

## ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ДРОНІВ У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ<sup>1</sup>

**Пономаренко І.О.,**

*студент кафедри маркетингу,  
Сумський державний університет,  
igorfetssu@gmail.com*

**Тарасов В.А.,**

*студент кафедри економіки, підприємництва та бізнес-адміністрування,  
Сумський державний університет,  
valerii.tarasov@student.sumdu.edu.ua*

**Ігнатченко А.С.,**

*аспірантка кафедри економіки, підприємництва та бізнес-адміністрування,  
Сумський державний університет,  
a.ihnatchenko@econ.sumdu.edu.ua*

**Химченко Ю.В.,**

*аспірант кафедри економіки, підприємництва та бізнес-адміністрування,  
Сумський державний університет,  
y.khymchenko@biem.sumdu.edu.ua*

**Ковальов Б.Л.,**

*к.е.н., доцент, доцент кафедри економіки, підприємництва та бізнес-адміністрування,  
Сумський державний університет,  
b.kovalov@econ.sumdu.edu.ua*

У статті проаналізовано ринок дронів для сільськогосподарської діяльності як частини концепції точного землеробства; наведено класифікацію аграрних дронів за будовою, використанням та встановлених на них камер; проведено аналіз світового ринку дронів на сьогоднішній день, та розраховано ефективність впровадження дронів у сільському господарстві (на прикладі рослинництва). Для аналізу світового ринку аграрних дронів були взяті дані з аналітичних звітів та оглядів таких компаній як: PricewaterhouseCoopers, Markets and Markets, Mordor Intelligence, Fortune Business Insider. Авторами використано наступні методи наукових досліджень: метод спостереження, індексний аналіз, економіко-математичне моделювання та дедуктивний метод для формування висновків. Дослідження проведено у декілька етапів. Спершу, досліджено класифікацію дронів за будовою, використанням та різновидом відеокамер. На другому етапі, на підставі аналітичних звітів авторитетних міжнародних компаній проаналізовано актуальний стан ринку аграрних дронів та його ємність; визначено передумови розвитку ринку аграрних дронів та фактори, які мають найбільший вплив на дану індустрію; проаналізовано прогноз щодо майбутнього можливого розвитку ринку аграрних дронів, а також визначено основних гравців ринку з вказанням країни походження компанії. На третьому етапі проведено аналіз впровадження технології використання дронів у рослинництві з метою проведення аерофотозйомки та для внесення добрив. В статті розроблено два можливі сценарії поведінки фермера щодо ведення сільського господарства: 1) здійснювати моніторинг стану полів та росту врожаю за допомогою власного транспортного засобу та вносити добрива за допомогою спеціалізованої сільськогосподарської техніки; 2) аналогічну роботу виконувати з використанням дронів. Для розрахунку використовувалися середній по Україні тариф за внесення добрив сільськогосподарською технікою та середня оплата праці оператора дрону. Встановлено, що економічно вигідними дрони стають, якщо підвищують врожайність культури більше, ніж на 3,85% протягом п'яти років використання цієї технології.

**Ключові слова:** дрони, сільське господарство, точне землеробство, економіка.

DOI: 10.21272/1817-9215.2021.4-27

### ВСТУП

Дана робота присвячена аналізу використання дронів в рослинництві. Актуальність теми полягає у тому, що за прогнозами до 2050 року населення світу сягне 9 мільярдів

<sup>1</sup>Робота виконана в рамках НДР «Сталий розвиток та ресурсна безпека: від проривних технологій до цифрової трансформації економіки України» (№ д/р. 0121U100470)

людей, тому підвищення врожайності в сільському господарстві є дуже гострим питанням. Дрони в свою чергу є одними зі складових точного землеробства, завдяки якому фермер може приймати рішення ґрунтуючись на точних даних. Теоретико-практична значущість проведеного дослідження полягає у тому, що в ньому було проведено аналіз використання дронів, стану світового ринку дронів для рослинництва, а також проведено розрахунок ефективності використання дронів в рослинництві.

### ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Метою даної роботи є дослідити можливості використання дронів в рослинництві та розрахувати ефективність впровадження даної технології.

Суб'єктом дослідження є частина агропромислового комплексу, а саме рослинництво, об'єктом дослідження є дрони, що використовуються в рослинництві. Для виконання поставлених завдань автором роботи були використані такі методи наукових досліджень: метод спостереження, індексний аналіз, економіко-математичне моделювання та дедуктивний метод для формування висновків.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Використання дронів у сільськогосподарській галузі постійно зростає як частина ефективного підходу до сталого управління сільським господарством, що дозволяє агрономам, сільськогосподарським інженерам і фермерам допомагати впорядкувати свою діяльність, використовуючи надійну аналітику даних, щоб отримати прогноз про свої врожаї.

Сільськогосподарський дрон – це дистанційно керований безпілотний літак або невеликий літальний пристрій, який використовується у сільському господарстві. Дрони призначені для оптимізації операційної ефективності сільського господарства, виробництва сільськогосподарських культур та моніторингу зростання врожаю [1]. За функціями розрізняють такі види дронів:

- дрони для аерофотозйомки – призначені для картографування полів та моніторингу за врожаєм, для отримання точної інформації у режимі реального часу щодо стану рослин на різних ділянках полів для подальшого аналізу цих даних та прийнятті рішень на їх основі;

- дрони для внесення добрив – призначені для обприскування полів добривами.

Також дрони розрізняються за видом крила на:

- роторні дрони;
- дрони з фіксованим крилом;
- гібридні дрони.

Роторні дрони часто ідентифікують за кількістю роторів (пропелерів). Прикладом може бути квадрокоптер, який має чотири ротори. Роторний дрон є чудовим інструментом моніторингу стану польових культур та створення детальних карт полів. Квадрокоптер може злітати вертикально, тому польові смуги стають зручними зонами запуску. Роторні дрони легко маневрують по полю і можуть зависати над проблемними ділянками. Час роботи батареї є основною проблемою для роторних дронів, оскільки потужність розряджається швидше через живлення кількох пропелерів. Час польоту для багатьох квадрокоптерів коливається від 10 до 20 хвилин, і може бути меншим при польоті під час високої швидкості вітру [1].

Дрони з фіксованими крилами працюють так само, як і літаки. Більшість дронів з фіксованими крилами мають лише один гвинт. В результаті дрони з фіксованим крилом мають більш тривалий термін служби батареї, з можливістю перебувати в повітрі на 20 хвилин довше. Дрони з фіксованими крилами можуть досягати більшої швидкості, ніж роторні дрони, і в поєднанні з тривалим терміном служби батареї це дозволяє дронам з фіксованим крилом охоплювати більшу площу. Однак нерухомі крила потребують місця для посадки, подібно до злітно-посадкової смуги аеропорту.

Гібридна версія нерухомого крила долає цю проблему, злітаючи і приземляючись, як роторний дрон, але літаючи як дрон з нерухомим крилом.

Для дронів, що призначені для картографування місцевості та моніторингу за врожаєм не менш важливою є розподіл за видами по типу встановлених камер. Розрізняють два основних види камер:

- візуальні камери;
- мультиспектральні камери.

Зазвичай дешеві дрони виробляються з візуальною камерою, яку іноді називають RGB (акронім red-green-blue з *англ.* червоно-зелено-синій) камерою. Як і людське око, ці камери захоплюють візуальний спектр кольорів та відтінків, а отже, добре підходять для польової розвідки.

Рослини відображають більший діапазон довжин хвиль, ніж наші очі можуть розпізнати, включаючи світло в ближньому інфрачервоному діапазоні (NIR діапазон). Один із варіантів зафіксувати як візуальний, так і NIR діапазони – це зробити два польоти різними камерами. Інший варіант – використовувати камеру з кількома об'єктивами. Мультиспектральні камери мають більше одного об'єктива, кожна з яких має різний фільтр. Ці фільтри дозволяють об'єктиву фокусуватися на вибраних довжинах хвиль, включаючи NIR та візуальний спектр. Зображення з мультиспектральних камер можна використовувати для розрахунку індексів рослинності, які співвідносяться з біомасою або здоров'ям рослин.

