

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

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

УДК 637.125

БАБІН СЕРГІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ВИКОРИСТАННЯ АГРОДРОНІВ
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 _____ С.О. Бабін

Керівник роботи
д.т.н., проф. Грабар І.Г.

Житомир-2025

Висновок кафедри _____

за результатами попереднього захисту _____

Протокол засідання кафедри _____

№ _____ від « _____ » _____ 2025 р.

Завідувач кафедри _____

(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (П.І.Б.)

« _____ » _____ 2025 р.

Результати захисту кваліфікаційної роботи

Здобувач вищої освіти Бабін Сергій Олександрович захистив

кваліфікаційну роботу з оцінкою:

сума балів за 100-бальною шкалою _____

за шкалою ECTS _____

за національною шкалою _____

Секретар ЕК _____

(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (П.І.Б.)

АНОТАЦІЯ

Бабін Сергій Олександрович. **Дослідження умов використання агродронів.** – кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню умов експлуатації агродронів та їх застосування в сучасному агропромисловому комплексі. У роботі розглянуто основи використання агродронів, зокрема для аудиту виконаних агрооперацій, моніторингу посівів, контролю внесення добрив та засобів захисту рослин.

Окрему увагу приділено можливості впровадження алгоритмів штучного інтелекту з метою вдосконалення та оптимізації маршрутів польоту агродронів. Досліджено перспективи автоматизації процесів моніторингу родючості ґрунтів і стану посівів, що сприяє підвищенню ефективності агротехнологічних операцій.

У підсумковій частині роботи узагальнено результати досліджень щодо потенціалу агродронів у зборі аналітичних даних для оптимізації агровиробництва. Окремо проаналізовано вплив технологій штучного інтелекту на підвищення точності та ефективності польотних завдань.

Практична значущість дослідження полягає у вивченні різних сценаріїв застосування агродронів в аграрному секторі, що підтверджує їхню ключову роль у системі «точного землеробства».

Робота містить список використаних джерел, які стали основою для проведення дослідження.

Ключові слова: агродрон, моніторинг, штучний інтелект, автоматизація.

ANNOTATION

Babin Serhii Oleksandrovysh. **Research on the Conditions of Agricultural Drone Usage.** – *Qualification Thesis (Manuscript).*

Qualification thesis for obtaining the Master's degree in specialty 208 – Agroengineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

This qualification thesis is dedicated to the study of the operational conditions of agricultural drones and their application in the modern agro-industrial sector. The research explores the fundamentals of agricultural drone utilization, particularly for auditing completed agricultural operations, monitoring crops, and controlling the application of fertilizers and plant protection products.

Special attention is given to the implementation of artificial intelligence (AI) algorithms to enhance and optimize agricultural drone flight routes. The study examines the prospects of automating soil fertility and crop condition monitoring processes, which contributes to improving the efficiency of agricultural technologies.

The concluding part of the thesis summarizes the research findings regarding the potential of agricultural drones in collecting analytical data to optimize agricultural production. Additionally, the impact of AI technologies on increasing the accuracy and efficiency of flight tasks is analyzed.

The practical significance of the research lies in the study of various scenarios for using agricultural drones in the agrarian sector, confirming their key role in the "precision farming" system.

The thesis includes a list of references that served as the foundation for this research.

Keywords: agricultural drone, monitoring, artificial intelligence, automation.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ЗАСТОСУВАННЯ АГРОДРОНІВ У СФЕРІ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ	8
1.1. Використання агродронів у сучасній аграрній промисловості	11
1.2. Умови експлуатації агродронів	12
1.3. Основні технічні можливості агродронів	14
РОЗДІЛ 2. ОСНОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АГРОДРОНІВ ПРИ АУДИТІ АГРООПЕРАЦІЙ	15
2.1. Моніторинг полів на предмет виявлення просівів	15
2.2. Контроль якості детеляції	17
2.3. Моніторинг полів на предмет виявлення неякісно внесених добрив....	19
2.4. Моніторинг стану посівів.....	23
2.5. Моніторинг внесення засобів захисту рослин	29
2.6. Виявлення проблемних ділянок та перешкод.....	33
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ЙОГО РОЛІ В АВТОМАТИЗАЦІЇ ПОЛЬОТІВ АГРОДРОНІВ	37
ВИСНОВКИ.....	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	46

ВСТУП

Сучасні безпілотні технології значно розширюють можливості у різних галузях, зокрема в агропромисловому секторі. Автоматизація та цифровізація процесів сприяють підвищенню ефективності, точності й безпеки виконання агрооперацій. Інтеграція безпілотних систем дозволяє не лише скоротити витрати, а й оптимізувати робочі процеси, що позитивно впливає на продуктивність підприємств. Динамічний розвиток цієї сфери є важливим чинником інноваційного прогресу та економічного зростання.

Впровадження безпілотних технологій у сільське господарство сприяє підвищенню конкурентоспроможності галузі, мінімізує вплив людського фактора та забезпечує ефективне використання ресурсів. Постійне вдосконалення безпілотних систем гарантує їхню широку інтеграцію в агровиробництво, зокрема в межах концепції точного землеробства.

Застосування агродронів у сільському господарстві дозволяє вдосконалити виробничі процеси, підвищити продуктивність і зменшити витрати. Вони стали ключовим елементом точного землеробства, забезпечуючи ефективний моніторинг посівів, раціональне внесення добрив і засобів захисту рослин, а також сприяючи підвищенню врожайності та зменшенню негативного впливу на довкілля.

Зростаючий попит на агродрони підтверджує їхню ефективність у вирішенні ключових завдань аграрного виробництва. Подальший розвиток цієї технології сприятиме модернізації агросектору, підвищенню його стійкості та ефективності.

Таким чином, агродрони не лише впроваджують технологічні інновації в сільське господарство, а й виступають стратегічним інструментом розвитку агропромислового комплексу, забезпечуючи стаке економічне зростання та екологічну відповідальність.

Задачі дослідження спрямовані на розв'язання актуальних завдань у сфері моніторингу стану посівів, контролю внесення добрив, оптимізації маршрутів польоту агродронів та ефективного управління

сільськогосподарськими процесами. **Актуальність дослідження** обумовлена необхідністю вивченню різних умов застосування агродронів в сфері агропромислового комплексу, підвищення ефективності їх роботи та впровадження алгоритмів штучного інтелекту для вдосконалення їх функціональності.

Методи дослідження: у ході дослідження використано комплекс теоретичних та емпіричних методів, зокрема:

- Аналітичний метод – аналіз наукової літератури та нормативно-правової бази щодо використання агродронів.
- Порівняльний аналіз – оцінка різних технологій агродронів та їх застосування у сфері точного землеробства.
- Експериментальний метод – практичні випробування агродронів для моніторингу посівів, оцінки родючості ґрунтів та ефективності внесення засобів захисту рослин.
- Статистичний аналіз – обробка та інтерпретація зібраних даних для оцінки ефективності використання агродронів у сільськогосподарському виробництві.

Практичне значення даного дослідження – це відображення його результатів, які мають значну практичну цінність для агропромислового комплексу. Запропоновані рекомендації сприяють підвищенню ефективності використання агродронів у точному землеробстві, зниженню витрат ресурсів та покращенню якості агротехнологічних процесів. Впровадження алгоритмів штучного інтелекту дозволяє вдосконалити процеси моніторингу стану посівів, прогнозування врожайності та управління аграрними операціями. Отримані результати можуть бути використані агропідприємствами, виробниками агродронів та державними установами для розробки стратегій розвитку та регулювання застосування агродронів у сучасному сільському господарстві.

РОЗДІЛ 1. ЗАСТОСУВАННЯ АГРОДРОНІВ У СФЕРІ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

Сучасне сільське господарство стрімко переходить у цифрову епоху, впроваджуючи передові технології, що дозволяють значно підвищити продуктивність аграрного сектору в короткі терміни. Завдяки розвитку точного землеробства, науково-технічному прогресу, використанню високопродуктивних сортів рослин, сучасних засобів захисту та передової сільськогосподарської техніки, агровиробництво демонструє суттєве зростання врожайності. Технологічні рішення постійно вдосконалюються та стають доступнішими, що стимулює широкомасштабне впровадження цифрових технологій у сфері агропромислового комплексу.

Аграрний сектор стикається з безпрецедентними викликами, які вимагають підвищення ефективності виробництва за умови мінімального впливу на довкілля та раціонального використання природних ресурсів. Динамічний розвиток інноваційних технологій змушує агропідприємства шукати нові шляхи підвищення конкурентоспроможності. Впровадження сучасних цифрових рішень є стратегічним напрямом для великих аграрних компаній, які прагнуть оптимізувати виробничі процеси та забезпечити стабільний розвиток.

