

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра механіки та інженерії агроєкосистем

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**ЗІБАРЄВ Олег Костянтинович**

УДК 631.313.6

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**Обґрунтування технологічного процесу використання  
дронів в агровиробництві**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ О .К. Зібарев

**Керівник роботи**

Кухарець С. М.

Доктор технічних наук, професор

**Житомир – 2021**

## АНОТАЦІЯ

**Зібарєв Олег Костянтинович. Обґрунтування технологічного процесу використання дронів в агровиробництві. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.**

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

Дрони в аграрному виробництві можна використовувати для обприскування посівів, картографування, моніторингу стану посівів та польових робіт.

Якщо провести короткий аналіз використання дронів у сільському господарстві то можна відмітити як переваги так і недоліки.

Переваги: ефективність, економія часу, економія коштів, точність обробки с/г угідь, за рахунок невеликої висоти немає ризику обприскування чужої території, можна використовувати вночі, багаторазове використання, дистанційне картографування та використання у сільськогосподарських роботах. Недоліки: складнощі в експлуатації для деяких фермерів, часте оновлення ПЗ, порівняно малий захват оброблюваної території, не скрізь можна літати. Якщо взяти звичайний спосіб доставки до рослин пестицидів – обприскування причіпною та самохідною технікою та авіацією, то всі вони прямо залежать від погоди та часу доби. це питання вже вирішено. з розвитком технологій у світі на ринку з'явилися нові гравці – безпілотні літальні апарати, дрони, мультикоптери.

Агродрон працює в нічний час не втрачаючи при цьому у продуктивності і має ряд переваг: більше «вікно» часу на обробіток, не створює технологічних шляхів в посівах, нульове перекриття, не пошкоджує рослини механічно, турбулентним потоком від лопатей обробляється обидві сторони листа культури.

*Ключові слова: лопать, обертання, пестициди, внесення, місія*

## ANNOTATION

**Zibarev Oleg. Substantiation of the technological process of using drones in agricultural production.** – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2021.

Drones in agar production can be used for crop spraying, mapping, monitoring of crops and field work.

If we conduct a brief analysis of the use of drones in agriculture, we can note both advantages and disadvantages.

Advantages: efficiency, time savings, cost savings, accuracy of agricultural land cultivation, due to low altitude there is no risk of spraying someone else's territory, can be used at night, reusable, remote mapping and use in agricultural work. Disadvantages: difficulties in operation for some farmers, frequent software updates, relatively small capture of the cultivated area, not everywhere you can fly. If we take the usual method of delivery of pesticides to plants - spraying trailed and self-propelled vehicles and aircraft, they all directly depend on the weather and time of day. this issue has already been resolved. With the development of technology in the world, new players appeared on the market - unmanned aerial vehicles, drones, multicopters.

Agrodron works at night without losing productivity and has a number of advantages: more "window" time for cultivation, does not create technological ways in crops, zero overlap, does not damage plants mechanically, turbulent flow from the blades is processed on both sides of the leaf.

*Key words: blade, rotation, pesticides, application, mission*

## Зміст

ВСТУП .....	5
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ВИКОРИСТАННЯ ДРОНІВ В АГАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ .....	6
Висновки до розділу .....	13
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВНЕСЕННЯ ПЕСТИЦИДІВ АГРОДРОНОМ .....	14
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТОКУ ПОВІТРЯ ВІД ЛОПАСТІ ДРОНА .....	18
Висновки до розділу .....	24
ВИСНОВКИ.....	25
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	27

## ВСТУП

Дрон розпилює хімічні речовини на листя рослин. Внесення добрив проводять відразу після посіву. Інсектициди запобігають нашестю тварин або комах на сільськогосподарські угіддя. І якщо люди наражаються на ризик різних захворювань в результаті контакту з інсектицидами, то дронам вони не страшні.

Такі роботи можуть проводитися, як повністю електричними дронами так і мультидронами, що оснащені двигуном внутрішнього згорання, який приводить в рух електрогенератор, який в свою чергу забезпечує електроенергією двигуни дрона.

**Мета роботи.** Підвищення якості обробітку посіві шляхом розроблення технології внесення пестицидів за допомогою агродронів.

### **Задачі досліджень.**

Виконати огляд технологій використання дронів в аграрному виробництві.

Здійснити аналіз технологічного процесу внесення пестицидів агродроном

Провести дослідження потоку повітря від лопасті дрона

**Об'єкт досліджень.** Технологічний процес роботи агродрона.

**Предмет досліджень.** Потік повітря від лопатей агродрона.

**Практичне значення одержаних результатів.** Основні результати дослідження спрямовані на вдосконалення агродронів.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 10-ми найменувань. Загальний обсяг роботи становить 27 сторінок комп'ютерного тексту.

# РОЗДІЛ 1

## ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ВИКОРИСТАННЯ ДРОНІВ В АГАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Дрони та смартфони перетворилися на інструменти повсякденного використання для фермерів. У наші дні прогресивно мислячі фермери використовують промислові дрони у різних цілях – від боротьби зі шкідниками до спостереження за станом рослин. Швидкий розвиток акумуляторних технологій, електроніки та програмного забезпечення робить дрони менш дорогими і автономнішими, усуваючи необхідність у професійних пілотах[1].

Історія використання дронів у сільському господарстві налічує близько 20 років, але лише небагато фермерів активно залучають безпілотники. Основною перешкодою для впровадження технології дронів є погана поінформованість у перевагах дронів та висока, на перший погляд, вартість обладнання [2].

Якщо провести короткий аналіз використання дронів у сільському господарстві то можна відмітити як переваги так і недоліки:

Переваги:

Ефективність

Економія часу

Економія грошей

Точність обробки с/г угідь

За рахунок невеликої висоти немає ризику обприскування чужої території

Можна використовувати вночі

Багаторазове використання

Дистанційне картографування/використання у сільськогосподарських роботах

Недоліки:

Складнощі в експлуатації для деяких фермерів

Часте оновлення ПЗ

Порівняно малий захват оброблюваної території

Не скрізь можна літати.

