	10–20	3–5	3–8	Овочі, ягідники, теплиці (відкриті)
Середній	20–40	4–7	5–15	Польові культури на дрібних масивах
Великої вантажопід.	40–80	6–10	10–30	Середні та великі поля, сади, виноград

1.2. Класифікація технологічних схем обприскування агродронами

Сучасні технології обприскування сільськогосподарських культур активно розвиваються завдяки впровадженню безпілотних літальних апаратів. Агродрони дозволяють підвищити точність внесення засобів захисту рослин, зменшити витрати ресурсів та мінімізувати вплив на довкілля. У зв'язку з цим особливого значення набуває вибір та обґрунтування технологічних схем їх застосування, які визначають ефективність виконання робіт у різних умовах [5;11].

За типом маршруту польоту розрізняють:

- лінійно-шахматна (шатлова) схема: дрон рухається по прямим лініям, чергуючи напрямки в шаховому порядку для покриття всієї оброблюваної території.

- контурне обприскування (обліт периметра): польоти здійснюються по периметру поля, що дозволяє обробляти крайові зони.

- секторна схема (віялоподібні проходи): дрон рухається по віялоподібних проходах, забезпечуючи покриття широкої ділянки з рівномірним розподілом препаратів.

- радіально-кільцева схема: обприскування здійснюється радіально навколо певної точки, з поступовим збільшенням радіусу.

- локальне точкове та плямисте обприскування: використовується для точкової обробки окремих ділянок поля, що потребують спеціального догляду [5].

За способом формування факела розпилення:

- класичні штангові системи під дроном: застосовуються для формування факела, що розпоршує обприскувану рідину по всій ширині штанги.

- мульти-роторні системи з індивідуальними форсунками на кожному роторі: кожен ротор оснащений окремою форсункою, що дозволяє точніше регулювати процес розпилення[2;3;17].

- комбіновані схеми (штанга + бокові форсунки): поєднується обприскування через штангу та бокові форсунки для більш рівномірного покриття.

- ультрамалооб'ємне обприскування: застосовуються спеціальні форсунки для створення дрібнодисперсного туману з мінімальним використанням рідин.

За способом керування нормою виливу:

- постійна норма виливу: витрата препарату постійна і коригується тільки відповідно до швидкості польоту.

- секційне керування: можливість вмикати або вимикати групи форсунок залежно від необхідності обробки певних ділянок.

- індивідуальне керування форсунками: кожна форсунка може управлятися окремо для точного розпилення в різних точках поля.

- VRA (Variable Rate Application): використання карт-завдань для зміни норми внесення препаратів відповідно до зональних характеристик поля.

За ступенем інтеграції у системи точного землеробства:

- автономні схеми без обміну даними: дрон працює автономно, без взаємодії з іншими системами або картами [15;17].

- робота за картами-завданнями: дрон отримує картографічні дані та виконує обробку згідно з завданнями на карті.

- замкнені контури «сенсор–карта–дрон»: система працює за принципом зворотного зв'язку між сенсорами, картами та дроном, що дозволяє забезпечити високоточне внесення препаратів на основі реальних даних.

Ці класифікації дозволяють оптимізувати процес обприскування, зменшити витрати та забезпечити максимальну ефективність обробки сільськогосподарських угідь.

1.3. Базова технологічна схема обприскування агродроном

Ефективне та безпечне застосування агродронів у сільському господарстві потребує чітко регламентованої послідовності підготовчих і виконавчих операцій (рис. 1.2).

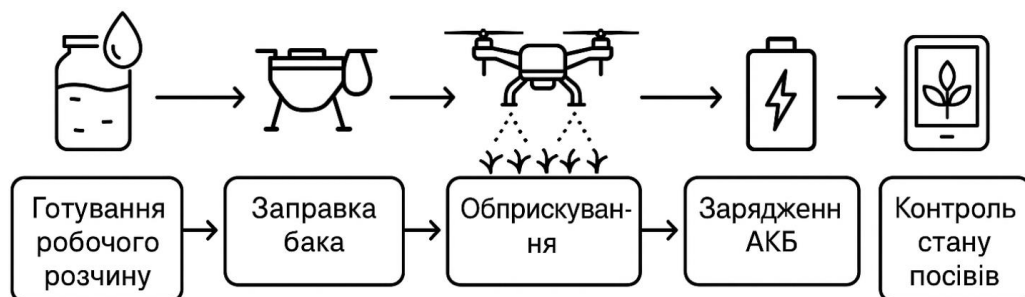


Рисунок 1.2 – Узагальнена технологічна схема процесу обприскування агродроном

Якість внесення засобів захисту рослин або рідких добрив значною мірою залежить не лише від льотно-технічних характеристик безпілотного літального апарата, а й від правильності приготування робочого розчину, підготовки обладнання та коректного формування польотного завдання. Процес роботи агродрона включає низку взаємопов'язаних етапів – від підготовки робочого розчину та заправки бака до контролю його якості, налаштування систем навігації та автоматизованого виконання польоту за заданими параметрами [25].

1. Підготовка робочого розчину у стаціонарній або мобільній змішувальній ємності:

- дозування препарату;
- заповнення водою відповідної якості;
- механічне чи гідравлічне перемішування;
- фільтрація (груба та тонка).

2. Заправка бака агродрона:

- використання швидкознімних баків або систем швидкого перекачування;

- контроль рівня заповнення (датчики рівня, масові датчики).

3. Підготовка дрона до вильоту:

- перевірка акумуляторів;
- завантаження польотного завдання;
- калібрування систем позиціонування (GNSS/RTK, INS).

4. Контроль якості робочого розчину:

- перевірка рН, електропровідності;
- перевірка відсутності агломерації частинок у суспензіях.

Формування та виконання польотного завдання польотне завдання формується в спеціальному програмному забезпеченні й містить (рис 1.3):

- контур поля;
- заборонені зони (лінії електропередач, будівлі, лісосмуги);

- висоту польоту (зазвичай 2-4 м над кроном рослин);
- швидкість польоту;
- ширину захвату (з урахуванням зони перекриття факелів);
- норму виливу та її змінність по ділянці.

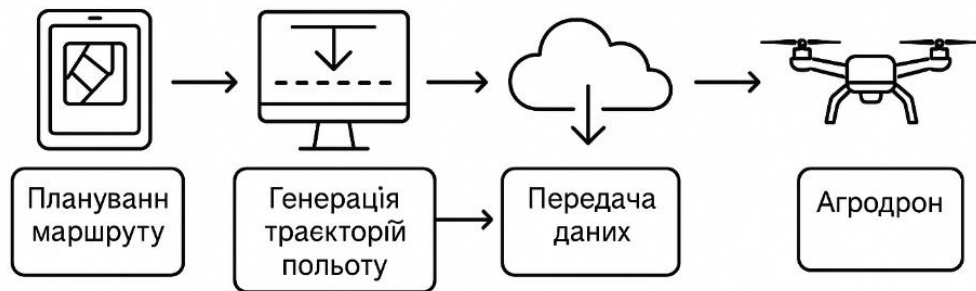


Рисунок 1.3 – Схема формування та завантаження польотного завдання агродрона

Система автопілота забезпечує:

- автоматичний зліт та набір робочої висоти;
- виконання маршруту за заданими треками;
- адаптацію витрати робочого розчину до зміни швидкості;
- автоматичне повернення на базу при досягненні порогу низького заряду або вичерпанні бака [17].

Процеси розпилення та осадження робочої рідини. Факел розпилення формують форсунки, закріплені на штанзі або на балці під рамою дрона (рис 1.4).

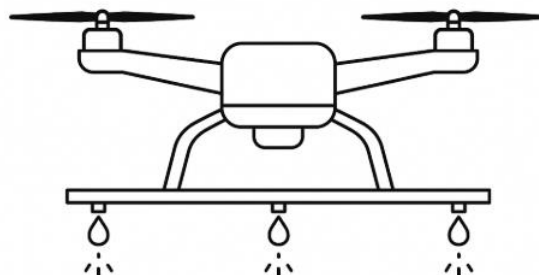


Рисунок 1.4 – Конструктивна схема розпилювальної системи агродрона з штангою та форсунками

Норма виливу забезпечується поєднанням: тиску в системі подачі; розміру вставок форсунок; ширини факела; швидкості руху агродрона.

1.4. Варіанти технологічних схем роботи агродрона

Лінійно-шахматна (шатована) схема покриття. Найпоширеніша схема для прямокутних і близьких до прямокутних полів (рис. 1.5). Маршрут складається із паралельних проходів:

- дрон виконує прямий прохід з включеним обприскуванням;
- при досягненні краю поля – розворот (зазвичай S-подібний або «петльовий»);
- наступний прохід – у протилежному напрямку.

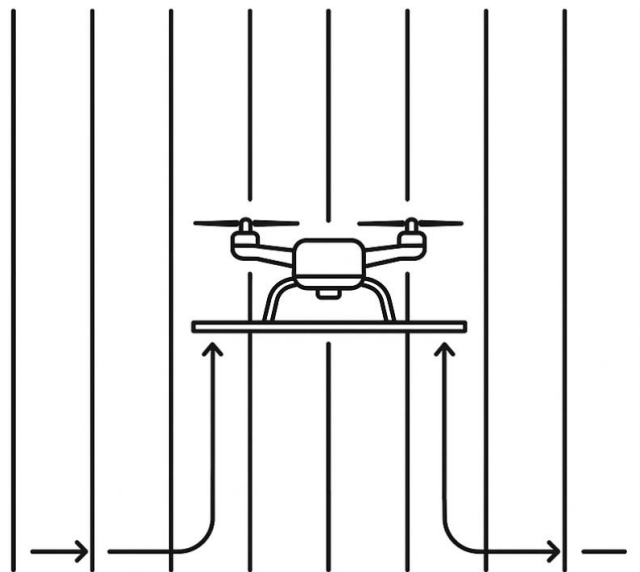


Рисунок 1.5 – Лінійно-шахматна (шатована) схема покриття поля агродроном.

Переваги цієї технології обприскування включають простоту планування, високу продуктивність і зручність використання для великих полів. Вона

дозволяє ефективно покривати великі площі, що є особливо важливим для великих агрогосподарств [13].

Однак є й недоліки, зокрема зниження ефективності при обробці полів зі складними контурами, де важко оптимально прокласти маршрут. Також збільшується кількість розворотів у вузьких місцях, що може призвести до втрат часу та зниження продуктивності на цих ділянках [22].

Контурне обприскування полів складної конфігурації. Для полів із криволінійними межами застосовують контурну схему (рис. 1.6). Дрон здійснює обліт периметра з внутрішнім зміщенням, формуючи «кільця», які поступово заповнюють площу поля.

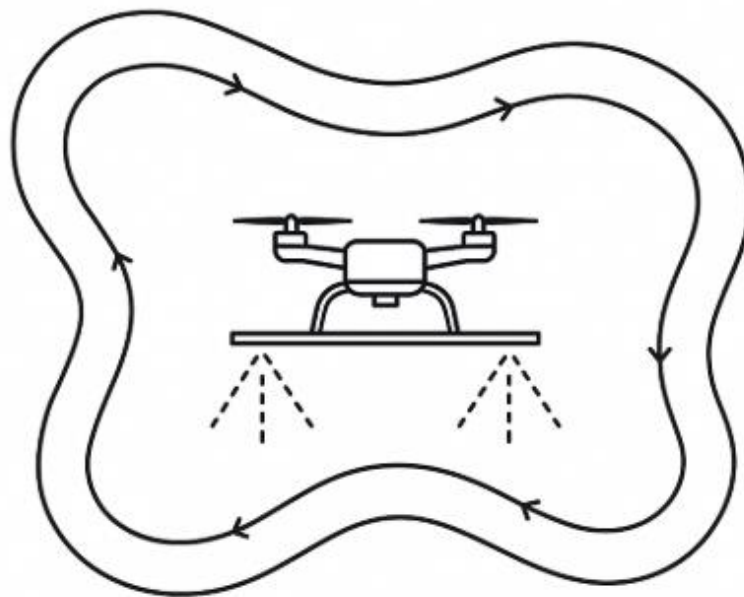


Рисунок 1.6 – Контурна схема обприскування поля складної конфігурації.

Особливості цієї технології обприскування полягають у тому, що вона дозволяє якісно обробляти поля складної форми, зменшуючи зони перекриття. Це важливо для максимально ефективного використання препаратів та економії ресурсів [15].

З іншого боку, така схема вимагає більш складної навігації та підвищених вимог до автопілота дрону, що забезпечує точність і стабільність польоту на складних маршрутах.

Крім того, в місцях стику «кілець» обробки необхідно використовувати спеціальний алгоритм для компенсації можливих «білих плям» – ділянок, які можуть залишатися необробленими через неповне перекриття під час розворотів.

У багаторядних насадженнях часто використовують секторні (віялоподібні) маршрути для обприскування. Агрономічною особливістю такого підходу є необхідність забезпечити проникнення факела розпилення в крону рослин, обробити внутрішній об'єм ряду, а також мінімізувати знесення розпилених засобів на сусідні культури, щоб уникнути непотрібного впливу на інші рослини [15;17].

Маршрути обприскування можуть бути побудовані:

- уздовж рядів – це поздовжнє обприскування, яке дозволяє ефективно обробляти кожен ряд окремо.

- через один або декілька рядів – застосовується для обробки більш широких ділянок, де розміщені кілька рядів.

- з варіацією висоти польоту – висота польоту може змінюватися залежно від висоти крони, щоб забезпечити оптимальне проникнення розпиленої рідини на всі частини рослин.