Попри активну цифровізацію галузі, система управління матеріально-технічними та трудовими ресурсами в багатьох господарствах залишається недостатньо розвиненою, що призводить до втрат у виробництві. Використання інноваційних технологій є ефективним інструментом підвищення прибутковості аграрних підприємств та суттєвого зниження собівартості продукції. Інтеграція сучасних технологій у виробничі процеси стає ключовим фактором сталого розвитку агропромислового комплексу.

Україна – це надзвичайно привабливий ринок для застосування агродронів, саме через стрімкий розвиток сільського господарства, яке є однією з найперспективніших галузей (фінансовий зріз наведено на Рис.1.1.).

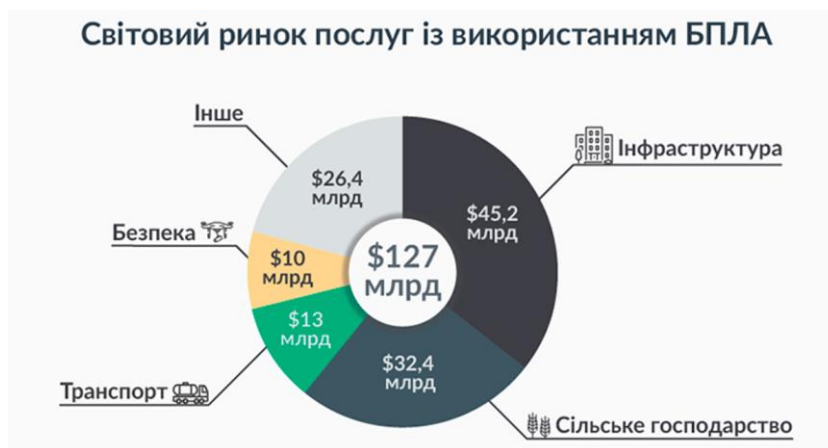


Рис. 1.1. Інформація від аудиторської компанії PricewaterhouseCoopers.

В Україні можна виділити 4 сегменти ринку агродронів:

- українські виробники власних агродронів;
- компанії, що збирають агродрони з комплектуючих (зазвичай, китайських);
- дистриб'ютори та продавці імпортованих агродронів (DJI, XAG тощо);
- сервісні компанії, які надають послуги із використання агродронів.

	 ITEC SKIF	 MEGADRONE SKYHUNTER MD-1	 MATRIX UAV KATANA-AGRO
Призначення	- Моніторинг стану посівів - Створення ортофотоплану - Обмір полів	- Моніторинг стану посівів - Створення ортофотоплану - Внесення трихограми - Обмір полів	- Моніторинг стану посівів - Створення ортофотоплану - Обмір полів
Час польоту, хв	120	120	80
Покриття, га/виліт	1500	600-1200	700-1000
Вага, кг	3,6	3,3	2,6
Корисне навантаження, кг	0	0,5	0,3
Камера	Вбудована, 20 Мр	Canon s110, 13 Мр	Вбудована, 17 Мр
Тип запуску	Катапульта	Ручний	Ручний
Тип посадки	Парашут	На фюзеляж	На фюзеляж
Тип двигуна	Електричний	Електричний, 2 шт.	Електричний
Макс. висота польоту, м	400	500	600
Макс. дальність польоту, км	50	35	40
Макс. швидкість польоту, км/год	70	90	70

Рис. 1.2. Порівняння агродронів українського виробництва.

Український ринок агродронів ще не настільки розвинутий і доволі молодий, наразі агродрони у прямому використанні не більше як у 5% підприємств. Натомість українські агродрони мають високу функціональність і тому вони є цілком конкурентоспроможними із західними аналогами. Крім того, їх досить просто придбати і спробувати у практичному використанні. А враховуючи активний розвиток технологій – в Україні з'являються нові виробники агродронів, коротке порівняння деяких з них наведено на Рис. 1.2., можна сміливо припустити, що через п'ять років список вітчизняних виробників налічуватиме десятки компаній з сотнями різноманітних моделей.

Аграрії мають розуміння того, як агродрони можуть вдосконалити рутинні процеси і збільшити прибуток, але для коректного використання даних з агродронів цього замало. Необхідно фундаментально підготувати матеріальну базу: якщо ви провели моніторинг стану посівів, у вас повинні бути певним чином обладнані обприскувачі, щоб ви могли диференційовано обробити посіви (внесення добрив, гербіцидів). Пізніше будуть потрібні комбайни з можливістю картографування врожайності. Агродрони є лише частиною ланцюга з назвою «точне землеробство», оскільки слід підготувати всю техніку, щоб використовувати дані з агродронів і отримувати від цього прибуток.

Саме тому в даній роботі наведено дослідження різних умов використання агродронів в сфері агропромислового комплексу. Усі дослідження здійснено з застосуванням базового квадрокоптеру DJI Air 2S (зображення представлено на Рис. 2.2.) на масивах полів компанії ТОВ «ААГ», основним видом діяльності якої є вирощування кукурудзи та сої. Дослідження проводились в період виконання усіх агроробіт сезону 2024 року, таких як: ґрунтообробіток, посів, внесення ЗЗР, збір врожаю та ін.

1.1. Використання агродронів у сучасній аграрній промисловості

Агродрони стали невід’ємним інструментом сучасного фермерського господарства незалежно від його масштабів. Агродрони виконують широкий спектр завдань, включаючи аерофотозйомку, обприскування, внесення мінеральних добрив, зрошення, контроль посівів та земельних ділянок тощо. Це дозволяє здійснювати комплексний дистанційний моніторинг полів, створювати ортофотоплани та карти вегетації, аналізувати стан культур, оптимізувати внесення засобів захисту рослин та раціонально використовувати ресурси.

Ринок агродронів демонструє стрімке зростання – щорічний приріст становить понад 400%, що свідчить про високу ефективність цієї технології та її значний інвестиційний потенціал. Найбільший попит на агроринку мають послуги з обприскування посівів, створення ортофотопланів та спектральної зйомки. Використання тепловізорів дозволяє оперативно визначати температурні показники полів та інших сільськогосподарських об’єктів.

Однією з головних переваг використання агродронів є їхня висока маневреність і точність у виконанні завдань. Завдяки поєднанню передових технологій із сучасними системами навігації та автопілотом, дані агродрони можуть самостійно прокладати оптимальні маршрути. Крім того, вбудовані сенсори та навігаційні системи дозволяють агродронам точно мапувати поля, виявляти уражені ділянки, а також здійснювати моніторинг родючості ґрунтів і стану посівів.

Агродрони надають актуальні дані у найважливіші моменти виробничого циклу, а накопичена інформація дозволяє проводити глибокий аналіз тенденцій і змін у сільському господарстві. В умовах, коли швидкість, точність та ефективність є критично важливими для забезпечення високої врожайності, впровадження безпілотних технологій стає необхідністю для аграрних підприємств.

Агродрони мають низку інших переваг для моніторингу родючості ґрунтів, стану посівів і виявлення відхилень у технологічних процесах:

1. Оперативність збору даних – агродрони можуть швидко охоплювати великі площі та оперативно надавати актуальну інформацію про стан ґрунтів і рослин.

2. Висока точність вимірювань – завдяки мультиспектральним і тепловізійним камерам агродрони можуть виявляти навіть незначні зміни в рості рослин і складі ґрунту.

3. Зменшення витрат на моніторинг – використання агродронів дозволяє скоротити витрати на традиційні методи контролю, такі як польові обстеження або супутниковий аналіз.

4. Раннє виявлення проблем – агродрони можуть фіксувати ознаки хвороб, дефіциту вологи чи поживних речовин ще на ранніх стадіях, що дозволяє своєчасно вживати заходів.

5. Зниження впливу людського фактора – автоматизований аналіз даних мінімізує помилки, що можуть виникати під час традиційного моніторингу.

6. Виявлення відхилень від технологічних процесів – агродрони можуть контролювати рівномірність внесення добрив, засобів захисту рослин або стан зрошувальних систем, що допомагає оптимізувати агротехнічні операції.

7. Аналіз динаміки змін – регулярне застосування агродронів дає змогу відстежувати зміни в структурі ґрунту й розвитку посівів у динаміці, що допомагає планувати майбутні сільськогосподарські заходи.

1.2. Умови експлуатації агродронів

Ефективне та безпечне використання агродронів забезпечується дотриманням низки регуляторних, екологічних та операційних вимог.