Розглянемо детально вищеназвані плюси та мінуси.

Легкість в експлуатації. Використання дронів у агровиробництві не потребує великих зусиль. Для розгортання та запуску дрона потрібно зовсім небагато часу. Їм легко керувати за допомогою кнопок чи іконок на смартфоні. Користувачеві пропонується керівництво, яке допомагає фермерам, розібратися у правилах роботи з дроном. Наприклад, можна запустити дрон у політ одним натисканням іконки "Розблокування".

Зниження виробничих витрат фермера. Регулярне використання дронів допомагає знизити вартість трудових витрат у агровиробництві. Дрони покращують якість урожаю до його надходження ринку. Безпілотники здатні виявити зараження посівів. Крім того, вони виступають як альтернативна робоча сила. Вони допомагають вести спостереження за сільгоспугіддями. За допомогою дронів, які регулярно повідомляють про якість урожаю, фермери знижують витрати на виробництво і запобігають попаданню відбракованого товару до споживача. Завдяки цьому фермери можуть досить швидко компенсувати витрати на купівлю дронів і уникнути втрат, спричинених зараженням чи хворобами рослин [3].

Розпилення добрив, пестицидів та інсектицидів. Дрон розпилює хімічні речовини на листя рослин. Внесення добрив проводять відразу після посіву. Інсектициди запобігають нашествю тварин або комах на сільськогосподарські угіддя. І якщо люди наражаються на ризик різних захворювань в результаті контакту з інсектицидами, то дронам вони не страшні.

Такі роботи можуть проводитися, як повністю електричними дронами (рис. 1.1), так і мультидронами, що оснащенні двигуном внутрішнього згоряння, який

приводить в рух електрогенератор, який в свою чергу забезпечує електроенергією двигуни дрона (рис. 1.2).



Рис. 1.1. Аграрний дрон DJI Agras T30 в польоті (фотографія автора)



Рис. 1.2. Аграрний мультидрон (гібридний) UAS-25G (належить ТОВ «Джіфлайт») виконує десикацію посівів соняшника (фотографія автора)





а



б

Рис. 1.3. Пульти керування DJI (а) та UAS (б) [4, 5]

Виконаю короткий огляд вищеназваних машин.

DJI Agras T30 оснащений новою системою обприскування, здатний піднімати повітря до 30 кг корисного навантаження. Ширина захвату обприскувачів дрону становить близько 7 м, а за одну годину він здатний обробляти до 10 га. DJI Agras T30 оснащено 30-кілограммовим баком, максимальна ширина обприскування збільшена до 9 метрів, ефективність досягає 97 гектарів/день. Дрон має рівень захисту IP67, а основний модуль має незалежну конструкцію порожнини, інкапсуляцію на рівні плати, повністю водонепроникні роз'єми та захищені роз'єми модулів. T30 має нову гратчасту структуру рами, яка після складання зменшує розмір фюзеляжу на 80%. Дрон також оснащений першою в галузі сферичною системою радіолокації з додатковим верхнім кутом огляду для вільного польоту в сліпій зоні [4].

Апарат UAS-25G оснащений удосконаленим бензиновим двигуном з технологією вбудованого генератора, що поєднує переваги палива та електрики. Силова гібридна установка дозволяє працювати електричній частині машини, повністю виключаючи заряджання акумуляторної батареї. Завдяки чому машина працює виключно на бензині. Двигун UAS-25G із системою водяного

охолодження/ У гібридному безпілотному літальному апараті UAS-25G використовується двотактний опозитний двигун з водяним охолодженням. Радіаторна система охолодження двотактного двигуна – це новий виток в інновації розвитку БПЛА, який додає надійності та ресурсу роботи машини [5].

Картографування. Сільське господарство – це трудомістка галузь. Дрони необхідні для виконання завдань картографії. За допомогою дронів фермерам легше обстежити великі ділянки землі та вимірювати їх площу. Дрони надають суттєву допомогу у картографуванні сільськогосподарських угідь. Вони забезпечують якісне зображення, завдяки якому можна зробити висновки про стан ферми. Наприклад, може йтися про топографічні зміни, будівництво нової споруди або пошкодження, спричинені поганими погодними умовами. Сучасні дрони, оснащені численними функціями, здійснюють польоти над територією ферми, роблячи знімки або розпорошуючи добрива. Такі дрони сприяють настанню аграрної революції, значно спрощуючи процес картографування.



Рис. 1.4. Дрон для аерофотозйомки DJI Mavic Air 2 (належить ТОВ «Джіфлайт», фото автора)

Фермери часто стикаються із посухою або рясними опадами. Деякі ділянки землі більше інших схильні до посухи або затоплення, і дрони допомагають у пошуку таких ділянок. Завдяки цій допомозі фермерам вдається зберегти більшу частину врожаю. Дрони переміщуються над родючою землею, виявляючи будь-які потенційні загрози для врожаю, та передають цю інформацію користувачам.

