

БУРЛАКА СЕРГІЙ

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0002-4079-4867>e-mail: ipserhiy@gmail.com

ДАЛЕКА АНАТОЛІЙ

Вінницький національний аграрний університет

e-mail: anatoliy.vd@gmail.com

ТЕХНОЛОГІЇ БПЛА ДЛЯ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

Автори аналізують основні напрями використання БПЛА, включаючи аерофотозйомку, моніторинг стану посівів, внесення добрив та засобів захисту рослин, а також створення тривимірних моделей сільськогосподарських об'єктів. Особливо розглянуто переваги різних типів БПЛА – квадрокоптерів, гексакоптерів, літаючих крил та апаратів літакового типу – залежно від розмірів оброблюваних площ та специфіки завдань.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати, аграрне виробництво, квадрокоптер, дрон.

BURLAKA SERHIY, DALEKA ANATILIY

Vinnytsia National Agrarian University

UAV TECHNOLOGIES FOR AGRICULTURE

This article provides an overview of the application of unmanned aerial vehicles (UAVs) in agriculture. The analysis reveals that UAVs serve as aerial robots capable of performing tasks such as aerial photography, delivery of plant protection products, and other functions. Quadcopters (drones) are also utilized for creating 3D models of various objects (buildings, technological structures, reclamation and hydraulic facilities) or small field plots of less than 0.8 hectares. For larger field areas, fixed-wing aircraft are more suitable.

The authors analyze the main directions of UAV utilization, including aerial photography, crop monitoring, fertilization, plant protection, and the creation of 3D models of agricultural objects. The advantages of different types of UAVs – quadcopters, hexacopters, fixed-wing, are discussed based on the size of the managed areas and specific tasks.

The article presents practical results of UAV application in various agronomic processes such as precision agriculture, pest and disease control, optimization of irrigation, and yield management. UAVs significantly enhance agricultural production efficiency by providing timely and accurate data on crop conditions and the environment.

In addition to technical aspects, economic and environmental benefits of UAV implementation in the agricultural sector are examined. Specifically, the use of drones reduces costs on agrochemicals and fuel, minimizes environmental impact, and improves product quality. The future prospects of UAV technologies, including integration with other innovative technologies such as artificial intelligence, IoT, and big data, are also considered.

The research findings underscore the substantial potential of UAVs in enhancing agricultural production efficiency, reducing costs, and improving the quality of agronomic practices. The authors recommend further research and implementation of UAVs across various agricultural sectors to achieve sustainable development of the agro-industrial complex.

Keywords: unmanned aerial vehicles, agricultural production, quadcopter, drone.

Постановка проблеми

Актуальність та затребуваність застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в агропромисловому комплексі (АПК) зумовлено необхідністю отримання оперативної достовірної інформації щодо стану фітоагросценозів за весь період вегетації. Спектр використання БПЛА дуже широкий: моніторинг пасовищ, сільськогосподарських угідь, оцінка обсягу робіт та контроль за їх виконанням, охорона сільгоспугідь [1, 2]. З розвитком сучасних технологій та цифровізації агропромислового сектору, безпілотні літальні апарати (БПЛА) стають неодмінною частиною сучасного сільського господарства. Вони відчиняють нові можливості для підвищення ефективності та зниження витрат у виробництві сільськогосподарської продукції.

Застосування БПЛА в аграрному секторі охоплює широкий спектр завдань: аерофотозйомки для моніторингу стану посівів до точного внесення добрив та захисту рослин. Вони дозволяють отримувати деталізовану інформацію про стан полів та земельних ділянок, що дозволяє аграріям приймати обґрунтовані рішення для оптимізації виробничих процесів.

Аналіз останніх джерел

Аналіз останніх досліджень в галузі застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у сільському господарстві підтверджує їхню значну ефективність і потенціал для вдосконалення агротехнічних процесів. Останні дослідження демонструють, що БПЛА здатні не лише значно зменшити витрати на виробництво та збільшити врожайність, а й поліпшити якість сільськогосподарської продукції за рахунок точного внесення добрив і засобів захисту рослин [3].