1. Юридичні та регуляторні вимоги:

- Реєстрація - використання агродронів регулюється законодавством. У більшості країн агродрони підлягають обов'язковій реєстрації в органах цивільної авіації. Станом на 2025 рік, в Україні такі вимоги поки відсутні.
- Отримання дозволів - польоти агродронів можуть вимагати спеціальних дозволів залежно від висоти польоту, місця експлуатації (зокрема,

поблизу населених пунктів, аеропортів чи промислових об'єктів) та характеру виконуваних робіт.

- Сертифікація операторів - для керування агродроном оператор повинен пройти відповідне навчання та отримати профільний сертифікат.
- Дотримання норм повітряного простору - польоти заборонені в зонах з обмеженим доступом, включаючи території поблизу аеропортів, військових об'єктів, заповідників тощо.

2. Екологічні та погодні умови:

- Метеорологічні фактори - експлуатація агродронів обмежується несприятливими погодними умовами, такими як:
 - Сильний вітер (зазвичай понад 5 м/с);
 - Опади (дощ, сніг, град);
 - Низька видимість (туман, темний час доби без додаткового освітлення).
- Температурний режим - польоти повинні здійснюватися в межах температурного діапазону, рекомендованого виробником, що гарантує стабільність роботи обладнання.

3. Операційні вимоги:

- Попереднє планування - перед польотом необхідно ретельно розробити маршрут, враховуючи рельєф місцевості, площу поля, можливі перешкоди та потенційні ризики.
- Обмеження зони польотів - використання агродронів дозволяється виключно в межах сільськогосподарських угідь, без порушення меж приватної власності або громадських територій.
- Дотримання безпечної відстані - під час експлуатації агродрон повинен знаходитися на безпечній відстані від людей, тварин, будівель та інших інфраструктурних об'єктів, що мінімізує ризики аварійних ситуацій.

Дотримання цих умов забезпечує ефективне, безпечне та відповідне до законодавчих норм використання агродронів у сільському господарстві, сприяючи підвищенню продуктивності та оптимізації виробничих процесів.

1.3. Основні технічні можливості агродронів

Залежно від завдань, агродрони можуть виконувати такі функції:

- Аерофотозйомка – оперативна оцінка стану посівів із виявленням хвороб, шкідників та загибелі рослин.
- Відеомоніторинг – детальний аналіз полів для оцінки стану ґрунту та якості посівів.
- Моніторинг стану культур – прогнозування врожайності та контроль іригаційних систем.
- Розрахунок індексів вологості, вегетації та листкової поверхні – визначення зон, що потребують додаткових агротехнічних заходів.
- Моніторинг на наявність диких тварин – своєчасне виявлення та мінімізація шкоди.
- Створення цифрових карт полів – розробка високоточних ортофотопланів із векторними шарами для аналізу.
- Моніторинг розвитку рослин – визначення якості сходів та порівняння з індексом NDVI.
- Аналіз необхідності внесення добрив – оцінка стану ґрунту для раціонального використання ресурсів.
- Виявлення зон ураження хворобами та забур'яненості – розрахунок ступеня поширення захворювань.
- Оцінка виконання агротехнічних заходів – контроль обсягів та ефективності робіт.
- Документування збитків – фіксація втрат від стихійних явищ та інших негативних факторів.
- Охорона врожаю – застосування тепловізорів для контролю посівів у темну пору доби та за поганих погодних умов.

Таким чином, використання агродронів у сільському господарстві забезпечує підвищення ефективності агропідприємств, оптимізацію виробничих процесів та мінімізацію витрат, сприяючи розвитку точного землеробства та сталому економічному зростанню галузі.

РОЗДІЛ 2. ОСНОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АГРОДРОНІВ ПРИ АУДИТІ АГРООПЕРАЦІЙ

Використання агродронів у сільському господарстві має широке застосування у різних сферах діяльності. Насамперед ці технологічні пристрої використовуються для збору інформації та аналізу стану полів і культур. Основним аспектом застосування агродронів є їхня універсальність та можливість адаптації до різноманітних умов та типів сільськогосподарських культур.

2.1. Моніторинг полів на предмет виявлення просівів

Використання агродронів для моніторингу стану посівів дозволяє в короткі терміни виявити усі технологічні огріхи, а також має низку значних переваг:

- Швидке виявлення просівів – агродрони оперативно сканують великі площі, дозволяючи аграріям швидко отримати дані про нерівномірність посівів та порожні ділянки.
- Зниження витрат на ручний огляд – агродрони дозволяють автоматизувати процес обстеження полів, скорочуючи витрати на людські ресурси та зменшуючи потребу у фізичному обході території.
- Оперативне прийняття рішень – дані з агродронів можна швидко аналізувати, що дозволяє аграріям вчасно вживати заходів для підсіву або коригування технологічних процесів.
- Оптимізація використання насіння та ресурсів – завдяки точному визначенню зон із просівами можна скоригувати норми висіву в наступних сезонах, запобігаючи перевитраті насіння.
- Підвищення врожайності – своєчасне виявлення та усунення просівів сприяє рівномірному розвитку посівів, що позитивно впливає на врожайність.
- Зниження ризиків втрат – можливість швидкого реагування на виявлені проблеми дозволяє мінімізувати втрати врожаю та покращити ефективність господарювання.



Рис. 2.1. Виявлений при обстеженні поля просів на всю ширину сівалки.

Згідно знімку зробленим агродроном Рис. 2.1. видно просів на всю ширину сівалки, який при звичайному огляді поля не видно через обсів поля по його краям. За один день за допомогою звичайного агродрону можна зробити обліт полів приблизною площею 1000 Га. Це дає змогу агрохолдингам здійснювати моніторинг якості виконання посіву у стислі терміни, що особливо важливо у випадках, коли послуги з сівби надає сторонній контрагент.



Рис. 2.2. Квадрокоптер DJI Air 2S за допомогою якого здійснено обстеження. На іншому прикладі можемо розглянути факт, як за допомогою використання агродронів виявлено просів (Рис.2.3.) спричинений забиттям форсунок на сівалці.



Рис. 2.3. Виявлений при обстеженні поля просів спричинений забиттям форсунок на сівалці.

2.2. Контроль якості детеляції

Одним з немаловажних процесів при вирощування насіннєвої кукурудзи є детеляція - видалення волоті/суцвіття кукурудзи (видалення генеративних органів у батьківських лініях гібридних культур), використання агродронів в даній операції має наступні переваги:

- Висока точність виявлення залишкових чоловічих органів – завдяки використанню високоякісних камер агродрони здатні ідентифікувати навіть невеликі залишкові чоловічі квітки, які можуть вплинути на чистоту гібриду.
- Автоматизований аналіз даних – сучасні агродрони оснащені штучним інтелектом та алгоритмами розпізнавання, дозволяють автоматично визначати ділянки з недетельованими рослинами й оперативно передавати дані агроному.
- Підвищення точності гібридизації – завдяки своєчасному виявленню недоліків у детеляції можна швидко виправити ситуацію, що

допомагає уникнути випадкового запилення та покращити якість насіннєвого матеріалу.

- Можливість аналізу в реальному часі – агродрони передають дані в режимі онлайн, що дозволяє агрономам миттєво реагувати на виявлені недоліки.
- Оптимізація технологічних процесів – агродрони допомагають визначити найбільш проблемні ділянки, що дозволяє в майбутньому вдосконалювати механізми детеляції та коригувати технології обробки.
- Зменшення ризиків втрати врожаю – якісний контроль детеляції сприяє отриманню більш чистого та продуктивного гібридного насіння, що напряду впливає на майбутню врожайність.



Рис. 2.4. Контроль за допомогою агродрона якості детеляції.

Детеляція є важливим етапом у виробництві гібридного насіння кукурудзи. Гібридне насіння отримують шляхом схрещування двох різних батьківських ліній. Щоб запобігти самозапиленню материнської лінії (тобто запиленню її власною пилком), з неї видаляють волоть, яка містить чоловічі репродуктивні органи (пильники). Таким чином, материнські рослини можуть бути запилені лише пилком з батьківської лінії, що забезпечує отримання гібридного насіння з бажаними характеристиками.

Сучасні детеслери — це самохідні машини, які можуть обробляти великі площі кукурудзяних полів за короткий час. Вони оснащені системами контролю висоти та ширини захвату, що дозволяє їм ефективно працювати на різних сортах кукурудзи та за різних умов вирощування.

Недоліки детеслерів - не повністю видаляє волоть, що може призвести до самозапилення материнських рослин і зниження якості гібридного насіння. Це особливо актуально при роботі з високими або густими посівами.



Рис. 2.5. Обстеження поля використовуючи DJI Air 2S після проходу детеслера.

