

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

Навчально-науковий інститут загально університетської підготовки

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
Машиновикористання в землеробстві  
доцент \_\_\_\_\_ Володимир КУВАЧОВ  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 року

**Пояснювальна записка**

до дипломної роботи  
здобувача ступеня вищої освіти «Магістр»

на тему: **«ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМИ БЕЗПЛОТНОЇ  
СИСТЕМИ, ПАРАМЕТРІВ БПЛА ТА СПОСОБУ ВНЕСЕННЯ  
АГРОХІМІКАТІВ І БІОПРЕПАРАТІВ У  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ»**

**32МЗД.015.000000ПЗ**

Виконав: здобувачу ВО 2 курсу 21МБАІ 3 групи  
Спеціальності 208 Агроінженерія  
Освітня програма Агроінженерія

\_\_\_\_\_ Я.О. КРАВЕЦЬ

Керівник доц.

Консультант проф. \_\_\_\_\_ Ю.П. РОГАЧ

Нормоконтроль доц. \_\_\_\_\_ Т.С. ЧОРНА

Рецензент \_\_\_\_\_  
(підпис) (ініціали та прізвище)

**Мелітополь**

**2021**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ**  
**УНІВЕРСИТЕТ**  
**ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

Інститут, факультет ННІ ЗУП

Кафедра Машиновикористання в землеробстві

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 208 Агроінженерія

Освітня програма Агроінженерія  
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МВЗ

доцент \_\_\_\_\_ Володимир  
КУВАЧОВ

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВО**

КРАВЦЮ Ярославу Олеговичу

1 Тема роботи: «Обґрунтування схеми безпілотної системи, параметрів БПЛА та способу внесення агрохімікатів і біопрепаратів у сільськогосподарському виробництві»

керівник проекту

затверджена наказом ректора університету від “ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_.

2 Строк подання студентом роботи 22.01.2021 р.

3 Вихідні дані до роботи Результати практики, Інформація з науково-практичних періодичних видань України, рекомендовані технологічні карти на вирощування сільськогосподарських культур на півдні України, нормативні документи тощо.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Проаналізувати актуальність теми роботи та проблеми, поставити задачі до виконання досліджень та/або розробки інновацій

2. Обґрунтувати схеми безпілотної системи, параметри БПЛА та способу внесення агрохімікатів і біопрепаратів у сільськогосподарському виробництві

3. Обґрунтувати технологію внесення агрохімікатів і біопрепаратів з використанням БПЛА в системі точного землеробства

4. Проаналізувати, обґрунтувати та розробити заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

5. Оцінити економічну ефективність використання БПЛА на технологічних операціях внесення агрохімікатів і біопрепаратів

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Аналіз проблем використання БПЛА у сільському господарстві

2. Блок-схема технології диференційованого внесення біопрепаратів і агрохімікатів з використанням БПЛА

3. Блок-схема основних операцій по збору вихідної інформації для створення карти фітосанітарного стану поля і розробки карт-завдань для БПЛА

4. Блок-схема алгоритму підготовки БПЛА до польоту і диференційованого внесення агрохімікатів та біопрепаратів

5. Теоретичні дослідження показників роботи БПЛА

6. Схема пристрою для розкидання технологічних матеріалів з БПЛА

7. Моделювання процесу польоту частинки технологічного матеріалу, кинуті з БПЛА

8. Оцінка економічної ефективності використання БПЛА на технологічних операціях внесення агрохімікатів і біопрепаратів

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	РОГАЧ Ю.П., професор		

7 Дата видачі завдання 21.12.2020 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Актуальність теми, аналіз проблеми та постановка задач	21.12.2020 р.- 29.12.2020 р.	
2	Обґрунтування схеми безпілотної системи, параметрів БПЛА та способу внесення агрохімікатів і біопрепаратів у сільськогосподарському виробництві	30.12.2020 р.- 06.01.2021 р.	
3	Обґрунтування технології внесення агрохімікатів і біопрепаратів з використанням БПЛА в системі точного землеробства	07.01.2021р. - 14.01.2021 р.	
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	15.01.2021р. -	

		18.01.2021 р.	
5	Оцінка економічної ефективності використання БПЛА на технологічних операціях внесення агрохімікатів і біопрепаратів	19.01.2021 р.- 22.01.2021 р.	

**Студент** \_\_\_\_\_ **Я.О. КРАВЕЦЬ**  
*(підпис)* *(ініціали та прізвище)*

**Керівник роботи** \_\_\_\_\_  
*(підпис)* *(ініціали та прізвище)*

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	кількість сторінок	кількість аркушів	Примітка
	A4	32МЗД.015.000000ПЗ	Пояснювальна записка	103		
	A1	32МЗД.015.101000	Аналіз проблем використання БПЛА у сільському господарстві	1	1	
	A1	32МЗД.015.201000	Блок-схема технології диференційованого внесення біопрепаратів і агрохімікатів з використанням БПЛА	1	2	
	A1	32МЗД.015.202000	Блок-схема основних операцій по збору вихідної інформації для створення карти фітосанітарного стану поля і розробки карт-завдань для БПЛА	1	3	
	A1	32МЗД.015.203000	Блок-схема алгоритму підготовки БПЛА до польоту і диференційованого внесення агрохімікатів та біопрепаратів	1	4	
	A1	32МЗД.015.204000	Теоретичні дослідження показників роботи БПЛА	1	5	
32МЗД.015.000000ВДР						
Зм.	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	Дипломна робота Літ.   Аркуш   Аркуш       1   2 ТДАТУ, 2021	
Розроб.	Кравець					
Перев.						
Н. контр.	Чорна					
Затв.	Кувачов					



## РЕФЕРАТ

Дипломна робота: **103 сторінки машинопису, 5 розділів, 6 таблиць, 43 джерела літератури.**

Графічна частина роботи – **8 листів формату А1.**

**Мета роботи** – обґрунтування доцільності та підвищення ефективності використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у сільському господарстві.

**Об’єкт досліджень** – процес внесення агрохімікатів і біопрепаратів за допомогою БПЛА.

**Предмет досліджень** – закономірності впливу схеми та параметрів БПЛА на техніко-експлуатаційні показники його роботи при внесенні агрохімікатів і біопрепаратів.

В роботі проаналізовано актуальність теми роботи та проблеми використання БПЛА на внесенні агрохімікатів і біопрепаратів.

Обґрунтовано схему безпілотної системи, параметри БПЛА та спосіб внесення агрохімікатів і біопрепаратів у сільськогосподарському виробництві за допомогою запропонованого пристрою для розкидання технологічних матеріалів з БПЛА.

Розроблені блок-схеми технології диференційованого внесення біопрепаратів і агрохімікатів з використанням БПЛА, основних операцій по збору вихідної інформації для створення карти фітосанітарного стану поля і розробки карт-завдань для БПЛА, алгоритму підготовки БПЛА до польоту і диференційованого внесення агрохімікатів та біопрепаратів.

Проаналізовані, обґрунтовані та розроблені заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

Оцінено економічну ефективність використання БПЛА на технологічних операціях внесення агрохімікатів і біопрепаратів

**Ключові слова:** БЕЗПЛОТНИЙ ЛІТАЛЬНИЙ АПАРАТ, БПЛА, ДРОН, ТЕХНОЛОГІЯ ВНЕСЕННЯ АГРОХІМІКАТІВ І БІОПРЕПАРАТІВ, МОДЕЛЮВАННЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ.

## ЗМІСТ

Вступ	7
1. Актуальність теми, аналіз проблеми та постановка задач	9
1.1 Перспективи використання безпілотних літальних апаратів у сільськогосподарському виробництві	9
1.2 Способи внесення технологічних матеріалів за допомогою БПЛА	18
2 Обґрунтування схеми безпілотної системи, параметрів БПЛА та способу внесення агрохімікатів і біопрепаратів у сільськогосподарському виробництві	30
2.1 Обґрунтування схеми безпілотної системи для внесення агрохімікатів і біопрепаратів	30
2.2 Обґрунтування параметрів безпілотного літального апарату для диференційованого внесення трихограми	38
2.3 Обґрунтування способу та схеми пристрою для розселення біоматеріалів з БПЛА (дрона)	45
3 Обґрунтування технології внесення агрохімікатів і біопрепаратів з використанням БПЛА в системі точного землеробства	58
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	67
4.1 Загальні вимоги нормативних актів щодо управління охороною праці при виконанні польотів безпілотними авіаційними комплексами	67
4.2 Вимоги правил техніки безпеки при використанні БПЛА	74
4.3 Охорона праці при проведенні авіаційно-хімічних робіт	76
4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях	82
5 Оцінка економічної ефективності використання БПЛА на технологічних операціях внесення агрохімікатів і біопрепаратів	86
Висновки	95
Список літератури	100



## ВСТУП

Цифрове сільське господарство вимагає більш високого рівня технічного забезпечення, заснованого на комплексах автоматичних або дистанційно-керованих безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для моніторингу агроценозів, управління агротехнологіями шляхом диференційованого внесення пестицидів і добрив. БПЛА забезпечують якісне внесення засобів захисту рослин і добрив в оптимальні агротехнічні терміни, при високій вологості ґрунту, на складних рельєфах поля, гірських схилах садів і виноградників, рисових полях, в пізні періоди розвитку агроценозів, що мінімізує ризики, пов'язані з недобором урожаю і зниженням його якості, збитками сільгосптоваровиробників. У той же час, незважаючи на широке застосування в розвинених країнах світу точного землеробства, диференційоване внесення добрив і пестицидів здійснюється в основному наземною технікою.

За оцінками закордонних експертів основну частку безпілотних літальних апаратів сільськогосподарського призначення на світовому ринку в 2019 р. займали Мультикоптери - 56% і дрони-планери - 39%. При цьому 69% БПЛА використовують для моніторингу сільськогосподарських угідь і тільки 24% застосовують для внесення засобів захисту рослин і добрив.

За останній час спостерігається зростання виробництва БПЛА на пострадянському просторі в зв'язку зі збільшенням попиту на них, переходом на імпортозаміщення в умовах санкцій, бюджетним, грантовим і приватним фінансуванням розробок безпілотної авіаційної техніки.

У сільськогосподарському виробництві України БПЛА застосовують поки що в основному для моніторингу сільськогосподарських і лісових угідь, створення електронних карт полів з визначенням нормалізованого вегетаційного індексу, прогнозу врожайності, оцінки фіто санітарного стану посівів, екологічного моніторингу, контролю обсягів і якості виконання сільськогосподарських робіт. БПЛА з корисним навантаженням до 10 кг

застосовують для обробки посівів біологічними засобами захисту рослин, зокрема для внесення трихограми, а також розкидання отрути для боротьби з польовими гризунами. Для внесення добрив і пестицидів потрібні БПЛА з корисним навантаженням 80-400 кг.

Технології точного землеробства вимагають більш високого рівня технічного забезпечення, заснованого на програмованих, повністю автономно функціонуючих або дистанційно керованих безпілотних авіаційних системах (БАС), що містять комплекси автоматичних або дистанційно керованих БПЛА для моніторингу агроценозів, управління агротехнологіями шляхом диференційованого внесення мінеральних добрив, пестицидів та інших агрохімікатів.

Для диференційованого внесення засобів захисту рослин (ЗЗР) рослин і добрив кращі БПЛА безаеродромного базування, з невеликим розгоном для зльоту або з вертикальним зльотом і вертикальною посадкою, низьковисотні, гелікоптери, гвинтокрилого і мультіроторного типів, оснащені автопілотом і системою диференційованого розподілу робочих рідин, добрив і пестицидів за певною (заданою) програмою.

Метою роботи є обґрунтування доцільності та підвищення ефективності використання безпілотних літальних апаратів у сільському господарстві.

# **1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ, АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ**

## **1.1 Перспективи використання безпілотних літальних апаратів у сільськогосподарському виробництві**

З появою літальних апаратів – літаків та гелікоптерів, людство почало використовувати їх для різних господарських потреб: перевезення людей та вантажів, спостереження за об'єктами у сільськогосподарському виробництві.

Вперше сільськогосподарська авіація була визначена, як засіб боротьби з шкідниками посівів німецьким лісоводом Альфредом Циммерманом. В заявці на винахід від 29 березня 1911 року він описав застосування літаків для внесення пестицидів (вапняної води) для боротьби з міллю в лісах. Поширеного застосування літаків сільського господарства набуло після першої світової війни. На той час з'явилися пристосовані для такої роботи літаки та спеціально навчені пілоти. В 1920-х роках в багатьох країнах були виконані перші пробні польоти, про результати яких повідомили Нейлі і Хаузер (серпень 1921 року) в США та професор В.Ф. Болдирев (липень 1922 року) в СРСР [1].

Першим літаком спеціально розробленим для внесення хімічних препаратів був літак Ag-1, розроблений у 1949-1950 роках у Техаському авіаційному дослідницькому центрі A&M. Його конструкція стала основою для проектування майже всіх наступних літаків спеціального призначення. Однією з перших у світі розпочала масовий випуск літаків для сільського господарства фірма «Пайпер еіркcraft корпорейшн» розробивши для цього літак PA-25 «Поні» [2].

Історія використання авіації у сільському господарстві України розпочалася в 1923 році. Спеціалісти одеських авіаремонтних майстерень побудували двомісний навчально-тренувальний літак «Коньок-Горбунок».

Завдяки гарних літних характеристик цей літак використовували не тільки для учбових польотів, а також в сільському господарстві. У 1925 році в Україні вперше провели авіа хімічні роботи. В цьому ж році Косяненко А. пропонував наступні напрямки використання літаків: аерофотографія для агропропаганди; аерофотограмметрія для землеустрою; аерофотографія для обліку урожаю; боротьба зі шкідниками [3, 11].

До війни в більшості областях України, особливо південний регіон авіація використовувалась, як для посівів так і для їх захисту. На той час масово використовувався літак ПО-2 (АП). У 1947 році було розпочато випробування літака СХ-1, із запуском цього літака в серійне виробництво він мав назву Ан-2. У 1964 році авіацією було оброблено більше 10 млн. га посівів. На той час випробовувались такі літаки та вертольоти: Ан-2, Як-12, Ан-14, Ми-1, Ка-15 та В-2. 1976 року було виконано авіа розселення трихограми на площі 500 тис. га. З кожним роком все більше використовувалось авіа розселення трихограми. У 1986 році розселено трихограми на площі 1,06 млн. га. З 90-х років використання авіації у сільському господарстві значно скоротилося. На 01.01.2010 р. в Україні зареєстровано 93 авіапідприємств, які надавали послуги сільськогосподарським підприємствам, в парку, яких нараховувалось 720 одиниць техніки: літаків Ан-2, вертольотів Ми-2, Ка-26 [4-6].

На сьогодні літаки для сільськогосподарського виробництва випускається рядом фірм Європи та США. Для сільського господарства використовуються такі групи літальних апаратів [4-7]:

- 1) Бувші у використанні військові літаки таких фірм, як «Боїнг» та «Грумман» (США);
- 2) Бувші літаки цивільного призначення, це DC – 6 (США), АН-2М (СРСР), «Бівер»;
- 3) Літаки, які спеціально вироблені для сільського господарства, таких фірм, як «Пайпер», «Сйрес», «Сесна» (США), тощо;
- 4) Гелікоптери;

5) Дельтаплани;

6) Безпілотні радіокеровані літальні апарати (БПЛА).

У сільському господарстві літальні апарати використовуються для таких технологічних операцій; як внесення мінеральних добрив (підживлення), та отрутохімікатів для боротьби зі шкідниками, бур'янами та хворобами сільськогосподарських культур.

Парк літаків та вертольотів України в основному складає АН-2, Як – 12, Ан – 14, Ми – 1, Ка – 15 та В – 2, а також мотодельтаплани та безпілотні літальні апарати (БПЛА) [4].

Літак Ан-2 конструкції О.К. Антонова для авіаційно-хімічних робіт у сільському господарстві обладнується обпилювачем або обприскувачем. Допустиме завантаження літака (хімікати, добрива та ін.) – 1370 кг [112].

На літаку встановлено дев'ятициліндровий поршневий двигун потужністю 820 к.с., який працює на бензині Б-91. Робоча швидкість літака Ан-2 при виконанні сільськогосподарських робіт-160 км/год. робоча висота польоту 5 – 10 м, ширина захвату до 22 м., витрата палива-150 кг/год. Літак має двомісну кабіну з подвійним керуванням [2].

Сипучі хімікати або добрива завантажують у бак, що встановлений у фюзеляжі літака. Два завантажувальних люка розміщені у верхній частині фюзеляжу. Сучасні конструкції баку виготовлені з пластику.

Останнім часом позитивно зарекомендували перспективи використання дронів у сільськогосподарському виробництві.

У 2018 році вперше в США з'явився в світі довідник для покупців безпілотників. У ньому зібрані кращі моделі безпілотників, які вийшли на ринок. З аналізу цього довідника випливає, що БПЛА діляться на 2 великі класи: літакового типу (або з нерухомим крилом) і мультіроторного. Одне з основних відмінностей полягає в тому, що перші можуть облетіти за один політ територію, приблизно в десять разів більше, ніж коптери. Однак, висока швидкість погіршує якість знімків. Наприклад, безпілотники

літакового типу здатні проводити детальну тривимірну топографічну зйомку [18].

Очолує рейтинг безпілотників SenceFly eBee SQ (його вартість в США - від \$ 12 тис.). Це остання розробка компанії eBee, що спеціалізується на сільськогосподарських дронах, які завоювали популярність і репутацію перевірених у фірм, що займаються наданням послуг фермерам. Таким фермерам необхідна техніка, яка могла б облетіти якомога більшу площу і як можна швидше. Тобто це саме те, що потрібно великим українським агрокомпаніям. Станом на початок року дрони цієї компанії зробили більше 300 тис. вильотів. Цей безпілотник легкий в керуванні, оснащений 5-спектральним сенсором Sequoia (4 спектральних діапазону і видимий / RGB) і вдосконаленим програмним забезпеченням для планування польоту, управління ним і обробки зображень. Він розроблений так, щоб забезпечити повну взаємодію з сільгоспмашиною, яка ці дані отримує.

У комплект входить власний програмний продукт eMotion для планування польоту і роботи наземної станції, що робить процес складання плану польоту по-справжньому простим. Для початку польоту досить завантажити інформацію про межі поля або позначити їх на моніторі. Щоб почати політ, пілоту потрібно тільки інформація про ділянку, який необхідно обстежити. Для це він виставляє дозвіл і визначає бажане перекриття знімків. Програма ж сама складе оптимальний план польоту. Заряду батареї дрона вистачає на обліт 200 га. Дані по безпілотнику можна обробити за допомогою популярних в США програмних продуктів (Pix4Dmapper Ag / Pro, MicaSense ATLAS або AIRINOV), щоб створити карту індексів вегетації. За один політ можна зібрати інформацію про:

- індекс вегетації (NDVI, CCCI, NDRE, MCARI, CWSI і т.д.);
- кількість рослин;
- температуру ґрунту;
- топографію рельєфу (обмежена якість).

Використовуючи карту індексів, за допомогою програмного забезпечення можна створити карту завдання і передати її на сільгоспмашину для виконання або обробити її в будь-який з цілого ряду популярних в США ГІС-програм. Вага безпілота - 1,1 кг, тривалість польоту - 55 хв. Безпілотник піднімається на висоту до 120 м, а роздільна здатність становить 12 см / пік сель [19].

Ще одна дуже популярна машина для обстежень полів з повітря - PrecisionHawk Lancaster - має широкий набір сенсорів і «найрозумніший» серед безпілотників літакового типу, призначених для сільського господарства. Остання модель машини вартістю від \$ 25 тис. укомплектована більш жорстким шасі, яке краще витримує жорсткі посадки, має більший розмах крила для кращої стабільності в повітрі і покращений контроль рейси. До мультиспектрального сенсора, який веде зйомку поверхні, на безпілотник встановлені сенсори вологості, температури, атмосферного тиску, які передають дані в режимі реального часу. Вони використовують штучний інтелект, щоб реагувати на: зміни погодних умов, навантаження, вітру, видимості тощо. Планування польоту дуже легке: досить вказати координати цілі і потрібний дозвіл, а апарат інше зробить автоматично. Запускати безпілотник не важче, ніж паперовий літак. Після виконання плану безпілотник сідає автоматично. Апарат створений на основі відкритого програмного забезпечення, тому розробники можуть створювати або інтегрувати будь-які сенсори. Широкий асортимент сенсорів дозволяє отримувати візуальні, інфрачервоні, мультиспектральні, гіперспектральні і ЛІДАР-зйомки. Замінити сенсор теж легко. Lancaster 5 також обладнаний унікальним програмним продуктом DataMapper для управління та аналізу даних. Доступна як на комп'ютері, так і в «хмарі», DataMapper будує точні двух- і тривимірні карти з географічною прив'язкою. За допомогою цієї програми можна вибирати і завантажувати широкий перелік даних: висота і кількість рослин, NDVI, однорідність поля, вимірювання об'єму, оптимізований індекс вегетації з урахуванням ґрунту (OSAVI), зрошення та

багато іншого. Маса безпілотної - 2,4 кг, корисне навантаження апарату - 1 кг, тривалість польоту - 45 хв, довжина польоту - 2 км. На висоті 90 м безпілотної за один раз може облетіти 120 га. Апарат може бути обладнаний 5-канальною мультиспектральною камерою. Запускається безпілотної однією кнопкою, а максимальна роздільна здатність - 1 см / піксель [20].

Безпілотної AgDrone компанії HoneyComb (вартість від \$ 10 тис.) Містить набір сенсорів, включаючи NDVI, візуальний стереоскопічний і ближній інфрачервоний. Час польоту - до 55 хв. Встановлюється програмне забезпечення для планування і контролю польоту і обладнання на замовлення.

Безпілотної Sentera Phoenix 2стоїмостью \$ 18 тис. розроблений спеціально для спостереження за полями. Робить зйомку одночасно у видимому і ближньому інфрачервоному діапазонах, NDVI-зйомку (в тому числі вживу). За один політ він облітає 40 га [21].

Дрон безпілотної AgEagle RX60 дуже міцний зі скло і вуглецевого волокна, можливість польоту без підзарядки - протягом 60 хв. Отримує зображення у видимому, ближньому інфрачервоному діапазонах і DVI з використанням камери GoPro і інших сенсорів [22].

Безпілотної Trimble UX5 високого рівня вартістю від \$ 25 тис. На замовлення може бути обладнаний камерою, яка забезпечує здатність 2 см/піксель і може працювати в самих жорстких умовах [23].

Мультіроторні апарати краще підходять для моніторингу з близької відстані і детальних досліджень, ніж апарати літакового типу. Вони літають нижче і повільніше і завдяки цьому акуратніше виконують зйомку, забезпечуючи кращу роздільну здатність. Разом з тим площа обльоту у них менше: за одну зарядку більшість коптерів облітають не більше 20 га [24].

Квадрокоптер PrecisionHawk Crop Scouting відноситься до БПЛА початкового рівня. Його вартість в США становить 2000 \$. Має камеру Phantom 4 PRO з вбудованим візуальним сенсором, програмне забезпечення для створення зображень DataMapper Lite, програмний продукт для



моніторингу польоту InField і мобільний додаток для моніторингу і контролю польоту InFlight, що дозволяє управляти коптером через смартфон [24].

Камера Phantom 4 PRO відмінно справляється з більшістю видів візуальної зйомки, однак, щоб повністю пристосувати її для спостереження за полями, слід додатково витратитися, так як вона має свої обмеження. Наприклад, не має мультиспектральних камер для отримання даних NDVI, тому доведеться встановлювати програмні додатки [26].

Дрон Sentera NDVI DJI Phantom 4 PRO призначений для початківців, особливо для моніторингу посівів. Його вартість становить також близько 2000 \$. Повноцінна NDVI-камера для квадрокоптера Phantom 3 або Phantom 4. Поруч з власної камерою квадрокоптера встановлюється камера ближнього інфрачервоного діапазону. Таким чином, користувач отримує камеру кругового огляду для моніторингу і камеру ближнього інфрачервоного діапазону для отримання індексів NDVI [26].

Всі зображення прив'язані до координат на місцевості і часу, що дозволяє легко знайти на поле проблемне місце, виявлене з дрона. На апараті встановлено програмне забезпечення для обробки зображень AgVault. Гарантія діє і при установці другої камери [26].