Одним із ключових напрямів є використання БПЛА для моніторингу стану посівів та рослин, що дозволяє оперативно виявляти проблемні зони і приймати швидкі корективні заходи. Технології обробки зібраних даних стають все більш досконалішими, що дозволяє аналізувати інформацію на рівні окремих рослин і прогнозувати їхній розвиток.

Також відзначається, що дрони і квадрокоптери знаходять широке застосування в точному землеробстві, де вони допомагають оптимізувати використання ресурсів, таких як вода і добрива, і зменшують вплив сільськогосподарських операцій на навколишнє середовище. Крім того, важливим

аспектом є їхня роль у моніторингу здоров'я рослин, що дозволяє вчасно виявляти хвороби і шкідників [4].

Останні дослідження також підкреслюють потенціал інтеграції БПЛА з іншими передовими технологіями, такими як штучний інтелект і аналітика великих даних, що сприяє їхньому подальшому розвитку і вдосконаленню функціональних можливостей.

Метою роботи є висвітлення сучасного стану, переваг і перспектив застосування БПЛА в аграрному виробництві з метою покращення управління сільськогосподарськими процесами та збільшення продуктивності сільського господарства.

Виклад основного матеріалу

При проведенні досліджень на основі системного підходу були використані методи техніко-економічного, компаративного та функціонально-морфологічного аналізу. Як інформаційні джерела відбиралися відомості з патентної та науково-технічної літератури, а також розміщеної в глобальній мережі інтернет [5]. Аналізувалися можливості та математичне забезпечення застосування БПЛА у системах підтримки прийняття рішень на основі ГІС-технологій [6].

Результати та обговорення. Нижче наведено огляд найпоширеніших і найбільш затребуваних БПЛА літакового та вертолітного типу та приклади їх використання.

Аналізуючи публікації з використання БПЛА, нами було випробувано кілька їх типів. Види БПЛА та його характеристики представлені у таблиці 1. Опишемо позитивні і негативні боки апаратів літакового типу.

Позитивні сторони використання БПЛА в сільському господарстві досить очевидні. Перш за все, вони надають можливість здійснювати аерофотозйомку з високою точністю, що дозволяє аналізувати стан полів, виявляти проблемні зони та приймати швидкі та обґрунтовані рішення щодо внесення добрив чи захисту рослин. БПЛА також використовуються для моніторингу зростання культур, контролю за шкідниками та хворобами, що сприяє зниженню витрат на захист рослин і підвищенню врожайності. Крім того, вони можуть бути економічно вигідними через зменшення витрат на робочу силу та паливо порівняно з традиційними методами обробки полів.

Однак поряд з перевагами використання БПЛА має свої негативні аспекти. Серед них можна виділити високі витрати на придбання та підтримку техніки, необхідність високої кваліфікації операторів для правильного налаштування та використання апаратів, а також труднощі з правовими аспектами та регулюванням використання БПЛА. Іноді вони можуть стикатися з технічними проблемами, такими як втрата сигналу, аварійне приземлення або несправність обладнання, що може призвести до втрат часу і грошей.