Контроль якості детеляції на великих масивах кукурудзи здійснюється саме за допомогою агродронів, які можуть швидко обстежити великі площі, що значно прискорює процес контролю порівняно з ручним обходом поля. Агродрони оснащені камерами високої роздільної здатності дозволяють отримувати детальні знімки рослин та виявляти навіть невеликі пропущені волоті.

2.3. Моніторинг полів на предмет виявлення неякісно внесених добрив

Агродрони, оснащені спеціальними камерами, здатні фіксувати зміни у стані рослин, які можуть бути викликані нерівномірним внесенням добрив.

Застосування агродронів для контролю рівномірності та ефективності внесення добрив має низку важливих переваг:

- Оперативне виявлення проблемних зон – агродрони дозволяють швидко виявляти ділянки з недостатнім або надмірним внесенням добрив, що допомагає своєчасно виправити помилки.
- Зниження витрат на лабораторні дослідження – агродрони забезпечують швидкий візуальний та спектральний аналіз стану рослин без необхідності проведення дорогих польових досліджень.
- Виявлення помилок у налаштуванні техніки – агродрони можуть допомогти ідентифікувати нерівномірний розподіл добрив через неправильні налаштування розкидачів, обприскувачів або проблеми з технічним обладнанням.
- Моніторинг у динаміці – регулярні обльоти дозволяють оцінити, як внесені добрива впливають на ріст і розвиток рослин у різні періоди вегетації.
- Економія ресурсів – аналізуючи дані, аграрії можуть оптимізувати норми внесення добрив, що знижує витрати та запобігає перевитраті мінеральних речовин.
- Підвищення врожайності – своєчасне виявлення дефіциту поживних речовин і його коригування сприяє покращенню розвитку рослин і збільшенню врожайності.
- Зменшення негативного впливу на екосистему – точне внесення добрив допомагає знизити ризик їхнього вимивання у ґрунтові води та негативного впливу на довкілля.
- Розширені аналітичні можливості – отримані зображення та дані можна інтегрувати з геоінформаційними системами (GIS), що дозволяє проводити детальний аналіз та прогнозування потреб у добривах на майбутні сезони.

- Виявлення технологічних відхилень – агродрони можуть зафіксувати ділянки, де добрива були внесені нерівномірно через погодні умови, технічні несправності або людський фактор.

Завдяки агродронам аграрії можуть суттєво покращити якість внесення добрив, оптимізувати витрати та підвищити ефективність агровиробництва.



Рис. 3.1. Обстеження полів агродроном на предмет пропуску добрив.

Згідно Рис. 3.1. на якому видно пропуск при внесенні безводного аміаку на всю ширину агрегату, який при звичайному огляді поля не видно через обсів поля по його краям.

Етапи моніторингу:

- Зйомка поля: агродрон здійснює політ над полем за заздалегідь заданим маршрутом та знімає зображення з використанням відповідних камер.
- Обробка зображень: отримані зображення обробляються за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Програмне забезпечення аналізує

спектральні дані, розраховує вегетаційні індекси, будує карти розподілу показників стану рослин та виявляє аномалії.

- Аналіз результатів: аналітики або агрономи інтерпретують отримані карти та визначають ділянки з потенційними проблемами, пов'язаними з внесенням добрив.

- Коригувальні заходи: на основі аналізу приймаються рішення щодо коригування внесення добрив на проблемних ділянках, наприклад, шляхом додаткового підживлення або внесення коректив у технологію внесення в наступних циклах.



Рис. 3.2. Виявлення змін у стані розвитку рослин за допомогою агродрону.

На даному прикладі (Рис. 3.2.) можемо розглянути факт гіршого засвоєння добрив через некоректне налаштування посівного комплексу – добрива при посіві не закладались на оптимальну глибину, а висипались на ґрунт зверху.



Рис. 3.2. Фіксація світло-зелених смуг за допомогою DJI Air 2S.

Світло-зелені смуги на посівах кукурудзи показують на проблеми при внесенні безводного аміаку - колеса видавлювали аміак. Зазвичай при виявленні таких випадків одразу механізатор може змістити долота від коліс – тобто не допустити подібні втрати.

2.4. Моніторинг стану посівів

Моніторинг стану посівів є критично важливим для сучасного сільського господарства. Він дозволяє аграріям оперативно отримувати інформацію про розвиток рослин, виявляти проблеми на ранніх стадіях та вчасно вживати необхідних заходів для оптимізації врожайності. В сучасному сільському господарстві все частіше використовується комбінований підхід, що поєднує різні методи моніторингу для отримання найбільш повної та точної інформації про стан посівів. Наприклад, використання агродронів для детального обстеження проблемних ділянок, виявлених за допомогою супутникових знімків.

Основні переваги моніторингу посівів за допомогою агродронів:

- Швидкий та масштабний аналіз – агродрони можуть за короткий час обстежити великі площі, надаючи детальні дані про стан рослин.
- Висока точність діагностики – мультиспектральні камери дозволяють аналізувати рівень вегетації рослин, виявляючи дефіцит вологи, поживних речовин або захворювання ще на ранніх стадіях.
- Виявлення стресових факторів – агродрони допомагають ідентифікувати вплив несприятливих погодних умов, шкідників, хвороб і забур'яненості на врожайність.
- Моніторинг росту і розвитку культур – регулярні обльоти дозволяють відстежувати зміни в стані посівів на різних етапах вегетації та вчасно коригувати агротехнічні заходи.



Рис. 4.1. Фіксація світло-жовтих плям за допомогою DJI Air 2S.



Рис. 4.2. Виявлення підгорання кукурудзи на піщаних ґрунтах.

Згідно даного знімка видно ризики зниження врожайності кукурудзи на піщаних ґрунтах – кукурудза підгоріла (Рис. 4.2.), що в результаті так вплинуло на результати врожайності. В таких випадках доцільно переглянути карту врожайності та підхід до технології вирощування на піщаних ґрунтах.



Рис. 4.3. Заміри температури на піщаних ділянках.

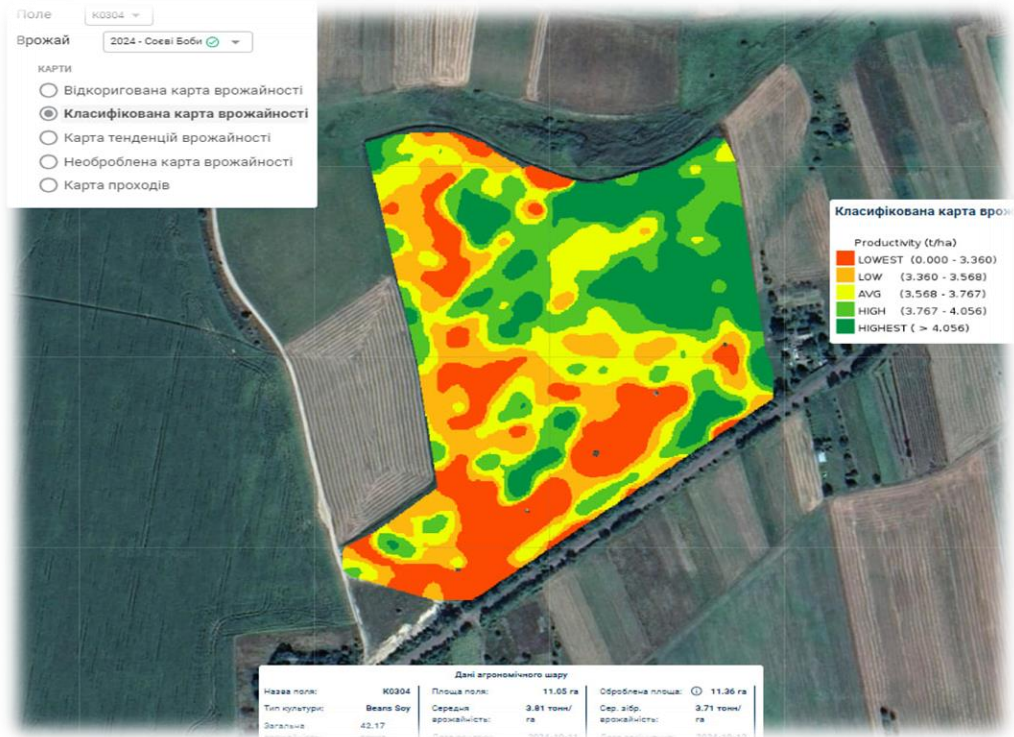


Рис. 4.4. Аналіз карти врожайності

З метою недопущення подібних втрат в подальшому необхідно переглянути підхід до ґрунтообробітку на піщаних ґрунтах, залишивши на поверхні пожнивні решти. Низька врожайність на піщаних ділянках також підтверджується даними картографії з комбайнів (Рис. 4.4.)