Доступний дрон DJI Smarter Farming (8300\$) і легкий у запуску коптер для сфери послуг в сільському господарстві і для великих фермерів. На відміну від попередніх коптерів, це повноцінна мультиспектрального платформа для моніторингу полів. Гарантія не має ніяких винятків. На борту коптера знаходиться 2 сенсора. Обробка зображень здійснюється за допомогою програми DataMapping. Всі складові добре інтегровані між собою, випробувані і готові до роботи [2].

Вартість дрона AGCO Solo апарату - 7850\$. Основа - квадрокоптер 3DR Solo, обладнаний двома камерами GoPro: ближнього інфрачервоного діапазону для спостереження за здоров'ям рослин і Hero 4 для кольорової зйомки. Час польоту дрона становить близько 20 хв [22].

**Вітчизняні нормативні документи класифікують** безпілотні літальних апарати безпілотних авіаційних комплексів за такими ознаками [11, 24].

1. За класами БПЛА класифікуються як:

1) I клас "Легкі" (злітною масою до 150 кг), до якого належать:

- мікро (тактичні) БПЛА, що мають злітну масу менше 2 кг, радіус дії до 5 км;

- міні (тактичні поля бою) БПЛА, що мають злітну масу від 2 до 15 кг, радіус дії більше 5 км;

- малі (тактичні) БПЛА, що мають злітну масу більше 15 кг, радіус дії більше 25 км. БПЛА I класу запускаються з руки, за допомогою катапульт, мобільних пускових пристроїв або використовують ЗПС (ЗПМ);

2) II клас "Середні" (злітною масою від 150 до 600 кг), до якого належать тактичні (оперативно-тактичні) БПЛА з радіусом дії більше 50 км. БПЛА II класу запускаються за допомогою катапульт, мобільних пускових пристроїв або використовують ЗПС (ЗПМ);

3) III клас "Важкі" (злітною масою більше 600 кг), до якого належать:

- оперативні БПЛА (medium altitude long endurance - MALE, середньої висоти, довгої тривалості), що застосовуються на висоті до 13700 м (45000 футів) та мають радіус дії більше 200 км;

- стратегічні БПЛА (high altitude long endurance - HALE, великої висоти, довгої тривалості), що застосовуються на висоті до 19800 м (65000 футів) та мають радіус дії більше 200 км. БПЛА III класу потребують ЗПМ зі штучним покриттям.

2. За призначенням БПЛА класифікуються як:

1) бойові БПЛА - призначені для виконання бойових завдань, до яких належать:

- розвідувальні БПЛА;

- БПЛА розвідки та цілевказання;

- БПЛА радіоелектронної боротьби;

- ударні БПЛА;

- БПЛА - перехоплювачі ПС. Бойові БПЛА можуть мати комбіноване призначення;

2) спеціальні БПЛА - призначені для виконання спеціальних завдань як ретранслятори та мішені, а також для спостереження та моніторингу об'єктів, території тощо.

3. За типом, місцем базування, способом зльоту та посадки, типом системи керування польотом БПЛА поділяються на такі:

1) за типом літального апарата:

- літаковий тип;

- вертолітний тип;

- мультироторний;

2) за місцем базування:

- наземне базування;

- річкове (морське) базування;

- повітряне базування;

3) за способом зльоту:

- по-літаковому (з розбігу);

- по-вертолітному (з місця);

- за допомогою засобів запуску (катапульта, пускова установка);

- з руки;

- універсальний (комбінований);

4) за способом посадки:

- по-літаковому (з пробігом);

- по-вертолітному (без пробігу);

- за допомогою засобів посадки (парашут, гальмівний пристрій тощо);

5) за типом системи керування польотом:

- автономні БПЛА, що здійснюють політ за попередньо введеною програмою та можуть мати аварійний режим приведення БпЛА в точку посадки або режим аварійного припинення польоту;

- пілотовані БПЛА, до яких належать:
- БПЛА з ручним пілотуванням;
- БПЛА, що пілотуються автопілотом;
- БПЛА, що пілотуються за допомогою точок шляху;
- БПЛА з комбінованою системою керування.



**JXMR-V10LT**



**DGI Agras MG-1**



**Sovzond Air-Con 3 Pro**



**AGROFLY TF1A**

**Рисунок 1.1 – Приклади популярних закордонних сільськогосподарських дронів**

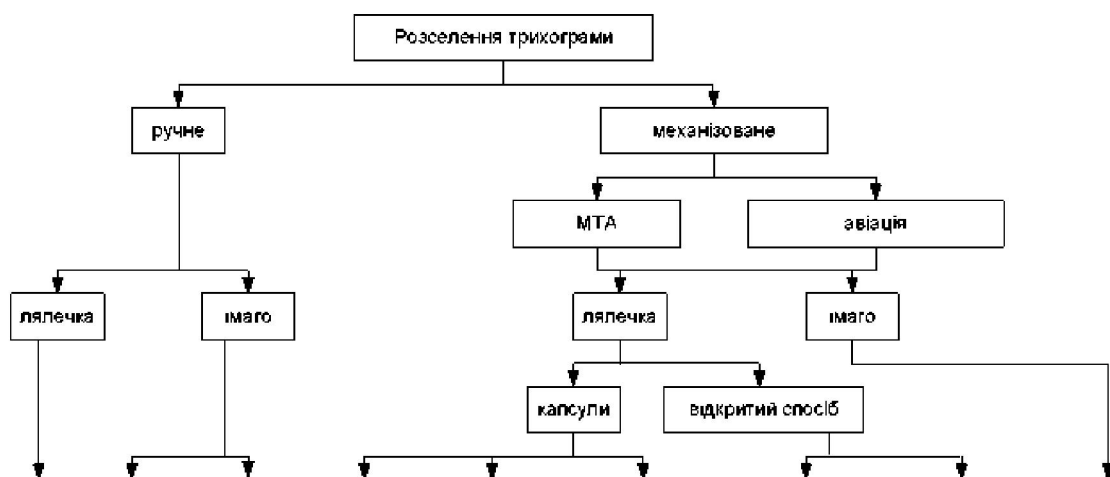
## **1.2 Способи внесення технологічних матеріалів за допомогою БПЛА**

**Система обприскувача, яка встановлюється на літаках, не відрізняється від наземних обприскувачів за винятком привода насоса робочої рідини. На осі насоса встановлений вентилятор, який від набігаючого повітря при польоті літака обертається разом з валом насоса [9].**

Підвищення стандартів до якості продукції рослинництва сільськогосподарського виробництва в світі призводить до впровадження технологій завдяки яким виробляється екологічно чиста продукція. При таких технологіях знижується до мінімуму або і взагалі не використовуються хімічні препарати, як для підживлення, так і захисту рослин від шкідників. Таким чином в основу захисту посівів від шкідників покладено біологічний спосіб захисту [8].

На даний час основним засобом біологічного способу боротьби зі шкідниками як на полях, так і в садах є трихограма. Трихограма відіграє визначальну роль в агробіоценозах і є єдиним ентомофагом, що стримує шкодочинність комплексу небезпечних шкідників таких, як: підгризаючі і листогризучі совки, вогнівки, білани, молі, садові листокрутки тощо [8].

Основними факторами, що визначають ефективність трихограми є період та термін її розселення. У період кладки яєць шкідниками потрібно вчасно та в короткі проміжки часу внести трихограму. До сьогодні та і на даний час у світі використовується багато методик та технологій розселення трихограми. Використовується ручний та механізований способи. Механізований спосіб виконується як наземними МТА, так і авіаційними. На рис. 1.2. наведена класифікація способів розселення трихограми [12-17].



## Рисунок 1.2 – Класифікація способів розселення трихограми

За даними Української лабораторії захисту рослин у 2018 році в Україні захист рослин з використанням трихограми здійснено на площі 677580 га., з яких 562966 га оброблено авіаційним способом [27].

Використання авіації для розселення трихограми є одним з перспективних напрямів розвитку засобів механізації біологічного методу. Основним позитивним фактором при цьому є висока продуктивність (робоча швидкість - 150 км/год.).

Свого часу ВНДІ захисту рослин СРСР разом з Середньоазіатським НДІ захисту рослин у 1986 році розробили технологію та пристрій АРТ – 2 для розселення трихограми за допомогою літака АН-2 для боротьби з стебловим метеликом на кукурудзі, комплексу совок на овочевих і технічних культурах та іншими шкідниками [14, 15].

Пристрій АРТ – 2 (рис. 1.3) [14], виконаний підвісним, на штангах серійного обприскувача. Пристрій складається з циліндричного бункера 1 з конічним дном та кришкою 2. в кришці закріплена трубка 8 для продування біоматеріалу. Для забезпечення постійної витрати через вихідний отвір незалежно від рівня біоматеріалу в бункері встановлений розвантажувальний конус 9. Випускний отвір 3 закривається голкою-дозатором 4 з пневмоприводом.

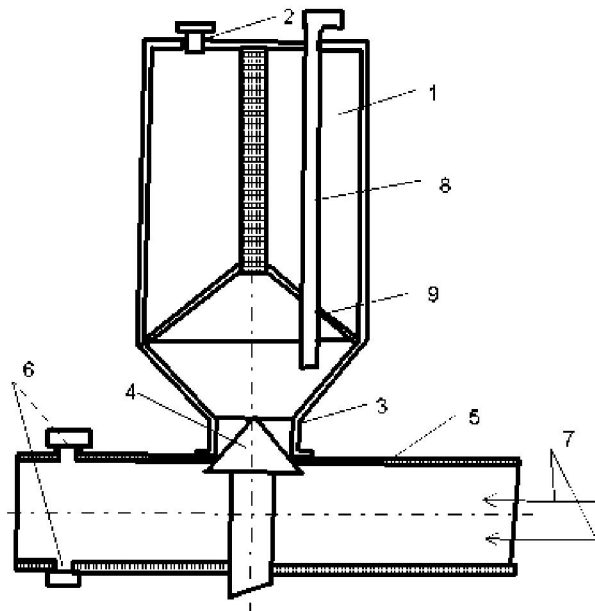


Рисунок 1.3 – Принципова схема пристрою розселення трихограми АРТ-2 [14]

Нижня частина бункера з'єднана з трубою 5, яка спрямовує набігаючий потік у зону випадання біоматеріалу. На вихідному кінці труби виконана кільцева форсунка 6 для розпилення води, яка поступає з насосного агрегату обприскувача АН-2.

В пристрої використано пасивний спосіб виведення біоматеріал бункера, дозування з застосуванням сипкого наповнювача та спосіб осадження за допомогою крапель води.

Після ввімкнення пристрою в роботу в момент відкриття голки-дозатора біоматеріал поступає через кільцеву щілину в дні бункера в вихідну трубу, на кінці якої змочується водою з форсунки і разом з каплями опускається на землю.

Використання пасивного дозатора у вигляді кільцевої щілини, яка може змінювати свою ширину, приводить до того, що малі норми розселення з допомогою АРТ-2 можна забезпечити лише з використанням сипкого наповнювача, перемішуючи його з трихограмою у співвідношенні 10:1. Це підвищує нерівномірність розселення трихограми. Недоліком АРТ-2 є те що на пристрої використано індивідуальні дозатори для кожного робочого органу. Тому, щоб перекрити потрібну ширину захвату, доводиться використовувати декілька пристроїв АРТ-2.

Для усунення недоліків пристрою АРТ – 2 Пасько А.К. запропонував пристрій з активним централізованим дозатором, вибравши при цьому дозування чистого біоматеріалу (рис. 1.4) [15]. Дозатор пристрою складається з циліндричного бункера 1 з конічним дном, дозуючого диска 2 з канавкою 3 та відсмоктуючого патрубкa 4. Дозування біоматеріалу проходить шляхом рівномірного засипання біоматеріалу у канавку диска рівномірним шаром та постійних обертів цього диска [15].

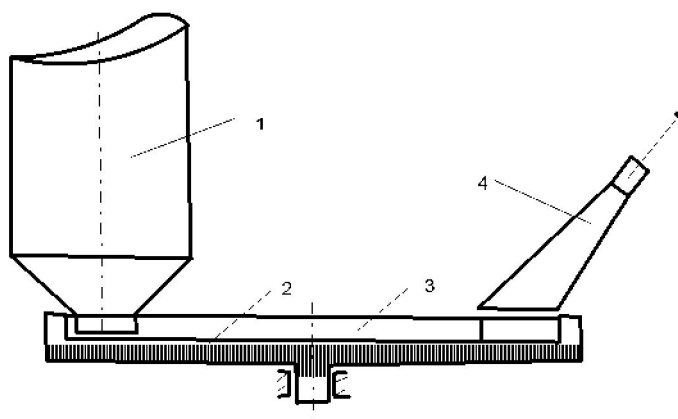


Рисунок 1.4 – Пристрій для розселення трихограми з активним дозатором [15]

Вказані пристрої для розселення трихограми були розроблені для поширеного у сільському господарстві літака АН-2. При цьому недоліком пристрою АРТ-2 є необхідність транспортування літаком великої кількості води.

Для підвищення ефективності технологічної операції розселення трихограми у багатьох західних країнах та в бувшому СРСР проводились експериментальні дослідження з вивчення можливостей застосування мотодельтапланів. Зокрема Краснодарським філіалом НДІ цивільної авіації були розроблені технологія та апаратура для розселення трихограми з мотодельтапланів. Робоча швидкість при цьому становить до 60 км/год., ширина захвату до 15м., продуктивність обробки біля 100 га/год. Такі показники разом з витратою палива 5-8 л/год. та малою вартістю МДП дозволяє зробити висновок про доцільність використання МДП для виконання механізованого розселення трихограми з повітря [16]. Слід



зауважити, що МДП є більш доступним для сільського господарства ніж літаки, що сприяло їх широкому впровадженню.

З розвитком електроніки, і появи малогабаритних пристроїв таких, як кишенькові рації, системи керування, їх почали застосовувати у виробництві систем радіоуправління машинами. Це було поштовхом до появи безпілотних радіокерованих літальних апаратів – БПЛА.

Подібні апарати використовуються сьогодні для військових цілей, наукових досліджень та у спорті.

Завдяки розробкам апаратури радіокерування авіамоделями стало можливим продовжити роботи над удосконаленням БПЛА сільськогосподарського призначення. Ця малогабаритна, цифрова, багатофункціональна апаратура призначена для керування моделями в межах візуального спостереження. Принципово новим є те, що система стала пропорційною, тобто величина відхилення важелів управління на пульті керування відповідає величині відхилення елементів керування літаком. Вага бортової частини комплекту разом із джерелом живлення становить біля 1 кг. Вартість таких систем управління становить біля 200 доларів США [20].

У 1976 році Московський авіаційний інститут разом з НДІ захисту рослин розпочали роботу над створенням БПЛА як носія пристрою для механізованого розселення трихограми. Цей літак (рис. 6) має штовхаючий гвинт та двотактний поршневий двигун робочим об'ємом  $10 \text{ см}^3$  потужністю 1,2 кВт. Він також оснащений пристроєм для капсульного розселення трихограми з приводом від повітряної турбіни. Точки скидання капсул розміщені на кінцях крил. Продуктивність БПЛА складає 30 – 35 га/год. при робочій швидкості до 150 км/год. Вага БПЛА в сухому стані – 6 кг [13].

При виконанні технологічної операції БПЛА рухався, в автоматичному режимі, підтримуючи всі важливі функції. Однак, у будь-який момент часу пілот-оператор може перейти на ручне радіоуправління, що гарантує безпеку і безаварійність використання БПЛА.

Досвід використання БПЛА показав, що за рядом таких важливих показників, як продуктивність, економічність, коефіцієнт завантаження вони переважають інші засоби для механізованого розселення трихограми.

Для суцільного розселення трихограми використовується система автопілоту, в якій встановлюється задана ширина оброблюваної ділянки, висота польоту та зона розвороту, а для локального розселення під час льоту на механізм управління дозатора подається сигнал від інфрачервоного датчика, який налаштований на фіксацію зміни густоти насаджень на оброблюваній ділянці. Принципова схема системи розселення, яка встановлена в фюзеляжі БПЛА, зображена на рис. 1.5.

Безпілотний літальний апарат «А-1» відноситься до легких БПЛА з максимальною злітною масою – 5 кг. Маса цільового навантаження – 1,5 кг. Для покращення транспортування на місце виконання робіт конструкція літака виконана – розбірною, демонтуються крила. Запуск літака відбувається з руки. На БПЛА встановлений електричний двигун потужність, якого дає можливість стартувати без прикладання великих зусиль для його запуску. Посадка літака здійснюється на поверхню поля.

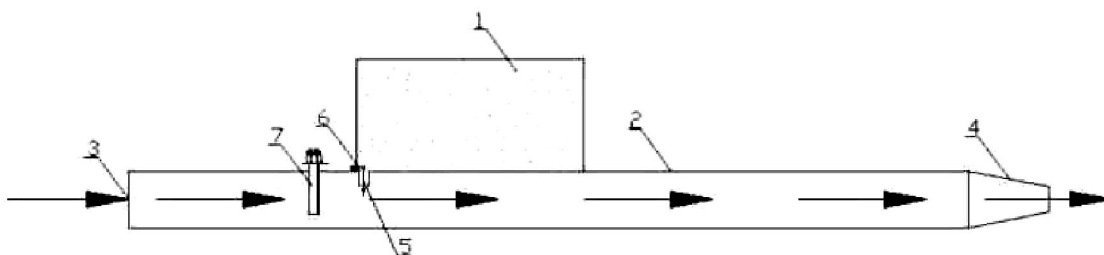


Рисунок 1.5 – Принципова схема системи розселення трихограми:

- 1 – бункер, 2 – повітряний канал, 3 – вхідний дифузор,
- 4 – насадка-розпилувач; 5 – перепускний клапан, 6 – регулятор подачі трихограми, 7 – регулятор швидкості потоку [12]

При виконанні сільськогосподарських робіт за допомогою авіації обробка полів відбувається окремими паралельними смугами, ширина яких відповідає захвату обробки. Оброблювана площа не повинна бути з пропусками та перекриттями. Тому кожна площа повинна бути розмічена на

паралельні умовні лінії відстань між якими відповідає ширині захвату літального засобу. Але умовна лінія на полі це лінія між двома орієнтирами, які бачить пілот літака.

Існує декілька видів орієнтирів, які можуть використовуватись пілотами літаків:

природні орієнтири,

- штучні орієнтири,
- використання сигнальників,
- використання електронних систем управління.

Правило вибору природних орієнтирів визначення не має. Існують також і інші орієнтири такі, як дамби, згини русел річок, пусті поля, тощо. Один орієнтир може застосовуватися для декількох прольотів: не важко визначити одну полосу з одного боку, центральну полосу та полосу з другого боку.

Для підвищення точності виконання прольотів по оброблюваному полі використовують штучні орієнтири. Ці орієнтири виставляються на кінцях поля з відстанню між ними рівною шириною захвату оброблюваної полоси. Штучні орієнтири можуть бути різної форми та матеріалу. Це можливо прапорці яскравого кольору площею  $1\text{ м}^2$ , або щити аналогічного розміру що добре відбивають сонячне світло. За допомогою них пілот виводить літак на задану оброблювану ділянку. Недостатком таких орієнтирів є те, що з мірою росту рослин їх потрібно підіймати вище, також для обробки великих площ потрібно затратити багато часу на їх виготовлення та установку. Використовуються ще такі штучні орієнтири як паперова стрічка довжиною 2,5-4,5 м. з закріпленими вантажами на кінцях вантажами. По ходу літака пілот випускає стрічки що лягають на рослини паралельними лініями які вказують напрямок наступного прольоту літака.

Одним із варіантів орієнтирів на полі є використання сигнальників. Перш за все необхідно розташовувати сигнальників таким чином, щоб їх було видно пілотам. Сигнальники повинні мати одяг чи прапори, добре

помітні на фоні рослинності. При обробці довгих гонів вони повинні розташовуватись на деякій відстані від кінця поля і починати перехід до слідкуючої позиції, як тільки літак вийшов на заданий курс польоту. Якщо гони занадто короткі і сигнальник не встигає перейти на наступну позицію то в даній ситуації одним з методом є установка прапорів. Вони вказують пілоту напрямок руху потім переходять на ділянку іншого прольоту. Але використання такої методики також може заважати не достаток часу. Тому краще використовувати метод маркування меж полос.

В основному сигнальники розташовуються на відстані ширини полоси від межі поля. Переміщатися сигнальники можуть на наступну позицію тільки після прольоту над ними літака. При маркуванні першої полоси першим орієнтиром при кожному прольоті є точка на половині шляху між межею та сигнальником, що змушує часто перевіряти правильність оцінки відстані. Для забезпечення задовільного виконання сигнальниками роботи існують правила, які повинні вони виконувати, а саме: одяг повинен бути контрастного кольору чи пофарбовані яскравою флуоресцентною фарбою в залежності від умов роботи; використовувати крокомір для полегшення підрахунку відстані між суміжними прольотами; використовувати радіостанції. На даний час розроблені електронні системи наведення невеликих літаків, які задовольняють специфічним вимогам до сільськогосподарських робіт. Нижче наведені основні принципи дії цих систем.

*Автономні електронні системи.* Інерційні навігаційні системи. Вони являють собою засоби забезпечення точної навігації чи наведення, які цілком автономні, не потребують зв'язку з радіостанціями, орієнтації на небесні тіла або інші зовнішні орієнтири. Ця система складається з трьох акселерометрів, розміщених на гіроплатформі та комп'ютера, який на основі поступаючи даних про прискорення видає значення швидкості та визначає швидкість в здовж осі акселерометра. Ця інформація подається на панель управління. Акселерометри установлені на гіростабілізаційну платформу, яка ізолює їх

від впливу сили тяжіння та забезпечує постійну орієнтацію їх осей відносно поверхні Землі не залежно від кута орієнтації літака. Але інерційні системи з гіроскопічним пристроєм не придатні для легких літаків.

На даний час великого поширення для керування літаками, МТА набули системи на основі супутникової навігації. Так, як в наші розробки взято за основу безпілотний літальний апарат (БПЛА) то керування ним може бути, здійснено двома способами: дистанційне (ДУ) та автоматичне (АУ). Перший спосіб має обмежені можливості за дальністю керування, обумовлені обмеженими можливостями візуального спостереження. Другий спосіб – це обладнання літака автопілотом, до складу якого входить малогабаритна інерційна навігаційна система (МІНС) та приймач ГСП.

Комплект є повнофункціональним автопілотом з можливостями програмування польоту за заданим маршрутом на заданій висоті. Основною відмінністю запропонованої системи від аналогів – це наявність малогабаритної ІНС в складі бортового обладнання БПЛА. Наявність такої системи забезпечує велику точність пілотування з можливістю виходу БПЛА в задану точку простору і в заданий час, а також забезпечує велику точність польоту по заданій лінії, що не може забезпечити використання приймача ГСП разом з курсовим гіроскопом. Для забезпечення заданої висоти польоту то використовують дані баровисотоміра, ГСП та інерційних датчиків забезпечує точність по висоті в прямолінійному польоті на рівні 1м. Враховуючи при плануванні польоту даних цифрових карт рельєфу місцевості дозволяє БПЛА слідувати по лінії з огинанням рельєфу, чим забезпечує безпеку польоту та точність керування. Точне визначення МІНС курсової швидкості БПЛА дозволить економно дозувати витратні матеріали при обробці полів [19].

У випадку встановлення на БПЛА пристрою передачі зображення (відеокамера) можливості дистанційного способу управління значно розширюються і можна здійснювати управління БПЛА без візуального спостереження за ним. Для покращення відеозображення може

застосовуватись наземна станція, яка забезпечує дистанційне управління за даними МІНС, встановленої на БПЛА які вона передає на землю по радіоканалу. В цьому випадку БПЛА керується з пульта ДУ, а комп'ютер наземної станції відображає параметри польоту на навігаційному дисплеї.

До способів внесення агрохімікатів і біопрепаратів за допомогою дронів можна віднести їх розприскування (рис. 1.6) або розкидування відцентровими дисковими робочими органами (рис. 1.7).



Рисунок 1.6 – Внесення агрохімікатів і біопрепаратів способом розприскування за допомогою дронів



Рисунок 1.7 – Спосіб відцентрового розкидання технологічних матеріалів за допомогою дрона

Перший варіант (рис. 1.6) має наступні недоліки:

- мала продуктивність, що є наслідком невеликої робочої ширини захвату;

- неможливість точного дозування та контролю внесення агрохімікатів і біопрепаратів на площі польової плантації;

- розміщення струменя речовини в зоні турбулентності повітряного потоку від пропелерів дрона, що погіршує рівномірність внесеного технологічного матеріалу тощо.

Другий варіант (рис. 1.7) притаманний лише внесення технологічних матеріалів, що мають тверду оболонку. Наприклад, такі препарати, як капсули трихограмами, або рідкої речовини вносити у такий спосіб неможливо.