Згідно з аналізом PwC, загальна ємність ринку безпілотників у всіх галузях – понад 127 мільярдів доларів США [2]. Серед найбільш перспективних сфер – сільське господарство, де дрони пропонують потенціал для вирішення кількох серйозних проблем. За прогнозами, що до 2050 року населення світу досягне 9 мільярдів людей, експерти очікують, що споживання сільськогосподарської продукції зросте майже на 70 відсотків за той же період часу [3]. Крім того, екстремальні погодні явища посилюються, створюючи додаткові перешкоди для ефективного ведення сільськогосподарської діяльності. Сільськогосподарські виробники повинні використовувати революційні стратегії виробництва продуктів харчування, підвищення продуктивності та забезпечення сталого розвитку пріоритетно.

Згідно з новим звітом Reports and Data на 2020 рік об'єм ринку дронів для сільського господарства оцінюють в 1,2 мільярда доларів США, до 2028 року світовий ринок сільськогосподарських дронів досягне 13,31 мільярда доларів США, середньорічні темпи збільшення очікують близько 35% з року в рік [4]. Варто додати, що в середньому ціни, в залежності від виду дрону, його призначення, країни виробника та встановлених на ньому камер та обладнання варіюються від 1 500 до 25 000 доларів США [5].

Аналітики умовно поділяють ринок на дві частини, на виробництво обладнання, та виробництво програмного забезпечення для дронів. І очікується, що в подальші роки зростання об'ємів в даній сфері відбуватиметься за рахунок появи нового програмного забезпечення. В свою чергу виробництво обладнання поділяють на каркас, системи контролю та керування, двигуни, системи камер, навігаційні системи та акумулятори. Незважаючи на те що вдосконалення потребує кожна частина обладнання аналітики очікують, що в найближчі роки системи камер стануть ще більш інноваційними. На сьогоднішній день близько 45% використання дронів припадає на Північну Америку, але очікується, що Азіатсько-Тихоокеанський регіон стане лідером найближчого часу [5]. Також у перспективі прогнозується ріст об'єму ринку дронів за рахунок Південно Американського та Африканського континенту.

Факторами, що прискорюють зростання ринку, є збільшення населення, підвищення обізнаності про сільськогосподарські дрони, венчурне фінансування, розвиток технологій сільського господарства, що підвищує продуктивність, інновації в області картографування та збільшення автоматизації ведення господарства. Зростання попиту на високу врожайність та ініціативи урядів щодо підтримки аграрного сектору сприятиме зростанню ринку. Дрони надають швидку інформацію,

можуть легко дістатися до районів, куди важко дістатися автомобілями. Однак дрони обмежені погодними умовами, такими як швидкість вітру, опади. Також нестача підготовлених операторів для управління дронами гальмують зростання ринку. Революція сільськогосподарського сектора від традиційного до цифровізації збільшить попит на програмне забезпечення, яке використовується для розробки та обслуговування безпілотників. Посилення правил управління в повітряному просторі для комерційних дронів у всьому світі є основним бар'єром для впровадження технології, що гальмує зростання ринку. Очікується, що збільшення кількості засобів збору аерофото даних у сільськогосподарській галузі забезпечить можливості для розширення індустрії сільськогосподарських дронів.

Основними гравцями ринку є DJI (Китай), PrecisionHawk (США), Trimble Inc. (США), Parrot (Франція), 3DR (США), AeroVironment, Inc. (США), Yamaha Motor Corp. (Японія), DroneDeploy (США), AgEagle Aerial Systems, Inc. (США), OPTiM Corp. (Японія), senseFLY (Швейцарія), Pix4D (Швейцарія), Sentera Inc. (США), SlantRange (США), ATMOS UAV (Нідерланди), Delair (Франція) та Nileworks Inc. (Японія) [6].