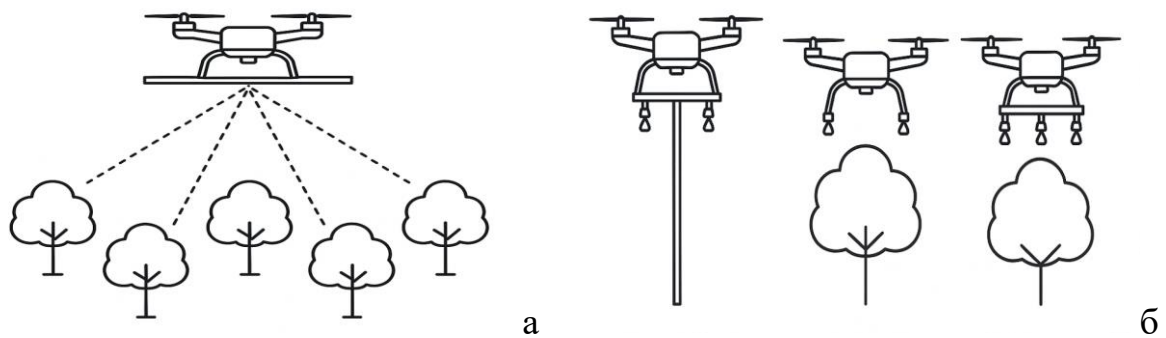
Локальне (плямисте) та бар'єрне обприскування є важливими сучасними методами обробки сільськогосподарських культур з використанням агродронів, що забезпечує точне внесення препаратів на конкретні ділянки поля. Ці методи дозволяють значно знизити витрати на обробку та підвищити ефективність захисту рослин, орієнтуючись на проблемні зони (рис.1.8).

Основні переваги локального обприскування включають:

- точкове обприскування вогнищ шкідників: агродрони можуть точно націлюватися на ділянки з активним зараженням шкідниками, що дозволяє зменшити витрати на обробку та підвищити ефективність лікування;

- обробка бур'янистих плям за картами забур'яненості: використання карт забур'яненості дозволяє вносити гербіциди лише на ділянки з бур'янами, що знижує загальний вплив хімії на довкілля та запобігає шкоді корисним рослинам;

- створення захисних смуг («бар'єрів») по контуру поля або між культурами: агродрони можуть формувати смуги захисту, які обмежують поширення шкідників, хвороб або зменшують перехресне забруднення між різними культурами [8;25].



а – секторна (віялоподібна) схема обприскування саду або виноградника;
б – варіанти розміщення вертикально орієнтованих форсунок для обробки крон дерев

Рисунок 1.7 – Схеми обприскування та розміщення форсунок при обробці крон дерев

Для забезпечення максимальної точності та ефективності, агродрони можуть використовувати такі додаткові функції:

- використання карт-завдань із виділенням «зон обробки»: це дозволяє чітко визначити, які ділянки потребують обробки, а які можна залишити без втручання [1;12].

- автоматичне вмикання/вимикання форсунок у потрібних зонах: форсунки агродрона включаються тільки в тих зонах, де потрібна обробка, що зменшує витрати і покращує ефективність;

- можливість змінювати норму виливу в осередках підвищеного тиску шкідника: це дозволяє точніше регулювати дозу засобів захисту, в залежності від інтенсивності зараження, що ще більше підвищує ефективність впливу та знижує загальний витратний обсяг хімічних засобів [15].

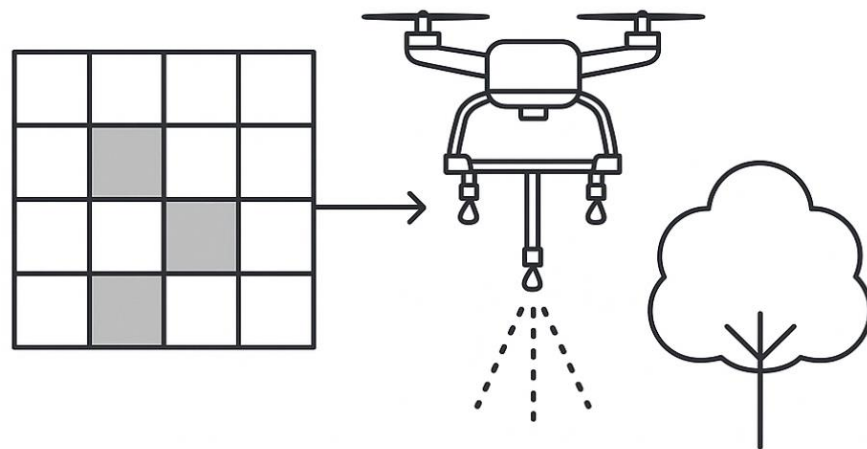


Рисунок 1.8 – Схема локального (плямистого) обприскування за картами-завданнями

Розміщення та типи розпилювачів. У конфігураціях для агродронів застосовують:

- плоскоструменеві форсунки низького дрейфу;
- інжекторні антидріфтні форсунки;
- багатоструменеві форсунки для насаджень (рис. 1.9):
- уздовж штанги з фіксованим інтервалом (0,25-0,5 м);
- концентровано під кожним ротором (індивідуальна система);
- комбіноване – штанга + додаткові бічні форсунки.



Уздовж штанги Під роторами Комбіновані

Рисунок 1.9 – Конфігурації розташування форсунок: уздовж штанги, під роторами, комбіновані.

1.5. Схеми керування нормою виливу

В залежності від рівня автоматизації, існують різні схеми керування нормою виливу, що дозволяють більш точно налаштовувати процес обприскування для різних умов [15;17]. Ось основні з них:

1. Просте стабілізоване обприскування – в цій схемі витрата препарату підтримується пропорційно швидкості польоту дрону. Це означає, що в залежності від швидкості польоту змінюється витрата обприскувальної рідини, забезпечуючи рівномірне внесення. Зворотний зв'язок від датчиків допомагає підтримувати стабільність витрати.

2. Секційне керування – у цьому випадку штанга обприскувача поділяється на кілька секцій (2-4), що дозволяє вмикати чи вимикати окремі ділянки. Це особливо корисно при заході в «клин» або вже оброблені частини поля, що допомагає уникнути зайвого перекриття та зменшити витрати препарату.

3. Індивідуальне керування форсунками – кожна форсунка оснащена виконавчим елементом, таким як клапан чи PWM-модуль (модуль широтно-імпульсної модуляції), що дозволяє точно налаштовувати норму виливу для кожної окремої форсунки. Це дає можливість формувати будь-який профіль

норм вилливу по ширині захвату, підлаштовуючи обприскування під конкретні умови на полі.

4. VRA (Variable Rate Application) на основі карт-завдань – в цьому випадку норма вилливу змінюється відповідно до карт-завдань, що враховують різні агрономічні фактори, такі як картографія врожайності, забезпеченість елементами живлення, зони бур'янів і т.д. Це дозволяє здійснювати обробку на основі реальних даних про стан поля, забезпечуючи точніше та ефективніше внесення препаратів. У табл. 1.2. наведено узагальнене порівняння типів схем керування нормою вилливу[1;5;12].

Таблиця 1.2 – Порівняння схем керування нормою вилливу

Схема керування	Складність	Точність дозування	Необхідність карт-завдань	Типові сфери застосування
Стабілізована постійна	Низька	Середня	Не потрібні	Суцільне обприскування
Секційна	Середня	Середня–висока	Опційно	Клини, нестандартні контури
Індивідуальні форсунки	Висока	Висока	бажано	Точне землеробство, плямисті зони
VRA за картами	Дуже висока	Дуже висока	Обов'язково	Диференційоване внесення препаратів

1.6. Схеми обприскування з урахуванням особливих умов

Схеми обприскування сільськогосподарських культур є важливою складовою сучасних технологій захисту рослин, оскільки вони визначають ефективність внесення засобів захисту та рівномірність покриття оброблюваної площі. У реальних польових умовах застосування стандартних підходів часто ускладнюється впливом рельєфу, погодних факторів, типу культури та її фази розвитку. Тому особливого значення набувають адаптовані схеми обприскування, які враховують ці умови та дозволяють мінімізувати втрати

робочого розчину, підвищити якість обробки і забезпечити максимальний захист рослин[2;15].

Антидріфтні технологічні схеми. Ключовою проблемою авіаційного та дронового обприскування є дрейф крапель. Зменшення дрейфу досягається поєднанням:

- застосування інжекторних форсунок із крупнодисперсним спектром крапель;
- використання зниженої висоти польоту (2-3 м над рослинами);
- зменшення швидкості польоту при вітрі;
- введення у розчин ад'ювантів, що збільшують масу краплі.

Технологічна схема антидріфтного обприскування (рис. 1.10) передбачає:

- автоматичний контроль вітру (анемометр, метеодатчики на базовій станції);
- блокування зльоту або припинення обробки при перевищенні порогової швидкості;
- адаптацію параметрів (краплі, висота, швидкість) у реальному часі.

Нічне обприскування агродронами має низку специфічних особливостей, що визначають його ефективність і безпеку (рис.1.11) [15]. Основні характеристики нічних схем обприскування можна узагальнити так:

Переваги нічного обприскування:

- низька температура повітря: вночі температура повітря зазвичай знижена, що зменшує випаровування рідин і дозволяє препаратам залишатися на рослинах довше, підвищуючи ефективність обробки;
- менша швидкість вітру: вночі часто спостерігається менш інтенсивний вітер, що знижує ризик знесення розпиленої рідини і забезпечує більш точне покриття цільових ділянок [5].



Рисунок 1.10 – Принципова схема антидріфтного обприскування.

Особливості планування та технічні вимоги:

- необхідність високоякісного освітлення та візуалізації простору: для безпечного та ефективного обприскування вночі важливо забезпечити хороше освітлення, яке дозволяє чітко бачити дрон і зону обробки. Це включає використання підсвітки на шасі та зонах розпилення;

- попереднє планування маршрутів: маршрути обприскування плануються заздалегідь, враховуючи можливі перешкоди (дерева, стовпи, лінії електропередач тощо), щоб забезпечити безпеку польоту;

- система контролю безпеки: нічного обприскування важливо враховувати безпеку польоту. Для цього використовуються віртуальні бар'єри та геозони, які обмежують зону обробки і запобігають випадковим перетинам з іншими об'єктами або забороненими територіями [5;18].

Схеми мінімізації забруднення ґрунту й водних об'єктів. Для зниження екологічного навантаження технологічні схеми обприскування агродронами включають:

- встановлення буферних зон біля водойм і населених пунктів (дрон автоматично вимикає форсунки в цих зонах);

- використання карт схилів для уникнення надлишкового стікання з поверхні;

- обмеження обробки на ділянках із високим ризиком ерозії;

- оптимізацію норм виливу з урахуванням фактичної біомаси посіву [5].

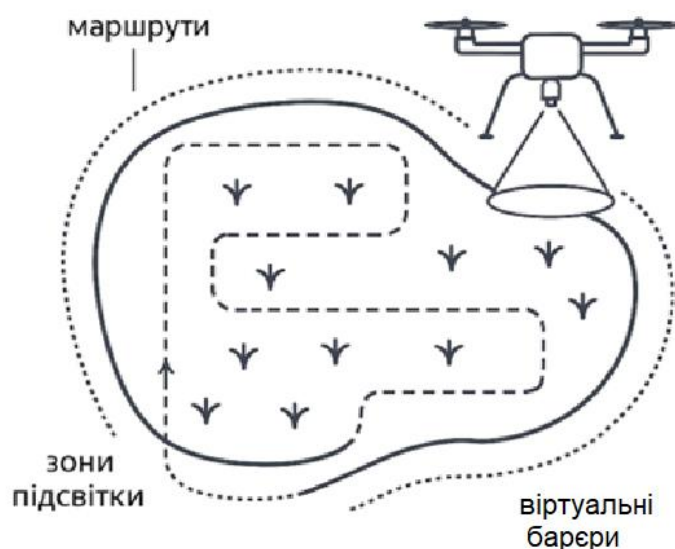


Рисунок 1.11 – Схема нічного обприскування агродроном (маршрути, зони підсвітки, віртуальні бар'єри).

У табл.1.3 та рис. 1.12 наведено орієнтовні діапазони норм виливу й розмірів крапель для різних умов.

Таблиця 1.3 – Орієнтовні норми виливу та розмір крапель для різних умов

Умови обробки	Норма виливу, л/га	Середній діаметр крапель, мкм
Стандартні умови, поле	10–30	150–250
Підвищений вітер	20–40	250–400
Сади, виноградники	20–60	200–300
Локальне плямисте обприскув.	5–20	150–200

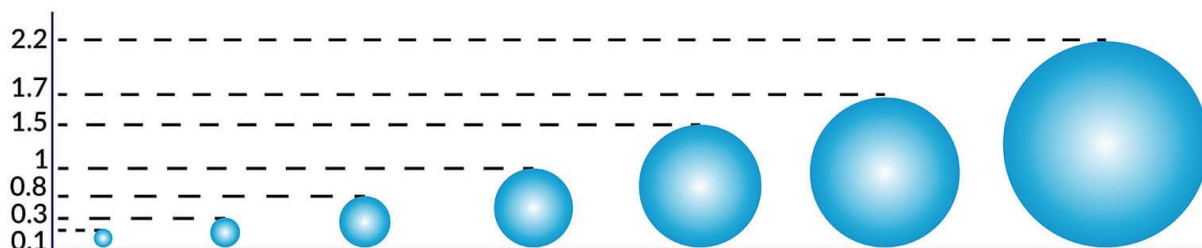


Рисунок 1.12.– Розподіл розмірів крапель рідини від типу обприскувачі

1.7. Інтеграція агродронів у комплексні технологічні схеми точного землеробства

Обприскування за картами-завданнями є однією з сучасних технологій, яка забезпечує точне і ефективне внесення засобів захисту рослин з використанням агродронів [5]. Технологічна схема «карта-завдання – агродрон» включає кілька етапів, кожен з яких має важливе значення для забезпечення максимальної ефективності обробки:

Збір даних:

- зйомка посівів мультиспектральними камерами: використання камер з різними спектральними діапазонами дозволяє отримати точні дані про стан рослин, їх здоров'я та виявлення можливих проблем;

- використання супутникових NDVI-карт: індекс вегетації NDVI, отриманий через супутникові знімки, допомагає визначити рівень здоров'я рослин на великих площах, що важливо для диференційованого внесення;

- дані від ґрунтових сенсорів та агрохімічного обстеження: інші дані, такі як вологість, температура ґрунту, рівень рН та наявність елементів живлення, допомагають сформувати повну картину стану поля та потреби в обробці [5;10].