Через це усунення вказаних проблем та розроблення конкретних рекомендацій, які мають науково-інженерне підґрунтя є актуальним.

### **Висновки.**

Перспективою використання авіаційної обробітки посівів є велика швидкість та продуктивність при виконанні польових робіт. Насадження не пошкоджується ходовою частиною, а також немає залежності від стану поверхні поля, зокрема вологості ґрунту. Використання малогабаритних БПЛА типу дрон в сільському господарстві, обладнаних засобами моніторингу та малогабаритними висівними системами підвищує якість та точність виконання технологічних операцій.

Водночас до недоліків, які притаманні сільськогосподарським дронам можна віднести малу продуктивність, що є наслідком невеликої робочої ширини захвату при обмеженій швидкості руху, неможливість точного дозування та контролю внесення агрохімікатів і біопрепаратів на площі польової плантації, розміщення струменя речовини в зоні турбулентності повітряного потоку від пропелерів дрона, що погіршує рівномірність внесеного технологічного матеріалу тощо.

Тому в дипломній роботі поставлена задача планування наукових та прикладних досліджень механічного способу розкидання технологічного

матеріалу за допомогою дрона з метою обґрунтування способу, схеми та параметрів пристрою для розселення біо- та хімматеріалів з БПЛА (дрона).



## **2 ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМИ БЕЗПІЛотної СИСТЕМИ, ПАРАМЕТРІВ БПЛА ТА СПОСОБУ ВНЕСЕННЯ АГРОХІМІКАТІВ І БІОПРЕПАРАТІВ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

### **2.1 Обґрунтування схеми безпілотної системи для внесення агрохімікатів і біопрепаратів**

Оснoву технології диференційованого внесення пестицидів і добрив з використанням БПЛА становить безпілoтна авіаційна система (БАС), яка включає безпілoтний авіаційний комплекс (БАК), що містить певне число БПЛА для моніторингу сільськогосподарських угідь, внесення пестицидів, добрив та інших агрохімікатів, технічні засоби їх транспортування до поля, заправки робочими рідинами пестицидів та добрив, злітно-посадочні технічні засоби, пристрої керування та зв'язку з пунктом керування польотом і програмне забезпечення. Окремими модулями входять засоби інтеграції з іншими системами в повітряному просторі, кошти ремонту і технічного обслуговування, допоміжні кошти, експлуатаційно-технічна документація і технічний персонал (рис. 2.1).

Технологія диференційованого внесення добрив і пестицидів при вирощуванні с.-г. культур в системі точного землеробства виконується в режимах «off-line» і «on-line». Реалізація технологічної операції в режимі off-line передбачає попередню підготовку на стаціонарному комп'ютері карти-завдання на диференційоване внесення пестицидів, добрив та інших агрохімікатів у вигляді електронної карти, де вказують їх дози для кожного виділеної і просторово прив'язаної з допомогою GPS-приймача елементарної ділянки поля [31]

Алгоритм розробки карт-завдань для диференційованого внесення пестицидів і добрив (представлений на рис. 2.2) передбачає:

- складання польотного завдання на аерофотозйомку, що включає визначення масиву с.-г. полів та їх меж, вибір термінів виконання аерофотозйомки,

раціональну схему маршруту БПЛА з траєкторією польоту, вибір раціонального типу БПЛА з необхідними льотно-технічними характеристиками для аерофотозйомки при створенні ортофотоплану, кількість БПЛА в польоті, спосіб управління БПЛА, очікувані і фактичні метеорологічні параметри;



Рисунок 2.1 – Блок-схема безпілотної авіаційної системи для внесення добрив і пестицидів

- транспортування БПЛА до поля, визначення напрямку запуску БПЛА і його безпосередній запуск;

- виконання аерофотознімальних робіт, які складені з польотного комплексу БПЛА по заданих траєкторіям і здійснення зйомки поля у видимому і ближньому інфрачервоному діапазонах;
- посадки БПЛА в задану точку, що включає візит БПЛА на посадку;
- розробку ортофотоплану, що включає попередню обробку результатів аерофотозйомки, створення файлів вхідних даних і файлів трансформованого растра, підготовку опорних точок, створення матриці рельєфу, і т.п. та об'єднання растрів в єдиний файл;
- створення карти вегетаційних індексів, що передбачає розробку растрових карт вегетаційних індексів і фітосанітарного стану посівів.

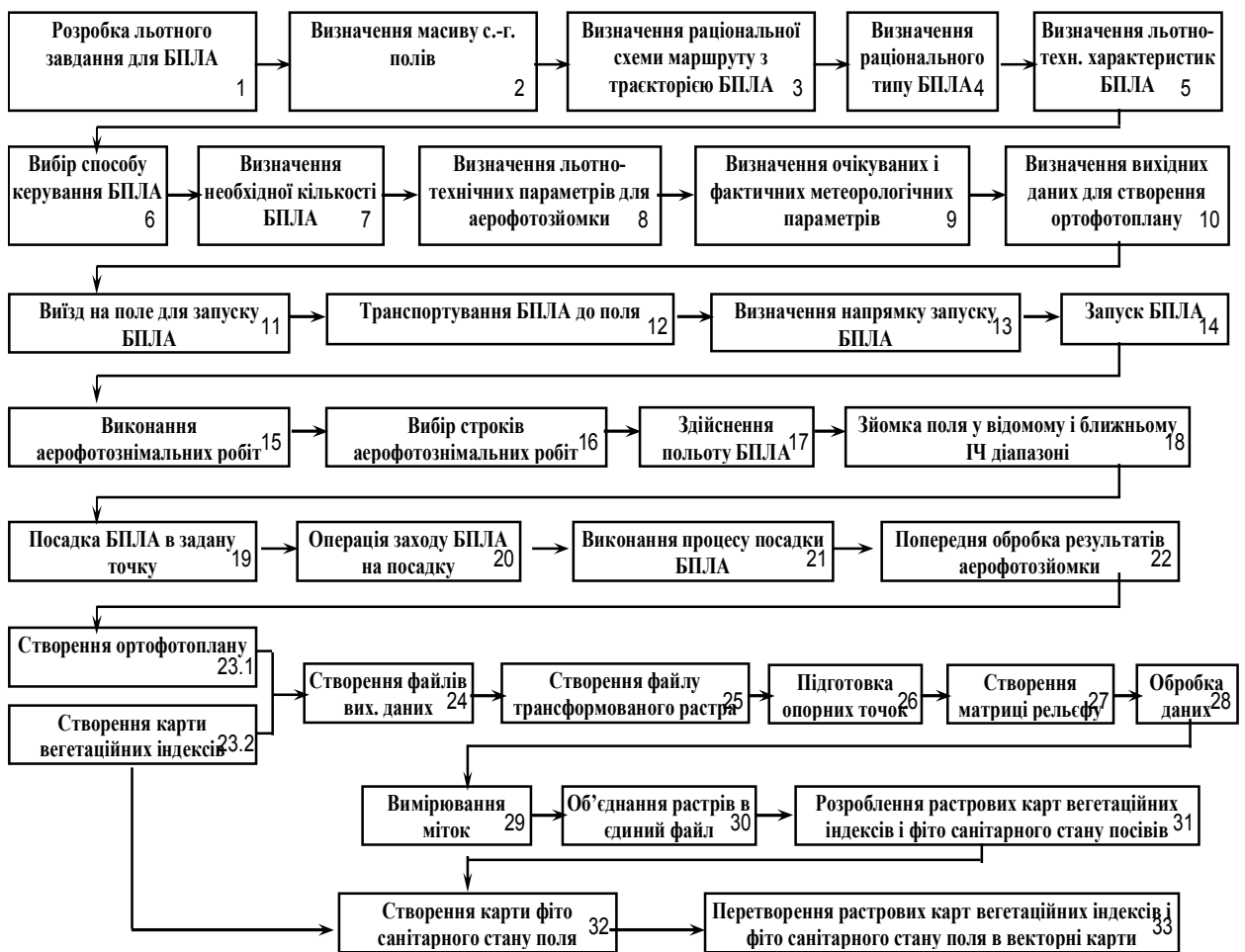


Рисунок 2.2 – Блок-схема основних операцій по збору вихідної інформації для створення карти фіто санітарного стану поля і розробки карт-завдань для БПЛА

Алгоритм технологічного процесу диференційованого внесення пестицидів і добрив з використанням БПЛА включає розробку польотного завдання, підготовку до польоту, зліт, програмований політ БПЛА з внесенням робочих рідин, пестицидів або добрив, посадку БПЛА в задану точку.

Польотне завдання містить вибір раціонального типу БПЛА із заданим корисним навантаженням для внесення пестицидів і добрив, реєстраційний номер БПЛА, дату польоту, маршрут польоту (траєкторію при обробці кожного сільськогосподарського поля) і його реєстрацію, електронну карту-завдання на обробку пестицидами та внесення добрив з координатами ділянок поля, реперні точки початку польоту, ділянок розвороту, робочу швидкість і висоту польоту.

Передполітна підготовка БПЛА передбачає доставку БПЛА, допоміжних технічних засобів, палива, добрив, пестицидів до місця початку роботи, підготовку модуля обприскування і бортового обладнання БПЛА до польоту, заправку відповідних ємностей паливом, робочими рідинами пестицидів або добрив, моніторинг метеоумов, завантаження в автопілот електронної карти-завдання на політ, встановлення БПЛА на вихідну позицію, запуск двигуна.

Технологічна операція диференційованого внесення пестицидів і добрив включає зліт БПЛА, набір висоти, підліт до реперної точки, встановлення заданих параметрів польоту (висоти, швидкості, стабілізації кутів орієнтації), програмний політ по заданій траєкторії, внесення робочої рідини пестицидів або добрив, контроль параметрів польоту і норми внесення робочої речовини, контроль рівня палива і витрати робочої рідини, посадку БПЛА до місця заправки паливом і робочою рідиною.

Режим «on-line» передбачає тільки попередню розробку агротехнічних вимог для заданої операції – кількісну залежність дози добрив від показань, встановлених на БПЛА оптичних датчиків.

В режимі «on-line» дози внесення добрив БПЛА по елементарним ділянкам визначаються бортовим комп'ютером безпосередньо під час виконання технологічного процесу на підставі показань датчиків, встановлених на БПЛА, і агротехнічних вимог (кількісних залежностей дози від показань датчиків), закладених попередньо в програму бортового комп'ютера. Цей режим внесення добрив використовують при підживленні рослин азотними добривами в період їх вегетації на зернових культурах, починаючи з фази початку виходу в трубку.

Серед азотних добрив, які використовуються у сільському господарстві найбільш ефективними і технологічними для застосування в точній землеробстві вважаються рідкі, такі, як – карбамід-аміачна суміш (КАС, ТУ 113-03-629-90), яка містить три форми азоту (амонійну, нітратну та амідну), що забезпечує пролонговане живлення рослин. При активної вегетації азот, внесений у формі КАС, засвоюється рослинами швидше (протягом 2-6 год), ніж при використанні твердих азотних добрив (2-6 діб) [25].

Азотні добрива вносять під озимі зернові культури (пшеницю, жито, тритикале), розміщені по зайнятим парам і непарових попередниках до посіву (основне внесення). Дози азоту становлять 20-30 кг / га, з урахуванням показників ґрунтової діагностики мінерального азоту. Практикується також пізня осіння некоренева підживлення (доза азоту - 20-30 кг / га) за даними діагностики стану посівів.

Перше весняне підживлення проводять в фазі кущення озимих культур. Дози азоту становлять 60-70 кг/га (за даними ґрунтової і рослинної діагностики). Підживлення рослин проводять з метою прискорення відростання посівів для посилення потужності кушіння в максимально стислі терміни (не більше 10 днів), так як при більш пізніх строках підживлення формуються непродуктивні бічні пагони, які не встигають дозріти до збирання врожаю.

Друге підживлення проводять в фазі початку виходу колосу в трубку, коли закладається основний потенціал врожайності озимих зернових культур

(довжина колоса, число зерен в колосі, маса зерна одного колоса).  
Рекомендовані дози азоту за результатами діагностики - 35-40 кг / га.

Третє підживлення проводять в фазі виходу в трубку для отримання високої врожайності зерна. Оптимальна доза - 20-25 кг азоту на 1 га.

Четверте підживлення озимих зернових збіває з фазою колосіння, коли синтез білкових речовин в зерні протікає в результаті реутилізації азоту з вегетативних органів, оскільки в ґрунті до цього строку залишаються тільки сліди мінерального азоту.

Азотні добрива при вирощуванні ярих зернових культур вносять навесні під передпосівний культивування (основне внесення) в дозах 60-70 кг азоту на 1 га (2/3 норми) за результатами ґрунтової діагностики змісту мінерального азоту. Першу підкормку проводять в фазі початку виходу в трубку (1 вузол), середня доза азоту становить 20-40 кг / га по результатам рослинної діагностики. Другу підкормку ярих зернових культур планують в фазі виходу в трубку в дозах 30-40 кг азоту на 1 га. Для підвищення вмісту білка в зерні рекомендується проводити позакореневе підживлення в фазі колосіння. Дози відповідно до результатів тканинної діагностики становлять 15-20 кг азоту на 1 га.

При другому і наступному підживленні озимих і ярих зернових культур, з метою запобігти опікам рослин, КАС розводять водою у співвідношенні 1: 2 або 1: 3 в фазі колосіння, або використовують 10%-ний розчин сечовини в фазі виходу колосу в трубку і 30%-ний розчин в фазі колосіння - початку цвітіння [8].

З використанням БПЛА можна вносити мікродобрива, регулятори росту рослин при витраті робочої рідини 20-50 л / га.

Визначено основні параметри технологічних процесів диференційованого внесення добрив і пестицидів за допомогою БПЛА і вимоги до якості авіаційного обприскування:

- норми внесення робочих рідин азотних добрив 50-200 л/га з дискретністю доз 25-40 л/га, пестицидів - 10-20 л/га з дискретністю доз 5л/га;

- відхилення фактичної дози робочої рідини від заданої - не більше 5%;
- діапазон медіа-масових діаметрів в спектрі розпилу при внесенні інсектицидів і фунгіцидів - 80-120 мкм, гербіцидів - 150-300 мкм, добрив 700-1500 мкм;
- нерівномірність розподілу робочої речовини по ширині захвату - не більше 10%;
- внесення робочих рідин за межі оброблюваної ділянки - не більше 10%;
- час установки заданої дози на межі ділянок площею 0,5 га при робочій ширині захвату 5 м і швидкості польоту 40 км / год - не більше 4,5 с;
- робоча швидкість польоту - 40-70 км / год;
- висота польоту при внесенні добрив і пестицидів - 0,5-1,5 м;
- точність позиціонування на межі, що виділена на карті-завданні ділянок поля - 0,1 м.

Продуктивність БПЛА при обробці с.-г. поля в льотну годину в першому наближенні є функцією льотно-технічних і технологічних параметрів.

Встановлено, що норма внесення робочої рідини пестицидів 10-20 л / га скорочує втрати внаслідок знесення із зони обробки і забезпечує найбільшу продуктивність внесення пестицидів із застосуванням БПЛА. Продуктивність обробки сільськогосподарського поля БПЛА зростає зі збільшенням довжини гону і зменшується зі збільшенням норми витрати робочої рідини. Рациональні значення довжини гону, що забезпечують незначну зміну продуктивності БПЛА в установлених межах, становлять 0,8-3,2 км. При позакореновому підживленні рослин, зокрема розчинами азотних добрив, норми внесення збільшуються до 200 л/га, що викликає зниження продуктивності БПЛА більш ніж в 2 рази. Для збільшення продуктивності БПЛА при підгодівлі рослин необхідно використовувати БПЛА з великим корисним навантаженням - 300-400 кг.

За даними Інтернет-джерел технологія внесення пестицидів і добрив за допомогою БПЛА в системі точного землеробства підвищує врожайність с.-г. культур до 20%, окупність мінеральних добрив зменшується - в 1,5-1,8 рази, зменшуються норми внесення пестицидів - на 20-50% і, як наслідок, зменшується екологічне навантаження на навколишнє середовище.

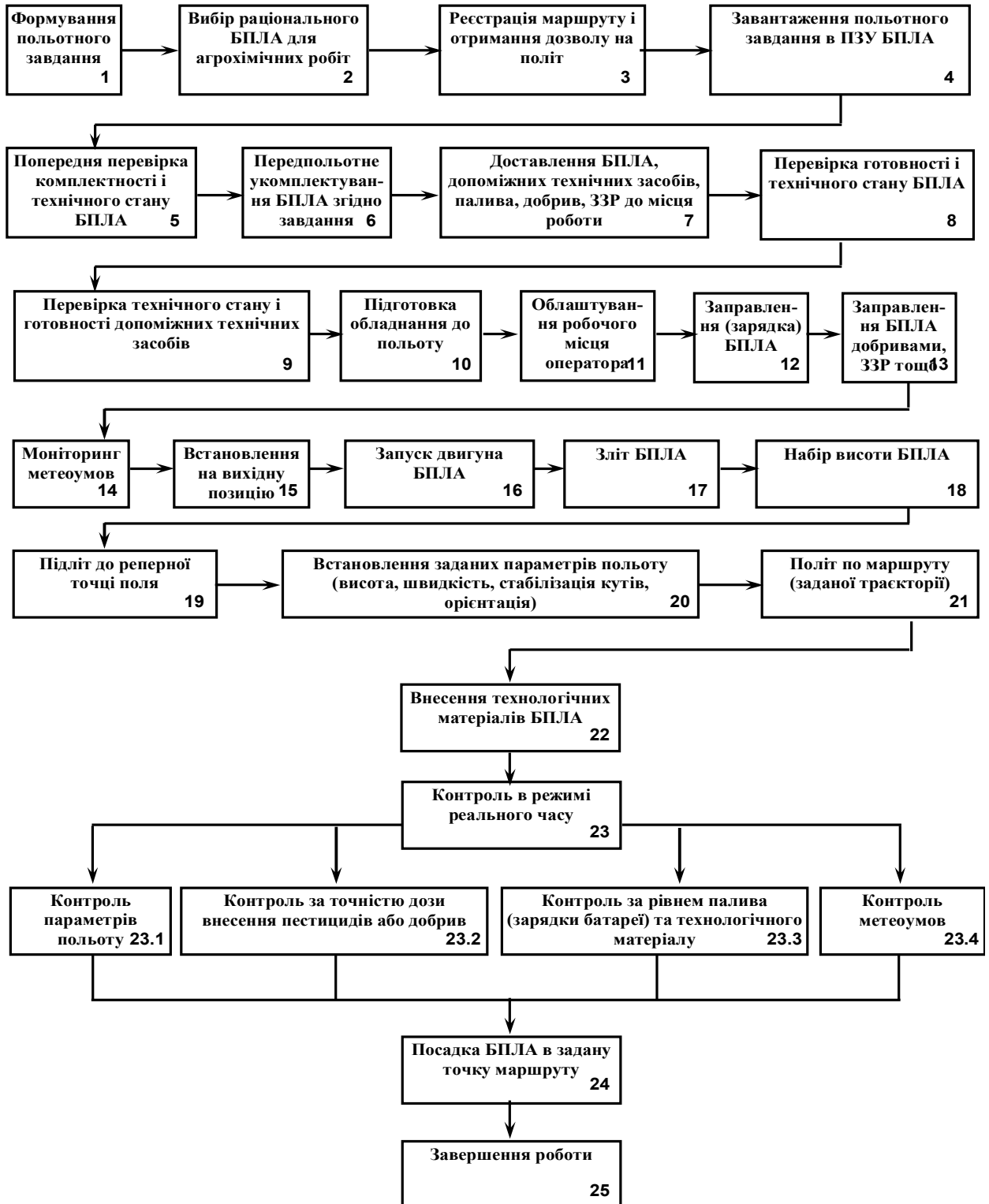




Рисунок 2.3 – Блок-схема алгоритму підготовки безпілотного літального апарату до польоту і диференційованого внесення добрив і пестицидів

### **Висновки.**

Технологія диференційованого внесення пестицидів і добрив із застосуванням безпілотних літальних апаратів (дронів) в цифровому сільському господарстві включає послідовне виконання в режимах «off-line» і «on-line» інформаційних і технологічних операцій формування банку даних внутріпільної неоднорідності родючості кожної елементарної ділянки, фіто санітарного стану посівів, що складається на основі дистанційного моніторингу ґрунту і агроценозів за допомогою БПЛА, для отримання програмованої врожайності з урахуванням обмежень і допустимих ризиків, створення електронної карти-завдання на застосування добрив і пестицидів і їх диференційованого внесення з використанням безпілотної авіаційної системи, що складається з певного числа БПЛА з необхідним і достатнім корисним навантаженням для моніторингу с.-г. угідь, внесення пестицидів, добрив та інших агрохімікатів, мобільних технічних засобів транспортування БПЛА до поля, заправки їх робочими рідинами пестицидів і добрив, злітно-посадкових технічних засобів, пристроїв управління і зв'язку.

Представлені алгоритми підготовки БПЛА до польоту, моніторингу сільськогосподарських угідь, створення ортофотопланів полів, електронних карт вегетаційних індексів і фітосанітарного стану посівів, диференційованого внесення пестицидів і добрив тощо.

## **2.2 Обґрунтування параметрів безпілотного літального апарату для диференційованого внесення трихограми**

Застосування біологічного методу захисту рослин в даний час являє собою сільськогосподарський тренд, що набирає популярність в країнах Євросоюзу та СНД. Цьому сприяють економічні та екологічні аспекти його

використання. Популярним і довели свою ефективність біологічним засобом захисту рослин служить трихограма - природній ентомофаг для багатьох видів шкідників с.-г. культур [22].

Найбільш актуальним, продуктивним і ресурсозберігаючих шляхом внесення трихограми, що надає мінімальний негативний вплив на агроценози, проявив себе авіаційний метод [23]. Однак використання повітряних судів малої авіації в якості технічних засобів для виконання технологічного процесу недостатньо ефективно, оскільки їх експлуатаційна швидкість не дозволяє здійснити процедуру розподілу ентомофага згідно сучасним агротехнічним вимогам і нормам, що забезпечує її максимальну ефективність.

В якості альтернативи, а також способу розв'язання даної проблеми найбільш раціональним є спосіб із застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА). З урахуванням особливостей технологічного процесу, здійснюваного в системі точного землеробства, вони дозволяють отримати адекватні результати.

Завданням в роботі є обґрунтування параметрів БПЛА для диференційованого внесення трихограми та оцінка ефективності використання для цих цілей типових сільськогосподарських дронів.

В якості базових параметрів для розрахунків використовували характеристики сільськогосподарських дронів, які наведені в першому розділі роботи.

Агротехнологічні вимоги і технологічні параметри диференційованого внесення трихограми мають таке значення: норма внесення препарату - 2 г / га, спосіб розселення ентомофага - використання капсул з біологічно розкладаємим матеріалом - целюлоза, діаметр капсул - 30 мм, щільність розкидання капсул - 30 шт. / га, загальна відстань польоту дрона - 0,701 км / га і швидкість польоту в роботі  $v = 8$  м / с (28,8 км / год), тривалість робочої зміни - 8 год.

Технічні характеристики згаданих типових сільськогосподарських дронів, які використовуються при виконанні розрахунків, представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні характеристики сільськогосподарських дронів з електричним двигуном

Найменування показника	AGROFLY TF1A	JXMR-V10LT	DGI Agras MG-1	Sovzond Air-Con 3 Pro
Максимальний час польоту, год	0,20	0,175	0,17	0,67
Максимальна швидкість, км / год	15	15	22	15
Ємність батареї, мА / год	12000			
Діапазон робочих температур, ° С	0-50	0-50	0-40	0-40
Вага, кг	10,2	12,5	12,5	8,8
Габарити: довжина, м	0,88	1,68	1,471	0,96
ширина, м	1,2	1,8	1,471	0,96
висота, м	0,5	0,49	0,482	0,3

Розрахунок ефективності (коефіцієнт використання часу зміни) виконали, використовуючи стандартні вирази.

Протяжність польоту, км:

$$S = v t_n, \quad (2.1)$$

де  $v$  - швидкість польоту при внесенні препарату;

$t_n$  - максимальна тривалість польоту до підзарядки.

Продуктивність вильоту, га:

$$Q = S / 0,701, \quad (2.2)$$

де 0,701 - загальна дальність польоту дрона при обробці 1 га.

Тимчасові втрати на зміну батарей і дозаправку препаратом після здійснення кожного вильоту  $t_e$  приймемо рівними 0,05 год (3 хв).