Таблиця 1

Основні типи БПЛА та їх характеристики

Тип БПЛА	Опис	Характеристики	Приклади використання
Квадрокоптер	БПЛА з чотирма роторами, прості у використанні та маневрені	Середня година польоту: 20-30 хвилин Дальність: до 5 км Висока стабільність у польоті	Аерофотозйомка, інспекція, моніторинг
Гексакоптері	БПЛА з шістьма роторами, здатні нести важчі навантаження	Середня година польоту: 20-40 хвилин Дальність: до 5-10 км Вища вантажопідйомність	Внесення агрохімікатів, картографування, доставка
Октакоптері	БПЛА з вісьмома роторами, забезпечують підвищену стабільність та вантажопідйомність	Середня година польоту: 20-30 хвилин Дальність: до 5-10 км Велика вантажопідйомність	Професійна аерозйомка, внесення важких хімікатів, дослідження
Літаючі крила	Аеродинамічні БПЛА з одним крилом, високоєфективні для довготривалих польотів	Середня година польоту: 1-2 години Дальність: до 50-100 км Висока аеродинамічна ефективність	Картографування великих площ, моніторинг, наукові дослідження
Літальні апарати	БПЛА, що імітують конструкцію літаків, використовуються для тривалих місій	Середня година польоту: до 24 годин Дальність: до 200 км і більше Можливість високошвидкісного польоту	Моніторинг, розвідка, наукові дослідження
Гібридні БПЛА	Комбінація багатороторних та крилатих апаратів, забезпечують вертикальний зліт і посадку	Середня година польоту: 1-2 години Дальність: до 50 км Поєднує маневреність та аеродинамічну ефективність	Картографування, моніторинг, дослідження

Негативними сторонами є складність в управлінні, що потребує двох операторів для запуску одного БПЛА, вимагає професійної підготовки для управління комплексом, великий ризик пошкодження дорогого обладнання при посадці парашутного типу, розміри БПЛА більше 1 метра. Такого типу БПЛА використовуються, перш за все, для моніторингу площадних та лінійних ділянок місцевості, зокрема для моніторингу сільськогосподарських угідь з метою визначення їх кордонів. На апарат може бути встановлене й інше корисне навантаження: тепловізори, мультиспектральні та інфрачервоні камери і т.д. За допомогою отриманих даних з БПЛА можливе створення ортофотоплана або моделі місцевості, створення карти висот,

визначення стану поле і визначення індексу NDVI.



Рис. 1. Відсоток використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для різних завдань у сільському господарстві

Позитивними сторонами апаратів вертолітного типу (квадрокоптер, дрон) є здатність зависання на місці, що дозволяє зробити більш чіткі фотографії і висока маневреність дає знімати складні об'єкти, простота в управлінні за рахунок програмного забезпечення на базі анероїд (вибір готового забезпечення для виконання різних цілей і завдань), не вимагає професійної підготовки та можливе управління одним оператором. Автоматизована система безпеки польоту суттєво знижує ризик втрати дрону [7].

Негативними сторонами є: дальність польоту до 5 км, час польоту не більше 25 хвилин в залежності від погодних умов. Для використання дрону з метою створення ортофотоплана можлива лише для площ не більше 8 соток.

БПЛА часто використовують як повітряні роботи. Які можуть виконувати функцію як аерофотозйомки, так і доставка чогось, залежно від характеристик корисного навантаження. Квадрокоптер зручно використовувати для створення 3D моделі різних об'єктів (будівель, пам'ятників, споруд) або невеликих ділянок полів до 8 сот.

В табл. 2 представлена систематизація напрямків застосування БПЛА в агропромисловому комплексі, залежно від цілей використання.

Таблиця 2

Систематизація напрямків застосування БПЛА в агропромисловому комплексі

Ціль використання	Напрямки застосування	Опис
Моніторинг та картографування	Аерофотозйомка полів	Отримання високоточних зображень для аналізу стану рослин, виявлення проблемних зон
	Створення цифрових карт полів	Візуалізація сільськогосподарських угідь для планування сільськогосподарських робіт
Оцінка стану культур	Аналіз здоров'я рослин	Використання спектральних сенсорів для визначення стану здоров'я та потреб рослин
	Вимірювання індексів вегетації	Визначення рівня хлорофілу, азоту та інших показників стану рослин
Внесення агрохімікатів	Розпилення добрив	Точкове розпилення добрив для оптимального живлення рослин
	Розпилення пестицидів	Точкове застосування пестицидів для боротьби зі шкідниками та хворобами
Оцінка та прогноз урожайності	Оцінка врожайності	Аналіз стану культур для прогнозування урожаю та планування збору врожаю
	Створення карт урожайності	Візуалізація даних про врожайність для оптимізації збору та зберігання врожаю
Інспекція та охорона територій	Охорона та безпека	Патрулювання територій для запобігання крадіжок та пошкоджень
	Інспекція інфраструктури	Огляд стану сільськогосподарської інфраструктури, такої як іригаційні системи, дороги тощо
Наукові дослідження	Збір даних для досліджень	Використання БПЛА для збору наукових даних про ґрунти, рослини та інші фактори агрокосистеми
	Тестування нових технологій	Використання БПЛА для тестування нових агротехнологій та методів управління сільським господарством