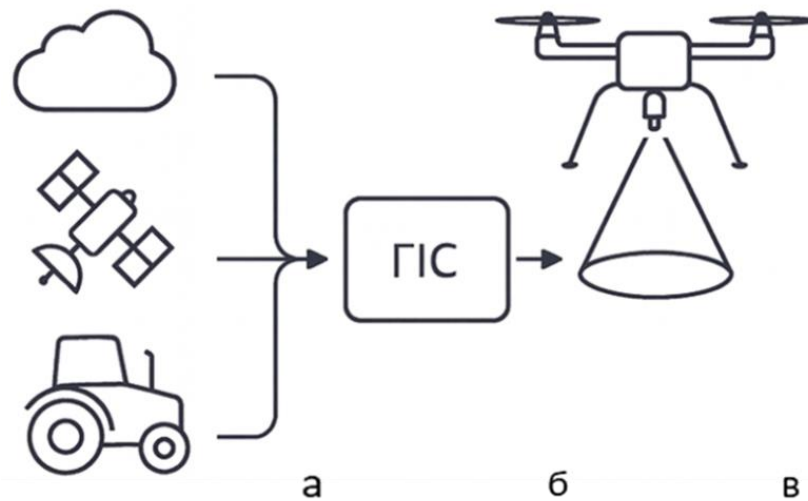
Формування карт-завдань:

- виділення зон різної інтенсивності ураження шкідниками: на основі зібраних даних визначаються зони з високою інтенсивністю ураження шкідниками, хворобами або бур'янами, які потребують спеціального обприскування;

- встановлення диференційованих норм виліву: для кожної зони, залежно від її стану, встановлюються різні норми внесення препаратів. Це дозволяє мінімізувати витрати та зменшити негативний вплив на довкілля;

- фіксація «заборонених» зон: на карті позначаються ділянки, де обробка не повинна проводитись, наприклад, території з водними об'єктами або

охоронними зонами, що дозволяє уникнути неконтрольованого внесення хімікатів.



а – збір даних; б – формування карт- завдань; в – виконання обробки
Рисунок 1.13 – Інформаційно-технологічна схема обприскування за картами-завданнями

Виконання обробки:

- завантаження карт у програмне забезпечення дрона: після формування карт-завдань вони завантажуються в програмне забезпечення агродрона, що дозволяє йому точно слідувати заданому маршруту і контролювати процес обприскування;

- автоматичне регулювання норми в реальному часі: під час виконання обробки дрон автоматично коригує норму виливу препаратів відповідно до змін в умовах поля та актуальних карт-завдань;

- запис фактичної карти виконання операції: після виконання обробки фіксується фактична карта виконання операції, що дає змогу оцінити точність обробки та при необхідності внести корективи в майбутніх обробках.

Комбіновані схеми з ґрунтовими й метеорологічними сенсорами [23]. Для більш тонкого керування схемами обприскування використовують:

- стаціонарні метеостанції;

- датчики вологості ґрунту;
- точки відбору проб для моніторингу залишків препаратів.

Дані інтегруються в єдину інформаційну систему, що дозволяє:

- обирати оптимальні вікна для обробки;
- адаптувати схеми залежно від стану посівів;
- формувати історію застосування препаратів.

Логістичні схеми «стадної» роботи агродронів при роботі на великих площах застосовують ройові схеми (рис. 1.14):

- один або декілька агродронів виконують паралельні проходи;
- існує «материнський» дрон або наземна станція, яка координує рій;
- передбачено чергування заправки й заряджання.

Логістична схема включає:

- окремі точки заправки робочого розчину;
- станції швидкої заміни акумуляторів;
- алгоритми уникнення зіткнень у повітрі.

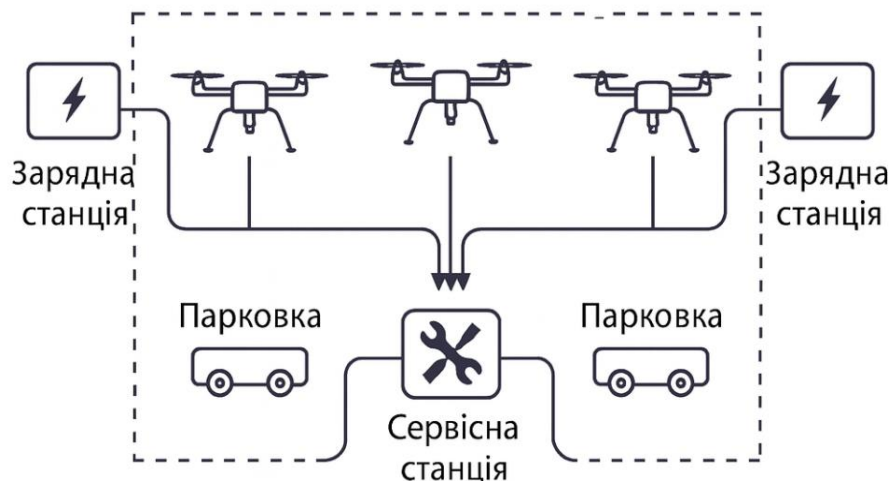


Рисунок 1.14 – Логістична схема «ройової» роботи кількох агродронів на одному полі.

У таблиці 1.4 наведено порівняльну оцінку технологічних схем обприскування агродронами за основними техніко-технологічними та

експлуатаційними показниками. Аналіз охоплює параметри продуктивності, точності внесення робочого розчину, рівня автоматизації процесів, потреби в ресурсах, а також організаційні особливості виконання польотних завдань [23].

Таблиця 1.4 – Порівняльна оцінка технологічних схем обприскування агродронам

Схема	Продуктивність	Точність внесення	Складність реалізації	Орієнтовні операційні витрати*
Лінійно-шахматна	Висока	Середня–висока	Низька	Низькі–середні
Контурна	Середня	Висока	Середня	Середні
Секторна (сади)	Середня	Висока	Середня–висока	Середні–високі
Локальна (плямиста)	Низька–середня	Дуже висока	Висока	Високі (на 1 га)
Ройова (кілька дронів)	Дуже висока	Висока	Дуже висока	Залежить від масштабу

1.8. Критерії вибору оптимальної технологічної схеми

Під час вибору технологічної схеми необхідно враховувати сукупність факторів, які впливають на ефективність та безпечність проведення обприскування [9;12]. До основних параметрів, які слід аналізувати, належать:

- конфігурація поля: форму поля (прямокутне, криволінійне, терасоване) необхідно враховувати для оптимального планування маршрутів польоту, щоб мінімізувати зайве перекриття та витрати часу на обробку;

- культура та фаза розвитку: різні культури (польові, сади, ягідники) на різних стадіях розвитку потребують різного підходу до обприскування. Врахування цього фактора допомагає налаштувати точні норми виливу та вибір оптимальних методів обробки.

- агроекологічні обмеження: важливо враховувати наявність водойм, населених пунктів чи інших екологічних факторів, які можуть обмежувати зону

обробки або вимагати додаткових заходів для запобігання забрудненню навколишнього середовища;

- рівень ураженості шкідниками/хворобами: залежно від того, чи потрібно здійснювати суцільне чи локальне обприскування, вибирається відповідна технологія, що дозволяє зменшити витрати та підвищити ефективність обробки;

- доступність карт-завдань та сенсорної інформації: використання карт-завдань та даних сенсорів дозволяє точно визначити зони для обробки та регулювати норми внесення препаратів в реальному часі, підвищуючи точність та ефективність обприскування;

- технічний рівень доступних агродронів: вибір залежить від типу системи керування, наявності функції VRA (Variable Rate Application) для регулювання норми внесення та розміру бака дрону. Ці параметри впливають на ефективність і тривалість роботи без дозаправки [5;21].

Оптимальною технологічною схемою обприскування є та, яка забезпечує поєднання високої ефективності захисту рослин із раціональним використанням ресурсів. Насамперед вона повинна передбачати мінімально необхідну норму виливу робочого розчину, що дає змогу зменшити витрати засобів захисту рослин без втрати ефективності обробки. Важливою умовою є стабільна якість покриття, тобто рівномірне нанесення препарату на всю площу посівів, незалежно від складності рельєфу чи густоти рослин [3;5].

Крім того, така схема має відповідати вимогам екологічної безпеки, забезпечуючи зменшення негативного впливу на навколишнє середовище, зокрема мінімізуючи забруднення ґрунту, водних ресурсів і вплив на нецільові рослини та організми. Не менш важливим є критерій економічної доцільності, який передбачає вибір технології з оптимальним співвідношенням витрат і результату залежно від площі оброблюваних територій. Саме поєднання цих вимог дозволяє визначити найбільш ефективну та раціональну схему обприскування.

2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ОБСЛУГОВУВАННЯ АГРОДРОНІВ

2.1. Організація сервісного обслуговування агродронів із використанням мобільних станцій

Сучасні агродрони завдяки використанню спеціалізованих зарядних станцій здатні працювати у безперервному режимі протягом тривалих часових інтервалів. Після завершення чергового польоту літальний апарат автоматично повертається до базового пункту обслуговування, де здійснюється оперативне поповнення енергетичного ресурсу акумуляторної батареї, а за потреби – її повна заміна на заряджену. Такий підхід істотно підвищує ефективність виконання технологічних операцій та мінімізує непродуктивні простої дрона між циклами обробки рослин [2;6].

Оптимальне розміщення зарядних станцій або мобільних технологічних платформ відіграє ключову роль у забезпеченні високої продуктивності агродронів. У більшості випадків їх доцільно встановлювати на одному чи двох протилежних краях поля, що дозволяє скоротити довжину непродуктивних перегонів та забезпечити дрону можливість найкоротшим шляхом наблизитися до сервісної точки. Коли база підзарядки розміщена з двох боків, літальні апарати програмують так, щоб вони автоматично прямували до найближчої станції, що забезпечує економію часу і енергії. У практиці застосування агродронів це особливо актуально для полів складної форми або ландшафтів із перешкодами, де доступ до традиційної техніки обмежений [6;9;11].

Розробка конструктивних рішень для таких станцій потребує врахування високих вимог до безпеки та автоматизації процесів. Технологічна платформа повинна бути обладнана механізмами фіксації дрона, системами контролю зарядки акумуляторів, датчиками заповнення резервуарів хімічних розчинів, інтелектуальними блоками діагностики та комунікації. Завдяки цьому забезпечується надійність роботи обладнання, запобігається перегріванню

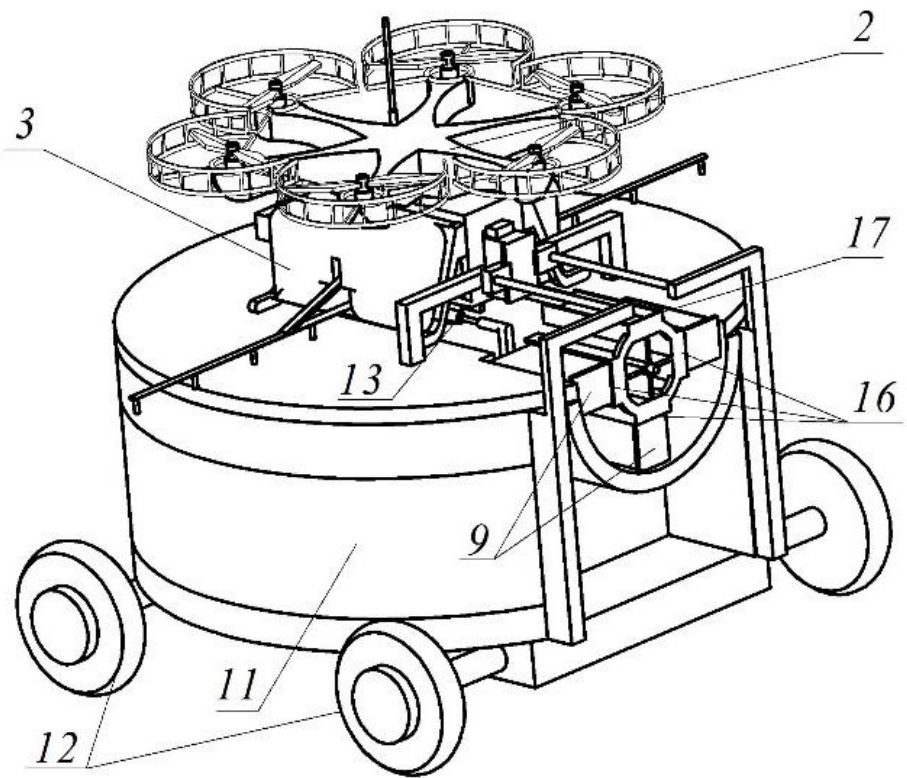
елементів живлення та підвищується загальна стабільність польотних характеристик [13;15;16].