Приведені тимчасові втрати, кратні одній годині роботи, хв:

$$T_{\Pi} = t_e \cdot K, \quad (2.3)$$

де  $K$  - теоретично максимально можлива кількість вильотів за годину:

$$K = 1/t_{\Pi}. \quad (2.4)$$

Загальні тимчасові втрати за робочу зміну, год:

$$T_o = T_{\Pi} N_{зм}. \quad (2.5)$$

де  $N_{зм}$  - кількість годин робочої зміни.

Сумарний час виконання робіт за зміну, ч:

$$T_{об} = T_{см} - T_o. \quad (2.6)$$

Продуктивність за зміну, га:

$$Q_0 = Q T_{об}/K. \quad (2.7)$$

Коефіцієнт використання часу зміни  $K_{зм}$ :

$$K_{см} = T_{об}/T_{см}. \quad (2.8)$$

Результати розрахунку теоретичних параметрів продуктивності наведені в таблиці 2.2.

Для оцінки ефективності застосування БПЛА в якості технічних засобів при диференційному внесенні трихограми використовували наступні вираження і допущення.

Вага однієї порції препарату трихограми при нормі внесення 2 г / га і щільності розподілу капсул 30 шт. / га склало 0,067 м. Загальна вага капсули з

препаратом складається з ваги капсули, що має форму сфери, виконаної з целюлози, і ваги препарату. Масу капсули визначаємо за формулою:

$$m = (V_1 - V_2) \rho, \quad (2.9)$$

де  $V_1$  – обсяг зовнішньої сфери, утвореної оболонки капсули;

$$V = 4/3 \cdot \pi \cdot R^3, \quad (2.10)$$

тут  $R$  – радіус зовнішньої сфери, м;

$V_2$  – об'єм внутрішньої сфери, утвореної внутрішньою поверхнею капсули;

$\rho$  – щільність целюлози, 1,5 г / см<sup>3</sup>.

При товщині стінок 3 мм маса однієї порожньої капсули складе 10,74 г, маса капсули з препаратом - 10,81 г. При заповненні капсулами ємності будь-якої форми на максимально можливому ущільненні буде зайнято не більше 74% обсягу [17].

Геометричні характеристики бункера для капсул, що не ускладнюють політ, посадку, виконання операцій при зміні батарей і дозаправки препаратом: висота бункера - не більше 1/2 від висоти БПЛА, ширина і довжина бункера рівні його висоті для зручності монтажу. Як приклад для розрахунків обраний бункер, який має форму куба з габаритними розмірами 25 × 25 × 25 см і об'ємом 15625 см<sup>3</sup>. Загальну масу капсул вираховували, як добуток маси однієї капсули на їх кількість. Загальний займаний капсулами обсяг розраховували як добуток обсягу однієї капсули, кількості капсул і коефіцієнта максимальної щільності завантаження. Площа обробітку визначали як відношення кількості завантажених капсул до норми їх внесення на 1 га; коефіцієнт заповнення бункера - як відношення обсягу, теоретично займаного капсулами, до обсягу бункера.

Таблиця 2.2 – Порівняння параметрів продуктивності

Найменування показника	AGROFLY TF1A	JXMR-V10LT	DGI Agras MG-1
Довжина разового польоту, км	5,76	5,04	4,8
Продуктивність вильоту, га	8,22	7,19	6,86
Час перезарядки / заправки, год	0,05	0,05	0,05
Приведені тимчасові втрати, год	0,25	0,29	0,30
Загальні тимчасові втрати за зміну, год	2	2,29	0,30

Сумарний час виконання робіт за зміну, год	6	5,71	5,6
Змінна продуктивність, га	246,5	234,77	230,07
Коефіцієнт використання часу зміни	0,75	0,71	0,7

В результаті отримали числові дані, що характеризують ступінь завантаження бункера при різній кількості закладаються капсул і розмір площі сільськогосподарських угідь, який можна обробити заданою кількістю капсул (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Показники ефективності використання БПЛА

Кількість капсул разового завантаження, шт	Загальна маса, г	Загальний об'єм під капсули, см	Площа обробітку, га	Коефіцієнт заповнення бункера
1	10,81	47,47	0,03	0,003
50	540,27	2373,84	1,67	0,152
100	1080,55	4747,68	3,33	0,304
150	1620,82	7121,52	5,0	0,456
200	2161,09	9495,36	6,67	0,608
250	2701,37	11869,2	8,33	0,760
300	3241,64	14243,04	10,0	0,912

Отримані кількісні значення розміру оброблюваних площ враховували для визначення коефіцієнта використання БПЛА при разовому вильоті і різній кількості завантаження капсул шляхом знаходження відношення величини оброблюваної площі до визначеної раніше величини площі, що обробляється за виліт (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Порівняння ефективності сільськогосподарських дронів при різному ступеню завантаження бункера

Кількість капсул, шт	Коефіцієнт використання БПЛА при разовому вильоті			
	AGROFLY TF1A	JXMR-V10LT	DGI Agras MG-1	Sovzond Air-Con 3 Pro
1	0,004	0,005	0,005	0,001

50	0,203	0,232	0,243	0,061
100	0,406	0,464	0,487	0,122
150	0,609	0,695	0,73	0,183
200	0,811	0,927	0,974	0,243
250	1,014	1,159	1,217	0,304
300	1,217	1,391	1,46	0,365

Загальна маса капсул складала 3241,64 г, за умови максимального завантаження в кількості 300 шт. з урахуванням ваги обладнання для внесення 1500-2000 г становить трохи більше  $\frac{1}{2}$  від максимальної корисної ваги, що ставить питання про доцільність використання даних моделей дронів при виконанні робіт за диференційованим внесення трихограми і використанні менш вантажопідйомних і дешевших моделей.

### **Висновки.**

1. При заданих агротехнічних параметрах (швидкість польоту, норма внесення і т. і.) найбільш ефективною для аналізованих моделей БПЛА стала величина корисного завантаження у кількості 200 капсул трихограми в бункер. При цьому досягається максимальний коефіцієнт використання БПЛА при разовому вильоті, який варіюється в межах 0,811-0,974.

2. Для виконання робіт по внесенню ентомофагів за допомогою безпілотних літальних апаратів необхідна розробка спеціалізованої механічної системи дрона, оскільки відомі механізми мають надлишкову для даної операції масу корисного навантаження.

3. З урахуванням вищевикладеного рекомендуємо наступні параметри БПЛА для диференційованого внесення трихограми: максимальна дальність польоту - не менше 0,17 год, маса корисного навантаження - 4500-5500 г, швидкість польоту - 8 м/с (28,8 км / год), ємність бункера - 10000 см<sup>3</sup>, разове завантаження капсул - 200 шт. При збільшенні тривалості разового вильоту ефективність дрона і величина його доцільного завантаження будуть підвищуватися.

## 2.3 Обґрунтування способу та схеми пристрою для розселення біоматеріалів з БПЛА (дрона)

Запропонований спосіб відноситься до галузі сільського господарства, зокрема до захисту рослин з використанням біологічних агентів, наприклад, трихограми, переважно, з літального апарату. Його метою є підвищення продуктивності і точності дозування біоматеріалу.

На рис. 2.4 зображено схему пристрою для розселення біоматеріалів з БПЛА (дрона), що пояснює запропонований нами спосіб.

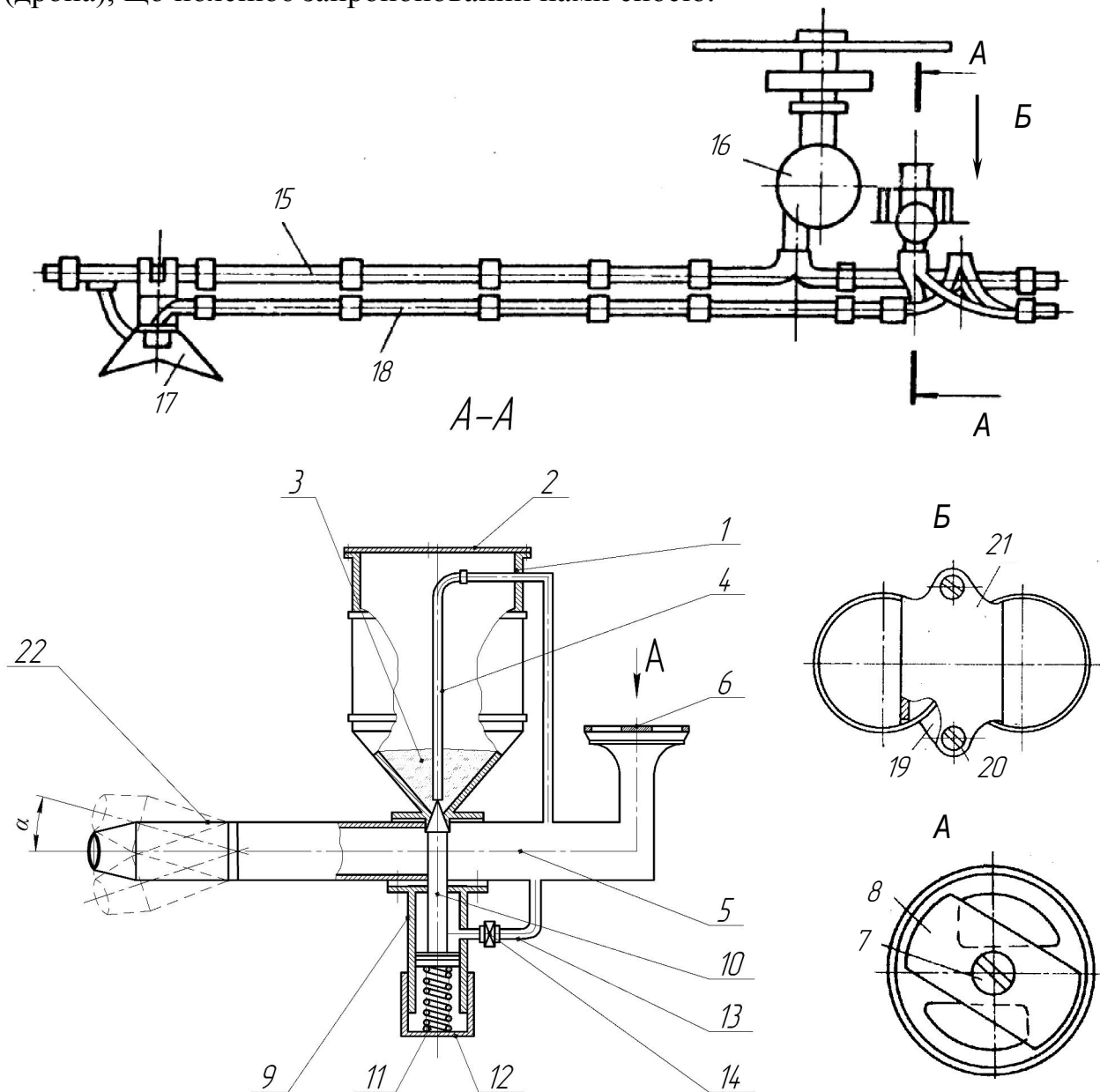


Рисунок 2.4 – Схема пристрою для розкидання технологічних матеріалів з БПЛА

Запропонований пристрій (рис. 2.4) містить бункер 1 з кришкою 2 і технологічним біоматеріалом 3. Всередині бункера 1 встановлена трубка 4, один



кінець якої розміщений над вихідним його отвором, а інший її кінець пропущений через корпус бункера 1 і зігнутий в бік транспортного каналу 5. Останній прикріплений до бункера 1 в нижній його частині і призначений для дифузного розпилювання біоматеріалів повітряним потоком. Це відбувається через наявний дифузор 6, який встановлений у вхідній частині каналу 5, на якому за допомогою гвинта 7 закріплена пластина 8. При цьому, дифузор 6 зогнутий у вертикальному напрямку доверху, що дає змогу потоку повітря від пропелерів дрона потрапляти прямо в нього. До бункера 1 з боку транспортного каналу 5 в нижній частині пристрою прикріплено дозуюче пристосування для біоматеріалу. Яке складається з пневмоциліндра 9, в якому встановлена дозуючий шток 10, який підтиснутий пружиною 11, регулятор 12 і вхідний канал 13, за допомогою якого порожнина пневмоциліндра з'єднується з повітряною системою транспортного каналу. Для регулювання тиску повітря в порожнині пневмоциліндра 9 вхідний канал має кран-регулятор 14.

Під пропелерами дрона закріплені труби 15 для води або інших рідин, які з'єднані з баком 16, а вихідні кінці їх з'єднані з розпилювачами 17. Паралельно трубам 15 встановлені трубопроводи 18, повітрязабірники яких повернені в бік напрямку польоту, а вихідні патрубки приєднані до розпилювачів 17. При цьому повітрязабірники з'єднані між собою за допомогою стяжок 19. До останньої за допомогою гвинтів 20 прикріплена змінна накладка 21, що перекриває частково площу перетинів повітрязабірників. На виході транспортного каналу 5 розміщений трійник 22, що з'єднує транспортний канал 5 з трубопроводами 18. При цьому розпилювач трійника 22 може мати як позитивний, так і негативний кут  $\alpha$  свого нахилу до горизонту.

Пристрій для розкидання хімічних і біоматеріалів з безпілотного літального апарату типу «дрон», що містить бункер з кришкою, трубку, один кінець якої розміщений над вихідним отвором бункера, а інший її кінець пропущений через кришку бункера і з'єднаний з порожниною транспортного каналу для технологічних матеріалів, дифузор, пластина, труби для води, з'єднані з баком, розпилювачі, пластина, що перекриває частково площі перетинів повітрязабірників, трійник, дозуюче пристосування для технологічних матеріалів, що складається з пневмоциліндра, в якому встановлена дозуюча голка зі штоком, підтиснутим

пружиною, регулятор, який відрізняється тим, що, з метою підвищення продуктивності технологічного процесу і точності дозування технологічних матеріалів, воно забезпечене горизонтально розташованими трубопроводами з вертикально встановленими повітрязабірниками, канали якого з'єднаний зі входом в транспортний канал і в порожнину пневмоциліндра дозуючого пристосування через кран-регулятор, а його дифузори мають отвори, що перекриваються рухомою пластиною, положення якої, як і ступінь перекриття вхідного повітряного каналу – краном-регулятором, залежить від дози внесення технологічного матеріалу, а кінець транспортного каналу з'єднаний з розпилювачем, рухоме кріплення якого може мати як позитивний, так і негативний кут свого нахилу до горизонту.

Пристрій працює наступним чином.

Перед польотом дрона в бункер 1 завантажують біоматеріал, а в бак 16 літака заливають воду (або іншу рідину). У польоті здійснюють включення насосного агрегату (не показаний), за допомогою якого вода (або інша рідина) надходить в трубопроводи 15, а з них – в розпилювачі рідини 17. Під дією потоку повітря, який утворений від пропелерів дрона, в транспортному каналі 5 утворюється надлишковий тиск. Частина цього повітря під надлишковим тиском подається по патрубку 13 через кран 14 і потрапляє в пневмоциліндр 9. В наслідок цього дозуючий шток 10 переміщається вниз, долаючи зусилля пружини 11. При цьому відкривається дозуючий отвір в нижній частині бункера 1. Також частина повітря під надлишковим тиском через трубку 4 надходить до вихідного отвору бункера 1. Біоматеріал з бункера 1 під дією власної ваги і повітряного потоку від трубки 4 потрапляє в транспортний канал 5. Усередині транспортного каналу 5 біоматеріал під дією повітряного потоку переміщається до трубопроводів 18 і далі - до розпилювачів 17. У пристрої є три змінні накладки, які перекривають площі повітрязабірників трубопроводів 18 для забезпечення всього діапазону регулювань дози витрати технологічних матеріалів. За допомогою їх забезпечується зміна тиску в транспортуючому каналі 5. Регулювання тиску повітря в трубопроводах 18 шляхом повороту пластини 8 дифузора і перекриттям вхідного каналу повітря дозуючого пристосування краном регулятором 14 забезпечується висока точність дозування і розширення діапазону норм внесення технологічних біоматеріалів.

## 2.4 Теоретичні дослідження механічного способу розкидання технологічного матеріалу за допомогою дрона

Головним питанням при роботі запропонованого пристрою є визначення дальності польоту частинки технологічного матеріалу, яка буде визначати зону розсівання і рівномірність розсіювання на полі, або фактично буде визначати продуктивність роботи дрона при виконанні цього технологічного процесу. Не менш важливим параметром є також висота польоту частинки технологічного матеріалу, оскільки на значній висоті польоту діють більш потужні повітряні потоки, які можуть зносити частинки речовини від заданої точки приземлення на полі. І, нарешті, при використанні з кожної сторони декількох розпилювачів, необхідна корекція траєкторій руху частинок речовини від них, які забезпечать різні точки їх приземлення, тобто забезпечать також загальну необхідну рівномірність внесення технологічного матеріалу на полі.

Розробимо теоретичні основи внесення технологічного матеріалу за допомогою дрона шляхом побудови математичної моделі руху частинки речовини, яка кинута з певної висоти під кутом до горизонту. При цьому частинки речовини (каплі, або капсули трихограми, або частинки мінерального чи біологічного добрива і таке інше) будемо вважати тілами, які при моделюванні близькі до матеріальних точок. Розглянемо аналітично рух такої матеріальної точки, яка кинута під кутом до горизонту з певною початковою швидкістю і на яку діє тільки сила тяжіння. У першому наближенні силою опору повітря знехтуємо.

Побудуємо насамперед еквівалентну схему даної задачі, розглядаючи рух зазначеного тіла у одній, повздовжньо-вертикальній площині. Вважаємо, що кінець розпилювача (або розкидача), який розміщений безпосередньо на дроні розташований у точці  $O$ , яка умовно співпадає з дроном і знаходиться на висоті  $H_0$ . У подальшому висоту кріплення розкидача на рамі дрона по вертикалі можна легко врахувати при проведенні подальших числових розрахунках (рис. 2.5).

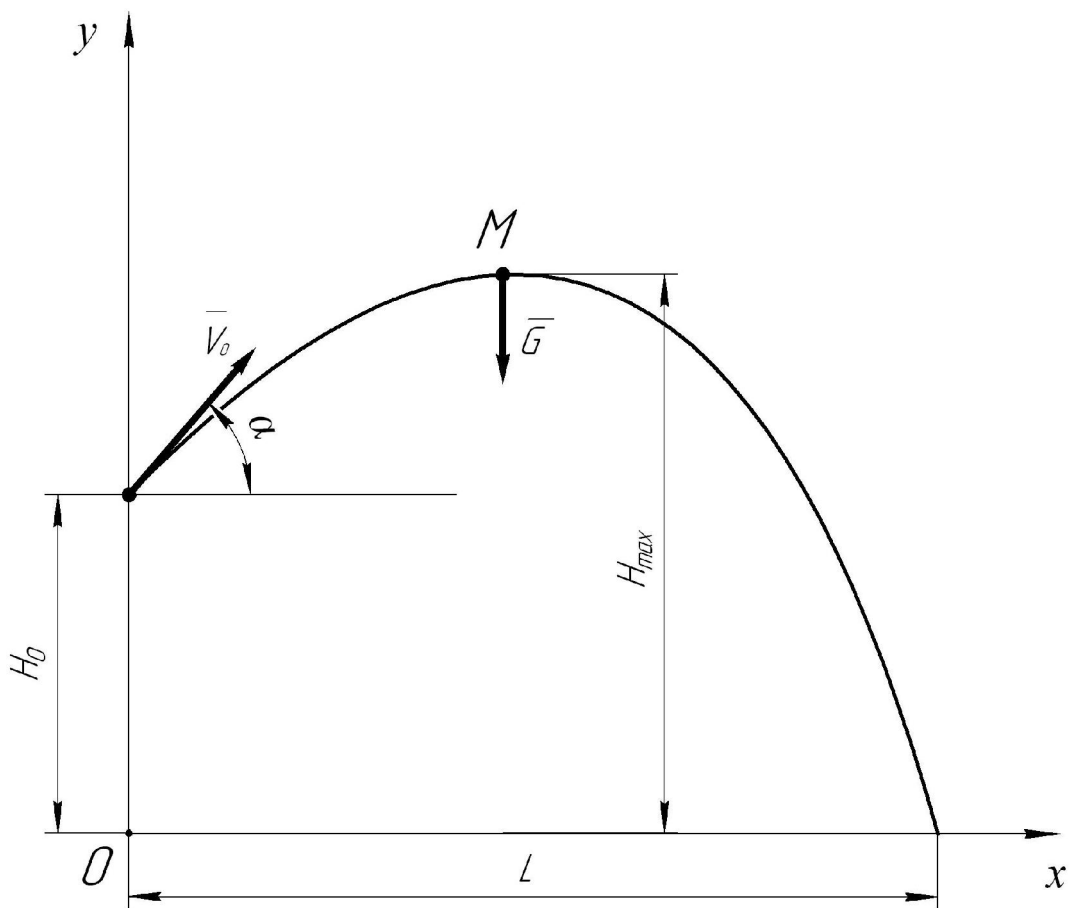


Рисунок 2.5 – Еквівалентна схема польоту частинки матеріалу, кинуті з дрона під кутом до горизонту

Положимо, що сопло розпилювача розташоване під кутом  $\alpha$  до горизонту, а тому частинка речовини  $M$  (капля речовини, або капсула з трихограмою і т.і.) при вильоті із нього починає рухатись з початковою лінійною швидкістю  $\bar{V}_0$ . Також попередньо вважаємо, що матеріальне тіло при польоті рухається по траєкторії, яка наближена до частини параболи.

В довільному положенні цієї траєкторії зображуємо тіло  $M$ , маса якого дорівнює  $m$  і до якого прикладена сила тяжіння  $\bar{G}$ , яка спрямована вертикально донизу. Тоді  $L$  буде довжиною польоту тіла, а  $H$  – висотою польоту.

Зв'яжемо з точкою  $O$  нерухому декартову систему координат  $Oxy$ , в якій горизонтальна вісь  $Ox$  співпадає з горизонтальною поверхнею поля.

На підставі побудованої еквівалентної схеми є можливість знайти рівняння руху  $x(t)$ ,  $y(t)$ , рівняння траєкторії руху  $f(x; y)$ , час польоту  $t_1$ , дальність польоту  $L$ , висоту польоту  $H$ , а також кути нахилів дула рушниці, щоб траєкторії руху проходили через координати довільної точки  $K$ .

Складемо диференціальні рівняння руху в проекціях на прийняті координатні осі  $x$  та  $y$ :

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= 0, \\ m\ddot{y} &= -mg, \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

або скорочуючи на  $m$ :

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} &= 0, \\ \ddot{y} &= -g. \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

Визначимо початкові умови польоту тіла.

При  $t = 0$ :

$$\begin{aligned} x_0 &= 0, \\ y_0 &= \dot{I}_0, \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$V_{x0} = \dot{x}_0 = V_0 \cos \alpha,$$

$$V_{y0} = \dot{y}_0 = V_0 \sin \alpha.$$

Проінтегруємо диференціальні рівняння, які входять в систему (2.12). Будемо мати:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= C_1, \\ \dot{y} &= -gt + C_2. \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

Після другого інтегрування системи рівнянь (2.12) матимемо:

$$\left. \begin{aligned} x &= C_1 t + C_3, \\ y &= -\frac{gt^2}{2} + C_2 t + C_4. \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

Враховуючи початкові умови, визначаємо сталі інтегрування  $C_1, \dots, C_4$ .

При  $t = 0$ :  $x = 0$ , а тому з першого рівняння системи (2.15) маємо:  $0 = C_1 \cdot 0 + C_3$ , або:  $0 = C_3$ ;

$y_0 = \dot{I}_0$ , а тому з другого рівняння системи (2.15) маємо:

$$\dot{I}_0 = -\frac{g \cdot 0^2}{2} + C_2 \cdot 0 + C_4, \text{ або } \dot{I}_0 = C_4.$$

З передостаннього рівняння виразу (2.13) маємо:  $\dot{x}_0 = C_1$ , або  $V_0 \cos \alpha = C_1$ .

З останнього рівняння виразу (2.13) маємо:  $\dot{y}_0 = -g \cdot 0 + C_2$ , або  $\dot{y}_0 = C_2$  і нарешті остаточно  $V_0 \sin \alpha = C_2$ .