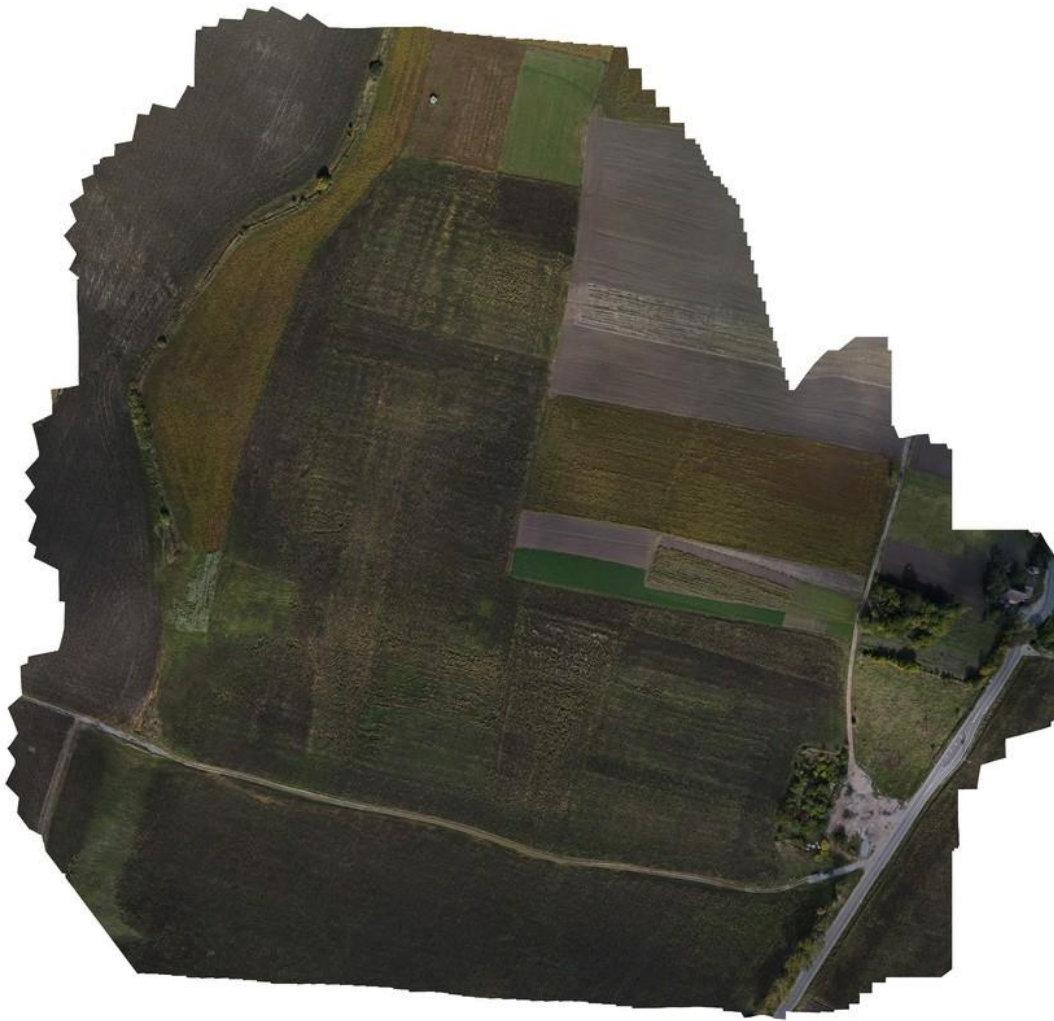


Рис. 1.5. Приклад картографування поля площею 5 Га (знімок надано ТОВ «Джіфлайт»)



Рис. 1.6. Приклад картографування території аграрного підприємства площею 4 Га (знімок надано ТОВ «Джіфлайт»)

Профілактика нашествия тварин та комах. Дрони переміщуються над полями у пошуках потенційної загрози нашествия тварин чи комах. Безпілотники вирушають у політ, щоб вести цілодобове спостереження за фермою. Сліди присутності шкідників попереджають фермерів про загрозу нашествия тварин чи комах. Хвороби вражають будь-які культури. Тваринам або комахам достатньо кількох днів, щоб занапастити врожай. У разі появи тварин або комах фермери страждають на відсутність об'єктивної інформації. Дрони лякають тварин завдяки використанню ультразвукових хвиль, які дратують дрібних тварин та проганяють їх із полів. Ультразвукові хвилі запобігають повторній появі комах.

Оцінка якості врожаю. Висока якість продуктів необхідна, щоб задовольнити зростаючий попит. Дрони допомагають фермерам підвищити якість майбутнього врожаю. Вони оснащені пристроями для обробки зображень,

що дозволяють візуалізувати посіви. Отримані зображення надають фермерам уявлення про стан урожаю. Дрони виявляють неякісне насіння, щоб запобігти виробленню продуктів, що не відповідають необхідним стандартам. Безпілотники аналізують якість урожаю після обприскування рослин інсектицидами чи лікарськими засобами. Це необхідно для відстеження впливу хімічних речовин на посіви, оскільки фермери повинні знищити врожай, ушкоджений інсектицидами.

Використання дронів у сільському господарстві має вкрай важливе значення для фермерів. Дрони допомагають фермерам отримувати візуальне уявлення про стан посівів, а також усунути будь-які фактори, які можуть призвести до загибелі врожаю. Як правило, фермери відзначають зростання своїх доходів після того, як задіяні дрони. Спостереження із повітря за сільськогосподарськими роботами приносить фермерам хороші результати. Дрони пропонують альтернативний спосіб спостереження за посівами. Без дронів фермерам доводиться працювати без вихідних, відстежуючи стан урожаю. Дрони допомагають завчасно виявити потенційні проблеми, заощадивши час та зберігши врожай.

### **Висновки до розділу**

Дрони в аграрному виробництві можна використовувати для обприскування посівів, картографування, моніторингу стану посівів та польових робіт.

Якщо провести короткий аналіз використання дронів у сільському господарстві то можна відмітити як переваги так і недоліки.

Переваги: ефективність, економія часу, економія коштів, точність обробки с/г угідь, за рахунок невеликої висоти немає ризику обприскування чужої території, можна використовувати вночі, багаторазове використання, дистанційне картографування та використання у сільськогосподарських роботах. Недоліки: складнощі в експлуатації для деяких фермерів, часте оновлення ПЗ, порівняно малий захват оброблюваної території, не скрізь можна літати.

## РОЗДІЛ 2

### АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВНЕСЕННЯ ПЕСТИЦИДІВ АГРОДРОНОМ

Засоби захисту рослин (ЗЗР) або пестициди – це природні або синтетичні хімічні речовини, які допомагають захищати посіви від великих втрат через пошкодження шкідниками та хворобами, при цьому підвищуючи врожайність з гектара. рослини як усі живі організми потребують поживних речовин. пестициди допомагають, коли необхідно досягти більшої кількості продуктів харчування на менших площах. тому засоби захисту настільки потрібні в сільському господарстві [6, 7].

За хімічним складом діляться на: неорганічні, органічні, біологічні.