Крім того, зарядні станції виконують функцію інформаційних вузлів – вони накопичують дані про маршрути польотів, витрати робочого розчину, стан акумуляторів і параметри роботи дронів. Це дає змогу агровиробнику здійснювати ретельний моніторинг виконання операцій, коригувати технологічні схеми обробки та прогнозувати продуктивність комплексу.

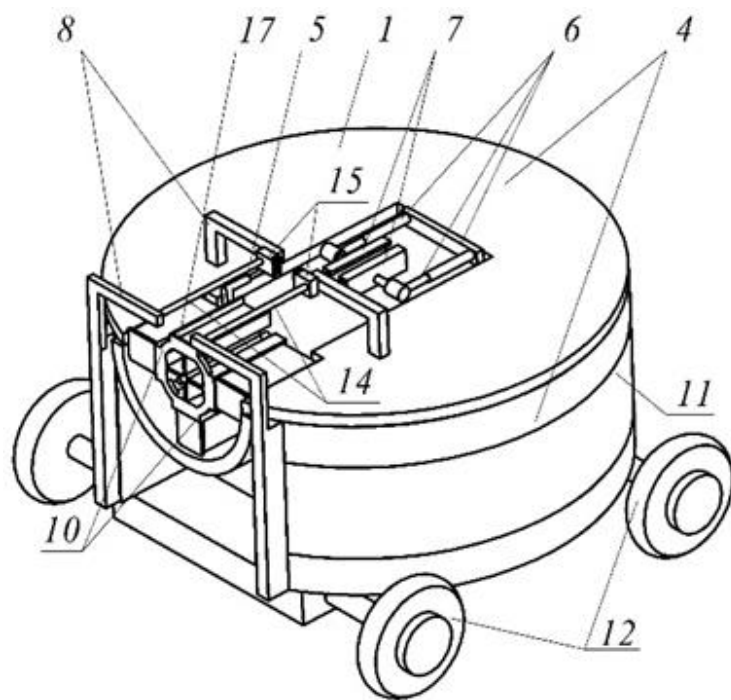
Для підвищення ефективності експлуатації агродронів запропоновано дообладнувати мобільні станції спеціальними технологічними комплексами (рис. 2.1). Такий комплекс являє собою інтегровану систему, що включає сервісний наземний мобільний апарат та безпілотний літальний апарат, який оснащено баком для зберігання робочого розчину, необхідного для проведення авіаційної хімічної обробки [13;17;19].

Сервісний апарат містить платформу, на якій встановлено заправну систему, здатну автоматизовано заповнювати бак агродрона хімічною речовиною. Для забезпечення безпечного утримання дрона під час сервісних операцій передбачено механізм фіксації із рухомими лапами. Також конструкцією передбачено механізм заміни акумуляторної батареї та зарядну обойму. У нижній частині платформи розміщено резервуар для робочої рідини, закріплений на колісній базі, що забезпечує мобільність комплексу [20].

Система заправки містить клапан, який при стикуванні автоматично з'єднується з баком агродрона. Механізм заміни батареї працює за рахунок напрямних, по яких переміщуються затискачі, що транспортують батарею між фіксатором дрона і зарядною обоймою. Обойма обертається навколо своєї осі та містить комірки із зарядженими акумуляторами, а також спеціальну порожню комірку для приймання розряджених [17].



а



б

а – комплекс із встановленим агродроном; б – загальний вигляд комплексу

Рисунок 2.1. Технологічний комплекс для авіаційної хімічної обробки рослин з використанням агродронів

Розроблена система має низку істотних переваг:

- мінімізація простоїв, оскільки заміна батарей і заправка здійснюються автоматично за 20-40 секунд;
- висока безпека експлуатації, забезпечена контролем температури, фіксацією дрона та автоматичними блокуваннями;
- підвищення продуктивності, що дає змогу обслуговувати кілька дронів одночасно;
- стабільність виконання технологічного процесу, завдяки точності повторення операцій та контролю параметрів роботи;
- розширення можливостей маневрування, що особливо важливо для обробки полів складної форми;
- можливість інтеграції у системи точного землеробства.

У процесі виконання хімічної обробки дрон піднімається у повітря та проводить розпилення робочого розчину відповідно до заданої траєкторії. Коли запас рідини у баку вичерпується або рівень заряду батареї досягає критичного значення, агродрон автоматично прямує до сервісного апарата [6;8;11].

Після посадки на платформу дрон фіксується лапами. Система заправки під'єднується до бака та автоматично подає робочий розчин до повного його заповнення. Якщо батарея потребує заміни, механізм виконує повністю автоматизований цикл: затиск розрядженої батареї, її від'єднання, транспортування до порожньої комірки, поворот зарядної обойми, захоплення зарядженої батареї та її переміщення до посадкового гнізда дрона [5;17].

Завдяки високій автоматизації жоден етап не потребує участі оператора. Після завершення сервісних операцій дрон автоматично від'єднується від фіксувальних лап та продовжує виконання польотного завдання.

Після завершення операцій щодо поповнення бака робочою рідиною та, за необхідності, автоматичної заміни розрядженого акумулятора на повністю заряджений, сервісний комплекс ініціює процес від'єднання безпілотного літального апарата від рухомих фіксаторів, які входять до складу механізму

утримання. Після звільнення дрон плавно піднімається з платформи, стабілізує положення у повітрі та продовжує політ за визначеним маршрутом, виконуючи наступний цикл авіаційної хімічної обробки рослин. Такий алгоритм забезпечує безперервність технологічного процесу та мінімізує втрати часу між окремими робочими етапами [5;18;25].

Ключовою перевагою розробленого технологічного комплексу для виконання авіаційної обробки рослин із застосуванням агродронів є суттєве розширення їхніх маневрових можливостей, а також забезпечення стабільності та точності виконання робочих операцій. Конструктивні рішення комплексу дозволяють проводити обробку навіть на полях складної конфігурації, де застосування традиційних засобів механізованого захисту рослин є утрудненим або економічно недоцільним.

При впровадженні агродронів у систему хімічного захисту культур важливо враховувати низку параметрів, що визначають їхню реальну продуктивність. До таких належать технічні характеристики дронів (об'єм бака, тип і ресурс акумулятора, ширина захвату форсунок), геометричні особливості поля (площа, ширина, наявність перешкод, конфігурація меж) та стратегічне розміщення зарядних і сервісних станцій. Неправильне позиціонування сервісного обладнання або вибір нераціональних маршрутів може суттєво збільшити частку холостих прольотів, що негативно впливає на продуктивність усієї системи [1;3;7].

Одним із визначальних параметрів ефективності є тривалість виконання одного технологічного циклу обприскування, яка показує, за який час агродрон повністю витрачає робочий розчин, що міститься в його баку. Саме цей часовий інтервал впливає на кількість повернень на сервісну станцію, визначає необхідний запас акумуляторів та формує потреби щодо кількості дронів, задіяних у процесі, та суттєво впливає на ефективну продуктивність.

2.2. Покрокова схематизація роботи агродрона

Для детального відтворення та аналізу роботи агродронів під час авіаційної хімічної обробки. Для моделювання технологічного процесу обприскування полів агродронами виконаємо його узагальнену схематизацію (рис. 2.2).

Прийmemo такі вихідні умови: ширина поля l_p не перевищує одного кілометра; запас робочої хімічної рідини в баку агродрона та енергетичний ресурс акумулятора є достатніми для подолання траєкторії довжиною кілька кілометрів.

Проміжок часу, протягом якого повністю використовується об'єм рідини в баку агродрона, назвемо етапом і позначимо його t_E . За один етап (тобто за час t_E) дрон виконує декілька прольотів над полем, які позначимо n_{PR} , здійснюючи розпилення хімічного препарату протягом часу t_0 . Для виконання обробітку поля агродрон додатково витрачає час на зліт і посадку, а також на підхід до межі поля t_M , і час на холості переміщення під час розворотів t_X . [6].

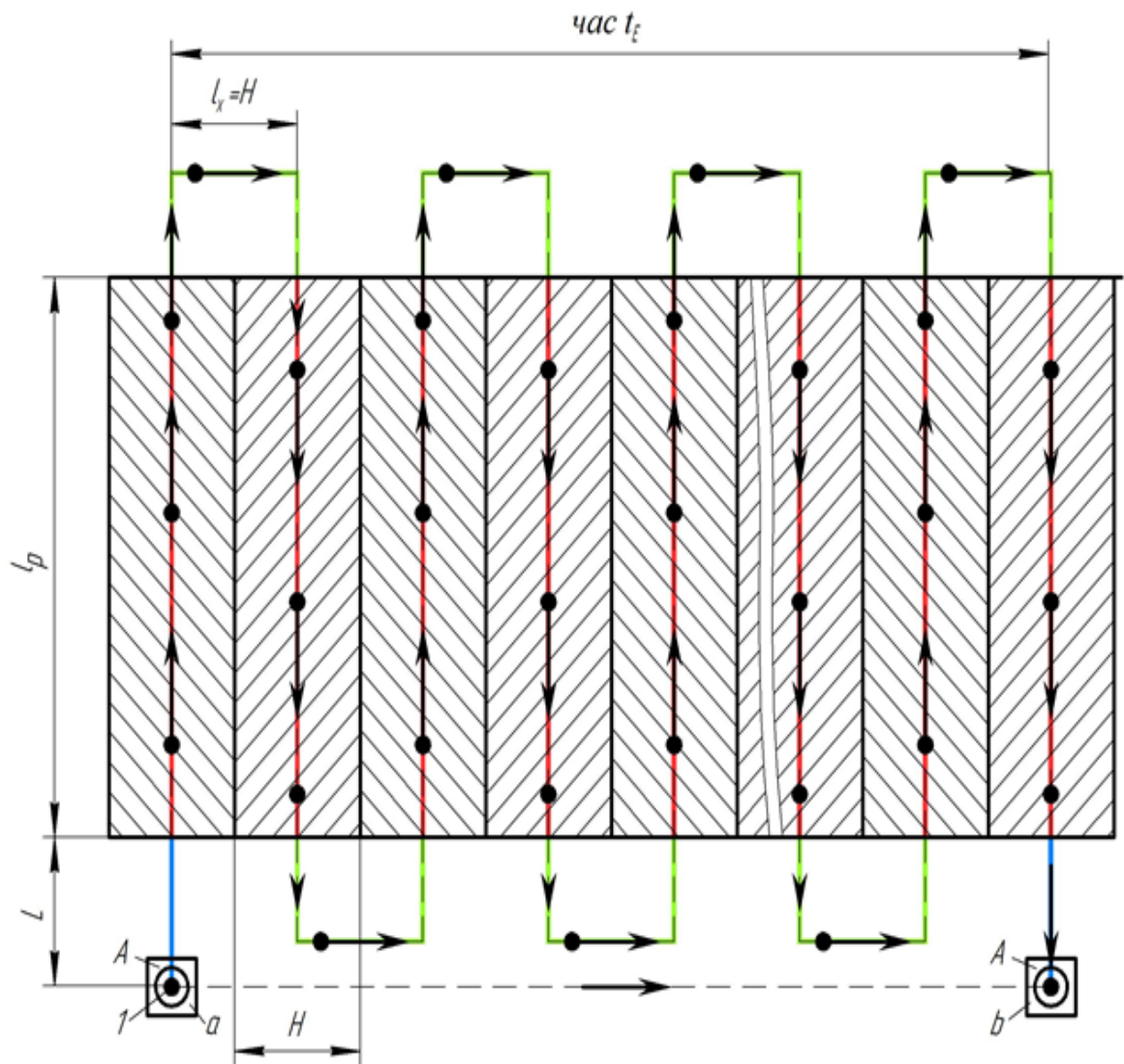
Кількість проходів агродрона над полем протягом одного етапу визначають за залежністю:

$$n_{PR} = \frac{l_0}{l_p}, \quad (2.1)$$

де l_0 – довжина траєкторії польоту агродрона над полем або довжина

оброблюваної смуги під час виконання технологічного процесу за один етап, м.

l_p – ширина поля, м.



A – мобільна сервісна станція (платформа); 1 – агродрон; H – ширина смуги, що охоплюється зоною розпилення; L – відстань між сервісною станцією та крайовою межею поля; l_x – довжина холостого прольоту дрона, під час якого розпилення рідини не здійснюється; t_E – тривалість одного етапу роботи, що відповідає часу повного використання об’єму робочої рідини у баку;
 l_p – фактична ширина поля.

Рисунок 2.2. – Схематичне відображення роботи одного агродрона

Кількість робочих проходів агродрона за зміну визначають за формулою:

$$N_0 = n_{PR} \cdot n_E, \quad (2.2)$$

де n_E – кількість етапів роботи агродрона протягом зміни.

Кількість етапів роботи агродрона протягом зміни визначають за формулою:

$$n_E = T_A/t_E. \quad (2.3)$$

де T_A – час перебування агродрона в повітрі, год;

t_E – час, необхідний для повного використання об'єму робочої рідини в баку агродрона.

Вважаючи, що агродрон працює протягом повної робочої зміни, тривалість зміни T_{CH} визначають за виразом:

$$T_{CH} = T_A + T_C, \quad (2.4)$$

де T_C – час, необхідний для заміни або заряджання акумуляторів і заправлення бака хімічним препаратом, який залежить від обраної технологічної схеми обробітку $T_C \approx 0,1 \dots 1,5$ год.