Для розрахунку ефективності використання дронів в землеробстві авторами запропоновано розрахувати підвищення врожайності у відсотках для того щоб окупити дрони. Для розрахунку ефективності дронів було змодельовано сценарій, при якому фермер купує два дрони, один для картографування та моніторингу інший для внесення добрив. Для керування дронами фермер наймає оператора з оплатою праці 35 грн./гектар (середня заробітна плата оператора дрона в Україні). Очікується, що оператор за сезон проведе 18 вильотів з яких, 1 виліт для створення актуальної карти поля, 14 вильотів з моніторингу росту культури і три вильоти з внесенням добрив. У якості альтернативи очікується, що фермер власноруч проводитиме моніторинг стану якості рослин на власному транспорті, а для внесення користуватиметься послугами сільськогосподарської техніки за тарифом 150 грн./гектар. Ціна дрону для внесення добрив 597 500 грн. компанії DJI марки AGRAS T30, а дрону для моніторингу (марка DJI модель Mavic Pro 2) – 45 400 грн. [7]. Оскільки дрони відносяться до машин та обладнання, то термін амортизаційних виплат мінімально має становити 5 років. Тому, скориставшись прямолінійним методом амортизації, розрахуємо щорічні виплати:

$$A = (597\ 500 + 45\ 400) / 5 = 128\ 600 \text{ грн.}$$

Припустимо, що земельний банк фермера становить 100 га, фермер вирощує пшеницю, середня врожайність пшениці на його полі становить 4,2 т/га, ціна реалізації 9 500 грн./т. При розрахунку не враховується вартість посівного матеріалу (оскільки на оцінку ефективності використання дронів даний показник не впливає), вартість запасних частин та ремонту (як дрона так і сільськогосподарської техніки) та вартість мінеральних добрив (хоча при вибіркового внесенні дронами можна зекономити до 40% добрив).

Також припустимо, що використання дронів дасть певний  $n$  ефект для врожайності.

Спочатку розрахуємо дохід фермера при варіанті, що він сам здійснює моніторинг росту культури, а для внесення добрив використовує сільськогосподарську техніку. За сезон добрива вносяться тричі.

$$D = 100 * 4,2 * 9\ 500 - (150 * 100 * 3) = 3\ 945\ 000 \text{ грн.}$$

Розрахуємо дохід за сценарієм використання дронів. Без врахування коефіцієнту  $n$ .

$$D_2 = 100 * 4,2 * 9\ 500 - (128\ 600 + (35 * 100 * 18)) = 3\ 798\ 400 \text{ грн.}$$

Якщо використання дронів не вплинуть на врожайність, то за сезон фермер отримає на 146 600 грн. менше. Для того щоб розрахувати при якому показнику  $n$  вдасться отримати еквівалентний прибуток при використанні дронів, що і при використанні альтернатив, в результат  $D_2$  підставимо показник  $D$ .

$$D_3 = 100 * 4,2 * n * 9\ 500 - (128\ 600 + (35 * 100 * 18)) = 3\ 945\ 000 \text{ грн.}$$

Розрахуємо показник n

$$3\,798\,400 * n = 3\,945\,000$$

$$n = 1,0385$$

$$n = 1,0385 * 100 = 103,85\%$$

Тобто, якщо використання дронів підвищить врожайність на 3,85% (або на 0,16 т/га), то використання дронів еквівалентне використанню альтернативних способів моніторингу та внесення добрив. Якщо цей показник є більшим, то використання дронів є економічно більш вигідним за альтернативу.

Розрахуємо вплив використання дронів на прибуток при підвищенні врожайності на 1%.

$$D_4 = 100 * 4,2 * 1,01 * 9\,500 - (128\,600 + (35 * 100 * 18)) = 3\,838\,300 \text{ грн.}$$

$$k = 3\,838\,300 / 3\,798\,400 = 1,0105$$

$$k = 1,0105 * 100 = 101,05\%$$

При збільшенні врожайності на 1% за рахунок використання дронів, дохід збільшується на 1,05%.