Класифікуються у групи за призначенням: фунгіциди (захист рослин від хвороб), гербіциди (захист від бур'янів), інсектициди (захист від комах-шкідників), десиканти (прискорюють дозрівання посівів), акарициди (захист від кліщів), регулятори росту (змінюють процес життєдіяльності рослини), протруйники (знезаражують посівний матеріал), ад'юванти (засоби для покращення дії препарату) [6, 7].

Існує достатньо технологій внесення, але вони залежать від низки умов:

час доби та погодні умови, якість робочого розчину, техніка для внесення

Якщо взяти звичайний спосіб доставки до рослин пестицидів – обприскування причіпною та самохідною технікою та авіацією, то всі вони прямо залежать від погоди та часу доби. це питання вже вирішено. з розвитком технологій у світі на ринку з'явилися нові гравці – безпілотні літальні апарати, дрони, мультикоптери.

Агродрон працює в нічний час не втрачаючи при цьому у продуктивності і має ряд переваг: більше «вікно» часу на обробіток, не створює технологічних шляхів в посівах, нульове перекриття, не пошкоджує рослини механічно,



турбулентним потоком від лопатей обробляється обидві сторони листа культури

Агродрони для внесення пестицидів (ЗЗР) мають безліч технічних параметрів, що налаштовуються, зокрема це побудова місії, польотних завдань, де враховується:

- висота польоту (м),
- ширина захвату (м),
- швидкість польоту (м/с),
- норма виливу на гектар (л),
- щільність туману з якісно-кількісним дисперсійним розпилом (мкм),
- кут атаки факельного розпилу (градус),
- оптимізація маршруту (%).

І щоб точно та якісно виконувати даний вид робіт та правильно налаштувати обладнання, потрібно чітко розуміти, як впливає кожен параметр на технологічний процес.



Рис. 2.1. Приклад польотного завдання (місії) внесення пестицидів агродроном для поля зображеного на рис. 1.5 (фото автора)

Візьмемо, наприклад, обробку соняшнику. Щоб ефективно внести, потрібно врахувати: висоту даної культури, щільність перекриття в міжряддях, швидкість та напрям вітру, температуру та вологість повітря, УФ-індекс.



Рис. 2.2. Внесення засобів захисту рослин агродроном DJI Agras T16 (належить ТОВ «Джіфлайт») на полі зображеному на рис. 1.5 (фото автора)



Тип продуктів, що вносяться: контактні, трансламінарні, системні. Продукти діляться на групи – гербіциди, фунгіцид, інсектициди, десиканти, мікроелементи і що важливо – їх хіміко-фізичні властивості (діюча речовина, препаративні форми СП, Г, ВР, ВК, КЕ, ВРГ, ВДГ, КС, СК, їх рН (розчини препаративних форм). Потрібно чітко розуміти чи змішуватимуться препаратні форми в бакові суміші і додаватимуться поверхнево-активні речовини (ПАР), прилипачі, ад'юванти, стимулятори, регулятори, сурфактанти. Необхідний якісно-кількісний дисперсійний розпил (мкм) залежно від групи препаратів та гектарної норми виліву (л).

І тільки після цього формуються польотні завдання, де враховуються всі вищеперелічені чинники. Тоді можна з упевненістю назвати агродрони, за своїми функціональними можливостями, незамінним інструментом для вирішення сільськогосподарських завдань. Причому, важливо правильно розуміти повний технологічний процес у даному питанні, щоб не складалася помилкова думка про такий чудовий інструмент, а іноді незамінний помічник, як агродрон.

### РОЗДІЛ 3

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТОКУ ПОВІТРЯ ВІД ЛОПАСТІ ДРОНА

Одним із факторів, що впливає на розподілення потоку діючої речовини в процесі обробітки посівів із повітря є потік повітря, що виникає в процесі швидкісного обертання лопатей [8, 9, 10].

Для вимірювання потоку повітря, що спрямований вниз, на базі ТОВ «Джіфлайт» була створена експериментальна установка (рис. 3.1), яка складається з тестової лопаті (Xrotor Pro X8 DJI, рис. 3.2), системи подачі теплого повітря, теловізор Test 708, система проходження та система керування.