Остаточно довільні сталі, що входять у системи диференціальних рівнянь (2.14) і (2.15), будуть мати наступні значення:

$$\begin{aligned} C_1 &= V_0 \cos \alpha, \\ C_2 &= V_0 \sin \alpha, \\ C_3 &= 0, \\ C_4 &= H_0. \end{aligned} \quad (2.16)$$

Підставивши отримані сталі інтегрування (2.16) у (2.14) та (2.15), остаточно отримаємо розв'язки системи диференціальних рівнянь (2.12):

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= V_0 \cos \alpha, \\ \dot{y} &= -gt + V_0 \sin \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (2.17)$$

$$\left. \begin{aligned} x &= (V_0 \cos \alpha) \cdot t, \\ y &= (V_0 \sin \alpha) \cdot t - \frac{gt^2}{2} + H_0. \end{aligned} \right\} \quad (2.18)$$

Таким чином, нами отримані розв'язки системи диференціальних рівнянь руху тіла  $M$ , кинутого під кутом  $\alpha$  до горизонту як функцій часу  $t$ . При цьому система (2.17) відображає закон зміни швидкості руху точки  $M$  у повздовжньо-вертикальній площині, а система (2.18) – координати положення точки  $M$  в довільний момент часу  $t$  в тій же площині.

Наступним етапом аналітичних досліджень буде визначення дальності  $L$  польоту тіла. Для цього спочатку визначимо час  $t_1$  тривалості польоту тіла. Враховуючи, що тривалість польоту тіла  $M$  буде за умови, коли воно після кидання досягне поверхні ґрунту, тобто за умови, коли  $y_0 = \dot{y}_0$ . Тоді з другого рівняння системи (2.18) матимемо:

$$H_0 = (V_0 \sin \alpha) \cdot t_1 - \frac{gt_1^2}{2}. \quad (2.19)$$

З виразу (2.19) остаточно знаходимо час  $t_1$  польоту тіла:

$$t_1 = \frac{V_0 \sin \alpha \pm \sqrt{(V_0 \sin \alpha)^2 + 2gH_0}}{g}. \quad (2.20)$$

Тепер є можливість визначити дальність  $L$  польоту тіла, використовуючи тривалість польоту  $t_1$  від його викиду до приземлення на поверхню ґрунту. Використаємо для цього перше рівняння системи (2.18), за умови, що  $t = t_1$ . Матимемо:

$$L = x(t_1) = V_0 \cos \alpha \cdot t_1 = V_0 \cos \alpha \cdot \frac{V_0 \sin \alpha \pm \sqrt{(V_0 \sin \alpha)^2 + 2gH_0}}{g}. \quad (2.21)$$

Таким чином, вираз (2.21) дає підстави визначати дальність  $L$  польоту тіла, тобто частинки речовини технологічного матеріалу, в залежності від кута  $\alpha$  нахилу сопла розпилювача, при заданій початковій швидкості  $V_0$  руху тіла при розкиданні.

На рис. 2.6 представлена залежність дальності  $L$  польоту частинки технологічного матеріалу кинуті з висоти 20 м з початковою швидкістю руху  $V_0 = 2$  м/с від кута  $\alpha$  нахилу сопла розпилювача відносно лінії горизонту, яка побудована по (2.21).



Рисунок 2.6 – Залежність дальності  $L$  польоту частинки технологічного матеріалу кинуті з висоти 20 м з початковою швидкістю руху  $V_0 = 2$  м/с від кута  $\alpha$  нахилу сопла розпилювача відносно лінії горизонту

З аналізу залежності на рис. 2.63 випливає, що найбільша дальність польоту частинки технологічного матеріалу спостерігається при позитивному нахилі сопла розпилювача до лінії горизонту. Оптимальний кут нахилу  $\alpha$  дорівнює 15 град, за яким дальність польоту частинки матеріалу сягає 13,2 м. водночас, при  $\alpha=0$  град,

тобто коли сопло розпилювача розташовано строго горизонтально дальність польоту не суттєво менша, і становить 12,6 м. Через це, на наш погляд, достатньо сопло розпилювача розміщувати строго горизонтально, що певною мірою облегує її конструкцію.

Представлені результати досліджень свідчать про те, що при розміщенні сопел розпилювачів на дроні з ліва і права та його польоту на висоті 20 м і початкової швидкості кидання частинок технологічного матеріалу 2 м/с гіпотетично можна отримати ширину захвата внесення технологічного матеріалу за оди робочий польот дрона  $13,2 \cdot 2 = 26,4$  м.

На рис. 2.7 представлена залежність дальності  $L$  польоту частинки технологічного матеріалу в залежності від висоти  $H_0$  польоту дрона (за (2.21)), тобто висоти розміщення сопла розпилювача, при початковій швидкості руху  $V_0 = 2$  м/с і нульовому куті його нахилу до лінії горизонту  $\alpha=0$  град

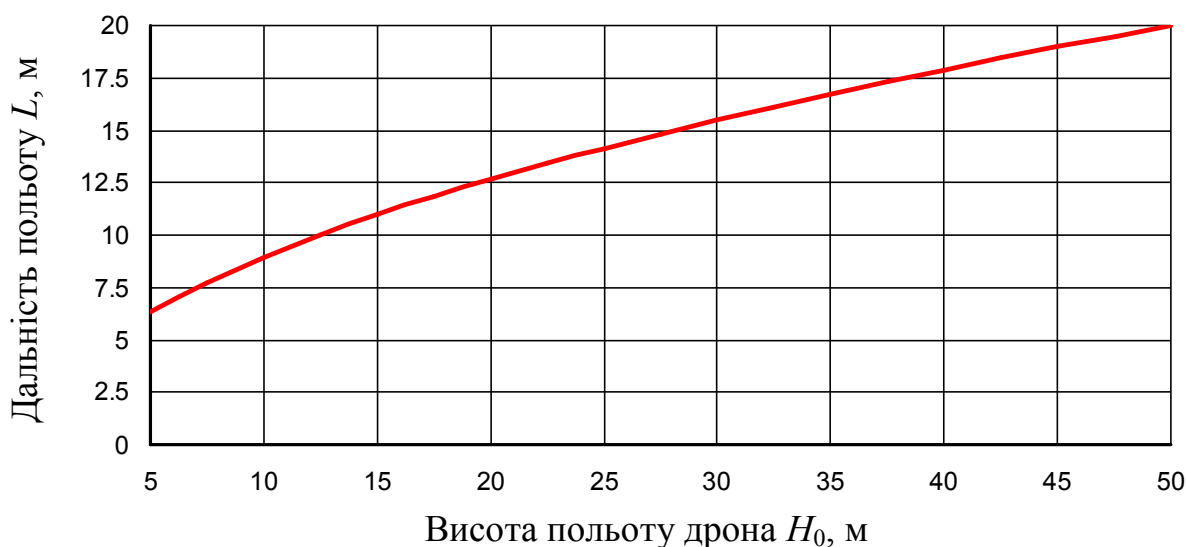


Рис. 2.7 – Залежність дальності  $L$  польоту частинки технологічного матеріалу в залежності від висоти  $H_0$  польоту дрона при початковій швидкості руху  $V_0 = 2$  м/с і  $\alpha=0$  град

З аналізу залежності на рис. 2.7 випливає, якщо збільшити висоту польоту дрона з 20 до 50 м дальність польоту частинки технологічного матеріалу, кинутого з нього під нульовим кутом до лінії горизонту і початковою швидкістю руху 2 м/с збільшиться з 13, 2 до 20 м. І навпаки, якщо зменшити висоту польоту дрона до 5 м, дальність  $L$  зменшиться майже вдвічі.



На рис. 2.8 представлена залежність дальності  $L$  польоту частинки технологічного матеріалу в залежності від початкової швидкості її руху  $V_0$  при висоті  $H_0 = 20$  м польоту дрона (за (2.21)) і нульовому куті нахилу сопла його нахилу до лінії горизонту  $\alpha=0$  град.

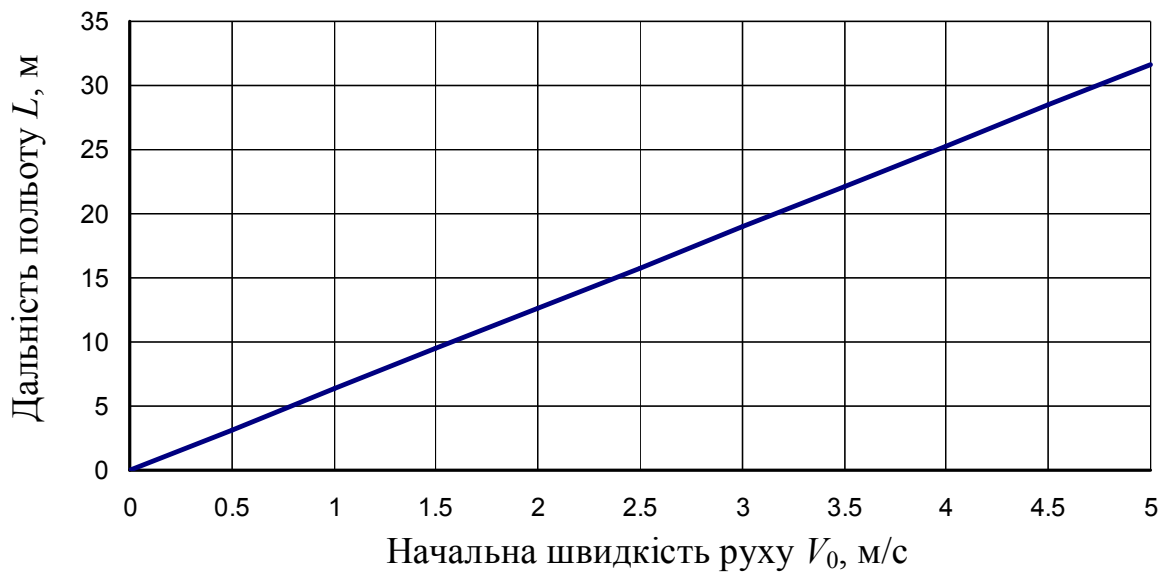


Рис. 2.8 – Залежність дальності  $L$  польоту частинки технологічного матеріалу від початкової швидкості її руху  $V_0$  при висоті  $H_0 = 20$  м польоту дрона (за (2.21)) і нульовому куті його нахилу сопла до лінії горизонту  $\alpha=0$  град

З аналізу рис. 2.8 випливає, що дальність  $L$  польоту частинки технологічного матеріалу прямо пропорційно залежить від початкової швидкості її руху  $V_0$ . Зокрема при збільшенні початкової швидкості її руху з 2 до 5 м/с величина дальності польоту частинки технологічного матеріалу збільшується з 13,2 до 32,0 м.

За принципом внесення технологічних матеріалів за допомогою дрона виліт частинок агрохімікатів або біоматеріалів здійснюється одразу на дві сторони від осі руху дрона та в проміжок між крайніми розпилювачами (рис. 2.9). Якщо ширина смуги ділянки, що обробляється, становить 26,4 м, що дозволяє за чотири проходи внести технологічний матеріал на одному гектарі.

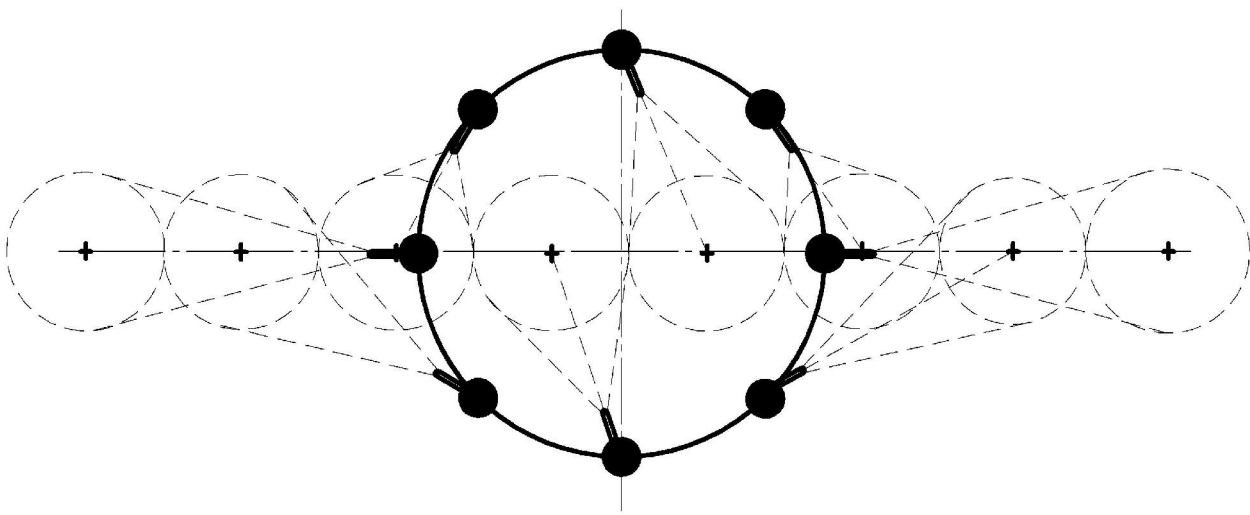


Рисунок 2.9 – Схема розміщення розпилювачів на дроні та напрямок подачі ними технологічних матеріалів для створення суцільної смуги обробітку

### Висновки.

1. Запропонований спосіб та схема пристрою для розселення біоматеріалів з БПЛА типу «дрон», згідно якого з метою підвищення продуктивності технологічного процесу і точності дозування технологічних матеріалів, воно забезпечене горизонтально розташованими трубопроводами з вертикально встановленими повітрязабірниками, канали якого з'єднаний зі входом в транспортний канал і в порожнину пневмоциліндра дозуючого пристосування через кран-регулятор, а його дифузори мають отвори, що перекриваються рухомою пластиною, положення якої, як і ступінь перекриття вхідного повітряного каналу – краном-регулятором, залежить від дози внесення технологічного матеріалу, а кінець транспортного каналу з'єднаний з розпилювачем, рухоме кріплення якого може мати як позитивний, так і негативний кут свого нахилу до горизонту.

2. Розроблені теоретичні основи внесення технологічного матеріалу за допомогою дрона шляхом побудови математичної моделі руху частинки речовини, яка кинута з певної висоти під кутом до горизонту. Результатами моделювання цього процесу встановлено, що найбільша дальність польоту частинки технологічного матеріалу спостерігається при позитивному нахилі сопла розпилювача до лінії горизонту. Оптимальний кут нахилу  $\alpha$  дорівнює 15 град, за яким дальність польоту частинки матеріалу сягає 13,2 м. водночас, при  $\alpha=0$  град, тобто коли сопло розпилювача розташовано строго горизонтально дальність польоту не суттєво менша, і становить 12,6 м. Через це, на наш погляд, достатньо

сопло розпилювача розміщувати строго горизонтально, що певною мірою облегшує її конструкцію.

3. При розміщенні сопел розпилювачів на дроні з ліва і права та його польоту на висоті 20 м і початкової швидкості кидання частинок технологічного матеріалу 2 м/с гіпотетично можна отримати ширину захвата внесення технологічного матеріалу за оди робочий політ дрона 26,4 м.

4. Збільшення висоти польоту дрона з 20 до 50 м дальність польоту частинки технологічного матеріалу, кинутого з нього під нульовим кутом до лінії горизонту і початковою швидкістю руху 2 м/с збільшиться з 13, 2 до 20 м. І навпаки, якщо зменшити висоту польоту дрона до 5 м, дальність польоту зменшиться майже вдвічі.

5. В результаті моделювання встановлено, що дальність польоту частинки технологічного матеріалу прямо пропорційно залежить від початкової швидкості її руху. Зокрема при збільшенні початкової швидкості її руху з 2 до 5 м/с величина дальності польоту частинки технологічного матеріалу збільшується з 13,2 до 32,0 м.

6. За принципом внесення технологічних матеріалів за допомогою дрона виліт частинок агрохімікатів або біоматеріалів доцільно здійснювати одразу на дві сторони від осі руху дрона та в проміжок між крайніми розпилювачами. Якщо ширина смуги ділянки, що обробляється, при цьому становить 26,4 м, це дозволяє за чотири проходи внести технологічний матеріал на одному гектарі.

### **3 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВНЕСЕННЯ АГРОХІМІКАТІВ І БІОПРЕПАРАТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА В СИСТЕМІ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА**

Диференційоване внесення добрив, пестицидів і диференційований посів в системі точного землеробства здійснюється як правило наземною технікою, оснащеною автоматизованою системою управління і контролю технологічним процесом, приймачами ГЛОНАС/GPS, комунікаціями ISOBUS [7]. Але застосування такої техніки є досить складним при високій вологості ґрунту, на складних рельєфах поля, гірських схилах з садами і виноградниками, в пізні періоди вегетації рослин і в стислі агротехнічні терміни, що призводить до ризиків, пов'язаних з недобором урожаю і зниженням його якості і тим самим до збитків сільськогосподарських товаровиробників.

Розвиток технології точного землеробства потребує більш високого рівня технічного оснащення, заснованого на програмованих, повністю автономно функціонуючих або дистанційно керованих безпілотних авіаційних системах (БАС), які містять комплекси автоматичних або дистанційно керованих безпілотних літальних апаратів, які здійснюють польоти в повітряному просторі у відповідності до стандартів ІКАО (Міжнародної організації цивільної авіації). При цьому авіаційні системи містять також модулі у вигляді апаратно-програмного комплексу, станції зовнішнього управління і контролю польотом та інші елементи системи для виконання програмного польоту повітряного судна. Крім цього БАС включають аеромобільні комплекси сільськогосподарського призначення у вигляді спеціалізованих наземних транспортних засобів, які оснащені системою кріплення БПЛА, підйомниками для спуску і навантаження БПЛА, резервуарами для заправки БПЛА паливом, або їх підзарядки, і робочими рідинами біопрепаратів або агрохімікатів, станцією управління польотом.

Бортова система управління польотом складається з блоку автопілота, блоку управління двигуном, блоку управління корисним навантаженням, пілотажного навігаційного комплексу з інтегрованою навігаційною системою і приймачами ГЛОНАСС / GPS для польоту на малих висотах.

За функціональним призначенням БПЛА для сільського господарства підрозділяють на транспортні, моніторингові, посівні, для внесення добрив і засобів захисту рослин. За типом конструкції кращі БПЛА гвинтокрилого (гіроплани) і мультіроторного (квадро, гекса– або октокоптери) типів. БПЛА можуть мати автоматичне або дистанційне керування.

За використанням класом повітряного простору польоти БПЛА с.-г. призначення повинні виконуватися в повітряному просторі встановлених розмірів, призначеному для виняткового використання конкретними користувачами.

З точки зору зльоту і посадки перевага віддається за БПЛА з невеликим фронтом зльоту або вертикальним зльотом і вертикальною посадкою.

Найбільш вдалі БПЛА безаеродромного базування, багаторазової дії, низько висотні і гранично мало висотні (0–300 м).

Силова установка БПЛА може включати електричні або поршневі двигуни з паливним баком багаторазової заправки.

Маса корисного навантаження зазвичай становить 15–30% маси БПЛА і включає цільове навантаження (відео– або фотоапаратуру та ін.), Масу транспортного вантажу, наприклад запчастини для польових сільгоспмашин, масу добрив або пестицидів, обладнання для їх внесення. Функціональне навантаження включає двигун (з запасом палива) або джерело електроживлення, а також сервоприводи, аеродинамічні органи керування, комплекс програмно-апаратних засобів, що містять бортову апаратуру управління [36].

У табл. 3.1 представлена перспективна класифікація БПЛА по злітній масі і корисному навантаженні.

Таблиця 3.1 – Класифікація БПЛА для внесення агрохімікатів по злітній масі, корисне навантаження, дальності польоту

БПЛА	Маса злітного / корисного навантаження, кг	Максимальна дальність польоту, км
Надлегкі ближньої дальності	(25/7,5)...(150/45)	менше 30
Легкі ближньої дальності	(50/15)...(250/75)	10–30
Середні малої дальності	(150/45)...(500/150)	80–200
Середньоважкі малої дальності	(500/150)...(1500/450)	200–500

Як у світовій, так і у вітчизняній сільськогосподарській практиці, в точному землеробстві дози мінеральних добрив і норми внесення пестицидів визначають для кожної елементарної ділянки поля. Кількість ділянок залежить від середньої варіабельності вмісту поживних речовин на полі, фітосанітарного стану та площі самого поля. Моніторинг агроценозів здійснюють за допомогою фото– або мультиспектральних камер, встановлених на БПЛА невеликої злітної маси і з малим корисним навантаженням.

Відомі окремі розробки БПЛА з корисним навантаженням (до 28 кг) для суцільного обробітку посівів пестицидами [35]. БПЛА для диференційованого внесення мінеральних добрив і засобів захисту рослин в системі точного землеробства на даний момент знаходяться в стадії проектних рішень.

Рівняння масового балансу літального апарату [38] при інших рівних умовах відображають зв'язок злітної маси  $m_0$  зі структурними елементами: масами конструкції  $m_{\text{кон}}$ , силової установки  $m_{\text{су}}$ , бортового обладнання і систем управління  $m_{\text{обсу}}$ , палива  $m_{\text{т}}$ , корисного навантаження  $m_{\text{пн}}$ :

$$m_0 = m_{\text{кон}} + m_{\text{су}} + m_{\text{обсу}} + m_{\text{т}} + m_{\text{пн}}. \quad (3.1)$$

Для БПЛА сільгосппризначення при використанні його в системі точного землеробства рівняння балансу має пов'язувати злітну масу, функціональні складові злітної маси і параметри, що забезпечують диференційоване внесення біопрепаратів і агрохімікатів.

Працюючи з БПЛА для диференційованого внесення пестицидів біопрепаратів і агрохімікатів, слід враховувати перерозподіл його вагової структури в бік збільшення корисного навантаження (маси завантажується робочої рідини, обладнання для її розподілу, бортового обладнання, систем керування) і в бік зменшення маси палива на борту.

Маса робочої рідини (біопрепаратів і агрохімікатів) в залежності від площі оброблюваної поля може бути змінною, тому відношення  $m_{рж}/m_0$  буде змінною величиною за умови:

$$0 \leq m_{рж} \leq m_{зад} , \quad (3.2)$$

де  $m_{зад}$  – задана маса робочих розчинів агрохімікатів для програмованої обробки всіх ділянок поля.

Загальна довжина оброблених ділянок дорівнює:

$$L_{обр} = \sum L_i . \quad (3.3)$$

При диференційованій обробці посівів БПЛА в режимі «of-line» кожна окрема елементарна ділянка оброблюваного поля з фіксованими широтно–довготних координатами  $X$  та  $Y$  має довжину  $L_i$  і ширину, рівну робочій ширині обприскування  $B_p$ . Тоді загальна площа обробки становитиме сумі оброблених ділянок:

$$S_{обр} = \sum (L_i \cdot B_p) . \quad (3.4)$$

Технологічний процес диференційованого внесення агрохімікатів з урахуванням розроблених моделей управління цими технологічними операціями представлений у вигляді блок-схеми (рис. 3.1).

Згідно запропонованої блок-схеми технології диференційованого внесення біопрепаратів і агрохімікатів (див. рис. 3.1) БПЛА здійснює мультиспектральний моніторинг сільськогосподарського поля і тестових майданчиків. Далі апарат передає спектральну інформацію з прив'язаними географічними координатами елементарних ділянок поля в інформаційний блок бази даних. Одночасно на тестових майданчиках відбирають проби ґрунту і рослин для калібрування даних при обробці спектральних вимірювань, отриманих з БПЛА, лабораторними методами визначають вміст поживних речовин на кожному з майданчиків і вводять дані в інформаційний блок, з'єднаний з блоком аналізу, обробки і передачі даних на

БПЛА, за допомогою якого здійснюється диференційоване внесення біопрепаратів і агрохімікатів.