### ВИСНОВКИ

В рослинництві відкритого ґрунту основними функціями використання дронів є картографія та розпилення добрив, хоча в аграрній сфері дрони також використовуються для більш специфічних завдань, наприклад для випасу великої рогатої худоби, заліснення важкодоступних ділянок, запилення фруктових дерев. Тому з кожним роком вивчення та впровадження нових виробничих та програмних технологій дає змогу розвиватися індустрії використання дронів в аграрній сфері.

В загалом зважаючи на прогнози зростання народонаселення в світі, постає завдання щодо збільшення ефективності вирощування їжі, тому технології використання дронів в сільському господарстві, будуть активно розвиватися та використовуватися, а попит і розмір ринку будуть збільшуватися в середньому на 35% на рік. Звичайно, як і будь-які технології, виробництво дронів для агросфери повинні пройти шлях підвищення ефективності самих приладів та зменшення собівартості виробництва для більш широкого застосування технології. Але на сьогоднішній день галузь активно фінансується з боку венчурних інвесторів. Провідні держави світу змінюють свою регуляторну політику в сторону більш широкого використання технології.

В результаті дослідження встановлено, що економічно вигідними дрони стають, якщо підвищують врожайність культури більше, ніж на 3,85% протягом п'яти років використання цієї технології. Ці розрахунки є наближеними, оскільки на реальні показники впливає значно більше факторів, які важко врахувати та спрогнозувати наперед. Варто також пам'ятати, що при використанні дронів фермер має змогу зменшити використання добрив за рахунок більш точного їх внесення. Також при збільшенні врожайності за рахунок ефективності використання дронів дохід збільшується на 1,05%, що є гарним показником зважаючи на об'єми вирощування та ціни аграрних культур.

В майбутньому очікується, що дана технологія буде використовуватися більш широко в якості однієї з складових точного землеробства. До того ж прогнози, щодо збільшення кількості населення на планеті, зміна регуляторної політики та зацікавленість венчурних інвесторів цією сферою тільки підтверджує цей факт.

### SUMMARY

**Ponomarenko I.O., Tarasov V.A., Ihnatchenko A.S., Khymchenko Yu.V., Kovalov B.L. Economic efficiency of drone use in agriculture.**

*The article analyzes the market of drones for agricultural activities as part of the concept of precision farming; the classification of agricultural drones by structure, use and cameras installed on them is given; the analysis of the world market of drones for today is carried out, and efficiency of introduction of drones in agriculture (on an*

example of plant growing) is calculated. To analyze the global market for agricultural drones, data were taken from analytical reports and reviews of companies such as: PricewaterhouseCoopers, Markets and Markets, Mordor Intelligence, Fortune Business Insider. The authors used the following research methods: observation method, index analysis, economic-mathematical modeling and deductive method for drawing conclusions. The study was conducted in several stages. First, the classification of drones by structure, use and type of video cameras was studied. At the second stage, on the basis of analytical reports of reputable international companies analyzed the current state of the agricultural drone market and its capacity; identified the prerequisites for the development of the agricultural drone market and the factors that have the greatest impact on the industry; the forecast on the future possible development of the agricultural drone market is analyzed, and the main market players are identified, indicating the country of origin of the companies. At the third stage, the analysis of the introduction of drone technology in crop production for aerial photography and fertilizer application was carried out. The article develops two possible scenarios of farmer's behavior in relation to agriculture: 1) monitor the condition of fields and crop growth with their own vehicle and apply fertilizers using specialized agricultural machinery; 2) perform similar work using drones. The average tariff for fertilizer application in Ukraine and the average salary of a drone operator were used for the calculation. Drones have been shown to be more cost-effective if they increase crop yields by more than 3.85% over five years of using the technology.