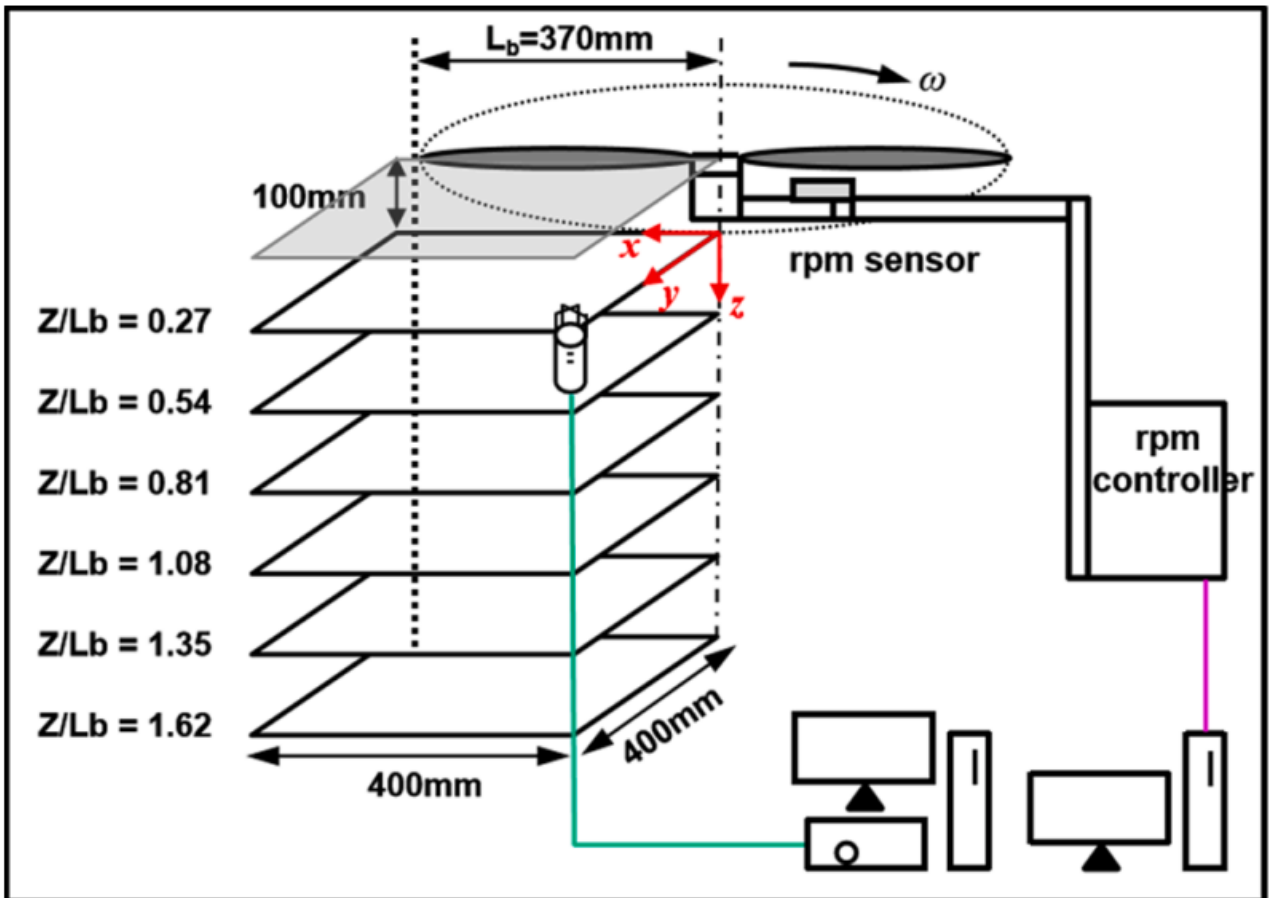


Рис. 3.1. Схема дослідної установки

Лопаті приводяться в рух двигуном постійного струму (8120, HOBBYWING, Китай), керованим сигналом ШІМ. ШІМ-сигнал генерувався Arduino Due (AT91Sam3X8E, Microchip Technology, США), а швидкість обертання контролювалася за допомогою попередньо встановленого коефіцієнта навантаження. Для вимірювання середніх і турбулентних характеристик потоку нижнього потоку використовувався анемометр типу СТА з гарячим дротом, і вимірювання проводилося безперервно під час переміщення заданих точок сітки (10 086 точок) за допомогою системи тривимірного переміщення.

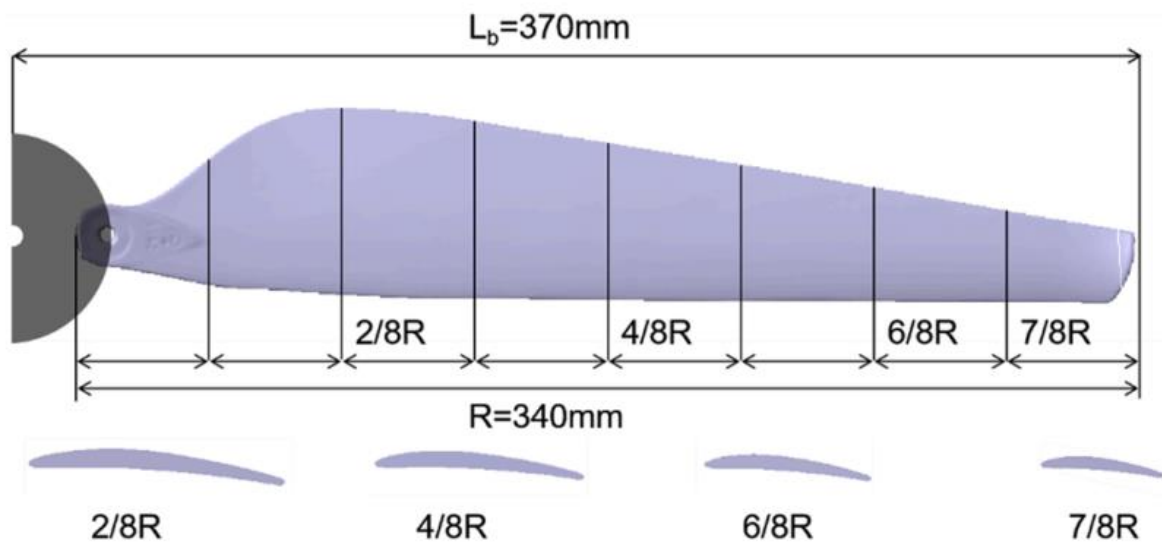


Рис. 3.2. Модель тестової лопаті

Лопать дрона є компонентом, який має найбільший вплив на генерацію потоку змиву та потенціал дрейфу крапель пестициду, що розпилюються всередині потоку змиву. Тому детальна інформація про форму лопаті є важливою для розуміння характеристик потоку нижнього потоку та для перевірки аналітичних результатів. На рис. 3.2 показана 3D модель випробуваного леза та форма поперечного перерізу лопаті на 4 з 8 поділок у поздовжньому напрямку. Довжина леза, включаючи адаптер ротора для підключення леза до приводного двигуна, становить 739 мм, а довжина однієї лопаті без урахування адаптера

ротора 340 мм. Радіус обертання лопаті ( $L_b$ ) становив 370 мм, що використовувалося для нормалізації відстані. Максимальна ширина і товщина леза становлять 102 мм і 66 мм відповідно, а лезо лопаті виготовлено зі спеціального високоміцного вуглецевого волокна, яке є твердим і легким, що забезпечує хорошу консистенцію і хороший баланс руху. Лопать розрахована на рекомендовану злітну масу 5-7 кг і створє тягу 15,3 кг при вертикальному русі. Розмір електродвигуна лопаті діаметром 81 мм і товщиною 20 мм, двигун розташований під відвалом. Отже, наявність приводного двигуна впливає на потік нижнього змиву.