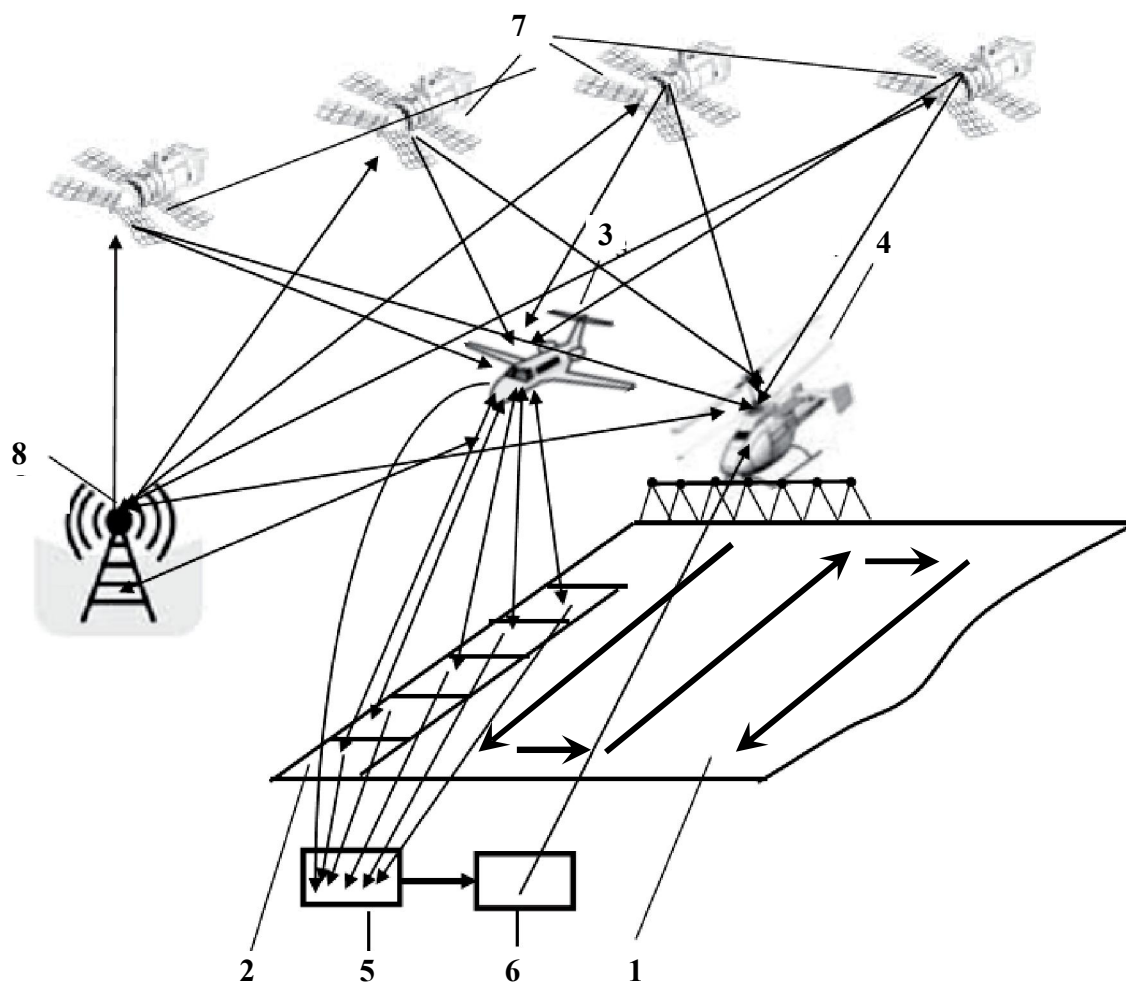


Рис. 3.1 – Блок-схема технології диференційованого внесення біопрепаратів і агрохімікатів з використанням безпілотних літальних апаратів: 1 – сільськогосподарське поле; 2 – тестові майданчики сільгоспкультур; 3 – БПЛА для зондування і моніторингу ґрунту і агроценозів; 4 – БПЛА для внесення біопрепаратів і агрохімікатів; 5 – інформаційний блок бази даних; 6 – наземний комп'ютерний блок аналізу, обробки і передачі даних; 7 – штучні супутники Землі; 8 – наземна опорна базова станція DGPS

Витрата робочої рідини для диференційованого внесення на оброблюваному полі встановлюють виходячи з розрахованих доз біопрепаратів і агрохімікатів для кожної позначеної однорідної ділянки поля і кількості виділених на них елементарних ділянок, які представляють собою прямокутники шириною, рівною робочій ширині обробітку, і довжиною, що дорівнює довжині виділеного контуру.

З урахуванням того, що норма внесення робочої рідини забезпечується її витратою через одну форсунку  $g_{\text{ф}}$ , кількістю форсунок  $N_{\text{ф}}$  на штанзі обладнання



обприскувача БПЛА, шириною обробітку  $V_p$  і робочою швидкістю польоту  $V_n$ , тому відносну масу робочої рідини можна представити в наступному вигляді суми ділянок, які обробляються за один політ відповідно до цифрової карти поля:

$$m_{рж} = \Sigma L_i \cdot (N_{\phi} \cdot g_{\phi} / V_p \cdot V_n). \quad (3.5)$$

В результаті проведених розрахунків побудована залежність на рис. 3.2, згідно з якою встановлено, що корисне навантаження БПЛА становить 10-400 кг в залежності від злітної маси апарату.

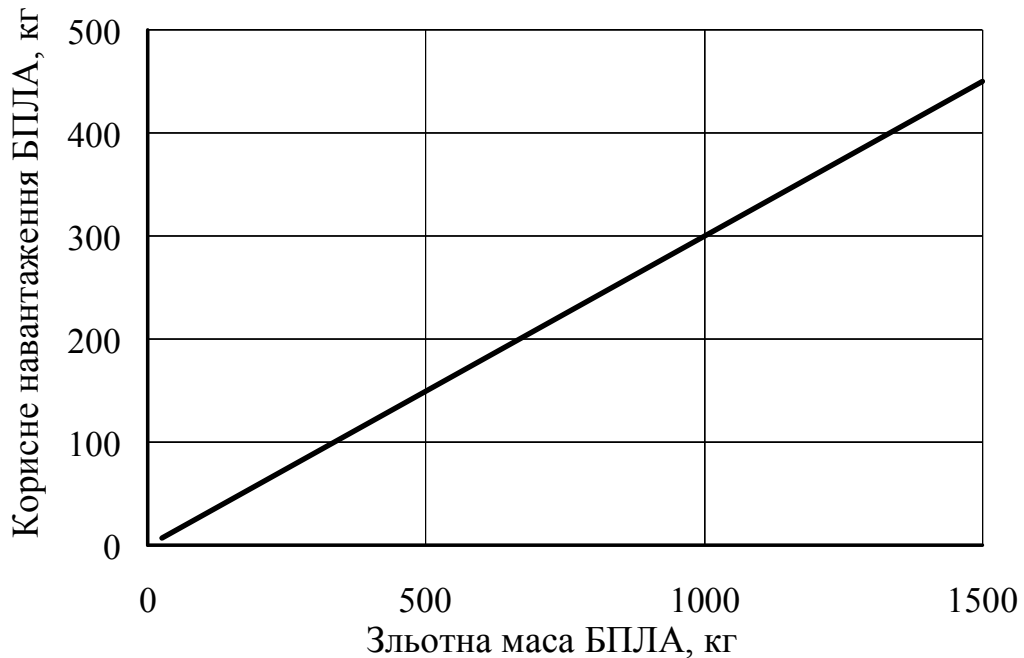


Рис. 3.2 – Залежність корисного навантаження БПЛА від його злітної маси

Результат обчислення залежності дальності польоту БПЛА від його корисного навантаження (маси добрив і агрохімікатів) представлено на рис. 3.3.

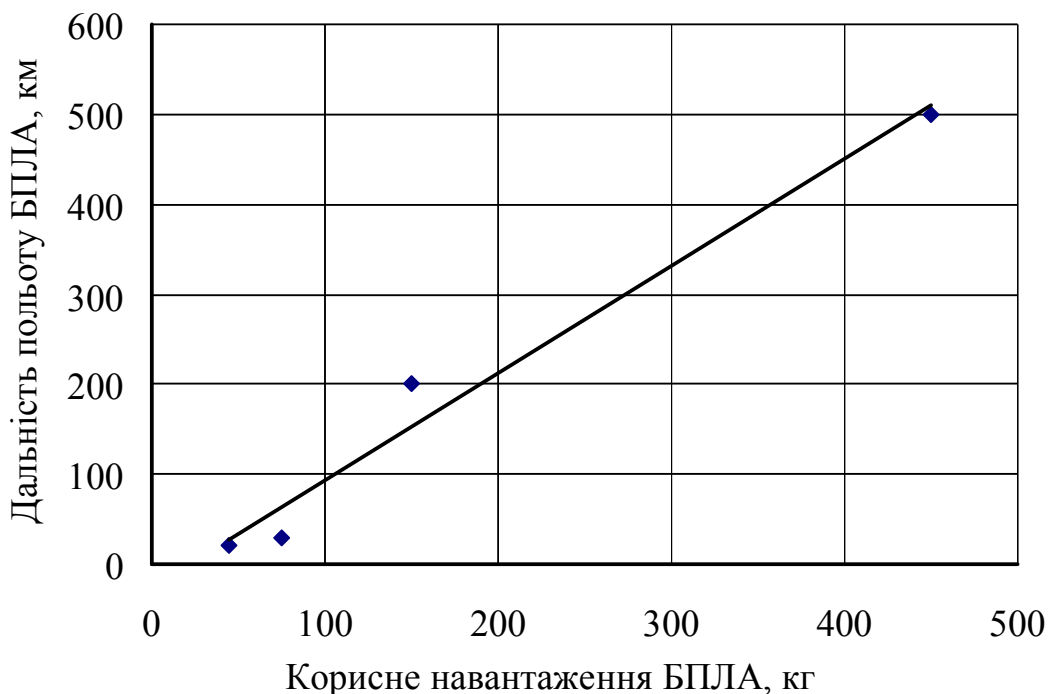


Рис. 3.3 – Залежність дальності польоту БПЛА від його корисного навантаження

З аналізу рис. 3.3 випливає, що дальність польоту БПЛА знаходиться у прямо пропорційній залежності від його корисного навантаження.

На підставі вищенаведеного та використовуючи вирази, які представлені у 2 розділі роботи нами побудовано залежність продуктивності БПЛА від норми внесення агрохімікатів (рис. 3.4).

Характер функції побудованої залежності (див. рис. 3.2) має дві характерні зони своєї інтенсивної зміни від аргументу (норми внесення). Такі криві, як правило, мають точки раціонального оптимуму. Використовуючи методику В.Т. Надикто пошуку оптимуму такого типу кривої було встановлено, що на найбільш раціональна норма внесення, яка відповідає максимальній продуктивності БПЛА типу дрон, знаходиться в межах 10-60 л/га. При збільшенні норми внесення біопрепаратів і агрохімікатів до 100 л/га. продуктивність БПЛА зменшується більш ніж у два рази.

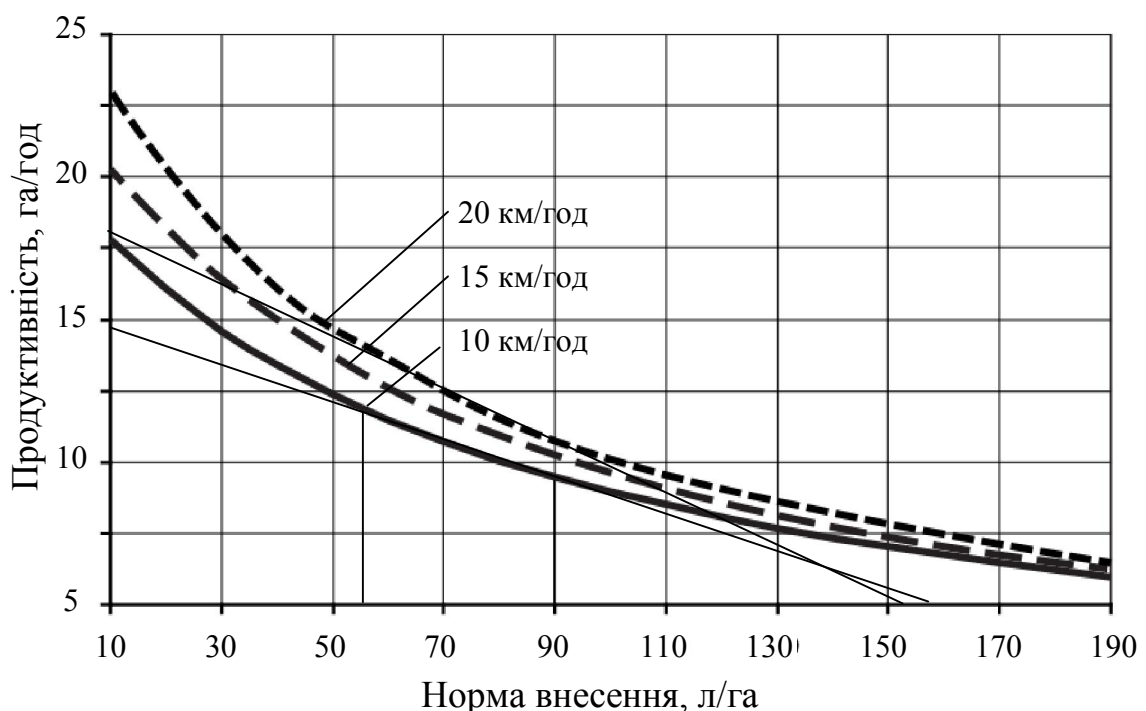


Рис. 3.4 – Залежність продуктивності БПЛА від норми внесення агрохімікатів за різною швидкістю його руху

Висновки.

1. Технологія точного землеробства вимагає більш високого рівня технічного забезпечення, заснованого на програмованих, повністю автономних або дистанційно керованих безпілотних авіаційних системах, що містять комплекси автоматичних або дистанційно керованих безпілотних літальних апаратів для моніторингу агроценозів, диференційованого внесення біопрепаратів і агрохімікатів.

2. Встановлено, що для диференційованого внесення біопрепаратів і агрохімікатів найбільш ефективними є БПЛА безаеродромного базування, з вертикальним зльотом і вертикальною посадкою, які оснащені автопілотом і системою диференційованого внесення робочих рідин за заданою програмою, розробленою відповідно до агрохімічної картограми і карти фітосанітарного стану поля.

3. Технологічний процес застосування БПЛА в системі точного землеробства включає послідовно виконувани взаємопов'язані операції: моніторинг і зондування посівів (за допомогою легких БПЛА, оснащених мультиспектральними камерами), отримання, оброблення та передачу інформації для управління посівами, диференційованого внесення біопрепаратів і агрохімікатів за заданою програмою обробки поля (за допомогою БПЛА з великим корисним навантаженням).

4. В результаті проведених розрахунків побудована залежність на рис. 3.2, згідно з якою встановлено, що корисне навантаження БПЛА становить 10-400 кг в залежності від злітної маси апарату.

5. Доведено, що дальність польоту БПЛА знаходиться у прямо пропорційній залежності від його корисного навантаження, що приблизно відповідає: 1 кг навантаження – 1 км польоту.

6. Найбільш раціональна норма внесення БПЛА типу дрон біопрепаратів і агрохімікатів, яка відповідає максимальній його продуктивності, знаходиться в межах 10-60 л/га. При збільшенні норми внесення біопрепаратів і агрохімікатів до 100 л/га. продуктивність БПЛА зменшується більш ніж у два рази.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Загальні вимоги нормативних актів щодо управління охороною праці при виконанні польотів безпілотними авіаційними комплексами

Згідно Наказу N 661 «Про затвердження правил виконання польотів безпілотними авіаційними комплексами державної авіації України», від 08.12.2016 р., ці правила визначають порядок організації та проведення польотів безпілотних авіаційних комплексів, які є обов'язковими для керівництва і виконання всіма суб'єктами авіаційної діяльності авіаційних комплексів, і регламентуються: щодо загального порядку організації та проведення польотів безпілотними авіаційними комплексами - Правилами виконання польотів державної авіації України, затвердженими [наказом Міністерства оборони України від 05 січня 2015 року N 2](#), зареєстрованими в Міністерстві юстиції України 26 січня 2015 року за N 82/26527; щодо порядку виконання польотів безпілотними авіаційними комплексами в повітряному просторі України - Правилами польотів державної авіації в повітряному просторі України, затвердженими [наказом Міністерства оборони України від 09 грудня 2015 року N 700](#), зареєстрованими в Міністерстві юстиції України 24 грудня 2015 року за N 1622/28067.

Згідно цього нормативного документу встановлені такі правила з охорони праці:

1) БПЛА (крім автономних) пілотуються з Пункту дистанційного пілотування (ПДП) з використанням лінії керування та контролю. Протягом польоту керування БПЛА здійснюється з одного або з декількох ПДП (але в жодному разі не одночасно).

2) БПЛА обладнуються бортовими засобами об'єктивного контролю (далі - ЗОК), які реєструють параметри польоту. Допускається встановлення ЗОК на ПДП.

3) На БПЛА наносяться відповідні розпізнавальні знаки згідно з вимогами Положення про розпізнавальні знаки, які наносяться на повітряні судна державної авіації України, затвердженого [наказом Міністерства оборони України від 20 липня 2015 року N 347](#), зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 04 серпня 2015 року за N 935/27380. [У разі якщо розмір або конфігурація БПЛА унеможливилює](#)

нанесення цих знаків, на БПЛА встановлюється розпізнавальна табличка з реєстраційним номером, контактним телефоном та адресою електронної пошти.

4) Пункт дистанційного пілотування забезпечує здійснення зовнішнім пілотом (оператором) БпАК керування та контролю БПЛА на землі та в повітрі. Керування БПЛА та взаємодія між ПДП та БПЛА забезпечуються через лінію передачі даних.

5) Конструкція Пункту дистанційного пілотування має унеможливити:

- заклинювання, мимовільне спрацювання та непередбачене ввімкнення стопорних пристроїв поверхонь управління;

- неправильне або ускладнене використання зовнішнім пілотом органів керування. При цьому особлива увага приділяється:

- чіткому позначенню та розташуванню органів керування та приладів;

- швидкому розпізнаванню аварійних ситуацій;

- вільному відхиленню важелів управління та їх правильному налаштуванню;

- вентиляції, обігріву та допустимому рівню шумів згідно із санітарними вимогами;

- ручному або автоматичному запобіганню та усуненню аварійних ситуацій;

- маркуванню та пояснювальним написам на приладах, обладнанні, органах керування, які містять обмеження, застереження та необхідні відомості;

- володінню інформацією щодо якості лінії керування та контролю з метою вжиття відповідних дій у разі її погіршення до критичного (недопустимого) стану.

У разі відсутності на ПДП традиційних органів керування (ручка керування та важіль керування двигуном) органи керування та засоби індикації, встановлені на ПДП, повинні забезпечити безпечне та ефективне керування БПЛА у штатних умовах, а також у випадках відмов систем та обладнання. Конструкція автоматичних систем керування БПЛА повинна забезпечити зовнішньому пілоту можливість для усунення наслідків відмов цих систем.

6) Компоненти ПДП, на які впливають зовнішні фактори (антени, щогли тощо), закріплюються та захищаються від ударів блискавок, сильного вітру, обмерзання тощо.

7) Командир зовнішнього екіпажу відповідає за своєчасне і точне виконання польотного завдання зовнішнім екіпажем з дотриманням встановлених заходів безпеки та зобов'язаний:

- готуватися до польоту (керування БПЛА) відповідно до польотного завдання та розробляти конкретні заходи безпеки до нього з урахуванням рівня підготовки членів зовнішнього екіпажу, особливостей польотного завдання та керівництва польотами, метеорологічних умов й орнітологічної обстановки в районі аеродрому та на маршруті польоту;

- керувати підготовкою й оцінювати готовність членів зовнішнього екіпажу до виконання польотного завдання;

- готувати зовнішній екіпаж до дій в особливих випадках (ситуаціях) у польоті (при керуванні БПЛА), а також до дій після вимушеної посадки БПЛА;

- усувати від виконання завдання на політ будь-якого члена зовнішнього екіпажу БпАК, рівень підготовки якого не відповідає завданню на політ, а дії загрожують БзП, і вимагати його заміни;

- доповідати своєму прямому начальнику у разі, якщо будь-хто з членів зовнішнього екіпажу вважає польотне завдання непосильним для себе або не впевнений у безпеці його виконання, і вимагати його заміни;

- вимагати від членів зовнішнього екіпажу дотримання заходів безпеки в польоті (під час керування БПЛА);

- дотримуватися передпольотного режиму відпочинку і вимагати його виконання членами зовнішнього льотного екіпажу;

- приймати БпАК перед польотом в об'ємі, установленому КЛЕ БпАК;

- перевіряти екіпірування членів зовнішнього екіпажу і оснащення БпАК відповідно до польотного завдання;

- знати порядок використання та оновлення документів аеронавігаційної інформації;

- контролювати розміщення на борту БПЛА та кріплення (швартування) вантажів (озброєння, техніки та спецобладнання);

- приймати рішення на виконання польоту, зліт та посадку;

- контролювати своєчасне включення апаратури об'єктивного контролю (далі - ОК) БпАК;

- керувати роботою членів зовнішнього екіпажу під час виконання польоту БПЛА;
- виконувати команди органу УПР (ОПР), командира (ведучого) групи, під управлінням якого перебуває БпАК;
- дотримуватися встановлених правил радіообміну і контролювати їх виконання членами зовнішнього льотного екіпажу;
- керувати під час польоту БПЛА відповідно до польотного завдання;
- вести орієнтування під час керування БПЛА;
- контролювати фактичний залишок пального (заряд акумуляторної батареї) і час польоту до посадки;
- аналізувати метеорологічну, орнітологічну та повітряну обстановку перед польотом і в польоті (під час керування БПЛА), доповідати про небезпечні явища погоди органу УПР (ОПР), під управлінням якого перебуває БпАК;
- дотримуватися вимог БзП з урахуванням особливостей польотного завдання, метеорологічних умов та орнітологічної обстановки в районі і на маршруті польоту БПЛА;
- приймати рішення на продовження (припинення) польоту БПЛА у разі ускладнення повітряної (наземної) обстановки;
- бути обачним, не допускати небезпечного зближення БПЛА з іншими ПС і наземними перешкодами;
- доповідати органу УПР (ОПР), під управлінням якого перебуває БпАК, про відмови на БпАК, зміну або припинення виконання польотного завдання, а також щодо прийняття рішення про вимушену посадку;
- своєчасно вносити (контролювати внесення) до бортового журналу (журналу підготовки) БпАК зауваження про виявлені несправності БпАК, відхилення в поведінці БПЛА або роботі його систем, фактичний залишок пального (заряд акумуляторної батареї) після польоту;
- проводити розбір польотів з екіпажем БпАК;
- своєчасно заповнювати свою польотну документацію та контролювати її заповнення членами зовнішнього льотного екіпажу;
- контролювати рівень професійних знань, умінь і навичок членів екіпажу БпАК.

8) Командир зовнішнього екіпажу БпАК (зовнішній пілот (оператор) БпАК):

- приймає остаточне рішення про виконання польоту, політ і посадку БПЛА, зливання в польоті пального, скидання вантажу, зміну плану і режиму польоту, припинення польоту і посадку БПЛА на запасному аеродромі чи вимушену посадку за межами аеродрому (злітно-посадкового майданчика (далі - ЗПМ), НЗПМ) з метою забезпечення БзП, збереження БПЛА. У випадку явної загрози БзП таке рішення може бути прийняте з відхиленням від плану польоту, вказівок органів УПР (ОПР), але за можливості відповідно до встановлених правил польоту. Про виконані дії командир БпАК негайно доповідає органу УПР (ОПР), під безпосереднім управлінням якого перебуває БпАК;

- вживає всіх необхідних заходів, у тому числі примусових, до осіб, які своїми діями створюють загрозу БзП і не підкоряються його розпорядженням;

- змінює маршрут та режим польоту БПЛА, здійснює перетинання державного кордону та (або) приймає рішення про припинення польоту і виконує посадку БПЛА на аеродромі (ЗПМ, НЗПМ), не передбаченому завданням на політ, у випадках виникнення загрози життю і здоров'ю членів зовнішнього екіпажу, людей на землі та цілісності матеріальних об'єктів на ній, пов'язаних з актами незаконного втручання в діяльність екіпажу та виникненням особливих випадків (ситуацій) у польоті (під час керування БПЛА);

- в екстремальній ситуації для врятування життя людей може відступати від правил і вимог нормативних документів, які регламентують виконання польотів та їх безпеку;

- повідомляє орган УПР (ОПР) про виявлення ПС, що зазнає лиха, зони екологічного лиха або людей, що знаходяться в небезпеці;

- керує діями зовнішнього екіпажу БпАК у межах своєї компетенції у разі вимушеної посадки БПЛА до передання своїх повноважень керівнику з ліквідації надзвичайної ситуації.

9) Порядок виконання польотів безпілотними авіаційними комплексами такий.

Запускати двигун БПЛА на аеродромі без дозволу КрП на аеродромі (чергового по прийому) забороняється.



Керування і буксирування БПЛА по аеродрому (ЗПМ) у період проведення польотів без дозволу КрП на аеродромі (ЗПМ) забороняються.

