

## Програма з аграрного і сільського розвитку (АГРО)

### Приклади використання БПЛА в агровиробництві та дослідженнях

**Розробник:**

Микола Биков

Короткостроковий консультант Програми з  
аграрного і сільського розвитку  
(АГРО)

**Координатор:**

Олександр Приходько

Менеджер з розвитку аграрних ринків  
Програми з аграрного і сільського  
розвитку (АГРО)

Київ — 2025

*Програма АГРО — це семирічний проєкт міжнародної технічної допомоги, метою якого є прискорення економічного розвитку сільських громад України, що потребують найбільшої підтримки, шляхом удосконалення управління в аграрному секторі. Програма фінансується Урядом США та впроваджується компанією Chemonics International.*

# ПЛАН

<b>Агродрони в сучасному господарстві: досвід впровадження та виклики .....</b>	<b>3</b>
<b>Моніторинг полів з використанням дронів.....</b>	<b>10</b>
<b>Застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у сільському господарстві: аналіз досліджень.....</b>	<b>15</b>
Оцінка врожайності кукурудзи (Zhang et al., 2020).....	15
Селекція сої в умовах водного дефіциту .....	16
Підрахунок сходів кукурудзи.....	18
<b>ВИКОРИСТАНІ ТЕХНОЛОГІЇ.....</b>	<b>19</b>
<b>ОБМЕЖЕННЯ ТА ВИКЛИКИ .....</b>	<b>19</b>
<b>ПРАКТИЧНІ ВИСНОВКИ .....</b>	<b>19</b>
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>20</b>

## Агродрони в сучасному господарстві: досвід впровадження та виклики

Розроблено на основі матеріалу «Чому аграрії бояться купувати АГРОДРОНИ? Про ризики, вартість, операторів, ефективність DJI T-50»



Джерело:

[https://www.youtube.com/watch?v=CMyJTFlnMXc&ab\\_channel=DRONEAGROFLOT](https://www.youtube.com/watch?v=CMyJTFlnMXc&ab_channel=DRONEAGROFLOT)

### Відомості про автора

**Миколай Гадіцький** – фермер, підприємець, новатор в агросекторі, представник сімейного господарства «Золота Рибка» та мережі АЗС *Goldfish*. Господарює на 1300 га зрошувальних земель, застосовує агродрони.

### Вступ

Сучасне аграрне виробництво перебуває у стані глибокої технологічної трансформації. Одним із провідних напрямів цього процесу є впровадження безпілотних літальних апаратів (агродронів) у систему захисту рослин і внесення агрохімікатів. Використання дронів дозволяє знизити витрати, мінімізувати пошкодження посівів, підвищити оперативність виконання технологічних операцій.

На основі практичного досвіду господарства «Золота Рибка» та компанії «Дрон Агрофлот» розглянемо особливості переходу від традиційних обприскувачів до агродронів, а також економічні, технологічні та організаційні аспекти їхнього застосування.

## Початок застосування агродронів

Перші кроки господарств у використанні дронів були пов'язані з моделями DJI T-30, які виявилися недостатньо продуктивними для промислових обсягів. Вирішальним моментом став вихід на ринок моделі **T-50**, що забезпечує продуктивність **200–350 га на добу**, залежно від розміру та конфігурації поля, а також рівня підготовки пілотів.

Практичним поштовхом до впровадження стало вимушене використання дрона на площі **640 га пшениці** після виходу з ладу самохідного обприскувача. Отримані результати підтвердили ефективність технології і сприяли подальшому масштабуванню її застосування. Моделі **DJI Agras T40 та T50**: **T40**: бак 40 л, ширина захвату до 11 м, продуктивність 200–250 га/день. **T50**: бак 50 л, подвійний розпилювач, потужні двигуни, продуктивність до 320 га/день.