З таблиці видно, що БПЛА можна використовувати в тваринництві, меліорації, агроєкології, у сфері моніторингу та охорони земель, у будівництві гідротехнічних споруд тощо.

У тваринництві можна контролювати поголів'я худоби. В агроєкології – диференційоване внесення мінеральних добрив з метою забезпечення рівномірної густоти стояння рослин, створення карти хвороб, засміченості посівів, родючості ґрунту та ін.

Сучасні БПЛА можуть контролювати усі агрономічні показники. Починаючи з оцифрування рельєфу: визначення водотоків, місць заболочування, підготовки ґрунту до сезону формуючи агрономічні карти та закінчуючи контролем висоти, густоти стояння рослин, вміст азоту тощо.

Робота систем, що використовують дрони, передбачає: а) контроль ситуації на полях; б) обробка інформації.

Інформація при цьому може вимагатися не лише фермеру, а й аграрним страховим компаніям, банкам та кредитним установам, інвестиційним компаніям та корпораціям розвитку.

Практика показує, що знімки можуть давати спотворені дані [7]. Наприклад, одне поле контролюється протягом п'яти днів. У перший день на знімку поле зелене, другого дня половина червоного, тобто хвороби, на третій все червоне, на четвертий знову проявляється зелений і в п'ятий поле знову зелене. За результатами зйомки можна зробити висновок, що все було добре, пішла хвороба, знищила посіви, потім все знову проростає. Насправді ж впливають атмосферні умови, що впливають інтенсивність проходження світла та її відбиток. Дані супутника не калібруються в залежності від погодних умов. Коли ж зйомка робиться на дроні (квадрокоптері), у бригаді працюють дві людини: пілот і наземний фахівець, у чій обов'язки входить проведення атмосферного калібрування, яке дозволяє нам порівнювати знімки, незважаючи на те, в яких умовах вони були зроблені.

Дрон можна використовувати для внесення засобів захисту рослин з малооб'ємним дрібнодисперсним обладнанням. На сьогоднішній день для здійснення цієї функції необхідні подальші науково-технічні розробки, такі як точна картографія та акумулятори для дронів [8].

Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у сучасному сільському господарстві надає безліч переваг, однак не обходиться без викликів і проблем, зокрема відмов техніки. Відмови БПЛА можуть мати різні причини, від технічних неполадок до програмних помилок або некоректного використання. Ці непередбачувані ситуації можуть призвести до втрати сигналу з пульта управління, аварійного приземлення або навіть загублення апарату.

Загалом, відмови БПЛА ставлять під загрозу продуктивність сільськогосподарських процесів і потребують системного підходу до управління ризиками. Розуміння причин і належне технічне обслуговування можуть значно зменшити ймовірність виникнення таких ситуацій, що є важливим аспектом для успішного впровадження БПЛА в аграрному секторі (рис. 2).



Рис. 2. Відсоток різних відмов безпілотних літальних апаратів

Механічні компоненти БПЛА, такі як мотори, гвинти, рами та шасі, часто піддаються значним навантаженням, що може призвести до знесення або поломок. Високий відсоток механічних відмов свідчить про важливість регулярного технічного обслуговування та використання високоякісних компонентів. Батареї є критичним елементом для БПЛА, оскільки вони визначають тривалість польоту та надійність роботи. Відмов живлення можуть бути пов'язані з недостатньою ємністю батареї, знесенням, або неправильним заряджанням. Цей високий відсоток підкреслює необхідність моніторингу стану батареї та використання надійних джерел живлення. зв'язку між БПЛА та оператором може виникати через інтерференцію відстані або перешкоди. Це вказує на необхідність покращення систем зв'язку та використання технологій для запобігання втрати сигналу. Програмне забезпечення, яке керує БПЛА, може мати помилки або конфлікти призводить до несправностей. Цей відсоток свідчить про важливість