Запуск двигуна(ів) БПЛА проводиться за командою КрП на аеродромі (або без його команди (тільки під час польотів з обмеженим використанням засобів зв'язку) з дотриманням заходів безпеки.

Забороняється запускати двигун(и) у разі:

- відсутності засобів пожежогасіння (на місці запуску);
- без гальмівних колодок під колесами шасі (крім БПЛА вертолітного типу);
- несправності гальмівної системи БПЛА та без використання стоянкового гальма;
- якщо струмінь газу від двигуна(ів) може пошкодити інші ПС, БПЛА або обладнання аеродрому (ЗПМ, НЗПМ);
- якщо в напрямку запуску з катапульти (з руки) знаходяться перешкоди;
- якщо командир зовнішнього екіпажу не переконався, що команда на запуск доведена та зрозуміла всім членам зовнішнього екіпажу.

Рух ПС, БПЛА, автомобілів та інших транспортних засобів попереду і позаду БПЛА з працюючим(и) двигуном(ами) повинен проводитись на відстані, яка забезпечує безпеку руху та виключає потрапляння сторонніх предметів, пилу (снігу) у працюючий(і) двигун(и).

Перед вирулюванням командир зовнішнього екіпажу зобов'язаний:

- переконатись у готовності зовнішнього екіпажу до вильоту;
- встановити зв'язок з КрП, який підтримується з моменту запуску до моменту вимкнення двигуна(ів) (зупинки гвинта(ів)) після закінчення польоту. За відсутності двостороннього зв'язку виліт забороняється (за винятком виконання бойового завдання);
- перевірити дію гальм, переконатись у відсутності на руліжній доріжці (далі - РД) або злітно-посадковій смузі (далі - ЗПС) перешкод (сторонніх предметів). Вирулювати з несправними гальмами або у разі наявності перешкод (сторонніх предметів) на маршруті руління забороняється.

## 4.2 Вимоги правил техніки безпеки при використанні БПЛА

Відповідно до правил техніки безпеки будь-який літальний апарат повинен пройти попередній огляд, який визначає правильність роботи усіх систем. Природно, БПЛА типу дрон неможна порівнювати з пасажирським лайнером, але це не відмінняє необхідності перевірки його стану перед запуском. Також варто перевірити справність усіх деталей. Необхідно проконтролювати, щоб до того, як дрон буде готовий до польоту, не був підключений кабель до мережі.

При завантаженні навігації дрону потрібно від 60 до 90 секунд.

Для того, щоб пілотування було керованим, необхідно, щоб апарат визначив необхідне число супутників GPS. Тільки після цього можна розблокувати пропелери.

Слід проконтролювати ще один важливий параметр – це точка повернення. Якщо точка повернення не встановлена, необхідно перезавантажити пристрій та оновити GPS-супутники та координати точок повернення. Збій у навігації може стати причиною втрати керування дроном, що в подальшому може мати трагічні результати.

Після того, як дрон завершить свій політ, його можна відключити. При цьому передатчик варто залишити включеним. Після завершення польотів дрона необхідно зняти пропелери. Це дозволить уникнути випадкових травм. Брати дрон у руки дозволено лише після того, як пілот удосконалюється в його відключенні.

Для новачків ідеально підходить невеликі за розміром моделі. Освоївши їх, можна перейти до керування більш великими апаратами. Найбільш безпечними вважаються моделі, в яких не використовуються карбон і стекловолокно, завдяки цих матеріалів, виникають серйозні травми людей та їх пошкодження внаслідок таких зіткнень. Пілотування дрона вимагає деяких навичок, отримувати які можна за недорогоими та легкими моделями. водночас в такому випадку поломка з-за помилки пілота обійдеться куди дешевше у всіх відносинах.

Перед початком експлуатації дрона попередньо потрібно уважно вивчити інструкцію. Для початку експлуатації оптимально пойдуть прості режими. Освоїв

їх, можна використовувати більш складні. У якісних дронах, наприклад, із серії під назвою Phantom, є усі компоненти системи його стабілізації.

Не зайвим також буде використовувати програмне управління від виробника. Так дрони серії Фантом оснащені автопілотом з режимом Failsafe, створеним для того, щоб спасти дрон при падінні. У критичних ситуаціях цей режим передбачає три варіанти дій:

- повернення до точки зльоту;
- вихід на вказану висоту та повернення до місця зльоту;
- плавна посадка.

Кожен з цих варіантів може суттєво допомогти пілоту в аварійній ситуації.

### **Правила керування дроном.**

Пілот дрона повинен завжди помятати про те, на який час польоту розраховані батареї апарату. Не варто робити політ більш тривалим, якщо це вказано в інструкціях. Неспроможність будь-якого з рекомендацій виготовлення призведе щонайменше до пошкодження дрона. У разі зниження висоти польоту це може призвести до його дестабілізації та аварії, що в подальшому призведе до травми та ушкодження. Багато країн у світі вже ввели закони, які регламентують використання дронів і виключають їх запуск поблизу людей.

Перш за все слід помятати, що будь-який дрон є потенційно небезпечним для оточуючих. Причина трагедії може бути статтею не лише помилки пілота, але і банального збою в програмному забезпеченні. Зберігання безпечної дистанції необхідне при кожному запуску апарату і є першим правилом безпеки. Навіть найлегший дрон здатний нанести серйозні травми і навіть вбити людину. У цілях безпеки варто не випускати дрон із поля бачення і слідкувати за переміщенням людей.

Ще одним важливим правилом безпеки є алгоритм дій після падіння дрона. Так, при цьому категорично забороняється піднімати уламки дрона з землі. У такій ситуації необхідно набросити на нього покривало або куртку. Після цього необхідно відключити живлення. І лише виконавши всі ці дії, можна почати розбиратися з причиною його відказу.

На цей час у нашій країні ведеться розробка законопроекту про управління БПЛА. Однак найкращим способом попередження трагедії буде не закон, а відповідальність та знання всіх користувачів дронів.

### **4.3 Охорона праці при проведенні авіаційно-хімічних робіт**

До авіаційно-хімічних робіт відносяться: боротьба зі шкідниками і хворобами сільськогосподарських культур; підживлення рослин мінеральними добривами; боротьба з бур'янами; передзбиральне видалення листків і прискорене відкривання коробочок бавовника; зачорніння снігу для прискорення його розтавання і т. ін. [41, 42].

Сучасні транспортні літаки і вертольоти не повністю пристосовані до авіаційно-хімічних робіт. Так, наприклад, конструктивні рішення щодо захисту екіпажу від дії на них отрутохімікатів не завжди ефективні. Створення спеціальних ПС для авіаційно-хімічних робіт стало нагальною проблемою.

Сьогодні багато країн ведуть роботи з переобладнання старих і створення нових ПС для авіаційно-хімічних робіт.

Щорічно переглядається перелік хімічних і біологічних засобів для боротьби зі шкідниками, захворюваннями рослин і бур'янами, рекомендованих для застосування у сільському господарстві. Його змінюють і доповнюють. Зараз застосовують біля 200 таких засобів [41,42].

Під час масової обробки сільськогосподарських культур отрутохімікатами забруднюють рослини, воду, ґрунт, атмосферне повітря і можуть викликати отруєння питної води, загибель риби у водоймах. Отрутохімікати проникають в рослини і часто знаходяться у виготовлених з них продуктах. Вони накопичуються в організмі домашніх тварин і людини.

В останній час у пресі частішають повідомлення про пагубну дію отрутохімікатів на все живе. Авіаційно-хімічні роботи слід вести відповідно до санітарних правил із зберігання, транспортування і застосування пестицидів у сільському господарстві, чинних інструкцій керівних органів цивільної авіації.

Склад і небезпечність отрутохімікатів.

Отрутохімікати, які застосовують на авіаційно-хімічних роботах, мають різні фізико-хімічні властивості і призначення. Їх можна розподілити на такі основні групи: хлорорганічні й фосфорорганічні сполуки; ртутьорганічні, сполуки міді, заліза, барію, фтору, натрію, кальцію, солі синильної кислоти; препарати сірки; речовини рослинного походження, мінеральні масла, нафтові та ін.

За ступенем небезпеки для людини і тварин отрутохімікати, які використовують під час виконання авіаційно-хімічних робіт, поділяються на чотири групи: надзвичайно небезпечні, високо-небезпечні, помірно небезпечні, малонебезпечні речовини.

Для більшості отрутохімікатів характерні висока токсичність, летучість, здатність проникати крізь непошкоджену шкіру, здатність довго не розпадатися в довкіллі.

Оскільки більшість отрутохімікатів - сильні отрути, то ГДК їх у повітрі робочої зони надзвичайно малі. Загроза отруєння залежить не тільки від наявності великих концентрацій отрутохімікатів, але і від їхніх властивостей, умов праці, методів і засобів обробки.

Основні шляхи проникнення отрутохімікатів в організм — шлунково-кишковий тракт, органи дихання, шкіра і слизові оболонки. При ураженні людини отрутохімікатами з'являється нудота, блювання, біль у животі, частий рідкий стул. Уражаються центральна нервова система, печінка, нирки. Для кожної групи хімічних сполук характерні специфічні ознаки отруєння. Наприклад, при ураженні людини фосфорорганічними отрутохімікатами різко підвищується пітливість рук і всього тіла, звужуються зіниці очей (до розміру булавкової голівки), спостерігається слинотеча, прискорення серцебиття. У разі отруєння хлорорганічними сполуками дзвенить у вухах, тече кров з носа та з'являються інші ознаки.

У всіх випадках отруєння потерпілого необхідно вивести із зараженої зони, надати першу допомогу і якомога швидше викликати лікаря або покласти в лікарню. Насамперед слід вжити заходів для припинення надходження отрути в організм.

У разі потрапляння отрутохімікатів на шкіру слід негайно обмити уражену ділянку сильним струменем води, краще з милом, а якщо отрута потрапила в очі, необхідно промити їх чистою водою. Якщо отрута потрапила в шлунок, необхідно дати випити потерпілому 6-10 склянок води і подразненням кореня язика викликати

блювоту. Цю процедуру треба повторити 2-3 рази. Якщо точно відомо, якою речовиною викликано отруєння, то виконують конкретні дії з надання першої допомоги в разі отруєння тією чи іншою речовиною відповідно до чинних правил безпеки [41,42].

Льотний склад та ПС, які призначаються на авіаційно-хімічні роботи, щорічно проходять медичний огляд з участю фахівців авіазагону і проведенням клініко-лабораторних досліджень для визначення придатності до робіт, пов'язаних з використанням отрутохімікатів і мінеральних добрив та з урахуванням протипоказань, які наводяться у чинних правилах безпеки.

Під час проведення авіаційно-хімічних робіт систематичний контроль за станом здоров'я екіпажів ПС та інших осіб, які виконують ці роботи, додержання правил з техніки безпеки і виробничої санітарії забезпечують місцеві органи охорони здоров'я, виділяючи для цієї мети відповідального медичного працівника.

До авіаційно-хімічних робіт не допускаються підлітки до 18 років, вагітні жінки і матері-годувальниці, а також чоловіки у віці після 55 і жінки після 50 років. Крім того, не допускаються до роботи особи, що мають протипоказання щодо роботи з отрутохімікатами.

Щорічно необхідно проводити навчання особового складу перед початком оперативного сезону з авіаційно-хімічних робіт. В програму навчання включають такі основні питання: властивості отрутохімікатів, з якими доведеться працювати, їхня дія на організм; заходи перестороги під час роботи, які забезпечують особисту і громадську безпеку; ознаки отруєння і заходи з надання першої долікарняної допомоги. Особам, що пройшли навчання, видається посвідчення, в якому робиться помітка про проходження навчання і медичного огляду.

Роботи із застосуванням отрутохімікатів і мінеральних добрив, у тому числі допоміжні операції їхнього приготування, мають бути механізованими для виключення безпосереднього контакту льотного, інженерного і технічного складу та обслуговуючого персоналу з отрутохімікатами. Приготування і завантаження ПС робочими розчинами отрутохімікатів виконують на спеціально обладнаних замовником заправних пунктах.

Під час проведення авіаційно-хімічних робіт з рідкими отрутохімікатами обприскувачі ПС обладнують відсіченими пристроями. Працювати з несправними

відсіченими пристроями забороняється. Виконувати роботи із сильної дії і високої токсичності рідкими отрутами і катами на літаку, не обладнаному системою примусової вентиляції кабіни пілотів, дозволяється тільки при наявності виносного бачка для роздільного подавання отрутохімікатів і води.

На вході екіпажу до вантажної кабіни має лежати пористий килимок, просочений спеціальним розчином для очищення взуття. Завантажувати ПС хімікатами слід тільки справними пристроями, які виключають забруднення стоянки хімікатами. Усі випадково розсипані та розмиті отрутохімікати видаляють з поверхні ПС. Після закінчення робочого дня залишки отрутохімікатів прибирають і закривають на складі. Майданчик для змішування препаратів і тару закривають брезентом. Усі місця, на які випадково потрапили отрутохімікати і отруєні прилади, знешкоджують.

Сільськогосподарська авіаційна апаратура, яка використовується для роботи з отрутохімікатами, зберігається в спеціально відведених місцях. Після закінчення авіаційно-хімічних робіт проводяться очищення і дегазація ПС і сільськогосподарської апаратури. При цьому слід суворо дотримуватись вимог, які пред'являються до організації аеродрому (базового чи опорного, рис. 4.1).

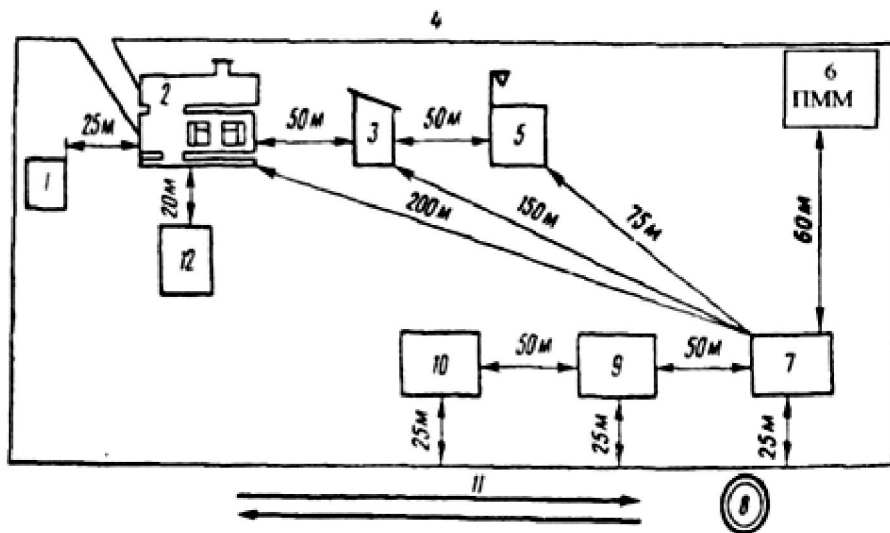


Рис. 4.1 – Схема тимчасового аеродрому (вітродрому) для виконання авіаційно-хімічних робіт: 1 - місце провітрювання спецодягу; 2 - будиночок (вагончик); 3 - туалет; 4 - під'їзди і шляхи; 5 - рукомийник, питна вода; 6 - ПММ; 7, 8, 9 - відповідно вертолітна, завантажувальна, дегазаційна площадки; 10 - стоянка БПЛА; 11 - ЗПС; 12 - душ

Керівники підприємств цивільної авіації і замовника зобов'язані забезпечити працюючих з отрутохімікатами і мінеральними добривами спецодягом і засобами індивідуального захисту устанавленого зразка.

Льотно-технічному складу рекомендується застосовувати такі засоби індивідуального захисту: пристрої для захисту органів дихання лід час роботи з рідкими леткими сполуками і високотоксичними миловидними отрутохімікатами; рукавиці гумові з полівінілхлориду, рукавиці з пилозахисної тканини, захисні окуляри. Під час роботи з отрутохімікатами екіпаж зобов'язаний використовувати заходи особистої гігієни і безпеки.

#### Санітарна обробка повітряних суден

Санітарну обробку ПС, які виконували авіаційно-хімічні роботи, виконують відповідно до Інструкції з технології очищення, миття і дегазації ПС і сільгосапаратури від пестицидів і мінеральних добрив у стаціонарних умовах на базовому аеродромі за допомогою засобів для миття та дегазації в таких випадках: після закінчення робіт; при переході від одного виду робіт до іншого, якщо треба видалити рештки отрутохімікатів; перед проведенням 100- і 300-годинних регламентних робіт; перед відправкою ПС в ремонт; у разі переобладнання ПС, які виконували авіахімроботи для транспортних та інших цілей.

Очищення, миття і дегазацію ПС виконують у такому порядку. Спочатку видаляють залишки пестицидів із внутрішніх поверхонь пилососом, старанно оброблюючи щілини, пази, вузли, приладову дошку і спецобладнання. Підлогу у вантажному в іде і ці знімають. Після цього гідропультотом або за допомогою мийної установки рівномірно наносять мийний розчин (наприклад, ДІАС або "Дегмос" та ін.) на внутрішню поверхню обшивки вантажного і хвостового відсіків, охороняючи від крапель розчину спецобладнання і системи керування.

Через 20-30 хв розчин змивають з обробленої поверхні гарячою (50-60°C), а потім холодною водою і протирають насухо ганчір'ям.

Обробку кабіни пілотів виконують у тій же послідовності. Потім виконують зовнішню обробку ПС Кватирки, люки, двері щільно закривають. На зовнішню поверхню, починаючи із силової установки, гідропультотом або за допомогою іншої установки наносять мийний розчин. Через 20-30 хв його змивають гарячою водою (50-60°C), а потім холодною.



Під час очищення, миття і дегазації ПС має бути заземлений. Після закінчення робіт працівники знімають одяг, приймають душ, змащують руки спеціальними захисними кремами. Після санітарної обробки ПС проводять дегазацію місця його стоянки. Льотний склад і технічні працівники також обов'язково виконують профілактичні дезинфекційні заходи. На місці роботи мають бути передбачені побутові приміщення для умивання, переодягання і зберігання спецодягу. Спецодяг підлягає щоденному очищенню і періодичному пранню в міру його забруднення, але не рідше двох разів на місяць.

#### 4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях

В сучасних технологіях підприємств народного господарства широко застосовуються хімічні сполуки, більшість з яких небезпечні для людини. Серед 10 млн. хімічних речовин, що використовуються у промисловості, сільському господарстві й побуті, більше 500 – високотоксичні [42].

У навколишнє середовище небезпечні хімічні речовини потрапляють в процесі виробничих і транспортних аварій, при стихійному лисі.

Крім того, всі небезпечні хімічні речовини поділяються на швидкодіючі і повільно діючі. При ураженні першими картина отруєння розвивається швидко, а при отруєнні повільно діючими до прояви симптомів ураження проходить кілька годин, має місце так званий латентний період.

Тривалість зараження місцевості небезпечними хімічними речовинами залежить від їх стійкості – часу, продовж якого вони спроможні нанести ураження незахищеній людині.

Стійкість і здатність заражати поверхні землі та різних об'єктів залежить від температури кипіння отруйної речовини. До нестійких відносяться небезпечні хімічні речовини із температурою кипіння нижче  $130^{\circ}\text{C}$ , а до стійких – отруйні речовини з температурою кипіння вище  $130^{\circ}\text{C}$ . Нестійкі небезпечні хімічні речовини заражають місцевість на одиниці чи десятки хвилин. Стійкі – зберігають уражаючі властивості, на термін від декількох годин до декількох місяців.

На зараженій території небезпечні хімічні речовини можуть знаходитися у рідкому, твердому, краплиннорідкому, пароподібному, аерозольному і газоподібному стані.

При викиді в атмосферу паро і газоподібних хімічних сполук формується первинна заражена хмара, що поширюватиметься в атмосфері. Гази з високим показником щільності будуть стелитися вздовж землі, «затікати» у низини, а гази із щільністю менше  $0,001 \text{ г/см}^3$  – швидко розсіюватися у верхніх шарах атмосфери.

Характер зараження місцевості залежить від багатьох факторів: способу викиду хімічних речовин в атмосферу (розливі, вибуху, пожежі); від агрегатного стану агентів, що заражають, (твердому, рідкому, газоподібному); від швидкості випаровування хімічних речовин з поверхні землі і інших.

У кінцевому результаті, зона хімічного зараження включає дві території. До першої відноситься район, що опинився у безпосередньому впливі хімічної речовини, до другої належить місцевість, над якою поширюється заражена хмара.

Зазначені і багато інших факторів, що характеризують зону хімічного зараження, необхідно враховувати при плануванні аварійно-рятувальних робіт з ліквідації наслідків аварій на хімічно небезпечних об'єктах.

Загальні вимоги до організації і проведення аварійно-рятувальних робіт при аваріях на хімічно небезпечних об'єктах установлює Державний стандарт. За яким:

- аварійно-рятувальні роботи повинні починатися негайно після ухвалення рішення на проведення невідкладних робіт і проводитися з використанням засобів індивідуального захисту органів дихання і шкіри, що відповідають характеру хімічної обстановки;

- попередньо проводиться розвідка аварійного об'єкту і зони зараження, масштабів і границь зони зараження, уточнення стану аварійного об'єкта, визначення типу небезпечної ситуації.

Головними задачами хімічної розвідки є:

- уточнення наявності і концентрації отруйних речовин на об'єкті робіт, границь і динаміки зміни хімічного зараження;

- одержання необхідних даних для організації аварійно-рятувальних робіт і заходів безпеки населення і сил, що здійснюють ліквідацію аварії;

- постійне спостереження за зміною хімічної обстановки в зоні НС, своєчасне попередження про різку зміну обстановки.

Одночасно в зоні зараження ведуться пошуково-рятувальні роботи. Пошук потерпілих проводиться шляхом суцільного візуального обстеження території,

будинків, споруджень, цехів, транспортних засобів і інших місць, де могли знаходитися люди в момент аварії, а також шляхом опитування очевидців і за допомогою спеціальних приладів у випадку руйнувань і завалів.

Рятувальні роботи в зоні зараження проводяться з обов'язковим використанням засобів індивідуального захисту шкіри й органів дихання. При цьому здійснюються наступні заходи:

- деблокування потерпілих, що знаходяться під завалами зруйнованих будинків і технологічних систем, а також в ушкоджених блокованих приміщеннях;
- екстрене припинення впливу небезпечних хімічних речовин на організм уражених шляхом застосування засобів індивідуального захисту й евакуації із зони зараження;
- надання першої медичної допомоги потерпілим;
- евакуація уражених у медичні пункти та в установи для надання лікарської допомоги і подальшого лікування.

Перша медична допомога повинна надаватися на місці ураження, при цьому необхідно:

- забезпечити швидке припинення впливу небезпечних хімічних речовин на організм через видалення крапель речовини з відкритих поверхонь тіла, промивання очей і слизуватих;
- відновити функціонування важливих систем організму шляхом найпростіших заходів (відновлення прохідності дихальних шляхів, штучна вентиляція легенів, непрямий масаж серця);
- накладити пов'язки на рани і іммобілізувати ушкоджені кінцівки;
- евакуювати уражених до місця надання лікарської допомоги і наступного лікування.

Одним з найважливіших заходів є локалізація надзвичайної ситуації і осередку ураження. Локалізацію, чи зниження до мінімального рівня впливу виниклих при аварії на ХНО уражаючих факторів в залежності від типу НС, наявності необхідних технічних засобів і нейтралізуючих речовин здійснюють такими способами:

- припиненням викидів небезпечних хімічних речовин способами, що відповідають характеру аварії;

- постановкою рідинних завіс (водяних чи нейтралізуючих розчинів) у напрямку руху хмари зараженого повітря;
- створенням висхідних теплових потоків у напрямку руху хмари небезпечних хімічних речовин;
- розсіюванням і зсувом хмари зараженого повітря газоповітряним потоком;
- обмеженням площі виливу та інтенсивності випару токсичної речовини;
- збором (відкачкою) небезпечних хімічних речовин у резервні ємності;
- охолодження проливу рідини твердою вуглекислотою чи нейтралізуючими речовинами;
- засипанням проливу сипучими речовинами;
- загущенням проливу спеціальними рецептурами з наступними нейтралізацією і вивозом;
- випалюванням токсичної рідини.

В залежності від типу надзвичайної ситуації локалізація і знешкодження хмар і проливів небезпечних хімічних речовин може здійснюватися комбінуванням наведених способів.