## Порівняння

Показник	T-30	T-50
Продуктивність за 10 год	120–200 га	230–320 га
Норма робочого розчину	7,5–10 л/га	7,5–10 л/га
Вартість комплекту	~25–27 тис. \$	~40–50 тис. \$
Витрати на ремонт після падіння	12–43 тис. грн	12–43 тис. грн

## Ефективність та економіка застосування

На прикладі десикації в господарстві оброблялося 8–9 тис. га щороку, бюджетом понад **2,4 млн грн**. Використання дронів показало значне зниження витрат і оптимізацію процесу. Витрати на ремонт та обслуговування дронів відносно невеликі: навіть після падінь заміна основних деталей обходилася в межах **12–43 тис. грн**, що не є критичним у масштабах господарства. У середньому за зміну агродрон **T-50** може обробити **230–320 га**, що співставно з продуктивністю обприскувача.

## Інфраструктура промислового застосування

Використання агродронів у масштабах середнього чи великого господарства неможливе без правильної організації допоміжних процесів.

Основні елементи інфраструктури:

- **Мобільні маточники** (ємності 2–3 м<sup>3</sup> для розчину). Забезпечують швидке заправлення дронів без повернення до центральної бази.
- **Генератори та зарядні станції**. Акумулятори дронів потребують постійного підзаряджання: комплект із 3–4 батарей дозволяє працювати без зупинок.
- **Фільтри та насоси** для приготування робочих розчинів.
- **Мобільні сервісні комплекти** – запасні пропелери, датчики, атомайзери.

Як зазначає М. Гадіцький: «Если у вас там не два-три дрона, хороший передвижной свой маточник там классный, да, там два-три куба на одной, если мы говорим про промышленное внесение, да, то есть оптимизированное, хорошее, удобное».

У Бразилії та Китаї вже давно використовуються **мобільні фургони** з вмонтованими баками та генераторами. Така модель швидко поширюється і в Україні.

## Науковий супровід і полігон для тестів

Важливою особливістю впровадження нових технологій є їхня апробація в реальних польових умовах. Господарство «Золота Рибка» перетворило свої 1300 га зрошуваних земель на своєрідний **дослідницький полігон**, де тестуються норми внесення, види препаратів, різні схеми захисту.

До роботи залучено **кафедру агрохімії та ґрунтознавства Миколаївського національного університету**, яка здійснює науковий супровід. Це дозволяє:

- перевіряти ефективність препаратів на контрольних ділянках,
- проводити експерименти з різними нормами внесення,
- отримувати підтвердження результатів у науково обґрунтованому форматі.

М. Гадіцький зазначає: «Каждый человек может приехать к нам в хозяйство, посмотреть, как это работает, убедиться на примере контрольных ділянок».

## Людський фактор

Пілоти можуть опанувати техніку за 2–3 тижні. Проте важливо, щоб вони мали **базові агрономічні знання**: розуміння відмінностей між гербіцидами, фунгіцидами, інсектицидами та ризиків для сусідніх культур.

Автор підкреслює: «Первоначальна боязнь людей – 100% минус. Для чого ми это всё назвали полигоном? Чтобы снять ширму и показать, что оно работает».

## Агрономічні норми внесення

Одним із головних питань є різниця у нормах робочого розчину.

- **Традиційні обприскувачі**: 150–200 л/га (наприклад, фунгіцид «Піктор»).
- **Агродрони**: 7,5–10 л/га завдяки технології ультрамалого об'єму.

Це стало можливим завдяки:

- **атомайзерам**, які формують дрібнодисперсні краплі розміром 50–100 мкм;
- рівномірному розподілу препарату за рахунок повітряного потоку від пропелерів;
- зменшенню втрат робочого розчину при транспортуванні.

**Технологічні особливості**: Дрони оснащені атомайзерами з можливістю регулювання мікронного розміру крапель, що забезпечує ефективність навіть при нормах внесення **7,5–10 л/га**. У T-50 застосовано чотири антени для стабільного зв'язку, дальність відеопередачі сягає 5 км. Пілоти використовують допоміжне обладнання (анемометри, рН-метри) для контролю умов внесення.