Час виконання технологічного процесу внесення пестицидів агродроном T_0 на всій площі поля протягом зміни залежить від кількості активних (робочих) проходів агродрона N_0 та тривалості одного проходу t_{01} і визначається за залежністю:

$$T_0 = N_0 \cdot t_{01}. \quad (2.5)$$

де t_{01} – час, протягом якого агродрон здійснює один прохід довжиною

$$l_P, \text{ год}, t_{01} = l_P/V_P;$$

V_P – робоча швидкість руху агродрона, км/год.

Структура часу робочої зміни агродрона $T_{ЗМ}$ охоплює кілька взаємопов'язаних компонентів, які формують повний цикл його роботи, зокрема:

$$T_{ЗМ} = T_{П} + T_{ПЗ}, \quad (2.6)$$

де $T_{П}$ – тривалість перебування агродрона у повітряному просторі;

$T_{ПЗ}$ – тривалість операцій із заміни або підзаряджання акумуляторних

батареї та поповнення бака робочим розчином, що змінюється залежно від застосованої технологічної схеми обробки

$T_{ПЗ} \approx 0,1 \dots 1,5$ год.

Число робочих прольотів, які агродрон виконує протягом однієї зміни, обчислюємо за наступною формулою:

$$N_0 = n_{ПР} \cdot n_E. \quad (2.7)$$

Число робочих етапів, які дрон може виконати протягом однієї зміни, визначається за наступним співвідношенням:

$$n_E = T_{П}/t_E. \quad (2.8)$$

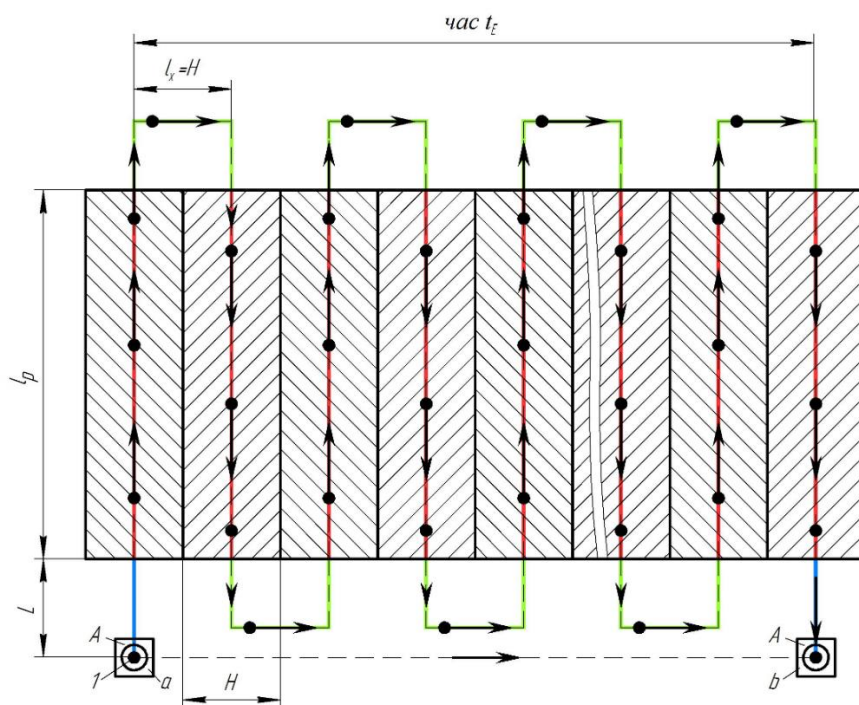
Загальну тривалість виконання технологічного процесу T_0 на всій площі поля визначають, виходячи з кількості активних робочих прольотів агродрона N_0 та тривалості одного такого проходу t_{01} .

$$T_0 = N_0 \cdot t_{01}. \quad (2.9)$$

3 ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АГРОДРОНІВ

3.1. Опис запропонованих технологічних схем роботи агродронів

Розглянемо окремі технологічні схеми застосування агродронів під час виконання операцій із захисту рослин. Для обробки поля порівняно невеликої площі (рис. 3.1) використовується одна мобільна станція та один безпілотний літальний апарат. Мобільну станцію A розміщують на певній відстані L від межі поля у випадках, коли безпосередній під'їзд до його краю є ускладненим або неможливим.



A – мобільна станція (платформа обслуговування); 1 – безпілотний літальний апарат; H – робоча ширина захвату зони розпилення; L – відстань від мобільної станції до краю поля; l_x – траєкторія холостого переміщення дрона (без подачі робочої рідини); t_E – тривалість одного робочого етапу (час повного використання об'єму бака з робочим розчином); l_p – ширина оброблюваного поля.

Рисунок 3.1 – Схема обприскування одного агродрона

Агродрон 1, розташований на мобільній станції, упродовж часу $T_{ПЗ}$ за зміну здійснює заряджання акумуляторної батареї та заповнення бака робочим розчином пестициду. Після завершення підготовчих операцій дрон 1 виконує технологічну операцію обприскування поля протягом одного робочого етапу (за час t_E), використовуючи повний об'єм бака [11;13;17].

Упродовж виконання цього етапу мобільна станція А переміщується з точки «а» до точки «b», що відповідає завершенню роботи дроном на даному етапі. Після повернення дрона він фіксується на мобільній станції, де повторно здійснюється заряджання акумулятора та заправка бака хімічним розчином, після чого безпілотний апарат переходить до виконання наступного етапу технологічного процесу обробки поля.

Для обробки посівів середньої та значної площі доцільним є застосування сервісної наземної мобільної станції А (рис. 3.2), яку розміщують уздовж однієї зі сторін поля. Конструкція такої станції передбачає наявність двох базових позицій для заряджання акумуляторів і заправлення баків агродронів-обприскувачів 1 та 2.

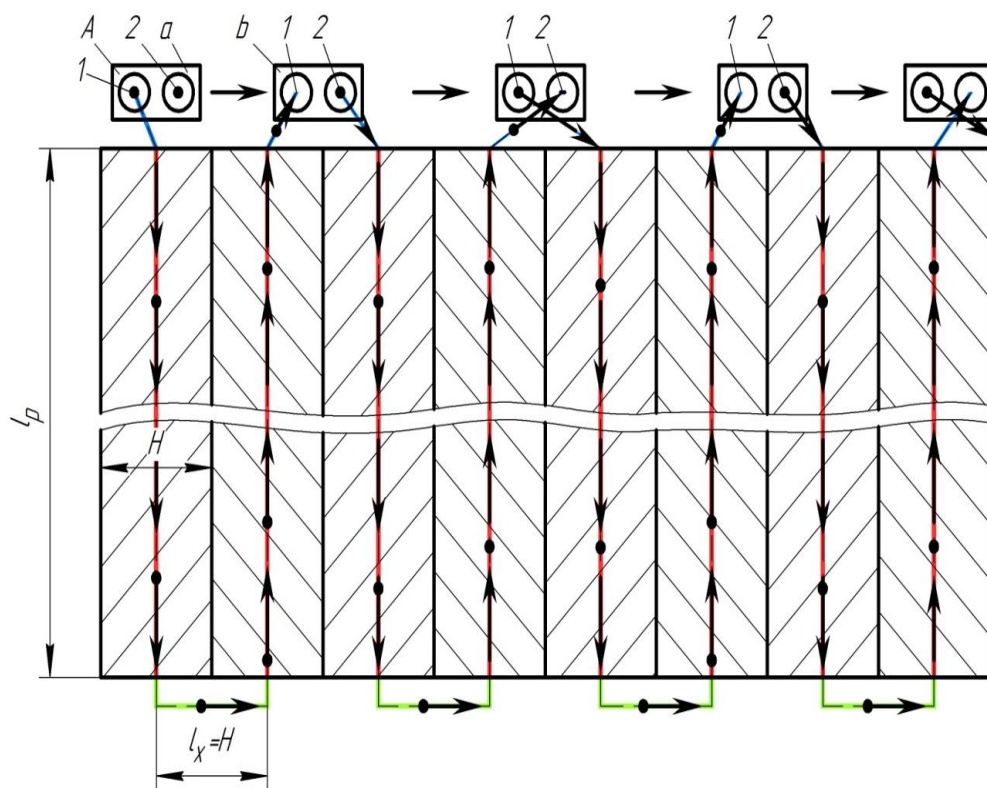
Технологічний процес реалізується наступним чином. Перший дрон-обприскувач, заправлений робочим розчином, здійснює зліт над поверхнею поля та виконує хімічну обробку рослин. У цей період другий безпілотний апарат залишається на мобільній станції, де проходить процес підзарядки акумулятора та наповнення бака робочою рідиною[6;7].

Паралельно із роботою дрона сервісна наземна мобільна станція А переміщується з початкової позиції «а» до наступної позиції «b». Перший дрон виконує обприскування смуги посівів шириною H , після досягнення межі поля здійснює розворот і переходить на наступну смугу. Таким чином забезпечується обробка ділянки загальною шириною $2H$ із повним використанням об'єму бака.

Після завершення робочого етапу та досягнення краю поля дрон виконує керовану посадку на платформу мобільної станції для заряджання або заміни

акумулятора і повторної заправки робочим розчином. У цей час другий дрон стартує зі станції та виконує аналогічні операції, що дозволяє забезпечити безперервність технологічного процесу обприскування [12;22].

Запропонована технологічна схема обробітку поля рекомендована для випадків, коли хімічної речовини та зарядки акумуляторів достатньо лише для двох проходів полем, тобто для полів великої ширини. Довжина шляху (польоту) дрона під час виконання технологічного процесу $l_0 = 2 l_p$, відповідно $T_{ПЗ} \approx 0$.

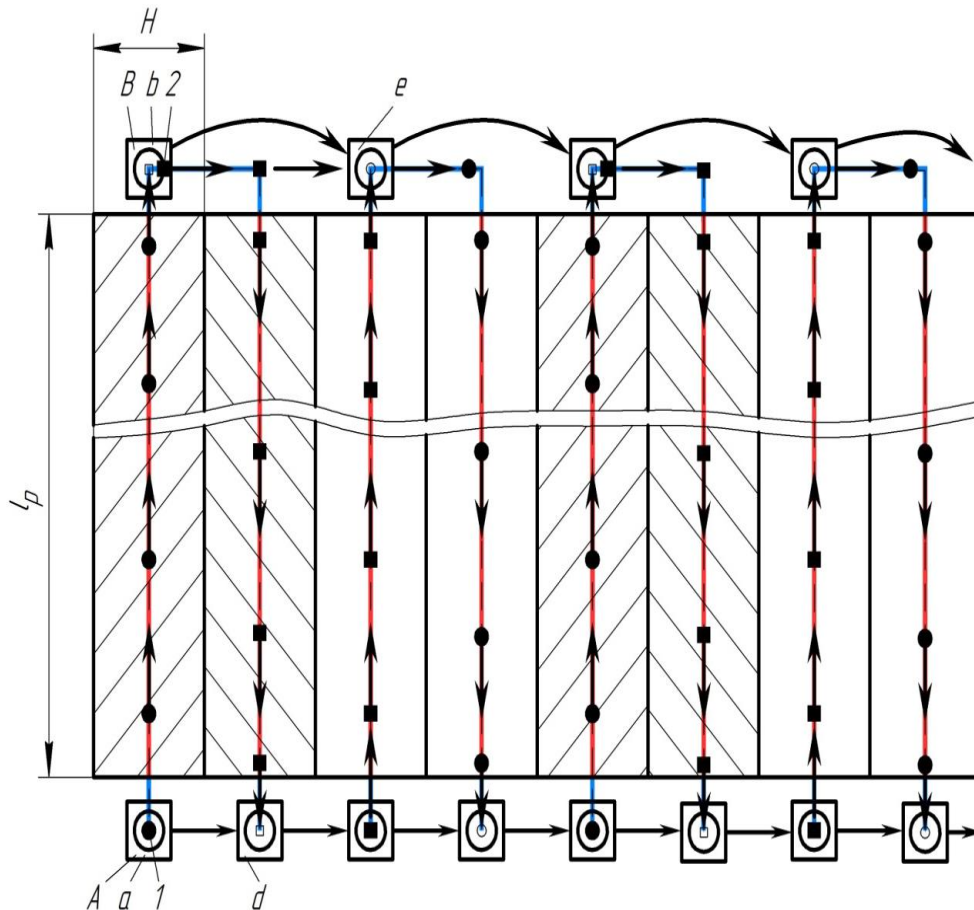


A – мобільна сервісна станція; 1, 2 – безпілотні літальні апарати; a, b – положення мобільної станції під час роботи.

Рисунок 3.2 – Схема координації руху двох агродронів із застосуванням однієї мобільної станції

Для посівних площ середньої та значної протяжності за умови, що $l_0 = l_p$, доцільним є застосування альтернативної технологічної схеми обробітку (рис. 3.3). У цьому випадку запас робочого хімічного розчину в баку агродрона разом із наявним енергоресурсом акумуляторної батареї забезпечує виконання лише одного повного проходу над полем.

Для полів великих і середніх розмірів за умови, що $l_0 = l_p$, доцільно використовувати іншу технологічну схему (рис. 3.3). Об'єму бака хімічної рідини заправленої в агродрон, та зарядки акумулятора достатньо на один прохід полем [11;6;8].