Швидкість обертання лопаті, застосована в експерименті, була зафіксована на рівні 3000 об/хв, що враховує умови зависання сільськогосподарського контрольного дрона. Швидкість кінця лопаті ( $V_{stip}$ ) при 3000 об/хв становила 116,18 м/с, що було використано для нормалізації швидкості потоку вниз і характеристик турбулентності. Швидкість обертання леза контролювалася шляхом визначення ШІМ-сигналу (500 Гц, роздільна здатність 12 біт), що відповідає цільовому RPM, за допомогою Arduino Due, керованого власним кодом LabView. Вимірні значення швидкості обертання лопаті показали коливання в межах 2% від вхідного значення.

На рис. 3.3 показані контури компонентів швидкості, представлених у площині X-Z, що проходить через початок координат (центр обертання лопаті) у системі координат, показаній на рис. 3.1 і 3.2. Кількість вимірних точок даних становить 41 точку в напрямку X, 6 ділянок у напрямку Z і всього 246 точок. Нижній потік, що створюється лезом, нерівномірно розподіляється по довжині лопаті (X-напрямок) і осьовій відстані (Z-напрямок) у площині X-Z. Зокрема, по довжині лопаті різко проявляється градієнт швидкості, і можна чітко спостерігати прикордонний шар потоку, на якому направляється струмінь вниз, де проявляється характеристика змішування між потоком, що йде вниз, і навколишнім повітрям.

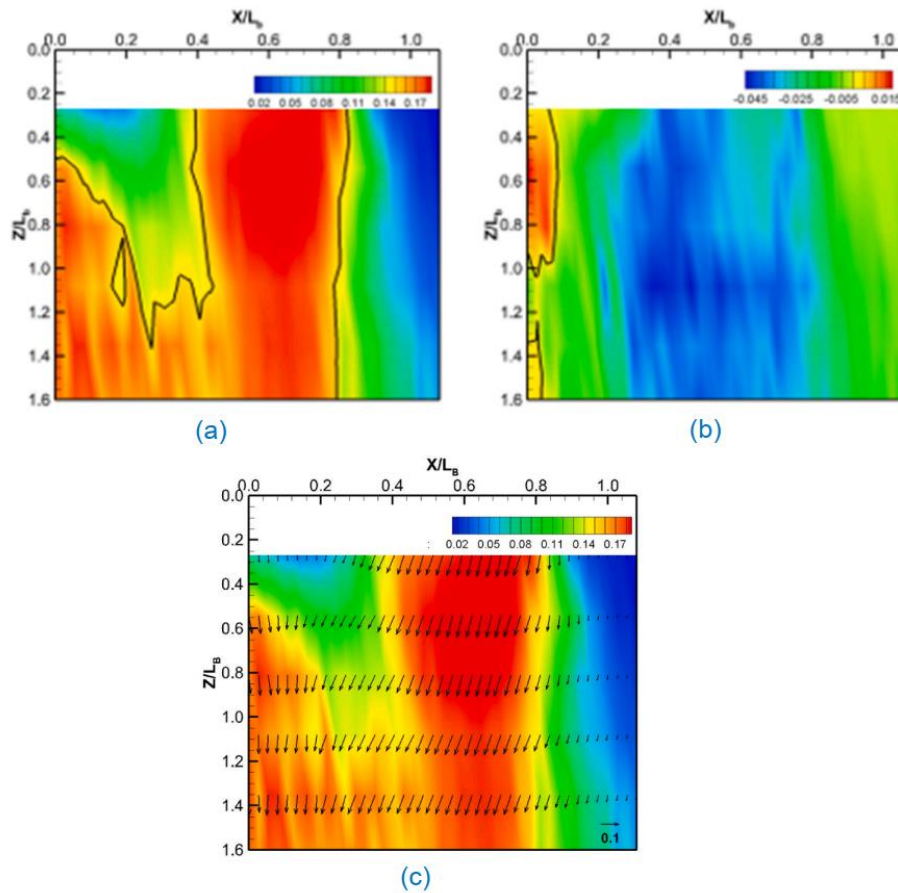


Рис. 3.3. Контури середньої швидкості та векторний графік, нормований швидкістю краю лопаті ( $V_{Btip}$ ) у вертикальній площині (площина XZ), що проходить через початок координат (центр обертання лопаті) при швидкості обертання лопаті 3000 об/хв: (а) контур осьової швидкості, (б) контур радіальної швидкості, (с) результуючий векторний графік осьової та радіальної швидкостей, представлених над контуром осьової швидкості (суцільні чорні лінії представляють осьову швидкість 0,15 м/с в (а) і радіальну швидкість 0 м/с в (б)).

На рис. 3.4 показаний контур середньої осьової швидкості, виміряної в площині X-Y, паралельній площині обертання лопаті з осьовою відстанню. Кількість точок даних становить 41 точка в напрямку X, 41 точка в напрямку Y і всього 1681 точка. Поле потоку вниз, утворене в горизонтальній площині,

паралельній площині обертання лопаті (площина X-Y), має симетричну структуру в окружному напрямку обертання лопаті, а вплив приводного двигуна проявляється в центральній області потоку вниз. Крім того, характеристики потоку змішування з'являються поблизу межі потоку змиву на кінчику лопаті внаслідок припливу навколишнього повітря та дифузії потоку змиву.