Агродрони також можуть використовуватися для контролю чистоти сортів на насіннєвих ділянках надаючи наступні переваги:

- Оперативне виявлення домішок інших сортів – за допомогою високоточних камер агродрони можуть ідентифікувати рослини з відмінними морфологічними або фізіологічними характеристиками.
- Висока точність сортоідентифікації – аналіз спектрального відбиття рослин дозволяє розрізняти генетично відмінні культури навіть на ранніх етапах їх розвитку.
- Моніторинг просторової ізоляції – контроль відстаней між різними сортами або гібридними культурами дозволяє забезпечити відповідність насіннєвих ділянок вимогам стандартів чистоти.



Рис. 4.5. Виявлення посіву іншого сорту сої на всю ширину сівалки.



Рис. 4.6. Фіксація світло-жовтих смуг за допомогою DJI Air 2S.

Згідно даних знімків (Рис. 4.5., Рис. 4.6. та Рис. 4.7.) видно неналежний контроль агрономів при виконанні агрооперації - сівалки при переїзді з інших

полів не зачистили і в результаті на полях з іншим сортом присутні ділянки з різним рівнем дозрівання. Аналіз однорідності дозрівання за допомогою агродронів дозволяє оцінити рівномірність росту та розвитку рослин, що є важливим критерієм для визначення відповідності сортовим характеристикам.



Рис. 4.7. Фіксація жовто-зелених смуг – висів іншого сорту сої.

Оптимізація насіннєвого виробництва — завдяки точному контролю аграрії можуть приймати обґрунтовані рішення щодо видалення нетипових рослин або проведення додаткових агротехнічних заходів. А вчасно зібране насіння має кращу схожість та енергію проростання. Якщо не запобігати даним випадкам — це в свою чергу може призвести до втрат від розтріскування бобів та осипання насіння чи навпаки (приклад на Рис. 4.8.) — додаткових затрат на десикацію.



Рис. 4.8. Нерівномірне дозрівання через змішування сортів.

2.5. Моніторинг внесення засобів захисту рослин

Моніторинг агродронами для виявлення впливу засобів захисту рослин (ЗЗР), зокрема опіків, є ефективним методом для оперативного та точного аналізу стану посівів після обробки. Він дозволяє швидко ідентифікувати ділянки, де ЗЗР спричинили негативний вплив, та вжити відповідних заходів. Агродрони допомагають оцінити, чи не відбулося знесення ЗЗР на сусідні поля (моніторинг зносу крапель) або недообприскування через погодні умови (вітер, температура, вологість), а зображення з агродронів дозволяють аналізувати стан рослин до і після обприскування, що допомагає оцінити дієвість препаратів (Рис. 5.1.).



Рис. 5.1. Моніторинг полів після внесення ЗЗР.

Також за допомогою агродронів можна виявляти витоптування або прохід оприскувача по новій технологічній колії – це ефективний спосіб оцінки збитків, завданих посівам внаслідок проїзду техніки, проходження людей або

тварин. Агродрони надають можливість швидко та точно визначити масштаби проблеми (Рис 5.2.).



Рис. 5.2. Фіксація декількох проходів оприскувача за допомогою DJI Air 2S.

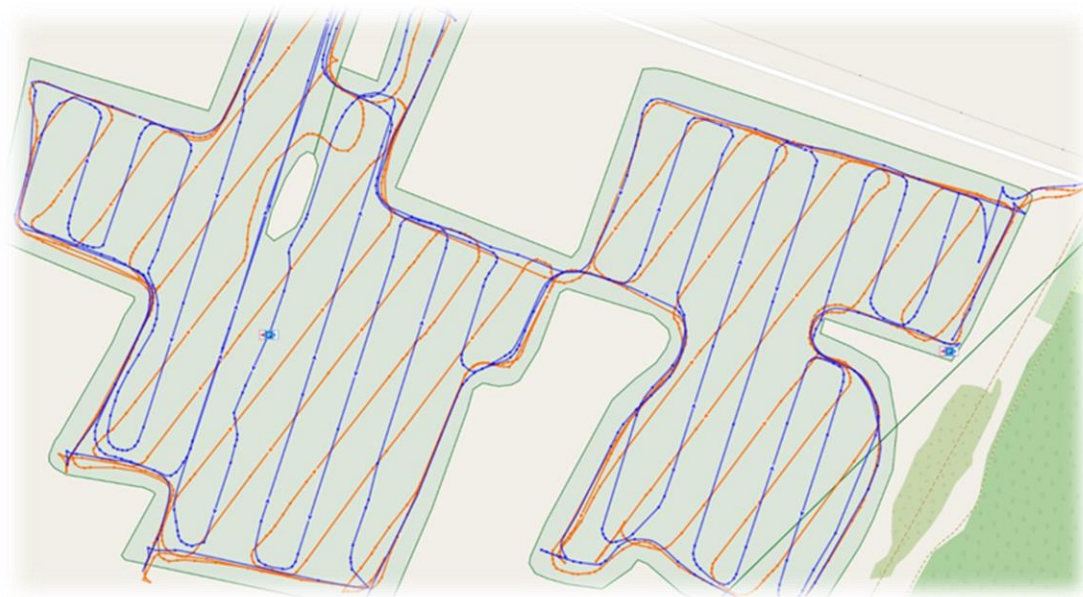


Рис. 5.3. Прохід оприскувача по новій технологічній колії підтверджується показниками GPS сигналу.

Проходження колісного обприскувача по полю неминує спричиняє механічне пошкодження рослин, що може призвести до втрат урожаю (Рис. 5.5.).

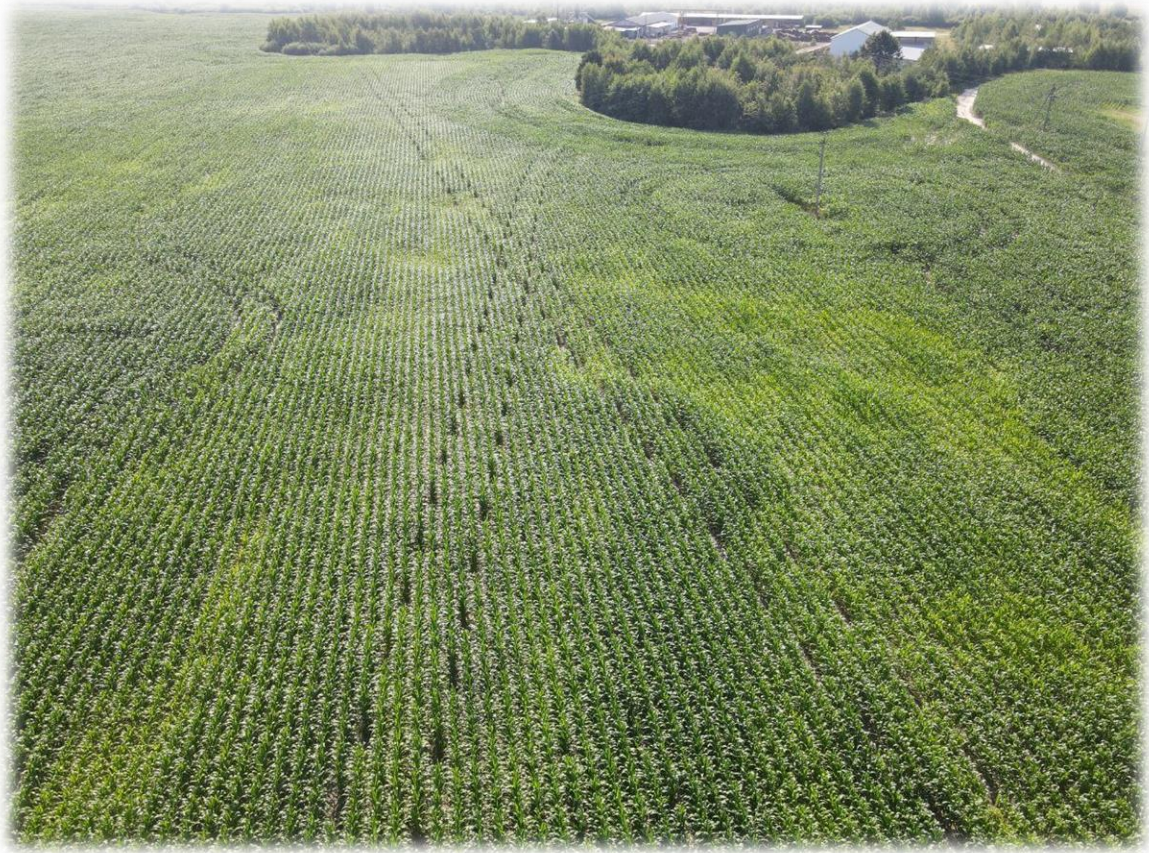


Рис. 5.4. Прохід оприскувача по новій технологічній колії зафіксований DJI Air 2S.