регулярних оновлення ПЗ та ретельного тестування перед польотами. Сенсори та камери є важливими для збору даних та навігації. Їхні відмови можуть бути викликані зовнішніми факторами, такими як або пошкодження, або внутрішніми проблемами. Це підкреслює важливість захисту та обслуговування цих компонентів. Погодні умови, такі як сильний вітер, дощ або екстремальні температури, можуть впливати на роботу БПЛА. Це вказує на необхідність врахування погодних умов при плануванні польотів та використанні БПЛА, які можуть працювати в різних кліматичних умовах. Інші відмови можуть містити людські помилки, виробничі дефекти або випадкові події. Цей відсоток свідчить про те, що завжди існує ризик непередбачуваних проблем, і необхідно мати плани на випадок надзвичайних ситуацій.

Високий відсоток механічних відмов та проблем з живленням пояснюється інтенсивним використанням БПЛА та їх технічним складом. Знос компонентів і батареї – це природний процес, особливо при частих польотах. Проблеми із сигналом вказують на необхідність поліпшення технологій зв'язку і врахування зовнішніх факторів, таких як перешкоди та великі відстані.

Програмні збої підкреслюють важливість якісного програмного забезпечення та тестування перед використанням. Несправності сенсорів і камер свідчать про необхідність їхнього ретельного обслуговування та захисту від пошкоджень.

Вплив погодних умов наголошує на необхідності врахування кліматичних факторів при плануванні польотів та виборі відповідних моделей БПЛА. Низький відсоток інших відмов свідчить про важливість бути готовим до непередбачуваних ситуацій і мати резервні плани.

Висновки

Проведений аналіз показав, що БПЛА часто використовують як повітряні роботи, які можуть виконувати функцію як аерофотозйомки, так і для доставки засобів захисту рослин і виконання інших функцій. Квадрокоптер також зручно використовувати для створення 3D моделей різних об'єктів (будівель, технологічних споруд, меліоративних об'єктів та гідротехнічних споруд) або невеликих ділянок полів площею менше 0,8 га. Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у сучасному сільському господарстві надає безліч переваг, однак не обходиться без викликів і проблем, зокрема відмов техніки. Відмови БПЛА можуть мати різні причини, від технічних неполадок до програмних помилок або некоректного використання. Ці непередбачувані ситуації можуть призвести до втрати сигналу з пульту управління, аварійного приземлення або навіть загублення апарату.

Загалом, відмови БПЛА ставлять під загрозу продуктивність сільськогосподарських процесів і потребують системного підходу до управління ризиками. Розуміння причин і належне технічне обслуговування можуть значно зменшити ймовірність виникнення таких ситуацій, що є важливим аспектом для успішного впровадження БПЛА в аграрному секторі.

Використання БПЛА дозволяє здійснювати аерофотозйомку, моніторинг стану рослин, точне внесення добрив та захисту рослин з високою точністю, що забезпечує оптимальні умови для зростання і розвитку сільськогосподарських культур. Впровадження БПЛА дозволяє знижувати витрати на агрохімікати і паливо, оптимізувати використання ресурсів та збільшувати врожайність, що призводить до економічних вигод для сільських господарств. Перспективи розвитку полягають у подальшій інтеграції БПЛА з іншими передовими технологіями, такими як штучний інтелект і аналітика великих даних, що дозволяє ще більше підвищувати ефективність сільського господарства.