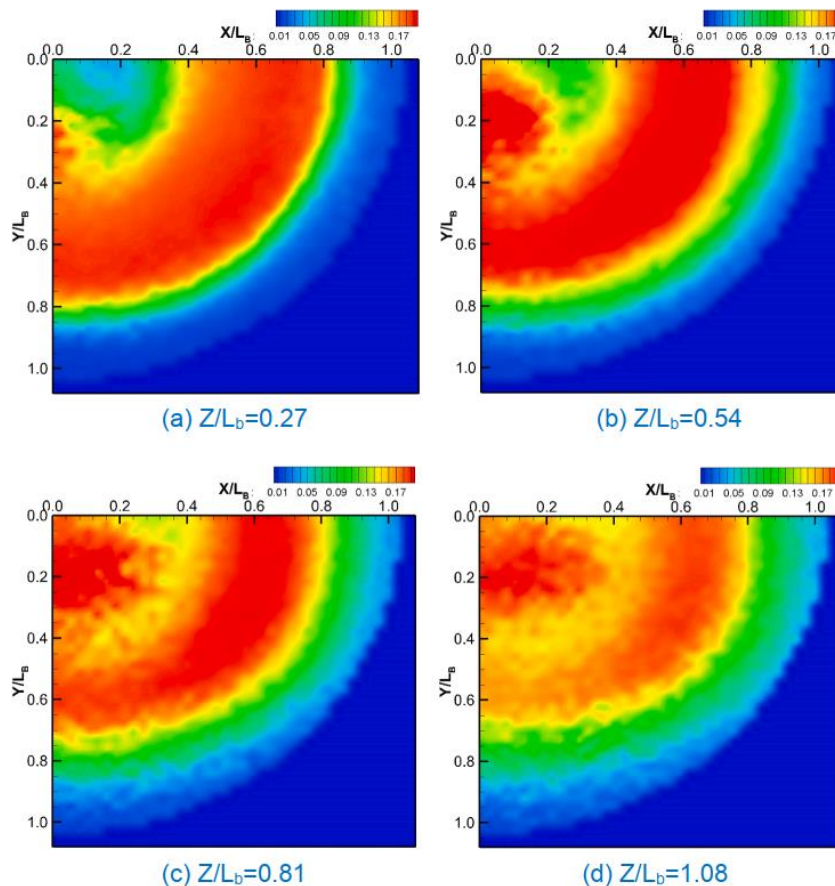


Рис. 3.4. Контури середньої осьової швидкості, нормовані швидкістю краю лопаті ( $V_{Btip}$ ) у горизонтальній площині (площина XY) з осьовою відстанню при швидкості обертання лопаті 3000 об/хв: (а)  $Z/L_b = 0,27$ , (б)  $Z/L_b = 0,54$ , (с)  $Z/L_b = 0,81$ , (д)  $Z/L_b = 1,08$ . (Ці рисунки показують результат чверті поперечного перерізу для площини обертання лопаті (площина X-Y)).

На рис. 3.5 показано тривимірно реконструйовану контурну карту осьової складової швидкості, виміряної в напрямках X, Y і Z, щоб було легше зрозуміти



структуру потоку, що йде вниз. Крім того, векторні графіки для радіальних і тангенціальних компонентів швидкості, виміряні в площині, паралельній обертанню лопаті, також показані з осьовою відстанню. Для відновлення даних було використано 10 086 точок даних.

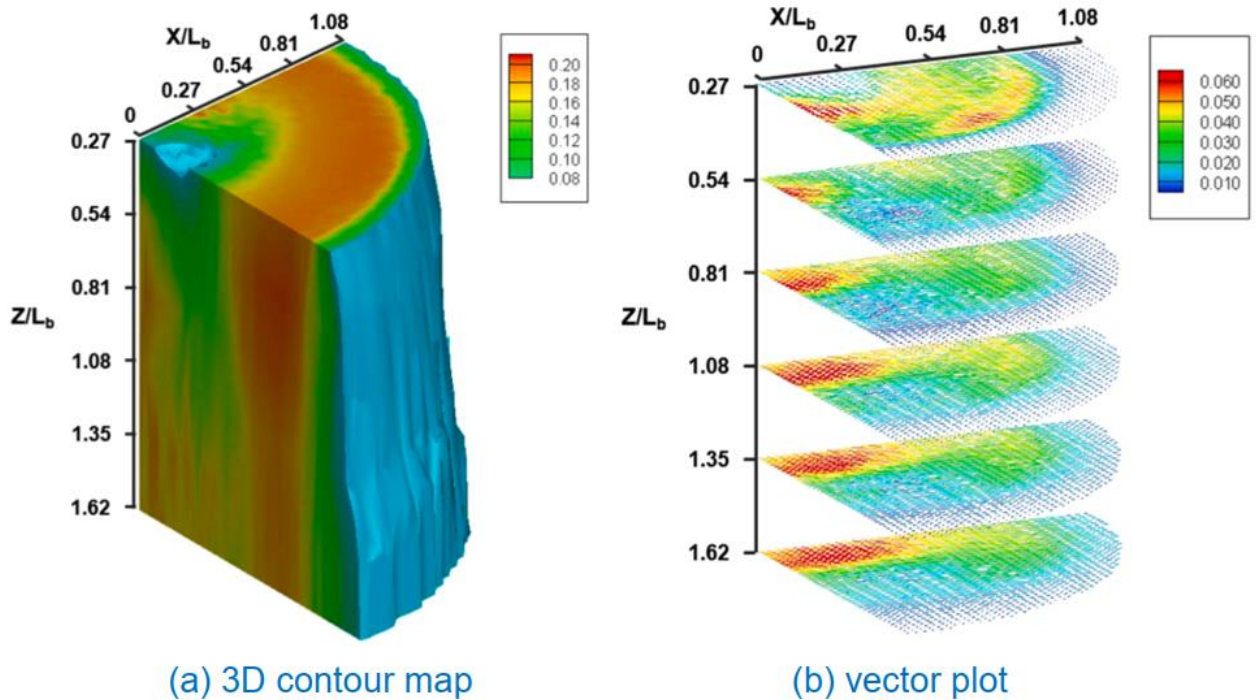


Рис. 3.5. 3D контурна карта, відновлена з використанням компонента осьової швидкості (а) та векторних графіків радіальної та тангенціальної компонент швидкості (б), нормованих за швидкістю краю леза ( $V_{Btip}$ ) з осьовою відстанню при швидкості обертання лопаті 3000 об/хв (рівень зрізу). Швидкість 0,06 м/с було застосовано для позначення межі потоку низхідного потоку в 3D контурній карті, а колір 3D контурної карти та векторних графіків представляють величину осьової швидкості та результуючий вектор радіальної та тангенціальної компонент швидкості).