A, B – мобільні сервісні станції; 1, 2 – безпілотні літальні апарати.
Рисунок 3.3 – Технологічна схема взаємодії двох агродронів із двома мобільними станціями, розташованими з протилежних боків поля

Сервісні наземні мобільні станції *A* та *B*, призначені для заправлення баків і підзарядки або заміни акумуляторів агродронів-обприскувачів, розміщують по обидва боки поля. Агродрон 1 здійснює зліт зі станції *A* та виконує обприскування посівів із робочою шириною захвату *H*, при цьому мобільна станція *A* переміщується з позиції «*a*» у позицію «*d*».

Одночасно з роботою першого дрона агродрон 2 стартує зі станції *B* і здійснює обробку поля у зустрічному напрямі, рухаючись від точки «*b*» до

точки «d». Обидва безпілотні апарати працюють синхронно, виконуючи обробіток посівів із протилежних сторін поля та поступово зближуючись, при цьому кожен дрон охоплює окрему смугу шириною H .

Після досягнення краю поля перший дрон здійснює посадку на мобільну станцію В, де виконується заміна або підзарядка акумулятора та повторне наповнення бака робочим розчином. У цей же період мобільна станція В переміщується з точки «b» у точку «e» [6;8;9].

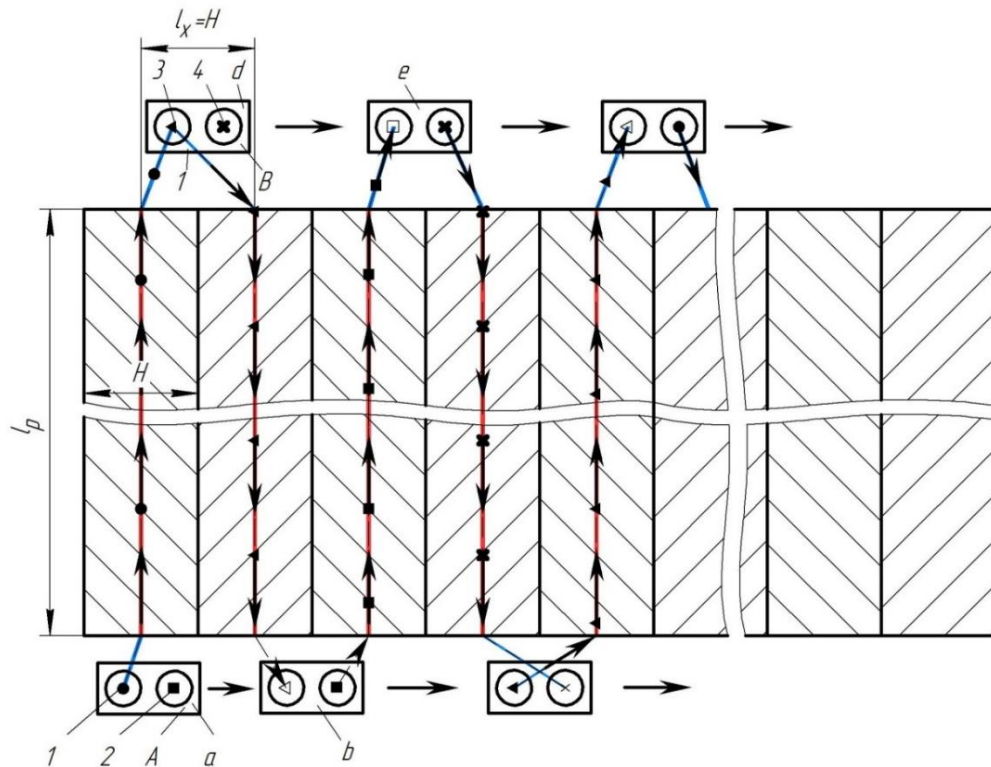
Паралельно другий дрон також досягає межі поля та фіксується на мобільній станції А в точці «d» для виконання аналогічних операцій – заміни акумулятора та заправлення робочою рідиною.

Тривалість операцій із заміни (підзарядки) акумуляторів $T_{ПЗ}$ та заповнення бака робочою рідиною $T_{ЗМ}$ протягом зміни визначають відповідно до чинних нормативів, при цьому час холостого переміщення дрона становить $T_X \approx 0$.

Запропоновану технологічну схему із застосуванням двох мобільних станцій можливо реалізувати і з використанням одного агродрона. У такому випадку дрон 1 виконує технологічну операцію обприскування, переміщуючись від мобільної станції А до мобільної станції В. Після посадки безпілотного апарата на платформу В здійснюється заміна або заряджання акумуляторів, а також заповнення бака робочим розчином. Далі платформа переміщується на наступну смугу обробітку, після чого дрон знову злітає та продовжує виконання технологічного процесу. Для такої організації роботи експлуатаційна продуктивність системи зменшується приблизно вдвічі порівняно з варіантом одночасної роботи двох дронів [5;17].

Інший варіант технологічної схеми обробки посівів агродронами, наведений на рисунку 3.4, передбачає використання двох мобільних платформ А та В, на яких розміщено чотири безпілотні апарати (1, 2, 3, 4). У процесі виконання технологічних операцій на кожній мобільній станції залишається вільне посадкове місце, на яке приземляється активний дрон для проведення операцій підзарядки або заміни акумуляторів та заправлення робочою рідиною.

Під час обробки поля одночасно працюють два активні агродрони, що забезпечує підвищення безперервності процесу та зростання загальної продуктивності.

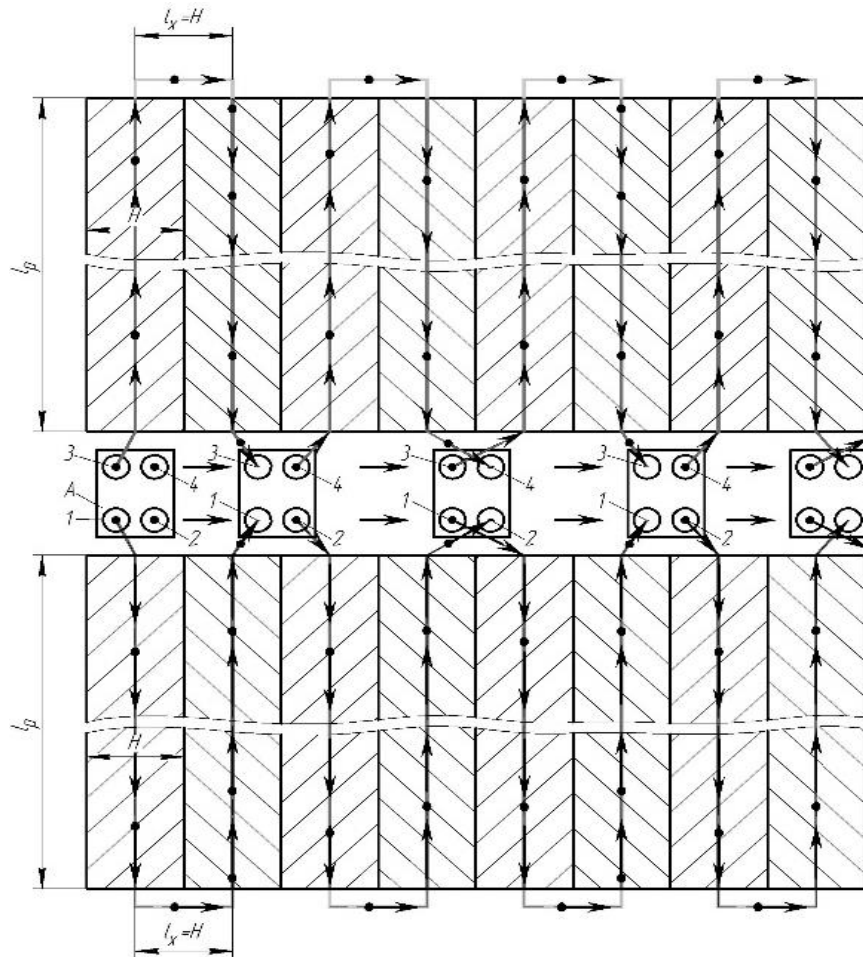


A, B – мобільні сервісні платформи; 1, 2, 3, 4 – безпілотні літальні апарати
Рисунок 3.4 – Технологічна схема взаємодії чотирьох агродронів із використанням двох мобільних станцій

Технологічний процес реалізується у такій послідовності: агродрони 1 та 3 одночасно здійснюють зліт із мобільних станцій А та В відповідно. Після старту дрона 1 платформа А переміщується з позиції «а» до позиції «b», де очікує посадки дрона 3 після завершення ним відповідного етапу технологічного процесу. У цей же час мобільна станція В, прийнявши на посадку дрон 1, переміщується з точки «d» у точку «e».

Далі з позиції «b» мобільної станції А здійснює старт дрон 2, а з позиції «e» мобільної станції В злітає дрон 4, після чого цикл роботи повторюється з аналогічною послідовністю дій.

Запропонована технологічна схема обробки є доцільною для значних за площею масивів, зайнятих сільськогосподарськими культурами, у випадках, коли $l_0 = l_p$. За такої організації робіт час, необхідний на заміну або підзарядку акумуляторів та заправлення баків агродронів робочою рідиною, приймається рівним нулю ($T_{ПЗ} = 0$, $T_X \approx 0$).



А – мобільна сервісна станція; 1, 2, 3, 4 – безпілотні літальні апарати.
Рисунок 3.5 – Технологічна схема функціонування чотирьох агродронів із використанням однієї мобільної станції

Під час експлуатації агродронів необхідно дотримуватися низки практичних рекомендацій. Зокрема, не допускається використання безпілотних апаратів за несприятливих метеорологічних умов: при швидкості вітру понад 28 км/год, під час опадів (дощу, снігу), за наявності туману, штормових явищ або ураганів тощо. Під час обробки крайових ділянок полів слід запобігати зносу засобів захисту рослин на прилеглі території. Це досягається шляхом

застосування спеціалізованого програмного забезпечення, яке дозволяє задавати та контролювати цифрові межі поля [5;12].

Кожна з розглянутих технологічних схем обприскування має власні переваги й обмеження, а вибір оптимального варіанта здійснюється на основі аналізу траєкторій руху дронів, а також за результатами визначення їх експлуатаційної продуктивності.

Функціонування кожного технічного агрегату оцінюється за кількома основними показниками, серед яких одним із ключових є продуктивність. Для визначення експлуатаційної продуктивності за одну годину робочого часу, $W_{ГОД}$ га/год, застосовують відповідну розрахункову залежність:

$$W_{ГОД} = 0,1 H \cdot V_p \cdot \tau, \quad (3.1)$$

де H – робоча ширина захвату зони розпилення агродроном, м;

– робоча швидкість руху агродрона, км/год;

τ – коефіцієнт використання робочого часу зміни,

$$\tau = \frac{T_0}{T_{ЗМ}}, \quad (3.2)$$

T_0 – тривалість виконання дроном технологічного процесу протягом зміни, год;

$T_{ЗМ}$ – тривалість робочої зміни, год.

Час перебування агродрона в повітрі за зміну (тобто фактичний час розпилення препарату) визначають за залежністю:

$$T_{П} = T_{ЗМ} - T_{ПЗ}, \quad (3.3)$$

де $T_{ПЗ}$ – час, витрачений на підзарядку або заміну акумуляторів та заповнення бака робочим розчином пестицидів, $T_{ПЗ} \approx 0,1 \dots 1,5$ год.

Час виконання дроном технологічного процесу протягом зміни визначають за формулою:

$$T_0 = N_0 \cdot t_{01}, \quad (3.4)$$

де t_{01} – тривалість одного проходу дроном довжиною l_p , год,

$$t_{01} = l_p / V_p ;$$

N_0 – загальна кількість проходів, виконаних дроном.

Упродовж зміни агродрон, обробляючи задану ділянку поля, виконує n технологічних етапів, на кожному з яких використовується повний об'єм бака з робочою рідиною. Кількість таких етапів визначають за формулою

$$n_E = \frac{T_{\Pi}}{t_E}, \quad (3.5)$$

де t_E – тривалість одного етапу (прохід полем в одному або двох напрямках до повного спорожнення бака з хімічною рідиною) год.

Тривалість одного етапу, год, визначають за виразом, t_E , год

$$t_E = t_{PYX} + t_0 + t_X, \quad (3.6)$$

де t_{PYX} – час зльоту, посадки та підходу дрона до межі поля, год;

t_0 – час безпосереднього виконання технологічного процесу в межах етапу, год;

t_X – час холостого ходу, год.

Час зльоту, посадки та підходу дрона до межі поля визначають за формулою

$$t_{PYX} = 2 \cdot \left(t_{3Л} + \frac{L \cdot 10^{-3}}{V_0} \right), \quad (3.7)$$

де $t_{3Л}$ – час зльоту та посадки агродрона, $t_{3Л} = 0,0083$ год;

L – відстань від наземної сервісної станції до краю поля, м;

V_0 – середня швидкість руху дрона від станції до межі поля, км/год,

$$V_0 = V_P/2.$$

Тривалість виконання технологічного процесу за один етап (час обприскування) визначають за формулою:

$$t_0 = \frac{l_0 \cdot 10^{-3}}{V_P}, \quad (3.8)$$

де l_0 – довжина траєкторії польоту дрона під час виконання одного технологічного етапу, м.

Довжину польоту агродрона, l_0 , м, визначають за залежністю:

$$l_0 = \frac{v_B \cdot 10^4}{H \cdot q}, \quad (3.9)$$

де v_B – місткість бака з робочою рідиною, л;

q – норма витрати технологічної рідини на 1 га оброблюваної площі, л/га.