**Keywords:** drones, agriculture, precision farming, economics.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Miller J. O., Adkins J. Types of drones for field crop production. *University of Delaware : Fact sheets and publications*. 2018. URL: <https://www.udel.edu/academics/colleges/canr/cooperative-extension/fact-sheets/types-of-drones-for-field-crop-production> (дата звернення!)
2. Silver B., Mazur M., Wiśniewski A. and Babicz A. Welcome to the era of drone-powered solutions: a valuable source of new revenue streams for telecoms operators : Communications Review. PwC. 2017. URL: <https://www.pwc.com/gx/en/communications/pdf/communications-review-july-2017.pdf> (дата звернення!)
3. 9,7 billion on Earth by 2050, but growth rate slowing, says new UN population report. *UN News*. 2019. URL: <https://news.un.org/en/story/2019/06/1040621> (дата звернення!)
4. Agriculture Drones Market with COVID-19 Impact Analysis, by Application (Precision Farming, Livestock Monitoring), Offering, Farming Environment, Farm Produce, Component, and Geography – Global Forecast to 2025. *Markets and Markets Research*. 2020. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/agriculture-drones-market-23709764.html> (дата звернення!)
5. Agriculture drones market – growth, trends, COVID-19 impact, and forecasts (2022 – 2027). *Mordor Intelligence*. 2021. URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/agriculture-drones-market> (дата звернення!)
6. Agriculture Drone Market Worth USD 3,697.4 Million by 2027; Leading Companies Such as DJI and GoPro to Focus on Developing Next-Gen Drones for the Agriculture Industry, Says Fortune Business Insights™. *Fortune Business Insights*. 2021. URL: <https://www.globenewswire.com/news-release/2021/10/18/2315910/0/en/Agriculture-Drone-Market-Worth-USD-3-697-4-Million-by-2027-Leading-Companies-Such-as-DJI-and-GoPro-to-Focus-on-Developing-Next-Gen-Drones-for-the-Agriculture-Industry-Says-Fortune.html> (дата звернення!)
7. DJI : off. website. URL: <https://www.dji.com> (дата звернення!)

## REFERENCES

1. Miller, J. O., Adkins, J. (2018). *Types of drones for field crop production*. University of Delaware. <https://www.udel.edu/academics/colleges/canr/cooperative-extension/fact-sheets/types-of-drones-for-field-crop-production>
2. Silver, B., Mazur, M., Wiśniewski, A., & Babicz, A. (2017, July). *Welcome to the era of drone-powered solutions: a valuable source of new revenue streams for telecoms operators* : Communications Review. PwC. pp. 1-12. <https://www.pwc.com/gx/en/communications/pdf/communications-review-july-2017.pdf>
3. UN News (2019, June). *9,7 billion on Earth by 2050, but growth rate slowing, says new UN population report*. <https://news.un.org/en/story/2019/06/1040621>
4. Markets and Markets Research (2020). *Agriculture Drones Market with COVID-19 Impact Analysis, by Application (Precision Farming, Livestock Monitoring), Offering, Farming Environment, Farm Produce, Component, and Geography – Global Forecast to 2025*. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/agriculture-drones-market-23709764.html>
5. Mordor Intelligence (2021). *Agriculture drones market – growth, trends, COVID-19 impact, and forecasts (2022 – 2027)*. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/agriculture-drones-market>
6. Fortune Business Insights (2021). *Agriculture Drone Market Worth USD 3,697.4 Million by 2027; Leading Companies Such as DJI and GoPro to Focus on Developing Next-Gen Drones for the Agriculture Industry, Says Fortune Business Insights™*. <https://www.globenewswire.com/news-release/2021/10/18/2315910/0/en/Agriculture-Drone-Market-Worth-USD-3-697-4-Million-by-2027-Leading-Companies-Such-as-DJI-and-GoPro-to-Focus-on-Developing-Next-Gen-Drones-for-the-Agriculture-Industry-Says-Fortune.html>
7. DJI : off. website. <https://www.dji.com>