Середні та турбулентні характеристики потоку потоку вниз, створеного однією лопатею сільськогосподарського дрона, були кількісно оцінені за допомогою анемометрії гарячого дроту типу СТА із зондом Х-типу, а дані були зібрані з частотою дискретизації 30 кГц. для аналізу характеристик турбулентності. Кількісно оцінювали середню швидкість, розподіл завихренності, інтенсивність турбулентності та напругу Рейнольдса флуктуаційної швидкості.

### **Висновки до розділу**

Максимальні значення інтенсивності турбулентності осьової, радіальної та тангенціальної складових швидкості оцінені як 6,8%, 3,0% та 4,3% відповідно. Інтенсивність турбулентності осьової складової приблизно вдвічі більша за інтенсивність двох інших компонентів швидкості, а її розташування – це область зсувного потоку при максимальній осьовій швидкості. Кінетична енергія турбулентності для компонентів осьової та радіальної швидкості та компонентів осьової та тангенціальної швидкості показує максимальні значення 0,25% та 0,24% від квадрата швидкості кінчика лопаті ( $V_{Btip}$ ) відповідно. Максимальні значення напруги Рейнольдса для компонентів  $u'vr'$  і  $u'we'$  становлять 0,0038% і 0,047% квадрата швидкості кінчика леза ( $V_{Btip}$ ) відповідно.



## ВИСНОВКИ

Дрони в аграрному виробництві можна використовувати для обприскування посівів, картографування, моніторингу стану посівів та польових робіт.

Якщо провести короткий аналіз використання дронів у сільському господарстві то можна відмітити як переваги так і недоліки.

Переваги: ефективність, економія часу, економія коштів, точність обробки с/г угідь, за рахунок невеликої висоти немає ризику обприскування чужої території, можна використовувати вночі, багаторазове використання, дистанційне картографування та використання у сільськогосподарських роботах. Недоліки: складнощі в експлуатації для деяких фермерів, часте оновлення ПЗ, порівняно малий захват оброблюваної території, не скрізь можна літати. Якщо взяти звичайний спосіб доставки до рослин пестицидів – обприскування причіпною та самохідною технікою та авіацією, то всі вони прямо залежать від погоди та часу доби. це питання вже вирішено. з розвитком технологій у світі на ринку з'явилися нові гравці – безпілотні літальні апарати, дрони, мультикоптери.

Агродрон працює в нічний час не втрачаючи при цьому у продуктивності і має ряд переваг: більше «вікно» часу на обробіток, не створює технологічних шляхів в посівах, нульове перекриття, не пошкоджує рослини механічно, турбулентним потоком від лопатей обробляється обидві сторони листа культури.

Агродрони для внесення пестицидів (ЗЗР) мають безліч технічних параметрів, що налаштовуються, зокрема це побудова місій, польотних завдань, де враховується: висота польоту (м), ширина захвату (м), швидкість польоту (м/с), норма виливу на гектар (л), щільність туману з якісно-кількісним дисперсійним розпилем (мкм), кут атаки факельного розпилу (градус), оптимізація маршруту (%).

І щоб точно та якісно виконувати даний вид робіт та правильно налаштувати обладнання, потрібно чітко розуміти, як впливає кожен параметр на технологічний процес.

Максимальні значення інтенсивності турбулентності осьової, радіальної та тангенціальної складових швидкості оцінені як 6,8%, 3,0% та 4,3% відповідно. Інтенсивність турбулентності осьової складової приблизно вдвічі більша за інтенсивність двох інших компонентів швидкості, а її розташування – це область зсувного потоку при максимальній осьовій швидкості. Кінетична енергія турбулентності для компонентів осьової та радіальної швидкості та компонентів осьової та тангенціальної швидкості показує максимальні значення 0,25% та 0,24% від квадрата швидкості кінчика лопаті ( $V_{Btip}$ ) відповідно. Максимальні значення напруги Рейнольдса для компонентів  $u'vr'$  і  $u'we'$  становлять 0,0038% і 0,047% квадрата швидкості кінчика леза ( $V_{Btip}$ ) відповідно.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://flytechnology.ua/dron-v-silhoz>
2. <https://drone.ua/resheniya-dlya-apk/>
3. <https://www.geomir.ru/publikatsii/agrodrony/>
4. <https://quadro.ua/bilshe-pro-dji-agras-t30/>
5. <https://www.aeroservice.com.ua/promyshlennyi-dron-s-hybrydnoy-sylovoy-ustanovkoj-uas-25g/>
6. Захист рослин. Терміни і поняття : навч. посіб. / Ж. П. Шевченко, І. І. Мостов'як, І. В. Крикунов, С. М. Мостов'як, О. Г. Сухомуд ; Уман. нац. ун-т садівництва ; за заг. ред. Ж. П. Шевченко, І. І. Мостов'як. – Умань : Сочінський М. М., 2019. – 408 с.
7. Захист і карантин рослин : міжвідомч. темат. наук. зб. / Засновник Нац. акад. аграр. наук України. Ін-т захисту рослин. – Київ : Ін-т захисту рослин НААН, 2019. – Вип. 65. – 240 с.
8. Ahmad, F., Qiu, B., Dong, X., Ma, J., Huang, X., Ahmed, S., & Ali Chandio, F. (2020). Effect of operational parameters of UAV sprayer on spray deposition pattern in target and off-target zones during outer field weed control application. *Computers and Electronics in Agriculture*, 172, 105350. doi:10.1016/j.compag.2020.105350
9. Zhang, H., Qi, L., Wu, Y., Musiu, E. M., Cheng, Z., & Wang, P. (2020). Numerical simulation of airflow field from a six-rotor plant protection drone using lattice Boltzmann method. *Biosystems Engineering*, 197, 336–351. doi:10.1016/j.biosystemseng.2020
10. Wang, G., Han, Y., Li, X., Andaloro, J., Chen, P., Hoffmann, W. C., ... Lan, Y. (2020). Field evaluation of spray drift and environmental impact using an agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer. *Science of The Total Environment*, 139793. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.1397