М. Гадіцький пояснює: «Процесс десикации работает. Действующее вещество, мелкодисперсные капли. Тут атомайзер технология. Микроны можно регулировать спокойно под задание».

## Ринок, ціни та конкуренція

В умовах війни офіційного представництва DJI в Україні немає, однак сервісні компанії забезпечують ремонт та постачання запчастин. Офіційна гарантія передбачає тижневий

розгляд випадків у Європі, але в сезон господарства потребують відновлення працездатності дронів протягом 24 годин.

Формування ціни на послуги внесення дронами варіює від **200 до 550 грн/га**, що пояснюється відмінностями між малими ФОПами та великими сервісними компаніями. Основний критерій для аграрія – не лише ціна, а й якість сервісу, швидкість ремонту та рівень підготовки персоналу.

### Приклади з практики

Щороку господарство обробляє 8–9 тис. га під десикацію. Традиційний бюджет таких робіт становив понад **2,4 млн грн**. Використання дронів дозволяє скоротити:

- витрати води у 15–20 разів (10 л/га проти 150–200 л/га),
- витрати пального (робота генератора проти трактора з баком на 3–5 тис. л),
- втрати врожаю від витоптування.

### Розрахунок окупності

Орієнтовна вартість комплекту DJI Agras T50 (з запасом батарей та обладнанням) – **40–50 тис. \$**. При середній вартості послуги **300 грн/га** (ринковий діапазон 200–550 грн) дрон окуповується за 1–2 сезони при обробці 1500–2000 га.

### Порівняльна таблиця економіки

Параметр	Дрон DJI Agras T50	Самохідний обприскувач
Собівартість 1 га внесення	150–200 грн	300–400 грн
Витрати пального	низькі (генератор 35–40 л/10 год)	високі (100–150 л/день)
Витрати води	10 л/га	150–200 л/га
Втрати врожаю через витоптування	відсутні	3–5% на високорослих культурах
Амортизація обладнання	низька	висока

## Дрони у малих і середніх господарствах

Для господарств площею **100–500 га** купівля дорогого самохідного обприскувача є економічно необґрунтованою. У такому випадку дрони стають оптимальним вибором.

Особливу роль відіграє **ринок уживаних дронів**:

- ціна варіює від **5 до 15 тис. \$**,
- цього достатньо, щоб обслуговувати 200–400 га без залучення сторонніх сервісних компаній,
- фермер отримує незалежність від ринкових коливань цін на послуги (200–600 грн/га).

М. Гадіцький наголошує: «На 300 га інвестиція в 5–8 тис. \$ не є надто великою сумою, щоб почати впроваджувати технологію».

Переваги для малих господарств:

- можливість працювати у зручний час,
- гарантія вчасного внесення,
- мінімізація втрат урожаю.

## Висновки

1. Агродрони вже сьогодні є **повноцінною альтернативою обприскувачам** і довели свою ефективність у промислових масштабах.
2. Вони дозволяють зменшити витрати на ЗЗР, воду, паливе та обслуговування техніки, водночас підвищуючи оперативність обробітку.
3. Для широкого впровадження потрібна системна робота з навчанням пілотів, розвитком сервісної інфраструктури та залученням науки.
4. Ринок дронів в Україні перебуває на етапі становлення, відсутня цінова регуляція, але саме конкуренція і практика фермерів формуватимуть прозорі правила.
5. Майбутнє технології – за інтеграцією дронів у повний виробничий цикл господарств, особливо середніх і малих.