Час холостого ходу за один етап визначають за формулою

$$t_X = \frac{l_X \cdot n_{ПР} \cdot 10^{-3}}{V_X}, \quad (3.10)$$

де l_X – довжина холостого пробігу дрона під час розвороту, м, $l_X \approx H$;

$n_{ПР}$ – кількість проходів (розворотів) дрона в межах одного етапу;

V_X – швидкість руху дрона під час виконання розворотів, км/год.

Кількість проходів (розворотів) агродрона за один етап визначають за формулою:

$$n_{ПР} = \frac{l_0}{l_P}. \quad (3.11)$$

Загальну кількість проходів дрона по полю визначають за виразом:

$$N_0 = n_E \cdot n_{ПР}, \quad (3.12)$$

де n_E – кількість технологічних етапів;

$n_{ПР}$ – кількість циклів (проходів) дрона в межах одного етапу.

За однакових технологічних параметрів роботи агродронів (робоча швидкість, ширина захвату зони розпилення, норма витрати робочої рідини) підвищення продуктивності досягається за рахунок зростання коефіцієнта використання часу зміни [5].

Саме цим пояснюється залежність між експлуатаційною продуктивністю агродронів для запропонованих технологічних схем (рис. 3.6),

$$W_b = 2 W_a; \quad W_d = 2 W_c;$$

Оскільки,

$$\frac{\tau_b}{\tau_a} \approx \frac{\tau_d}{\tau_c} \approx 2.$$

Час реалізації технологічного процесу обприскування агродроном, тобто інтервал, протягом якого повністю витрачається об'єм одного бака робочої рідини, визначають за виразом:

$$T_0 = 3,6 \cdot 10^4 \cdot \frac{v_B}{q \cdot H \cdot V_p}, \quad (3.13)$$

де v_B – місткість бака з робочою рідиною, л;

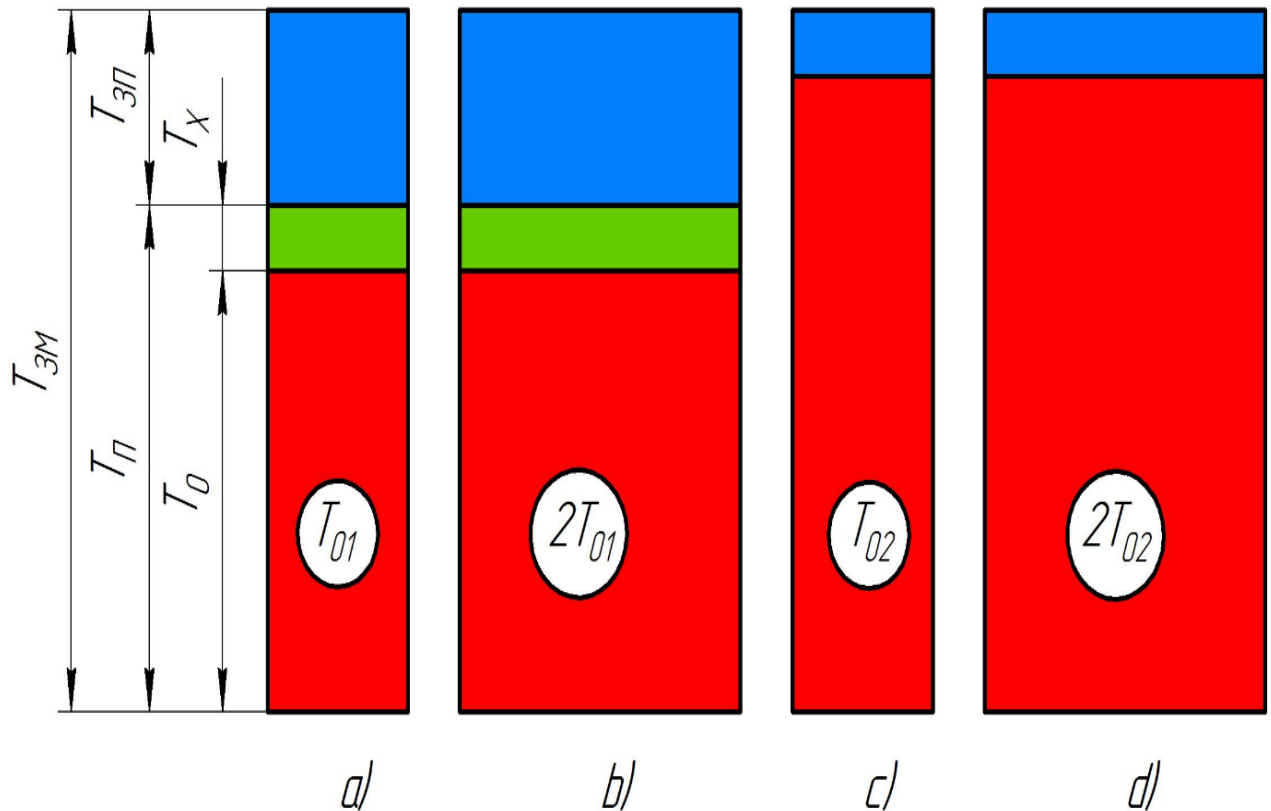
H – робоча ширина захвату зони розпилення агродроном, м;

q – норма витрати технологічної рідини на 1 га оброблюваної площі, л/га;

V_p – робоча швидкість руху агродрона, км/год.

Ефективне внесення агрохімічних препаратів забезпечується за таких швидкісних режимів руху дронів: 10-12 км/год – для полів зі складним рельєфом; до 23 км/год – для рівнинних ділянок. Робоча ширина захвату зони розпилення агродронами, як правило, становить 6-12 м.

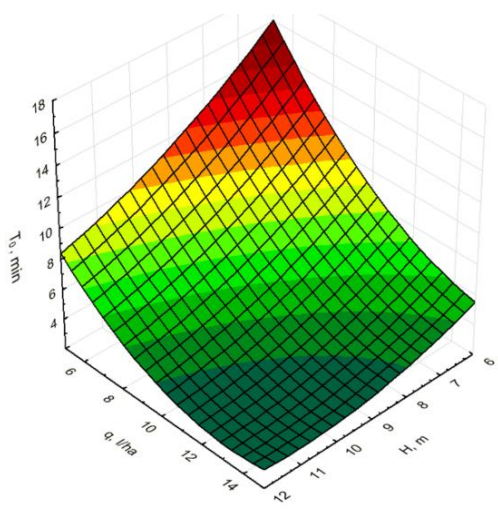
Задавши певні вихідні умови, а саме: значення ширини захвату зони розпилення та норми витрати технологічної рідини за сталої швидкості руху агродрона і незмінного об'єму бака з хімічною речовиною, проведемо аналіз витрат часу на виконання технологічного процесу обприскування (рис. 3.7).



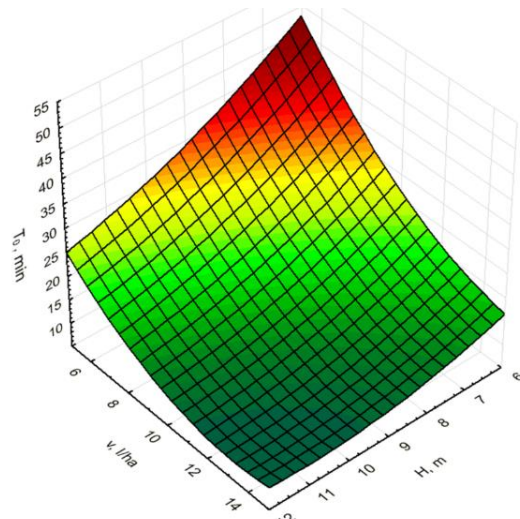
а – відповідає технологічній схемі (див. рис. 3.1); б – відповідає технологічній схемі (див. рис. 3.3); с – відповідає технологічній схемі (див. рис. 4); d – відповідає технологічній схемі (див. рис. 3.4). T_{3M} тривалість робочої зміни; T_0 – час виконання основного технологічного процесу; $T_{3П}$ – час заряджання акумуляторів і заправлення баків робочою хімічною рідиною; $T_П$ – час перебування агродрона в повітрі; T_X – тривалість холостих переміщень.

Рисунок 3.6 – Діаграми розподілу витрат робочого часу агродронів-обприскувачів протягом зміни.

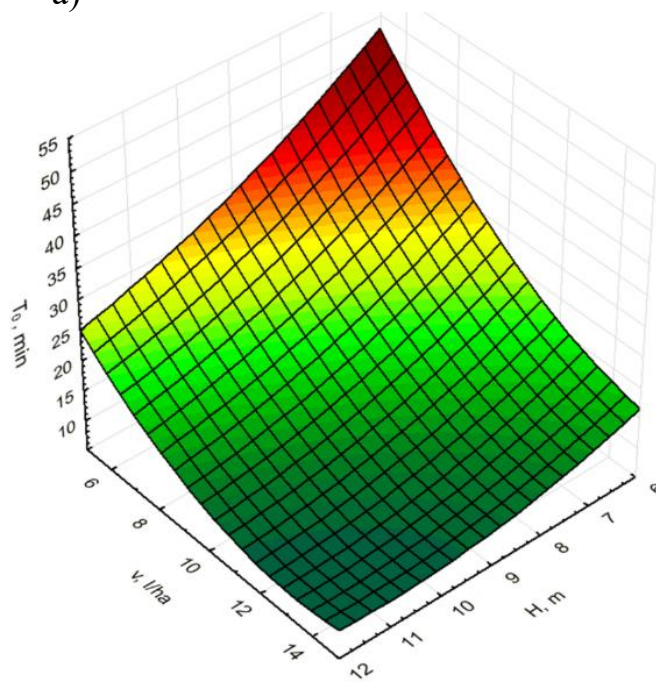
Використовуючи отримані розрахункові дані (рис. 3.7), з'являється можливість узгодити тривалість виконання технологічного процесу обприскування агродронами залежно від місткості бака робочої рідини та енергетичного ресурсу акумуляторних батарей безпілотних апаратів [5;15;17].



а)



б)



в)

а – за робочої швидкості 12 км/год та місткості бака 10 л; б – за робочої швидкості 12 км/год та місткості бака 20 л; в – за робочої швидкості 12 км/год та місткості бака 30 л.

Рисунок 3.7 – Час виконання технологічного процесу обприскування агродронами

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Вимоги до організації робіт із пестицидами.

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

1. 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.

2. 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.

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

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

5. 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 [4;13].

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.

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;13].

4.2. Заходи безпеки під час приготування робочих рідин пестицидів.

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.

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.

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 [13].

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

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 [4].

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 оброблені поля

Після проведення хімічного захисту сільськогосподарських культур особливого значення набуває дотримання вимог безпеки під час виконання подальших польових робіт. Пестициди, навіть після завершення обробки, певний час зберігаються на поверхні рослин, у верхньому шарі ґрунту та в приземному шарі повітря. Тому передчасний вихід працівників на оброблені площі може призвести до контакту з токсичними речовинами та стати причиною гострих або хронічних професійних отруєнь. З метою запобігання негативному впливу пестицидів на здоров'я працівників встановлюються регламентовані строки безпечного виходу людей на оброблені поля, які визначаються токсикологічними характеристиками препаратів, способом їх внесення та умовами навколишнього середовища [4].

Вихід людей на площі, оброблені засобами захисту рослин, дозволяється лише після закінчення встановленого строку очікування. Для більшості сучасних препаратів механізовані роботи можуть проводитися не раніше ніж через три доби після обробки, тоді як ручні роботи, пов'язані з безпосереднім контактом із рослинами, допускаються не раніше ніж через сім діб. Такі

терміни забезпечують достатнє зниження концентрації діючих речовин до безпечного рівня та мінімізують ризик їх потрапляння до організму людини через органи дихання або шкіру.

Особливу увагу необхідно приділяти метеорологічним умовам. Після випадання опадів, утворення рясної роси або за високої температури повітря інтенсивність випаровування окремих компонентів пестицидів може підвищуватися, що збільшує ймовірність їх надходження в організм працюючих. У зв'язку з цим ручні роботи на оброблених площах рекомендується проводити в другій половині дня, переважно після 15-ї години, коли рослини повністю висохли, а концентрація залишкових хімічних речовин у приземному шарі повітря зменшується. Для просапних культур доцільним є проведення міжрядного розпушування ґрунту за добу до початку ручних робіт, що сприяє покращенню аерації ґрунту та прискорює процес випаровування і розкладання залишків пестицидів [13].

Під час виконання ручних робіт на оброблених площах працівники повинні дотримуватися визначених правил організації праці. Роботу слід проводити таким чином, щоб людина перебувала обличчям до напрямку вітру. Це дає можливість уникнути потрапляння на працівника пилу, аерозолів та випарів пестицидів, які можуть переноситися повітряними потоками. За наявності бокового вітру напрямок руху працівників необхідно організовувати так, щоб повітряний потік був спрямований у бік уже обробленої або прополотої ділянки. Такий підхід дозволяє суттєво знизити рівень контакту з небезпечними речовинами та забезпечує більш безпечні умови праці.

Не допускається виконання ручних робіт у місцях зі слабким природним повітрообміном. До таких ділянок належать улоговини, балки, низини, а також території, розташовані поблизу лісосмуг або інших природних перешкод, що утруднюють циркуляцію повітря. У безвітряну погоду на таких ділянках можливе накопичення токсичних випарів пестицидів у приземному шарі атмосфери, що створює підвищену небезпеку для працівників. Тому

проведення робіт у подібних умовах забороняється до повного завершення процесів деградації та розсіювання шкідливих речовин.