Використання агродронів для виявлення витоптування (Рис. 5.3.) стає все більш поширеним завдяки своїй ефективності та точності. Ця технологія дозволяє оперативно отримувати інформацію про стан посівів та точні дані про механічні пошкодження, щоб в подальшому коригувати маршрути техніки та мінімізувати втрати врожаю, особливо у випадках коли послуги надаються сторонніми контрагентами. Також, агродрони допомагають порівнювати рівень витоптування самохідними та причіпними обприскувачами, що дозволяє обирати найменш травматичне обладнання.



Рис. 5.5. Завдані збитки через прохід оприскувача по новій технологічній колії

Агродрони допомагають оптимізувати роботу наземної техніки, а також визначати доцільність застосування безпілотних обприскувачів. Це важливий крок до впровадження точного землеробства та підвищення ефективності агровиробництва.

2.6. Виявлення проблемних ділянок та перешкод

Агродрони дозволяють з легкістю виявляти проблемні ділянки, що в подальшому дозволяє оптимізувати внесення добрив, засобів захисту рослин та інших ресурсів, що призводить до підвищення врожайності та зменшення витрат.



Рис. 6.1. Підтоплення посівів кукурудзи зафіксоване за допомогою DJI Air 2S

Згідно даного знімку видно підтоплення (Рис. 6.1.) через утворення бобрових гребель (гатей), які також були виявлені завдяки моніторингу з агродронів (Рис. 6.2.).



Рис. 6.2. Виявлене утворення бобрових гребель (гатей) вздовж каналу.

Далі на прикладі показано виявлену агродроном перешкоду, яка була усунена ще до початку жнив та запобігли можливому пошкодженню жатки комбайну.



Рис. 6.3. Виявлене каміння під час скаутингу полів

Виявлення агродронами проблемних ділянок під час обмолоту є цінним інструментом, що зменшує витрати на ремонт від можливих пошкоджень.



Рис. 6.4. Обстеження поля за допомогою DJI Air 2S перед обмолотом.

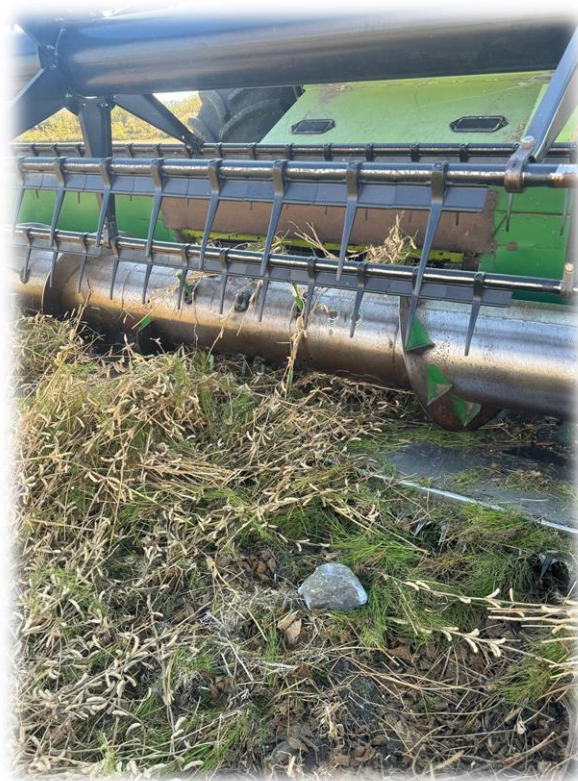


Рис. 6.5. Виявлений за допомогою DJI Air 2S в процесі обмолоту розсип.



Рис. 6.6. Усунення/огородження перешкод виявлених агродроном.

Агродрони дозволяють оцінити стан поля перед збиранням (Рис. 6.4.) і вчасно скоригувати терміни обмолоту для мінімізації втрат, здійснювати

моніторинг в процесі обмолоту для виявлення розсипів та втрат при обмолоті (Рис. 6.5.), а також ідентифікувати місця із підвищеною вологістю або перешкодами, що можуть впливати на продуктивність комбайнів (Рис. 6.6.).

Інформація, отримана з агродронів, допомагає не тільки здійснити оцінку стану ґрунтів, рівня вологості, а ще й створювати карти врожайності та аналізувати ефективність збирання врожаю для планування майбутніх сезонів.

Автоматизований моніторинг дозволяє охоплювати великі площі за короткий час, агродрони можуть працювати в екстремальних умовах (температурні коливання, складний рельєф, забруднені ділянки), а додаткове використання штучного інтелекту та автоматизованих систем навігації знижує ризик людських помилок.

Використання агродронів у сільському господарстві забезпечує комплексний підхід до управління виробництвом, підвищуючи ефективність і точність агрооперацій. Це не лише економія ресурсів та підвищення врожайності, а й важливий крок до сталого та екологічного ведення сільського господарства.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ЙОГО РОЛІ В АВТОМАТИЗАЦІЇ ПОЛЬОТІВ АГРОДРОНІВ

Сільське господарство дедалі частіше використовує передові технології, включаючи штучний інтелект (далі - ШІ), який стає ключовим компонентом в управлінні агродронами. Завдяки ШІ вдається автоматизувати процеси збору та аналізу даних, підвищити ефективність розпилення добрив і ЗЗР та оптимізувати використання ресурсів. Актуальність теми обумовлена зростаючою потребою в зниженні витрат, покращенні врожайності та зменшенні негативного впливу на довкілля.

Дослідження в цій області має великий практичний потенціал для підвищення продуктивності та стійкості сільськогосподарського виробництва, а також збереження довкілля для майбутніх поколінь.

Незалежно від розміру та типу поля, ефективне використання алгоритмів штучного інтелекту для вдосконалення та оптимізації маршрутів польоту агродронів, відкриває нові перспективи:

3.1.1. Моніторинг родючості ґрунтів та стану посівів: Технології цифрового зору дозволяють ідентифікувати до 98% уражених ділянок, що значно перевищує точність традиційних методів.

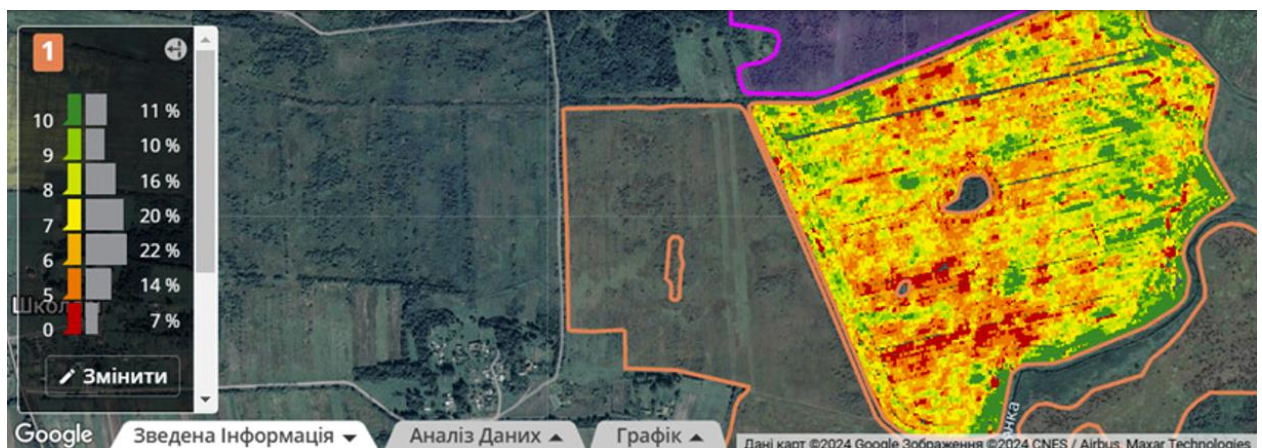


Рис. 7.1. Карта врожайності.

3.1.2. Економія ресурсів: Завдяки ШІ агродрони можуть більш чітко розпізнавати межі полів і коригувати маршрут польоту для зниження витрати заряду на 15–20%.



Рис. 7.2. Створення контуру поля в ПО «[DroneDeploy](#)».



Рис. 7.3. Розрахунок ефективного маршруту польоту в ПО «[DroneDeploy](#)».

The screenshot displays the DJI Fly app interface during a mission. The main view is a satellite map of a field with a green mission area and a blue flight path. The top status bar shows 'Autonomous Flight' and 'GPS Mode'. The top right bar displays battery status (55.6GB Free, 79% 23:58) and signal strength. The bottom status bar shows altitude (A: 390FT, D: 1712FT) and speed (H.S: 22.1MPH, V.S: 0.0MPH, G: -90°). A mission panel on the right shows 'Mission' and 'Map Plan' options.