## Порівняння дронів і обприскувачів

Параметр	DJI Agras T30	DJI Agras T50	Самохідний обприскувач (John Deere, Horsch)
Об'єм бака	30 л	50 л	3000–5000 л
Продуктивність за 10 год	120–180 га	230–320 га	250–350 га
Норма внесення	7,5–15 л/га	7,5–10 л/га	150–200 л/га
Витрати води	дуже низькі	дуже низькі	високі
Витоптування посівів	відсутнє	відсутнє	до 5%
Вартість	25–27 тис. \$	40–50 тис. \$	200–350 тис. \$
Сезонне обслуговування	дешево	дешево	дорого

## Моніторинг полів з використанням дронів

**Виступ:** ІХ Міжнародна науково-практична конференція «ОРГАНІЧНЕ АГРОВИРОБНИЦТВО: ОСВІТА І НАУКА»



*Джерело:* <https://youtu.be/qjo1tvWh2sk?si=WD5Ib8M118LY14Dd>

**Автор:** доцент кафедри ґрунтознавства та землеробства Поліського національного університету, к.с-г.н Микола Кравчук

У сучасному сільському господарстві, зокрема в органічному землеробстві, моніторинг стану полів є визначальним чинником для забезпечення сталого розвитку, підвищення врожайності та збереження біорізноманіття. Впровадження дронів як інструменту агроскаутингу, збору даних і оперативного реагування на проблеми стало одним із найефективніших напрямків цифрової трансформації агровиробництва. Цей розділ розкриває ключові підходи, переваги, ризики та практичні аспекти моніторингу полів із використанням безпілотних літальних апаратів.

### **Значення та завдання моніторингу полів**

Моніторинг полів із застосуванням дронів дає змогу своєчасно ідентифікувати:

- проблеми росту та розвитку рослин;
- дефіцит елементів живлення;
- появу шкідників, хвороб, бур'янів;
- зміни стану ґрунтів;
- локальні аномалії чи пошкодження посівів.

В умовах органічного виробництва, де спектр дозволених засобів захисту обмежений, **регулярний моніторинг** є запорукою ефективного управління посівами та своєчасного реагування на виклики.

## Технологічні рішення моніторингу

### Типи дронів

- **Мультироторні дрони (квадрокоптери, гексакоптери):** ідеальні для оперативного й детального спостереження за станом полів, точкового виявлення проблем.
- **Літаки-дрони (літакового типу):** забезпечують моніторинг великих площ, мультиспектральну зйомку, створення ортофотопланів, тривалу автономність у польоті.

### Оснащення дронів

- **Мультиспектральні камери:** надають дані для аналізу вегетаційних індексів (NDVI, GNDVI), виявлення дефіцитів елементів живлення, визначення стресових ділянок.
- **Тепловізійні камери:** дають змогу діагностувати водний стрес, нерівномірність зрошення, локальні проблеми з вологою.
- **Фотокамери високої роздільної здатності:** використовуються для створення цифрових моделей рельєфу, топографічних карт, ортофотопланів.

### Програмне забезпечення

- **Геоінформаційні системи (ГІС):** застосовуються для обробки даних, формування цифрових карт стану полів.
- **Платформи агромоніторингу:** дозволяють аналізувати результати обльотів, формувати карти завдань для диференційованого внесення препаратів.

### Основні завдання моніторингу дронами

- **Скаутинг і агромоніторинг:** швидкий обліт полів для виявлення шкідників, хвороб, бур'янів та інших проблем.
- **Контроль стану посівів:** моніторинг зон з дефіцитом елементів живлення, стресових ділянок, динаміки вегетації.

- **Оцінка стану ґрунтів і територій:** створення 3D-моделей місцевості, картограм, аналіз водного режиму, ризиків ерозії.
- **Оперативність і ефективність:** дрони забезпечують швидке отримання інформації навіть у складних умовах, що недоступно для традиційних засобів спостереження.