З метою недопущення впливу пестицидів, що можуть переноситися повітряними потоками під час обробки посівів, забороняється виконувати ручні роботи на ділянках, які межують із площами проведення хімічних обробок. Для забезпечення безпеки працівників встановлюються санітарно-захисні розриви. При наземному способі внесення пестицидів відстань від місця обробки до зони виконання робіт повинна становити не менше 300 м з урахуванням напрямку вітру. У разі застосування авіаційного способу обробки ця відстань збільшується до 1000 м, оскільки дрібнодисперсні аерозолі можуть переноситися на значні відстані [4;13].

Усі працівники, які допускаються до робіт на площах після застосування пестицидів, повинні бути проінструктовані щодо правил безпечної праці, ознайомлені з термінами виходу на оброблені поля та забезпечені необхідними засобами індивідуального захисту. Керівник робіт зобов'язаний контролювати дотримання встановлених регламентів і не допускати працівників до виконання робіт у разі порушення строків очікування або несприятливих погодних умов.

4.4. Засоби індивідуального захисту під час роботи з пестицидами.

Під час роботи з пестицидами необхідно суворо дотримуватися вимог охорони праці та санітарно-гігієнічних норм, оскільки хімічні засоби захисту рослин можуть негативно впливати на здоров'я людини. Потрапляння пестицидів до організму через органи дихання, шкіру або травну систему може спричинити гострі отруєння, алергічні реакції, подразнення слизових оболонок та інші небезпечні наслідки. Саме тому працівники повинні бути забезпечені відповідними засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), аптечкою першої до

лікарняної допомоги та пройти інструктаж із безпечного виконання робіт.

Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту здійснюється за рахунок господарства, підприємства або роботодавця, а у приватному секторі – за власні кошти працівника. До основних засобів індивідуального захисту належать: спеціальний одяг (комбінезон або халат із щільної тканини), гумові рукавички, захисні окуляри, респіратори або протигази, гумові чоботи та головні убори. Вибір конкретних засобів захисту залежить від токсичності препарату, способу його внесення та умов праці [4].

Керівництво господарства чи підприємства зобов'язане організувати правильне зберігання, прання, ремонт, очищення та знезараження спецодягу і засобів захисту. Забороняється прати спецодяг разом із побутовими речами або зберігати його у житлових приміщеннях. Після завершення робіт спецодяг підлягає очищенню та дезактивації відповідно до встановлених санітарних вимог.

Застосування засобів індивідуального захисту повинно відповідати виду виконуваних робіт. Під час приготування робочих розчинів та заправлення обприскувачів особливу увагу приділяють захисту органів дихання, очей та рук, оскільки саме на цих етапах існує найбільший ризик контакту з концентрованими препаратами. Під час обприскування працівники повинні працювати у справних респіраторах, уникати потрапляння аерозолю на відкриті ділянки шкіри та не перебувати у зоні дії вітру.

Знімати засоби індивідуального захисту необхідно у чітко визначеній послідовності, щоб уникнути потрапляння залишків пестицидів на шкіру або одяг. Спочатку, не знімаючи рукавичок, очищають засоби захисту рук від залишків препаратів, промивають гумові рукавички у вапняному молоці, а потім у чистій воді. Після цього обережно знімають окуляри, респіратор, чоботи та комбінезон. Наприкінці ще раз очищають і знімають рукавички, після чого необхідно ретельно вимити руки та обличчя з милом, а за можливості прийняти душ.

Зберігати засоби індивідуального захисту слід у спеціально відведених приміщеннях або індивідуальних шафах, ізольованих від пестицидів, продуктів харчування, кормів та питної води. Не допускається використання пошкоджених або забруднених засобів захисту. Регулярний контроль стану ЗІЗ дозволяє знизити ризик професійних захворювань і забезпечити безпечні умови праці.

Під час роботи з пестицидами забороняється палити, вживати їжу або напої. У разі появи ознак отруєння (запаморочення, нудота, слабкість, утруднене дихання) працівника необхідно негайно вивести із зони обробки, надати першу допомогу та звернутися до медичного закладу. Дотримання правил охорони праці та правильне використання засобів індивідуального захисту є важливою умовою збереження здоров'я працівників і безпечного застосування пестицидів у сільському господарстві[4;13].

4.5. Перша лікарська допомога

Під час виконання робіт із пестицидами на робочому місці обов'язково повинна бути наявна аптечка першої долікарської допомоги, укомплектована відповідно до характеру можливих токсичних уражень. У разі появи перших ознак отруєння, таких як запаморочення, головний біль, нудота, слабкість або порушення дихання, потерпілому необхідно негайно надати першу допомогу до прибуття медичного працівника.

Першочерговим заходом є припинення контакту потерпілого з токсичною речовиною: його слід вивести на свіже повітря, зняти забруднений спецодяг та засоби індивідуального захисту, при цьому особа, яка надає допомогу, повинна використовувати гумові рукавички для запобігання вторинному ураженню.

У разі потрапляння пестицидів до організму через шлунково-кишковий тракт необхідно провести промивання шлунка. Потерпілому дають випити значну кількість теплої води або слабкого розчину перманганату калію чи гірчичного розчину з подальшим штучним викликанням блювання. Викликати блювання забороняється у випадках втрати свідомості або сильного запаморочення. Після очищення шлунка рекомендується застосування адсорбентів, зокрема активованого вугілля, а також обволікаючих засобів – білкової або крохмальної суспензії. Для прискорення виведення токсичних речовин можуть використовуватися сольові проносні препарати. При отруєнні рідким аміаком промивання здійснюють 1-2 % розчином оцтової кислоти. [4].

Якщо токсичні речовини потрапили через дихальні шляхи, що супроводжується кашлем, задихою або ціанозом, потерпілому забезпечують доступ свіжого повітря та проводять теплі інгаляції 2 % розчином натрію гідрокарбонату. У разі отруєння аміаком застосовують інгаляції слабких розчинів оцтової або лимонної кислоти. При виражених спазмах дихальних шляхів рекомендується теплове зігрівання шиї та використання протикашльових засобів. У випадку порушення або зупинки дихання необхідно негайно провести штучну вентиляцію легень, а при задусі – забезпечити подачу кисню.

У разі потрапляння пестицидів в очі необхідно негайно промити їх великою кількістю чистої води або 2 % розчином питної соди чи борної кислоти. При ураженні аміаком використовують 0,5 % розчин квасців. За наявності сильного подразнення або болю допускається закапування 30 % розчину альбуциду [4;13].

У випадку забруднення шкіри пестициди необхідно негайно видалити ватним або марлевим тампоном, не розтираючи поверхню шкіри, після чого ретельно промити уражене місце водою з милом. При опіках аміаком уражені ділянки додатково обробляють примочками з 5 % розчину оцтової або лимонної кислоти.

При розвитку запаморочення потерпілому дають вдихнути пари нашатирного спирту. У разі припинення серцевої діяльності проводять непрямий масаж серця через грудну клітку. Якщо у потерпілого спостерігаються судоми, його необхідно негайно вивести на свіже повітря, забезпечити спокій та контроль за функціями дихання і серцево-судинної системи до прибуття медичних працівників.

ВИСНОВКИ

У роботі було проаналізовано сучасний стан розвитку агродронових систем обприскування та встановлено, що вони є перспективним інструментом точного землеробства, який забезпечує підвищення ефективності внесення засобів захисту рослин і зниження витрат ресурсів.

1. Визначено основні фактори, що впливають на продуктивність агродронів, зокрема технічні характеристики апаратів, норму внесення робочого розчину, погодні умови та рівень організації виробничого процесу.

2. На основі проведених розрахунків встановлено, що застосування агродронів сприяє зниженню витрат матеріальних ресурсів, мінімізації втрат урожаю та підвищенню ефективності обробки сільськогосподарських культур.

3. Обґрунтовано доцільність використання різних технологічних схем обприскування залежно від умов господарювання, зокрема ефективність диференційованого внесення та обробки складних ділянок.

4. Розроблено практичні рекомендації щодо оптимальної організації робочого процесу, які передбачають використання бригадного методу, планування маршрутів польоту, скорочення простоїв та врахування погодних факторів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гевко І. Б., Довбуш Т. А., Цьонь О. П., Довбуш А. Д., Станько А. І. Синтез гвинтових робочих органів із еластичними поверхнями та результати їх дослідження. Сільськогосподарські машини. 2021. Вип. 47. С. 63–72.
2. Гевко Р. Б., Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Дячун А. Є., Залуцький С. З., Станько А. І., Довбуш Т. А. Гвинтові конвеєри з еластичними поверхнями. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2024. 239 с.
3. Гевко Р. Б., Хомик Н. І., Жаровський О. С., Довбуш Т. А. Деталі машин та основи автоматизованого конструювання : навч. посіб. до лабораторних робіт. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. 256 с.
4. Гогіташвілі Г. Г., Лапін В. М. Основи охорони праці. Львів : Новий світ, 2000. 230 с.
5. Довбуш Т. А., Гевко Р. Б., Хомик Н. І. Спосіб авіаційної хімічної обробки рослин з використанням дронів-обприскувачів // Сучасні технології промислового комплексу-2020 : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., Херсон, 2019. Херсон : ХНТУ, 2019. С. 40–41.
6. Довбуш Т. А., Хомик Н. І., Бабій А. В., Цьонь Г. Б., Довбуш А. Д. Опір матеріалів : навч. посіб. до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2022. 220 с.
7. Довбуш Т. А., Хомик Н. І., Довбуш А. Д., Цьонь Г. Б. Шляхи зменшення металомісткості гнучких шнекових механізмів // Проблеми теорії проектування та виготовлення транспортно-технологічних машин : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., Тернопіль
8. Довбуш Т. А., Хомик Н. І., Цьонь Г. Б. Зниження металоємності гнучких транспортуючих механізмів // Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., Тернопіль, 14–15 травня 2020 р. Тернопіль : ТНТУ, 2020. С. 20–21.

9. Хомик Н. І., Довбуш Т. А., Цьонь Г. Б. *Машини та обладнання для тваринництва : навч.-метод. посіб. до виконання курсового проєкту.* Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2017. 84 с.
10. Хомик Н. І., Мартинюк В. В., Бабій А. В., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А., Довбуш А. Д. *Агрозахист : навч. посіб. / за заг. ред. Н. І. Хомик.* Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. 520 с.
11. Хомик Н. І., Олексюк В. П., Сташків М. Я., Бабій А. В., Довбуш Т. А. *Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності «Агроінженерія».* Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. 180 с.
12. Хомик Н. І., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А., Антончак Н. А. *Основи агрономії : навч. посіб. до практичних занять та самостійної роботи.* Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. 320 с.
13. Хомик Н. І., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А., Блозва І. Й., Довбуш А. Д. *Вступ до фаху : навч. посіб. для студентів спеціальності 208 «Агроінженерія».* Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2022. 348 с.
14. Хомик Н. І., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А., Олексюк В. П. *Основи агрономії : навч. посіб. (курс лекцій).* Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. 232 с.
15. UAV in Precision Agriculture // arXiv. – 2023. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2307.04037> (дата звернення: 12.05.2026).
16. Babii A., Dovbush T., Khomyk N., Dovbush A., Tson H., Oleksyuk V. *Mathematical model of a loaded supporting frame of a solid fertilizers distributor.* *Procedia Structural Integrity.* 2022. Vol. 36. P. 203–210. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.025>
17. Chen H., Lan Y., Fritz B. K., et al. *Review of agricultural spraying technologies using unmanned aerial vehicle (UAV) // International Journal of Agricultural and Biological Engineering.* – 2021. – Vol. 14, No. 1. – P. 1–16.

18. Dovbush T., Dovbush A., Khomyk N., Tson H. Substantiation of flexible screw conveyor metal consumption under productivity maintenance conditions. *Scientific Journal of TNTU*. 2021. Vol. 103, No. 3. P. 33–42.
19. Dovbush T., Khomyk N., Dovbush A. Research of the mathematical model of the tribosystem head rod-bushing of the traction organ of rod transporters. *Scientific Journal of TNTU*. 2024. Vol. 115, No. 3. P. 112–121.
20. Dovbush T., Khomyk N., Dovbush A., Palyukh A. Estimation of the load capacity and the strain-stress state of rod transporters. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*. 2022. Vol. 108, No. 4. P. 5–15.
21. Hevko I., Liashuk O., Tson O., Dovbush T., Zalutskyi S., Stanko A. Installation for the investigation of screw working bodies with elastic surfaces and the results of their experimental tests. *Scientific Journal of TNTU*. 2021. Vol. 103, No. 3. P. 98–109.
22. Hevko R., Lyashuk O., Dzyura V., Dovbush T., Trokhaniak O., Liashko A. Experimental studies of the process of loose material transportation by a pneumatic-screw conveyor. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2021. P. 479–487.
23. Rybak T., Popovych P., Khomyk N., Dovbush T., Tson H. Simulation calculations on quasistatic strength of structural elements of heavily loaded agricultural machines. *Visnyk KhNTUSH im. P. Vasylenka*. 2013. P. 321–326.
24. Tson H., Baranovskyi V., Lyashuk O., Dovbush T. Experimental researches of parameters of the technological process of the improved beet tops purifier. *Scientific Journal of TNTU*. 2018. Vol. 92, No. 4. P. 60–67. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2018.04.060
25. Tson H., Dovbush T., Martyniuk V., Khomyk N., Stashkiv M., Dovbush A. Development of highly productive technological schemes for the use of agrodrones for plant protection. *Scientific Journal of TNTU*. 2025. Vol. 118, No. 2. P. 66–78.

ДОДАТКИ