З метою вивчення поглибленої інтеграції агродронів в технологіях вирощування таких культур як соя та кукурудза, враховуючи швидкість

прийняття рішень ШІ (що зазвичай займає долі секунди), проведено тестування агродрону на орієнтовній площі 500 Га з кількістю полів приблизно ≈ 30 різної конфігурації, з яких ≈ 20 полів досить малої площі (мультиполігони). Завдання для польоту створено як за допомогою спеціалізованого ПО [DroneDeploy](#), так і за допомогою ШІ до якого попередньо завантажено контури полів та їх координати. Результати наступні:



Рис. 7.6. Знімок в момент тестового польоту .



Рис. 7.7. Оптимізований маршрут для переміщення в межах мультиполігону.

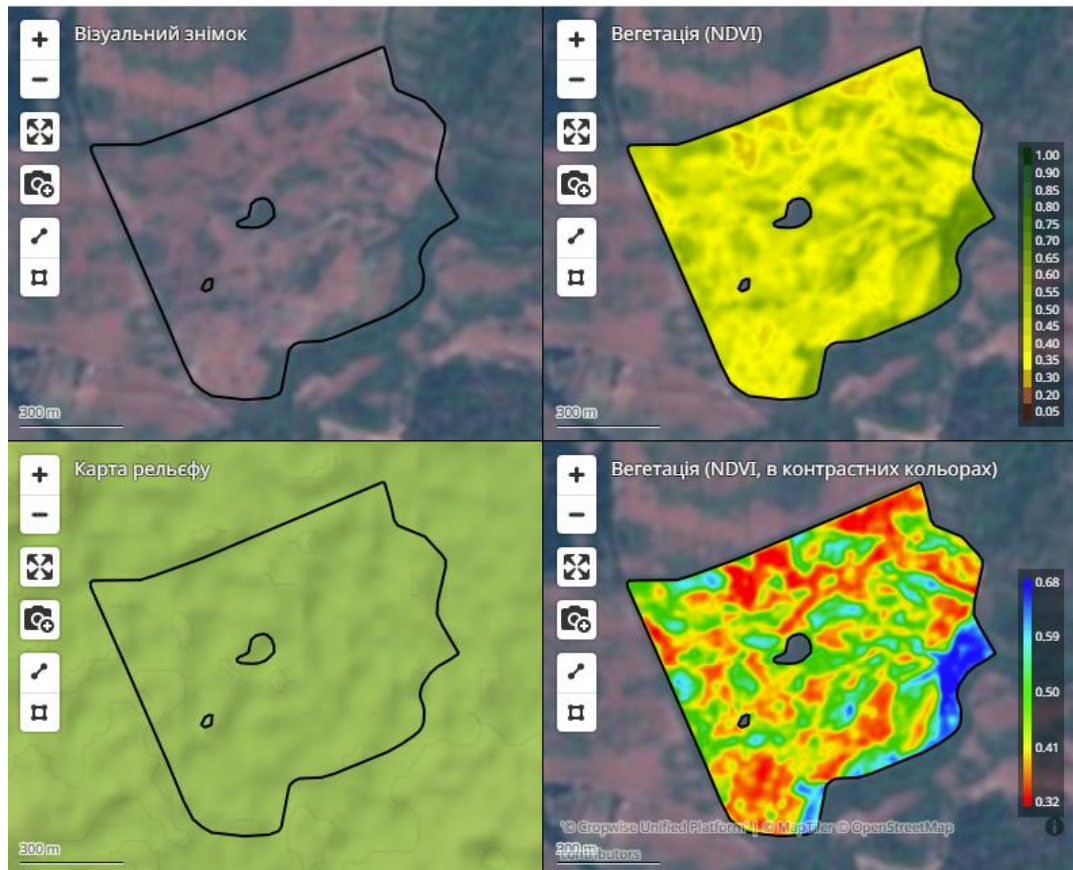


Рис. 7.8. Визначення продуктивних ділянок.

Як показали результати, різниця при плануванні польоту на великих масивах полів майже не помітна, натомість, при розрахунку оптимального маршруту польоту та зупинок для заміни акумуляторів чи підзарядки – при обльоті мультиполігонів чи контролі проблемних ділянок спостерігається:

- час розрахунку та обробки маршруту скорочено на 12% в порівнянні зі вбудованим конфігуратором;
- зменшену загальну кількість зупинок для підзарядки/заміни акумуляторів;
- за допомогою попереднього завантаження знімків NDVI зменшується час для моніторингу родючості ґрунтів та стану посівів, при цьому встановлено: не завжди високі показники NDVI вказують на гарний розвиток рослин в період вегетації. На ділянках з високими показами NDVI зустрічалась велика забур'яненість, яка і вводила в оману супутникові знімки.

ВИСНОВКИ

1. Досліджено, що агродрони відзначаються високим рівнем інтеграції з сучасними системами аналізу та обробки даних, що значно розширює їхні можливості в сільському господарстві. Завдяки вбудованим сенсорам і камерам вони здатні проводити детальний аналіз стану рослин, виявляти уражені ділянки та оцінювати рівень стресу культур.

2. В результаті досліджень проводились на масивах полів компанії ТОВ «ААГ», основним видом діяльності якої є: «вирощування зернових культур (крім рису), бобових культур і насіння олійних культур».

Господарська діяльність ведеться в Київській, Чернігівській, Житомирській, Рівненській, Хмельницькій, Тернопільській, Ів.Франківській, Львівській областях (Рис. 8.1.). Температура повітря середня складає 7°C, опадів в середньому випадає за рік 530 мм. Найбільш низька температура повітря складає -23 0C - це січень місяць, 170 дні на рік становить безморозний період.



Рис. 8.1. Розташування масивів полів ТОВ «ААГ».

Найбільш поширені ґрунти – це чорноземи опідзолені легко суглинисті та дерново-підзолисті ґрунти. Чорні опідзолені ґрунти вміст гумусу в

верхньому горизонті складає 3,0 – 4,0% (80-90 см) з поступовим його зниженням. Дерново-підзолисті бідні на гумус і поживні речовини, вміст гумусу 1,0 – 1,9% (15 – 20 см). В загальному ґрунти сприятливі для вирощування всіх сільськогосподарських культур.

На основі здійснених практичних досліджень, аналітики отриманих за сезон 2024 р. результатів, досягнуто наступної економічної ефективності:

- під час моніторингу агродромом стану розвитку рослин на полях - виявлено просіви, в подальшому провівши спільний з контрагентом (який надавав послуги по посіву) огляд полів, та обстеження даних ділянок з просівом - контрагентом відшкодовано 79 088 грн.;
- під час чергового огляду полів виявлено та зафіксовано різний розвиток рослин кукурудзи через пропуски при внесенні безводного аміаку – контрагенту завдяки записам з камер агродрону доведено ці факти та в подальшому ним відшкодовано 230 643 грн.;
- виявлено необроблені ЗЗР ділянки поля (полоси на всю ширину проходу оприскувача) за які контрагент відшкодував 63 876 грн.;
- витоптування кукурудзи через прохід по новим технологічним коліям за які контрагент відшкодував 280 000 грн.;
- розсипання врожаю сої/кукурудзи зареєстровано 5 інцидентів на суму 130 011 грн, які контрагент відшкодував;
- прозаконтурний обробіток сторонньої ділянки 154 838 грн – з контрагента вираховано за об'єм позаконтурних робіт, вираховано ПММ, а також контрагентом надано компенсацію власнику земельної ділянки,
- неодноразово фіксували людей на крадіжці кукурудзи, по усіх випадках виклали правоохоронні органи, гроші не стягували;
- завдяки упередженим діям згідно аналізу даних моніторингу недопущено нанесенню можливих збитків компанії для відшкодування контрагентам за ремонт пошкоджених жаток на орендних комбайнах.

Загальна сума зекономлених компанії коштів склала 938 456 грн, взявши до уваги, що пілотування виконувалось одним співробітником з ЗП у розмірі 21 000 грн та вартістю даного агродрону у 45 000 грн – економічний ефект загалом вражає.

3. В результаті отриманих під час польотів даних, визначено доцільність додатково обробляти отриману інформацію за допомогою алгоритмів штучного інтелекту - це надає змогу прогнозувати розвиток хвороб, оцінювати ефективність агротехнічних заходів і вдосконалювати стратегії захисту рослин.