### Практичні переваги дронного моніторингу

- **Економія часу та ресурсів:** дрони дозволяють обстежити великі площі за короткий час із мінімальними витратами.
- **Висока точність:** завдяки детальній зйомці (роздільна здатність — до сантиметрів) можливо виявляти навіть дрібні аномалії, недоступні для супутникового моніторингу.
- **Збереження врожаю:** мінімізація пошкоджень посівів, відсутність необхідності виходу на поле наземною технікою.
- **Підвищення врожайності та якості:** своєчасна локалізація і вирішення проблем забезпечують стабільне підвищення продуктивності.

### Практичне застосування та кейси

Моніторинг полів за допомогою дронів охоплює кілька напрямків:

- **Літаки-дрони** — використовуються для моніторингу великих площ, мультиспектральної зйомки, охоронних функцій (контроль пожеж, крадіжок), створення ортофотопланів для якісної оцифровки територій.
- **Мультироторні дрони** — призначені для оперативного моніторингу, точкових обмірів полів, створення цифрових моделей рельєфу. Дозволяють швидко реагувати на проблеми, формувати карти для локального внесення біопрепаратів, біогербіцидів, трихограми (цей напрямок вже забезпечує до 50% прибутку сервісних компаній).
- **Компактні дрони (наприклад, Mavic 2/4 mini, вага від 250 г):** підходять для аерофотозйомки, побудови ортофотопланів та цифрових моделей рельєфу для аналізу структури поля й ґрунту.
- **Порівняння із супутниковим моніторингом:** дрони на висоті 60 м забезпечують набагато більшу деталізацію (роздільна здатність 1–2 см), порівняно з супутниками (10–30 м), що критично для точкової діагностики. Окрім цього, дрони надають гнучкість щодо часу й частоти обльотів.

## Ризики та обмеження

- **Технічні ризики:** можливість поломки чи втрати дрона, необхідність ремонту під час сезону.
- **Вартість впровадження:** висока ціна обладнання може стримувати поширення, проте окупність часто досягається завдяки значній економії ресурсів.
- **Підготовка персоналу:** успішний моніторинг вимагає спеціальної підготовки операторів, оскільки помилки можуть призвести до втрат даних чи самого апарата.

## Альтернативи і доповнення

- **Супутникові знімки:** використовуються як додаткове джерело інформації, проте мають нижчу деталізацію.
- **Наземні засоби моніторингу:** менш ефективні та повільні, особливо на великих чи важкодоступних ділянках.

## Висновки

Моніторинг полів із використанням дронів є сучасним і ефективним інструментом для органічного та традиційного землеробства. Дрони забезпечують високоточний і своєчасний аналіз стану посівів і ґрунтів, дозволяють виявляти проблеми на ранніх стадіях, сприяють підвищенню врожайності та якості продукції, а також економії ресурсів і підтриманню екологічної рівноваги. Гнучкість, мобільність і економічна доцільність роблять дрони стандартом майбутнього для аграрного сектору.

## Цитати автора

- • «Дрони дозволяють отримувати ті унікальні можливості і переваги...»
- • «В органічному виробництві моніторинг критичний — для виявлення дефіцитів елементів живлення, мікроелементів, відстеження різних етапів вегетації.»
- «Моніторинг стану посівів для органічного він просто ключовий...»
- «Дрони забезпечують швидке отримання інформації навіть у польових умовах, куди важко дістатися наземною технікою.»
- «Дрони для скаутингу, агроскаутингу, моніторингу і також інші рішення які... виконують ті чи інші дії...»
- «Використання дронів з тепловізійними чи мультиспектральними камерами дозволяє ідентифікувати проблему і на неї швиденько зреагувати...»

**Таблиці з даними**

<b>Показник</b>	<b>Значення</b>
Роздільна здатність супутника	10–30 м
Роздільна здатність дрона	До 1–2 см
Економія води при використанні дронів	до 30 разів
Економія витрат на підвезення	до 8 разів
Прибуток сервісних компаній від внесення трихограми	до 50%

# Застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у сільському господарстві: аналіз досліджень

У контексті глобальних викликів у сільському господарстві — зміни клімату, нестача води, зростаючі вимоги до врожайності — дедалі більше значення набувають інноваційні технології моніторингу та управління аграрними процесами. Однією з таких технологій є використання безпілотних літальних апаратів, які дають змогу отримувати точну інформацію про стан посівів, ріст рослин і результати агротехнічних заходів.