## 5 ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БПЛА НА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЯХ ВНЕСЕННЯ АГРОХІМІКАТІВ І БІОПРЕПАРАТІВ

В основу методики визначення показників економічного оцінювання ефективності використання БПЛА на технологічних операціях внесення агрохімікатів і біопрепаратів покладемо ДСТУ 4397:2005 «Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробовування» [43]. Цей стандарт поширюється на спеціалізовану техніку, призначену для виконання окремих операцій. Стандарт встановлює загальні положення, показники економічного оцінювання та методи їх визначення на етапі випробування нової техніки.

За базовий варіант покладемо традиційний спосіб внесення агрохімікатів самохідними оприскувачами. Яким може бути, наприклад мобільні оприскувачі John Deere, BERTHOUD BOXER, IBIS та інші. Враховуючи великий ціновий діапазон вартості таких оприскувачів приймемо для розрахунків одного із мало коштовних. Нехай ним буде оприскувач IBIS 3000-24 (рис. 5.1), вартістю 5 000 000 грн.



Рис. 5.1 – Обприскувач IBIS 3000-24

Ширина штанги, м: 24                      Ємність бака, л: 3150  
Двигун Perkins, к.с.: 145                  Максимальна швидкість, км/год: 36  
Питома витрата палива двигуном, г/кВт·год: 244  
Продуктивність змінна, га/год: 378 га/зм.

За новий варіант способу внесення агрохімікатів і біопрепаратів покладемо БПЛА марки DGI Agras MG-1, який обладнаний запропонованим нами пристроєм, час польоту якого на однієї підзарядки становить 0,17 год, а змінна продуктивність –

230,07 га/зм. Вартість БПЛА марки DGI Agras MG-1 враховуючи запропоноване нами його вдосконалення становить 300000 грн.

Новий варіант в розрахунках економічних показників будемо виражати індексом «н», а базовий – відповідно «б». Далі по тексту ці варіанти будемо згадувати, як «нова машина» та «базова машина».

Річний економічний ефект від експлуатації нового БПЛА з урахуванням кількості та якості продукції ( $E_p$ ) у гривнях визначаються за формулою:

$$E_p = (P_b - P_n) \cdot B_z + E_y, \quad (5.1)$$

де  $P_b, P_n$  – сукупні витрати на га відповідно по базовому і новому варіантах, грн/га;

$B_z$  – річний обсяг наробітку новим БПЛА в умовах певної природно-кліматичної зони, га;

$E_y$  – річний економічний ефект, отриманий за рахунок зміни кількості та якості продукції, грн.

Зональний річний обсяг наробітку розглядуваних варіантів машин ( $B_z$ ) в одиницях наробітку визначимо за виразом:

$$B_z = W_{ек} \cdot T_z, \quad (5.2)$$

де  $W_{ек}$  – продуктивність нової машини за 1 год експлуатаційного часу, га/год.

$T_z$  – зональне річне навантаження машин для обприскування, год.

Прийmemo для умов півдня України  $T_z = 120 год$ .

Продуктивність роботи машини за 1 год експлуатаційного часу можна знайти за відомим значенням змінної продуктивності:

$$W_{ек} = W_{зм}/7.$$

$$W_{екб} = 378/7 = 54 га/год.$$

$$W_{екн} = 230,07/7 = 32,8 га/год.$$

Тоді зональний річний обсяг наробітку розглядуваних варіантів машин дорівнюватиме:

$$B_{zn} = 120 \cdot 32,8 = 3936 га.$$

$$B_{zб} = 120 \cdot 54 = 6480 га$$

Річний економічний ефект, отриманий за рахунок зміни кількості та якості продукції ( $E_y$ ) у гривнях, визначається за формулою:

$$E_{я} = C_{ян} - C_{яб}, \quad (5.3)$$

де  $C_{ян}$ ,  $C_{яб}$  – вартість продукції, отриманої у разі застосування відповідно нової та базової машини протягом року, грн.

В дипломному проекті положимо, що, враховуючи високий рівень сучасних технологій та використання нових, а не вживаних машин, прийmemo, нульовий ефект від зміни кількості та якості продукції ( $E_{я}$ ).

Сукупні витрати ( $\Pi$ ) у гривнях на га визначають за формулою:

$$\Pi = I + K \cdot E_n, \quad (5.4)$$

де  $I$  – прямі експлуатаційні витрати, грн/га;

$K$  – питомі інвестиційні вкладення, грн/га.

Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень ( $E_n$ ) визначають за формулою:

$$E_n = C_б / 100, \quad (5.5)$$

де  $C_б$  – ставка пільгового кредиту Національного банку України у відсотках,  $C_б = 17,5\%$ .

Прямі експлуатаційні витрати ( $I$ ) у гривнях на га визначають за формулою:

$$I = Z + \Gamma + A + \Phi + M, \quad (5.6)$$

де  $Z$  – затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу, грн/га;

$\Gamma$  – затрати на паливно-мастильні матеріали та електроенергію, грн/га;

$P$  – затрати на технічне обслуговування, поточне та капітальне ремонтування, грн./га;

$A$  – затрати на амортизацію, грн./га;

$\Phi$  – затрати на допоміжні матеріали, грн./га;

$M$  – затрати на зберігання, страхування та монтування, грн./га.

Затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу ( $Z$ ) у гривнях на га визначають за формулою:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n L_i \cdot t_i \cdot r_i \cdot k_d \cdot n_i}{W_{зм}}, \quad (5.7)$$

де  $L_i$  – кількість  $i$ -ої категорії виробничого персоналу, зайнятого для виконання основного технологічного процесу, технічного обслуговування та ремонтування машини (визначаються за даними випробувань), люд;

$t_i$  – тривалість зайнятості  $i$ -го виробничого персоналу, год;

$r_i$  – погодинна тарифна ставка оплати праці на  $i$ -му виді робіт, грн./люд.год.;

$k_D$  – коефіцієнт, що враховує доплати до годинної ставки за продукцію, класність, стаж роботи тощо;

$n_i$  – коефіцієнт нарахувань на заробітну плату (пенсійний фонд, соціальне страхування, фонд сприяння зайнятості);

$W_{cm}$  – продуктивність машини за годину змінного часу, га/год.

Для проведення розрахунків двох варіантів використовуємої техніки приймемо такі вхідні дані:

Найменування показника	Традиційний варіант використання мобільного обприскувача	Новий варіант використання БПЛА
Погодинна тарифна ставка оплати праці на $i$ -му виді робіт, грн./ люд.год	100	150
Коефіцієнт, що враховує доплати до годинної ставки за продукцію, класність, стаж роботи тощо	1,2	1,2
Коефіцієнт нарахувань на заробітну плату	1,2	1,2

$$C_a = \frac{1 \cdot 100 \cdot 1,2 \cdot 1,2}{54} = 2,67 \text{ грн./га.}$$

$$C_i = \frac{1 \cdot 150 \cdot 1,2 \cdot 1,2}{32,8} = 6,58 \text{ грн./га.}$$

Затрати коштів на енергоносії (паливно-мастильні матеріали) ( $\Gamma$ ) для експлуатації обприскувача у гривнях на га визначають за формулою:

$$\Gamma_{\bar{o}} = (q \cdot N_e / W_{\text{екб}}) \cdot k_n \cdot C_n, \quad (5.8)$$

де  $q$  – питомі витрати палива, г/кВт·год;

$N_e$  – номінальна ефективність потужність двигуна самохідного оприскувача, кВт;

$k_n$  – коефіцієнт, що враховує завантаження дизельного двигуна оприскувача за регуляторною характеристикою. Приймемо  $k_n=0,8$ ;

$C_n$  – ціна одного кілограма палива грн/кг;

$$\Gamma_{\bar{o}} = 0,24 \cdot 106 / 54 \cdot 0,8 \cdot 30,2 = 11,38 \text{ грн/га.}$$



Витрати на електроенергію для польоту БПЛА обчислимо, враховуючи ємність батареї дрона. Для цього величину ємності ( $E$ ) помноженої на напругу ( $V$ ) акумуляторної батареї отримуємо чисту потужність, необхідну для зарядки батареї. Але враховуючи ККД батареї ( $\eta_m$ ) та ККД процесу перетворення хімічної енергії акумуляторних батарей в електричну ( $\eta_x$ ) отримуємо загальну споживану потужність для зарядки батареї. При цьому результат помножимо на вартість 1кВт·год електроенергії:

$$\Gamma_n = 10^{-3} \cdot E \cdot V / \eta_m / \eta_x \cdot C_e / W_{екв}. \quad (5.9)$$

$$\Gamma_n = 10^{-6} \cdot 12000 \cdot 3,6 / \eta_m / \eta_x \cdot 1,68 / 32,8 = 0,003 \text{ грн/га}.$$

Отриманий результат свідчить про те, що з енергетичної безпеки перехід на використання БПЛА зменшує в 1000 разів витрати енергії на виконання технологічного процесу внесення біологічних та хімічних препаратів при догляді за культурними рослинами.

Затрати на капітальне, поточне ремонтування та технічне обслуговування ( $P$ ) у гривнях на га визначають за формулою:

$$D = \frac{A \cdot (r_D + r_E)}{W_{ae} \cdot T_i}, \quad (5.10)$$

де  $r_T$  – коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт та технічне обслуговування;

$r_K$  – коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт;

$T_n$  – нормативне річне завантаження, год.

Для мобільного навантажувача прийmemo ( $r_T + r_K$ ) = 6,38%.

Для БПЛА прийmemo ( $r_T + r_K$ ) = 1,46%.

Тоді отримаємо:

$$D_a = \frac{5000000 \cdot (0,0638)}{6480} = 49,22 \text{ грн / га}.$$

$$D_i = \frac{300000 \cdot (0,0146)}{3936} = 1,11 \text{ грн / га}.$$

Затрати на амортизацію машини ( $A$ ) у гривнях на га визначають за формулою:

$$A = \frac{B \cdot a}{W_{зм} \cdot T_3}, \quad (5.11)$$

де  $a$  – коефіцієнт відрахувань на амортизацію машини. Визначають за допомогою прямолінійного методу нарахування амортизації, тобто

$$a = 1 / n, \quad (5.12)$$

де  $n$  – термін служби в роках.

$$\dot{A}_a = \frac{5000000 \cdot (0,105)}{6480} = 81,01 \text{ \$/га}.$$

$$\dot{A}_i = \frac{300000 \cdot (0,5)}{3936} = 38,1 \text{ \$/га}.$$

Затрати на допоміжні технологічні матеріали ( $\Phi$ ) приймемо рівними нулю.

Затрати на зберігання, страхування та монтування машин ( $M$ ) у гривнях на га визначають за формулою:

$$\dot{i} = \frac{A \cdot b}{W_{ci} \cdot \dot{O}_c}, \quad (5.13)$$

де  $b$  – коефіцієнт річних відрахувань на зберігання та страхування машини. Для розрахунків приймемо для обох варіантів машин  $b=3\%$ .

В результаті отримаємо

$$\dot{i}_a = \frac{5000000 \cdot (0,03)}{6480} = 23,14 \text{ \$/га}.$$

$$\dot{i}_i = \frac{300000 \cdot (0,03)}{3936} = 2,28 \text{ \$/га}.$$

Питомі інвестиційні вкладення ( $K$ ) у гривнях на га визначають за формулою:

$$K = \frac{B + K_{БВД}}{B_3}, \quad (5.14)$$

де  $K_{БВД}$  – балансова вартість будівельної частини, необхідної для експлуатації машини, (вводиться в формулу за наявності різниці в обсягах будівельної частини нової та базової машини), грн.

$$\hat{E}_a = \frac{5000000}{6480} = 771,6 \text{ \$/га}.$$

$$\hat{E}_i = \frac{300000}{3936} = 76,2 \text{ \$/га}.$$

Прямі експлуатаційні витрати ( $I$ ) у гривнях на га складатимуть:

$$I_a = 2,67 + 11,38 + 49,22 + 81,01 + 23,14 = 167,42 \text{ грн/га}.$$

$$I_n = 6,58 + 0,003 + 1,11 + 38,01 + 2,28 = 47,98 \text{ грн/га}.$$

Сукупні витрати ( $\Pi$ ) у гривнях на га складатимуть:

$$\Pi_a = 167,42 + 771,6 \cdot 0,175 = 302,45 \text{ грн/га}.$$

$$\Pi_n = 47,98 + 76,2 \cdot 0,175 = 61,32 \text{ грн/га}.$$

Річний економічний ефект від експлуатації БПЛА у гривнях дорівнюватиме:

$$E_p = (302,45 - 61,32) \cdot 3936 = 949097,0 \text{ грн.}$$

Річний прибуток ( $O$ ) від експлуатації нової машини у гривнях визначають за формулою:

$$O = (I_{\text{б}} - I_{\text{н}}) \cdot B_3 + E_{\text{я}}, \quad (5.15)$$

де  $I_{\text{б}}$ ,  $I_{\text{н}}$  – прямі експлуатаційні витрати відповідно по базовій та новій машинах на одиницю наробітку, грн/га.

$$O = (167,42 - 47,98) \cdot 3936 = 2737037,0 \text{ грн.}$$

Термін окупності додаткових інвестиційних вкладень на нову машину ( $T_{\text{окд}}$ ) у роках визначають за формулою:

$$T_{\text{окд}} = \frac{\hat{E}_i}{\hat{I}}, \quad (5.16)$$

де  $K_{\text{н}}$  – сумарні інвестиційні вкладення відповідно у нову машину, грн.

$$T_{\text{окд}} = \frac{300000}{2737037} = 0,11 \text{ рік.}$$

Результати розрахунку прямих експлуатаційних витрат по елементах представлено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати розрахунку прямих експлуатаційних витрат

Склад техніки за варіантом	Заробітна плата		Амортизація		Капітал., поточне ремонтування, ТО		Паливо, електроенергія	Затрати на зберігання, страхування та монтування		Всього
	грн/год	грн/га	%	грн/га	%	грн/га	грн/га	%	грн/га	грн/га
Базовий варіант										
Оприскувач IBIS 3000-24	100	2,67	0,105	81,01	6,38	49,22	11,38	0,03	23,14	167,42
Новий варіант										
БПЛА марки DGI Agras MG-1	150	6,58	0,5	38,01	1,46	1,11	0,003	0,03	2,38	47,98

Результати обчислювання показників порівняльної економічної ефективності представлено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 - Показники порівняльної економічної ефективності нового способу внесення агрохімікатів і біопрепаратів за допомогою БПЛА

Найменування показника	Варіант використання техніки		Відхилення (+,-)
	Базовий	Новий	
	Оприскувач IBIS 3000-24	БПЛА марки DGI Agras MG-1	
Балансова вартість техніки, грн	5 000 000	300 000	-4 700 000
Продуктивність змінна, га/год	378,0	230,0	-148
Зональний наробіток, год	120	120	0
га	6480	3936	-2544
Затрати праці, люд.-год/га	0,018	0,030	+0,012
Прямі експлуатаційні витрати, грн/га	167,42	47,98	-119,4
Сукупні витрати, грн/га	302,45	61,32	-241,13
Річний економічний ефект, грн	-	949097	-
Річний прибуток, грн.	-	2737037	-
Термін окупності додаткових інвестиційних вкладень, років	-	0,11	-

Результати розрахунків економічної ефективності свідчать, що використання БПЛА марки DGI Agras MG-1 на внесенні агрохімікатів і біопрепаратів дозволяє одержати економію прямих експлуатаційних витрат 119,4 грн на кожному 1 га. В підсумку це дозволяє отримати річний економічний ефект 949097 грн при його зональному завантаженні. Затрати на придбання нового БПЛА марки DGI Agras MG-1 при його річному зональному завантаженні окупляться за 0,11 років.

## ВИСНОВКИ

1. Перспективою використання авіаційної обробітки посівів с.-г. культур є велика швидкість та продуктивність роботи при виконанні польових робіт. Насадження не пошкоджується ходовою частиною, а також немає залежності від стану поверхні поля, зокрема вологості ґрунту. Використання малогабаритних БПЛА типу «дрон» в сільському господарстві, обладнаних засобами моніторингу та малогабаритними висівними системами підвищує якість та точність виконання технологічних операцій.

2. Водночас до недоліків, які притаманні сільськогосподарським дронам, можна віднести малу продуктивність, що є наслідком невеликої робочої ширини захвату при обмеженій швидкості руху, неможливість точного дозування та контролю внесення агрохімікатів і біопрепаратів на площі польової плантації, розміщення струменя речовини в зоні турбулентності повітряного потоку від пропелерів дрона, що погіршує рівномірність внесеного технологічного матеріалу тощо. Тому **в дипломній роботі поставлена задача планування наукових та прикладних досліджень** механічного способу розкидання технологічного матеріалу за допомогою дрона з метою обґрунтування способу, схеми та параметрів пристрою для розселення біо- та хімматеріалів з БПЛА (дрона), а також **розробки нової енергоощадної, екологічно безпечної технології** внесення агрохімікатів та біопрепаратів за допомогою БПЛА.

3. **Розроблена технологія** диференційованого внесення агрохімікатів і біопрепаратів із застосуванням безплотних літальних апаратів (дронів) **в системі точного землеробства** включає послідовне виконання в режимах «off-line» і «on-line» інформаційних і технологічних операцій формування банку даних внутріпільної неоднорідності родючості кожної елементарної ділянки, фіто санітарного стану посівів, що складається на основі дистанційного моніторингу ґрунту і агроценозів за допомогою БПЛА, для отримання програмованої врожайності з урахуванням обмежень і допустимих ризиків, створення електронної карти-завдання на застосування добрив і пестицидів і їх диференційованого внесення з використанням безпілотної авіаційної системи, що складається з певного числа БПЛА з необхідним і достатнім корисним навантаженням для моніторингу с.-

г. угідь, внесення пестицидів, добрив та інших агрохімікатів, мобільних технічних засобів транспортування БПЛА до поля, заправки їх робочими рідинами пестицидів і добрив, злітно-посадкових технічних засобів, пристроїв управління і зв'язку.

4. **В результаті проведених теоретичних досліджень** процесу розкидання трихограми за допомогою дрона **прийняте рішення** про те, що при заданих агротехнічних параметрах (швидкість польоту, норма внесення і т. і.) найбільш ефективною для аналізованих моделей БПЛА є величина корисного завантаження у кількості 200 капсул трихограми в бункер. При цьому досягається максимальний коефіцієнт використання БПЛА при разовому вильоті, який варіюється в межах 0,811-0,974.

5. Для виконання робіт по внесенню ентомофагів за допомогою безпілотних літальних апаратів необхідна розробка спеціалізованої механічної системи дрона, оскільки відомі механізми мають надлишкову для даної операції масу корисного навантаження.

6. **Моделювання процесу** розкидання трихограми за допомогою безпілотних літальних апаратів типу «дрон» визначені його основні параметри технічної характеристики: максимальна дальність польоту - не менше 0,17 год, маса корисного навантаження - 4500-5500 г, швидкість польоту - 8 м / с (28,8 км / год), ємність бункера - 10000 см<sup>3</sup>, разове завантаження капсул - 200 шт. При збільшенні тривалості разового вильоту ефективність дрона і величина його доцільного завантаження будуть підвищуватися.

7. **Прийняте ефективне рішення** щодо способу та схеми пристрою для розселення біоматеріалів з БПЛА типу «дрон», згідно якого з метою підвищення продуктивності технологічного процесу і точності дозування технологічних матеріалів, воно забезпечене горизонтально розташованими трубопроводами з вертикально встановленими повітрязабірниками, канали якого з'єднаний зі входом в транспортний канал і в порожнину пневмоциліндра дозуючого пристосування через кран-регулятор, а його дифузори мають отвори, що перекриваються рухомою пластиною, положення якої, як і ступінь перекриття вхідного повітряного каналу – краном-регулятором, залежить від дози внесення технологічного матеріалу, а кінець транспортного каналу з'єднаний з розпилювачем, рухоме кріплення якого може мати як позитивний, так і негативний кут свого нахилу до горизонту.

8. **Оптимізовано інноваційну техніко-технологічну систему** внесення технологічного матеріалу за допомогою дрона шляхом побудови математичної моделі руху частинки речовини, яка кинута з певної висоти під кутом до горизонту. **Результатами моделювання цього процесу** встановлено, що найбільша дальність польоту частинки технологічного матеріалу спостерігається при позитивному нахилі сопла розпилювача до лінії горизонту. Оптимальний кут нахилу  $\alpha$  дорівнює 15 градус, за яким дальність польоту частинки матеріалу сягає 13,2 м. водночас, при  $\alpha=0$  градус, тобто коли сопло розпилювача розташовано строго горизонтально дальність польоту не суттєво менша, і становить 12,6 м. Через це, на наш погляд, достатньо сопло розпилювача розміщувати строго горизонтально, що певною мірою облегшує її конструкцію.

При розміщенні сопел розпилювачів на дроні з ліва і права та його польоту на висоті 20 м і початкової швидкості кидання частинок технологічного матеріалу 2 м/с гіпотетично можна отримати ширину захвата внесення технологічного матеріалу за оди робочий політ дрона 26,4 м.

Збільшення висоти польоту дрона з 20 до 50 м дальність польоту частинки технологічного матеріалу, кинутого з нього під нульовим кутом до лінії горизонту і початковою швидкістю руху 2 м/с збільшиться з 13, 2 до 20 м. І навпаки, якщо зменшити висоту польоту дрона до 5 м, дальність польоту зменшиться майже вдвічі.

**В результаті моделювання процесу та проведення теоретичних досліджень з прийняттям ефективних рішень** доведено, що дальність польоту частинки технологічного матеріалу прямо пропорційно залежить від початкової швидкості її руху. Зокрема при збільшенні початкової швидкості її руху з 2 до 5 м/с величина дальності польоту частинки технологічного матеріалу збільшується з 13,2 до 32,0 м.

За принципом внесення технологічних матеріалів за допомогою дрона виліт частинок агрохімікатів або біоматеріалів доцільно здійснювати одразу на дві сторони від осі руху дрона та в проміжок між крайніми розпилювачами. Якщо ширина смуги ділянки, що обробляється, при цьому становить 26,4 м, це дозволяє за чотири проходи внести технологічний матеріал на одному гектарі.

9. **Розроблені рекомендації з впровадження системи точного землеробства**, зокрема, для диференційованого внесення біопрепаратів і агрохімікатів. **За якими**

**прийняті рішення про ефективний** тип БПЛА, яким є дрон безаеродромного базування, з вертикальним зльотом і вертикальною посадкою, який оснащений автопілотом і системою диференційованого внесення робочих рідин за заданою програмою, розробленою відповідно до агрохімічної картограми і карти фітосанітарного стану поля.

10. Розроблений **ресурсоощадний та природоохоронний** технологічний процес застосування БПЛА в системі точного землеробства включає послідовно виконувани взаємопов'язані операції: моніторинг і зондування посівів (за допомогою легких БПЛА, оснащених мультиспектральними камерами), отримання, оброблення та передачу інформації для управління посівами, диференційованого внесення біопрепаратів і агрохімікатів за заданою програмою обробки поля (за допомогою БПЛА з великим корисним навантаженням).

11. **В результаті проведених теоретичних досліджень із застосуванням спеціалізованого програмного забезпечення та сучасних інформаційних технологій створено математичні моделі** для обґрунтування параметрів БПЛА. **Математичний аналіз** яких показав, що корисне навантаження БПЛА становить 10-400 кг в залежності від злітної маси апарату. А дальність польоту БПЛА знаходиться у прямо пропорційній залежності від його корисного навантаження, що приблизно відповідає: 1 кг навантаження – 1 км польоту.

Доведено, що найбільш раціональна норма внесення біопрепаратів і агрохімікатів БПЛА типу дрон в межах 10-60 л/га відповідає максимальній його продуктивності. При збільшенні норми внесення біопрепаратів і агрохімікатів до 100 л/га продуктивність БПЛА зменшується більш ніж у два рази.

12. **У відповідності до вимог чинного законодавства України розроблені заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях** при використанні БПЛА на внесенні агрохімікатів і біопрепаратів у сільськогосподарському виробництві.

13. Результати розрахунків економічної ефективності свідчать, що використання БПЛА (дрона) марки DGI Agras MG-1 на внесенні агрохімікатів і біопрепаратів у порівнянні з роботою самохідного оприскувача IBIS 3000-24 дозволяє одержати економію прямих експлуатаційних витрат 119,4 грн на кожному 1 га. В підсумку це дозволяє отримати річний економічний ефект 949097 грн при



його зональному завантаженні. Затрати на придбання нового БПЛА марки DGI Agras MG-1 при його річному зональному завантаженні окупляться за 0,11 років.