Практичні випробування підтверджують, що агродрони оснащені передовими навігаційними системами та камерами, дозволяють отримувати детальні візуальні дані в різних спектральних діапазонах з прив'язкою до геокоординат. Це забезпечує точний і ефективний моніторинг полів, сприяє підвищенню точності прогнозів урожайності та оптимізації агротехнологічних процесів.

Таким чином, використання агродронів не лише покращує контроль за станом посівів, а й відкриває можливості для впровадження принципів точного землеробства, підвищуючи продуктивність господарств та сприяючи раціональному використанню ресурсів.

4. Встановлено, що інтеграція штучного інтелекту в управління агродронами відкриває ще більш широкі перспективи для точного землеробства. Вона дозволяє доволі зменшити витрати, покращити врожайність і забезпечити екологічність процесів. Доцільно активніше впроваджувати системи машинного навчання та нейронних мереж у агротехнологічні процеси.

Вікова проблема неоднорідності родючості ґрунтів за допомогою ІІІ та наших технологій дозволяє за невелику кількість сівозмін врахувати локальні значення родючості, відповідно їх компенсувати доданням добрив, та в коротко часовій перспективі досягти кращої однорідності.

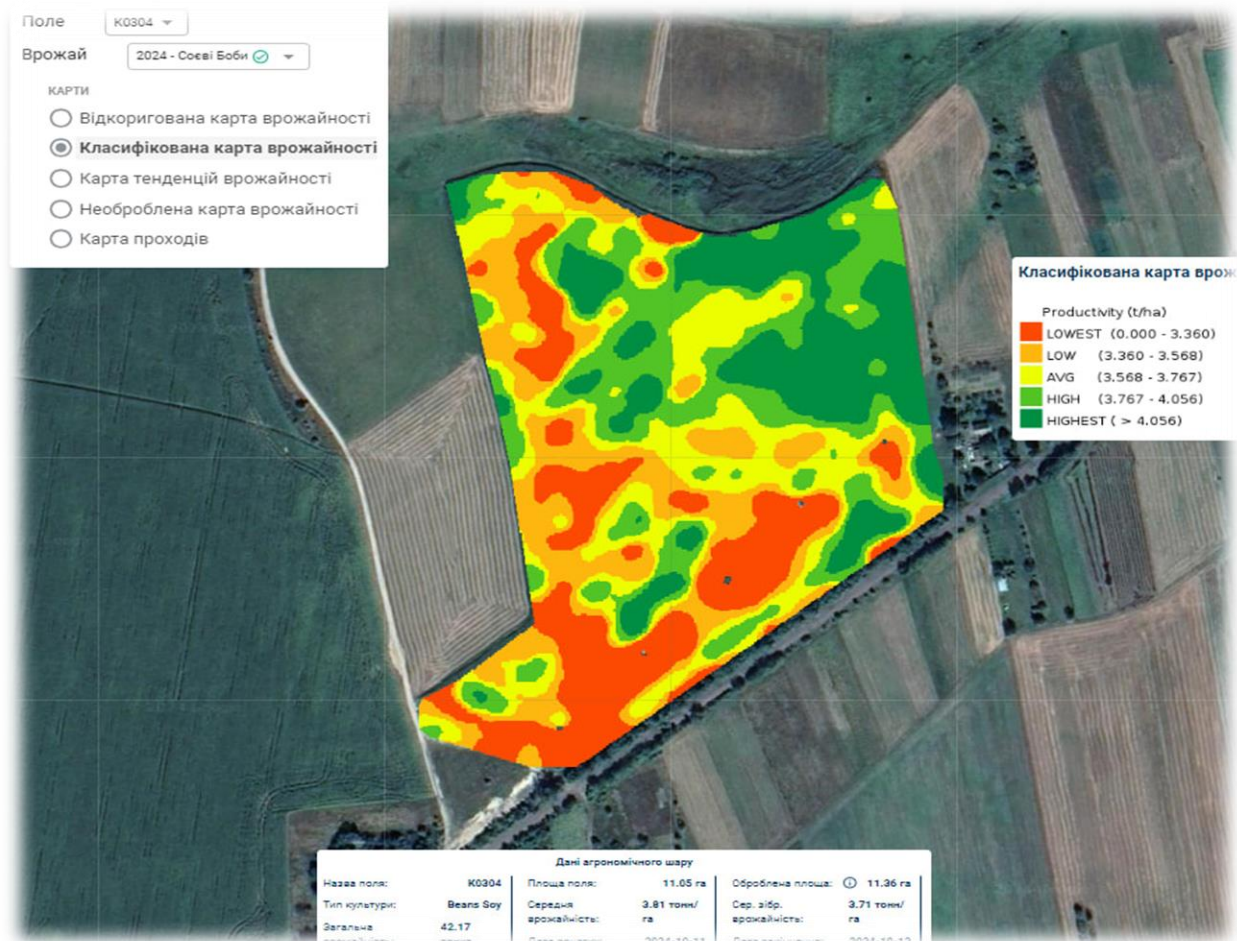


Рис. 8.2. Моніторинг неоднорідності родючості ґрунту.

Штучний інтелект у поєднанні з агродронами стає не просто інструментом оптимізації, а основою трансформації сільського господарства. Економія витрат, підвищення врожайності та зменшення впливу на довкілля роблять ці технології ключовими для сталого розвитку агробізнесу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ачасов А. Б., Ачасова А. О., Тітенко Г. В., Селіверстов О. Ю., Сєдов А. О. Щодо використання БПЛА для оцінки стану посівів // Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна. сер. Екологія. 2015. вип. 13. С. 13-18.
2. Білінська В. Сучасні інноваційні технології в сільському господарстві: основна характеристика та перспективи впровадження. Вісник Київського національного університету ім. Т. Шевченка. 2015. № 7 (172). С. 74- 80.
3. Горобець Н. М. Напрямки діджиталізації аграрного виробництва. Economy, finance, law: current problems and development prospects: collective monograph. Anisiia Tomanek OSVČ. Prague Czech Republic. 2020. p. 5-15.
4. Дрони vs. самохідні обприскувачі: рахуємо економіку... Електронний ресурс. Доступно за адресою: <https://www.growhow.in.ua/ahrodrony-dlia-resursooshchadnykh-tekhnohiiy-rakhuemo-perevahy/>
5. DJI Agriculture Annual Report Finds the Global Agricultural Drone Industry is Booming Електронний ресурс. Доступно за адресою: https://www1.djicdn.com/cms_uploads/ckeditor/attachments/9171/03e81f9a23cf4df447b66c91c43d929a.pdf
6. How Drones Can Be Used In Agriculture? Електронний ресурс. Доступно за адресою: <https://www.dronedeploy.com/blog/how-to-use-dronedeploy-during-the-growing-season>
7. Штучний інтелект і дрони дозволять стежити за фермами на мікрорівні. Електронний ресурс. Доступно за адресою: <https://superagronom.com/news/6209-shtuchniy-intelekt-i-droni-dozvolyat-stejiti-za-fermami-na-mikrorivni>
8. Кваліфікаційна робота на тему «Удосконалення технології хімічного захисту сільськогосподарських рослин з використанням агродронів» Доступно за адресою: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/45684/1/dyplom_Maika_O_2024.pdf.pdf
9. Огляд агродронів українського виробництва. Доступно за адресою: <https://www.smartfarming.ua/ohlyad-ahrodroniv-ukrayins-koho-vyrobnytstva-chastyna-1/>
10. Топ виробників і дистриб'юторів в Україні. Доступно за адресою: <https://superagronom.com/blog/1044-kupiti-chi-vinaynyati-agrodron-top-virobnikiv-i-distribyutoriv-v-ukrayini>

Огляд літературних джерел по даній тематиці:

1. Застосування агродронів у сфері агропромислового комплексу:
 - DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2019.10.010 (продуктивність дронів у порівнянні з наземними машинами).
 - DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127825 (економія ресурсів завдяки агродронам).
 - DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2021.107009 (точність внесення).
 - DOI: 10.3390/s21186182 (збір даних агродронами).
 - DOI: 10.1016/j.compag.2021.107203 (використання big data).
2. Застосування ШІ в точному землеробстві:
 - DOI: 10.1016/j.compag.2020.105951: Аналіз алгоритмів машинного навчання для ідентифікації шкідників та хвороб.
 - DOI: 10.3390/agriculture12020234: Використання нейронних мереж для автоматизації дронів при обробці великих площ.
3. Оптимізація роботи дронів:
 - DOI: 10.1016/j.rse.2022.112892: Використання ШІ для обробки супутникових і дронових знімків.
 - DOI: 10.3390/su13094901: Роль ШІ у скороченні витрат на обприскування.
4. Збір і аналіз даних з дронів:
 - DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2021.107015: Ефективність ШІ у визначенні точних зон внесення добрив.