Цей звіт аналізує три наукові дослідження, що демонструють потенціал БПЛА у трьох основних напрямках: оцінка врожайності, моніторинг ранніх сходів та автоматизований відбір культур у селекції. Документ містить аналіз підходів, точності моделей, обмежень і практичної користі зазначених технологій для сучасного агровиробництва.

## ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ

### Оцінка врожайності кукурудзи (Zhang et al., 2020)

**Джерело:** Estimation of maize yield and effects of variable-rate nitrogen application using UAV-based RGB imagery/Оцінка врожайності кукурудзи та впливу внесення змінної норми азоту за допомогою RGB-зображень на основі БПЛА  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S153751101930875X>

У цьому дослідженні було вивчено можливість використання звичайної RGB-камери на борту БПЛА для оцінки врожайності кукурудзи. Протягом трьох вегетаційних фаз збирався фотоматеріал на площі 27 гектарів. Знімки оброблялись із застосуванням індексу ExG (Excess Green Index), який підкреслює інтенсивність зеленого кольору як показника вегетативної маси.

**Excess Green (ExG)** — це індекс “надлишкової зелені”, який використовується для автоматичного виділення рослинності на зображеннях, отриманих із безпілотних літальних апаратів (БПЛА), цифрових камер або супутників у **видимому (RGB)** діапазоні.

### Застосування (ExG)

- **Виділення рослинності** на знімках у видимому спектрі, коли немає мультиспектральних або NIR-камер.
- **Моніторинг сходів** — визначення відсотка покриття рослинами на ранніх фазах росту.
- **Оцінка густоти посівів** та порівняння різних ділянок поля.

- **Розмежування рослин і ґрунту** при підготовці зображень для машинного навчання або класифікації (AI/ML).

#### **Ключові аспекти:**

- Використано БПЛА із RGB-камерою для зйомки 27-га ділянки кукурудзи на висоті ~100 м у трьох фазах росту.
- Застосовано індекс Excess Green (ExG) для побудови лінійних моделей, які передбачають врожайність залежно від площі вибірки (21, 106, 1058 м<sup>2</sup>).
- Оцінка точності виконувалась через R<sup>2</sup>, F-тест та MAPE (середня абсолютна помилка в процентах).

**Висновок:** БПЛА-знімки з ExG-індексом дозволяють досить точно прогнозувати врожайність, а також аналізувати ефекти варіативного внесення азоту. Автори дійшли висновку, що простий індекс зеленості дозволяє пояснити значну частину варіації врожайності. Як зазначено в дослідженні: "Наші результати показали, що зображення з RGB-камер із розрахованим індексом ExG можуть пояснити від 71,3 % до 88,9 % варіації врожайності залежно від масштабу вибірки" (Zhang et al., 2020). Це вказує на високу ефективність недорогих технологій БПЛА навіть без складних сенсорів.

### **Селекція сої в умовах водного дефіциту**

**Джерело:** Yield estimation of soybean breeding lines under drought stress using unmanned aerial vehicle-based imagery and convolutional neural network/ Оцінка врожайності селекційних ліній сої в умовах посухи з використанням зображень на основі безпілотних літальних апаратів та згорткової нейронної мережі  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1537511021000180>

Дослідники застосували мультиспектральні знімки з БПЛА для вивчення селекційних ліній сої в умовах посухи. Дані збиралися протягом вегетаційного періоду кожні два тижні. Основна мета — виявлення генотипів, які демонструють найвищу врожайність у стресових умовах. Для аналізу використовувались глибинні нейронні мережі (CNN), які обробляли зображення та автоматично виділяли ознаки, що корелюють із врожайністю.