Література

1. Yaropud V., Kupchuk I., Burlaka S., Rutkevych V. Results of numerical modeling of three-pipe heat exchanger for livestock premises. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2023. Vol. 99. № 9. P. 72–75.
2. Honcharuk I., Kupchuk I., Yaropud V., Kravets R., Burlaka S., Hraniak V., Poberezhets Ju., Rutkevych V. Mathematical modeling and creation of algorithms for analyzing the ranges of the amplitude–frequency response of a vibrating rotary crusher in the software Mathcad. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2022. Vol. 98 (9). P. 14–20.
3. Burlaka S., Yemchik T. Improving the efficiency of the use of biodiesel fuel mixtures in the systems of autonomous energy supply of agricultural enterprises. In: *Modernization of research area: national prospects and European practices: Scientific monograph*. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2022. P. 205–237.
4. Малаков О.І., Бурлака С.А., Ярошук Р.О. Зниження навантаження елементів конструкції моста керованих коліс самохідної косарки шляхом раціональної установки гідроциліндрів. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2018. № 4 (263). С. 56–61.
5. Федірець О. В. Управління інноваціями при впровадженні технологій точного землеробства в Україні. *Наукові праці Полтавської державної аграрної академії. Полтава : ПДАА*, 2013. № 2 (7). Т. 3. С. 302–308.
6. Гулько І.В., Бурлака С.А., Єленич А.П. Оцінка екологічності нафтового палива та біопалива з використанням методології повного життєвого циклу. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2018. Том 2. № 6 (267). С. 246–249.
7. Веселовська Н.Р., Малаков О.І., Бурлака С.А. Експериментальні дослідження силового впливу на робочі органи і приводи зернозбиральних комбайнів. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2019. № 2 (271). С. 37–44.
8. Vasilevskiy O.M., Sevastianov V.M., Ovchynnykov K.V., Didych V.M., and Burlaka S.A. Accuracy of

References

1. Yaropud V., Kupchuk I., Burlaka S., Rutkevych V. Results of numerical modeling of three-pipe heat exchanger for livestock premises. *Przeglad Elektrotechniczny*. 2023. Vol. 99. No. 9. P. 72–75.
2. Honcharuk I., Kupchuk I., Yaropud V., Kravets R., Burlaka S., Hraniak V., Poberezhets Ju., Rutkevych V. Mathematical modeling and creation of algorithms for analyzing the ranges of the amplitude-frequency response of a vibrating rotary crusher in the software Mathcad. *Przeglad Elektrotechniczny*. 2022. Vol. 98 (9). P. 14–20.
3. Burlaka S., Yemchik T. Improving the efficiency of the use of biodiesel fuel mixtures in the systems of autonomous energy supply of agricultural enterprises. In: Modernization of research area: national prospects and European practices: Scientific monograph. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2022. P. 205–237.
4. Malakov O.I., Burlaka S.A., Yaroshuk R.O. Reducing the load on the bridge construction elements of the steerable wheels of the self-propelled mower by rational installation of hydraulic cylinders. *Herald of Khmelnytskyi National University. Series: Technical sciences*. 2018. No. 4 (263). P. 56–61.
5. Fedirets O. V. Management of innovations during the implementation of precision farming technologies in Ukraine. *Scientific works of the Poltava State Agrarian Academy. Poltava: PDAA*, 2013. No. 2 (7). T. 3. P. 302-308.
6. Gunko, S.A., Burlaka, A.P., Yelenich. Environmental assessment of oil fuel and biofuel using the full life cycle methodology. *Herald of Khmelnytskyi National University. Series: Technical sciences*. 2018. Volume 2. No. 6 (267). P. 246–249.
7. Veselovska N.R., Malakov O.I., Burlaka S.A. Experimental studies of force influence on working bodies and drives of grain harvesters. *Herald of Khmelnytskyi National University. Series: Technical sciences*. 2019. No. 2 (271). P. 37–44.
8. Vasilevskyi O.M., Sevastianov V.M., Ovchynnykov K.V., Didych V.M., and Burlaka S.A. Accuracy of Potentiometric Methods for Measuring Ion Activity in Solutions. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023. Vol. 447. P.181–190.