**Нейронні мережі (CNN, Convolutional Neural Networks)** — це один із найважливіших типів штучних нейронних мереж, спеціально розроблений для обробки зображень, відео та просторових даних.

Застосувань (CNN, Convolutional Neural Networks):



1. Класифікація рослинності — розпізнавання культур (пшениця, кукурудза, соняшник) за зображеннями з БПЛА або супутників.
2. Виявлення бур'янів і шкідників — автоматичне визначення проблемних ділянок на полі.
3. Оцінка стану посівів — аналіз кольору, структури листя, текстури для прогнозу стресу або хвороб.
4. Сегментація зображень — поділ знімку на класи: рослинність, ґрунт, вода, тінь, техніка.
5. 3D-аналіз і моделювання — побудова цифрових моделей поверхні та висот рослинності на основі знімків.

**Ключові аспекти:**

- БПЛА-зйомки + CNN для оцінки врожайності селекційних ліній сої в умовах посухи.
- використання БПЛА-мультиспектральних знімків, збір зображень кожні 2 тижні, побудова вторинних ознак (image features) для автоматичної селекції проростків.
- Результати: модельні рішення відбору (на основі зображень) виявилися не гірші за ручний відбір; до 30 % ресурсів можна зекономити при однаковій якості відбору.

**Висновок:** У результаті модель на основі машинного навчання продемонструвала кращу ефективність порівняно з традиційною оцінкою вручну: "Метод машинного навчання перевершив ручну оцінку у виявленні найпродуктивніших генотипів сої в умовах водного дефіциту"

Цей підхід відкриває перспективи для масштабного застосування БПЛА у польовій фенотипізації та селекції сільськогосподарських культур. БПЛА-дані разом із CNN дозволяють автоматизувати селекцію в соєвій селекції під час стресових умов, з потенціалом економії ресурсів.

## Підрахунок сходів кукурудзи

**Джерело:** Early corn stand count of different cropping systems using UAV-imagery and deep learning/Підрахунок ранніх посівів кукурудзи різних систем вирощування з використанням БПЛА-зображень та глибокого навчання  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169921002313>

Дослідження було зосереджене на ранньому моніторингу польових сходів кукурудзи. Знімки здійснювались приблизно через 14 днів після посіву. Використовувалась RGB-камера, а для обробки зображень — нейромережна архітектура U-Net, яка дозволила ідентифікувати та підрахувати окремі рослини на полі.

**U-Net** — це спеціалізована **нейромережна архітектура**, створена для **сегментації зображень**, тобто поділу кожного пікселя зображення на певний клас (наприклад, «рослина», «грунт», «вода», «тінь», «бур'ян» тощо).

Архітектура U-Net широко використовується в агроаналітиці, медицині, картографії та дистанційному зондуванні, зокрема для обробки **аерофотознімків із БПЛА та супутників**

### Ключові аспекти:

- Застосували U-Net для сегментації рослин та підрахунку сходів.
- Точність ( $R^2$ ) оцінювання:
  - мінімальний обробіток: 0.95
  - no-till із соєвим ротаціями: 0.94
  - no-till із покривними культурами: 0.92

### Висновок:

БПЛА-технології + глибинні моделі (Deep Learning) успішно використовуються для підрахунку сходів, водночас продуктивність варіює залежно від умов ґрунту. Висока точність виявляється залежною від кількості рослинних залишків: чим більше залишків, тим нижча точність. Було протестовано різні системи обробітку ґрунту, зокрема мінімальний обробіток, no-till із ротацією сої та no-till з покривними культурами. Точність моделі була висока: "Модель підрахунку сходів, заснована на зображеннях із БПЛА, досягла коефіцієнта детермінації ( $R^2$ ) до 0,95 у випадку мінімального обробітку ґрунту" (Vong et al., 2021). Водночас, було зафіксовано незначне зниження точності при великій кількості рослинних решток на поверхні ґрунту.

## ВИКОРИСТАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

**Безпілотні літальні апарати (БПЛА)** — компактні дрони з RGB або мультиспектральними камерами.

**Індекси вегетації (ExG, NDVI)** — для аналізу щільності рослинності та виявлення біомаси.

**Глибинне навчання (CNN, U-Net)** — ефективні для автоматизованої обробки зображень, класифікації та сегментації об'єктів.

**Регресійні моделі** — класичний статистичний підхід до прогнозування на основі візуальних даних.

## ОБМЕЖЕННЯ ТА ВИКЛИКИ

**Контекстна залежність точності:** Моделі вимагають адаптації під локальні умови: тип ґрунту, культура, клімат.

**Погодні впливи:** Захмареність або сильне освітлення знижують якість зображень.

**Фонові перешкоди:** Рослинні рештки (особливо при no-till) можуть ускладнювати точне виявлення сходів.

**Обмеження RGB-камер:** Вони не можуть виявити спектральні характеристики, які доступні в мультиспектрі.

**Необхідність високих обчислювальних ресурсів** для обробки великих масивів зображень.

## ПРАКТИЧНІ ВИСНОВКИ

**БПЛА — ефективний інструмент точного землеробства.** Вони забезпечують оперативність, масштабованість та точність аналізу.

**Глибинне навчання дозволяє автоматизувати складні завдання,** зокрема селекцію та підрахунок рослин.

**Індекси вегетації можуть бути використані з недорогими камерами,** що робить технологію доступною для середніх господарств.

**Системи можна інтегрувати у щоденні агрономічні практики,** забезпечуючи прийняття рішень на основі об'єктивних даних.

## ВИСНОВКИ

Аналіз трьох фундаментальних досліджень у сфері застосування БПЛА в агровиробництві дозволяє зробити такі узагальнення:

**Оцінка врожайності кукурудзи та впливу внесення змінної норми азоту за допомогою RGB-зображень на основі БПЛА:** Робота довела, що навіть звичайні RGB-камери, встановлені на БПЛА, можуть бути ефективним інструментом для оцінки врожайності кукурудзи. Завдяки використанню індексу ExG та простих регресійних моделей вдалося досягти точності  $R^2$  до 0,89. Це відкриває шлях до бюджетного моніторингу врожайності для фермерів, які не мають доступу до складної мультиспектральної апаратури.

**Оцінка врожайності селекційних ліній сої в умовах посухи з використанням зображень на основі безпілотних літальних апаратів та згорткової нейронної мережі:** Унікальність цього дослідження полягає в інтеграції БПЛА-даних із глибинним навчанням для селекції культур. CNN-моделі змогли автоматично відібрати найбільш продуктивні генотипи сої в умовах водного стресу з точністю понад 85 %. Це не лише знижує потребу в ручному польовому аналізі, але й значно прискорює процес виведення нових сортів у селекційних програмах.

**Підрахунок ранніх посівів кукурудзи різних систем вирощування з використанням БПЛА-зображень та глибокого навчання:** Дослідження підкреслило цінність БПЛА у ранньому виявленні проблемних ділянок. Застосування U-Net для підрахунку сходів кукурудзи дозволило досягти точності до  $R^2 = 0,95$ , що може суттєво підвищити точність агрономічних рішень вже на стартовій фазі росту культури. Разом з тим, автори вказують на зниження точності при значній кількості рослинних залишків, що має враховуватись при практичному впровадженні.

**Узагальнюючи**, можна стверджувати, що БПЛА вже сьогодні виконують роль повноцінного інструменту прийняття рішень у сучасному агробізнесі — від селекції до моніторингу врожайності. Подальше вдосконалення алгоритмів обробки зображень та адаптація моделей до локальних умов зробить ці технології ще ефективнішими та доступнішими.