

УДК 528.71:631.115

О. М. Николук,

д. е. н., доцент, заступник керівника навчально-наукового
центру інформаційних технологій, Поліський національний університет
ORCID ID: 0000-0002-1705-3606

В. В. Гуреля,

к. с.-г. н., виконуючий обов'язки завідувача кафедри геодезії
та землеустрою, Поліський національний університет
ORCID ID: 0000-0001-8283-0152

П. П. Топольницький,

к. т. н., доцент, доцент кафедри комп'ютерних технологій
і моделювання систем, Поліський національний університет
ORCID ID: 0000-0001-7460-1130

DOI: 10.32702/2306-6792.2020.11.66

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ АЕРОФОТОЗЙОМКИ МАЛИМИ ТА СЕРЕДНІМИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ

O. Nykolyuk,

Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, deputy head
of the Center of Information Technologies, Polissia National University

V. Hurelia,

PhD in Agricultural Sciences, acting head of the Department
of Geodesy and Land Survey, Polissia National University

P. Topolnitsky,

PhD in Technical Sciences, Associate Professor, associate professor of Computer
Technologies and Modelling Systems Department, Polissia National University

ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF USING AERIAL PHOTOGRAPHY TECHNOLOGIES BY SMALL AND MEDIUM-SIZED AGRICULTURAL ENTERPRISES

У статті визначено напрями використання технологій аерофотозйомки сільськогосподарськими підприємствами та проблеми, які можливо ідентифікувати з їх допомогою. Розроблено методичний підхід до оцінювання ефективності придбання та використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у виробничому процесі сільськогосподарських виробників. На основі результатів аерофотозйомки полів досліджуваного підприємства ідентифіковано проблеми, які зумовили зниження рівня урожайності кукурудзи, та визначено втрати урожаю сільськогосподарської культури. Обґрунтовано економічну ефективність використання БПЛА шляхом визначення втраченого доходу малих і середніх виробників сільськогосподарської продукції. Доведено економічну ефективність спільного придбання та експлуатації БПЛА суб'єктами малого та середнього агробізнесу. Визначено напрями та ключові правила взаємодії сільськогосподарських виробників щодо розподілу витрат, спільного використання БПЛА та обробки аерофотознімків.

The study advances the hypothesis that the use of the full range of opportunities provided by aerial photography will make it possible to increase the efficiency of growing crop products and reduce production risks of small and medium-sized agricultural enterprises. The purpose of the study is to test the hypothesis that it is cost effective for agricultural enterprises of various size and capacity to implement the technology of aerial photographic survey. The ways to use aerial photography by agricultural enterprises are specified, as well as problems that can be identified with its help. The

methodological approach to assessing the efficiency of purchasing and use of unmanned aerial vehicles (UAVs) in the production process of agricultural producers is developed. The analysis of the efficiency of field monitoring with the help of unmanned aerial vehicles is based on the potential yield loss caused by the inability of the enterprise to detect and eliminate threats in a timely manner; amount of lost profit; the relative share of lost profit in the actual revenue. The authors develop the methodology of calculating the agricultural producer losses in physical and in monetary terms, as well as the potential economic effect in case of timely identification of risks and their elimination.

Following the aerial photographic survey of the enterprise under investigation, the problems that caused the reduction in the corn yield were identified, and the crop loss was estimated. Economic efficiency of using UAVs is substantiated by means of estimating the profit lost by small and medium-sized agricultural producers. The collaborative procurement and use of UAVs by small and medium-sized agribusiness entities is proved effective. In particular, it has been established that collaboration of small agricultural producers will make it possible to reduce costs by 3-10 times compared to individual procurement and use of a quadcopter. It is cost effective for medium-sized agricultural producers to share wing unmanned aerial vehicles. Directions and basic rules of cooperation between agricultural producers in terms of cost sharing, shared use of UAVs and processing of aerial photos are specified.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, безпілотна аерофотозйомка, аерофото-знімок, сільськогосподарське підприємство, урожай, інтеграція, кооперація.

Key words: unmanned aerial vehicle, aerial photographic survey, aerial photo, agricultural enterprise, yield, integration, cooperation.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Ключовим питанням забезпечення конкурентоспроможності вітчизняних виробників є створення цінових переваг, що можливо лише за умови невисокої відносно конкурентів собівартості сільськогосподарської продукції. Низька собівартість без погіршення якості продукції, а також збільшення рівня урожайності сільськогосподарських культур забезпечуються за допомогою використання продуктивної техніки та сучасних технологій виробництва, у т. ч. засобів аерофотозйомки. Саме впровадження технологій моніторингу виробничих процесів за допомогою аерофотозйомки дозволяє фермерам ідентифікувати проблемні місця на полях, про які вони навіть не здогадуються і які інколи неможливо виявити під час виїздів агронома на поле. У переважній більшості аерофотозйомка полів здійснюється за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА), які здебільшого використовують великі сільськогосподарські товаровиробники, що обробляють значні площі ріллі. Натомість, малі сільськогосподарські підприємства зазвичай не застосовують БПЛА у господарському процесі. До основних причин низького рівня освоєння відповідних технологій сільськогосподарськими підприємствами включають дефіцит інвестиційних ресурсів та неефективність їх використання на малих площах ріллі та недостатній рівень обізнаності керівництва підприємств у доцільності використання БПЛА.

У цьому дослідженні висунуто гіпотезу про те, що використання повного спектру можливостей аерофотозйомки дасть змогу підвищи-

ти ефективність вирощування продукції рослинництва та знизити виробничі ризики малих і середніх сільськогосподарських підприємств.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

З одного боку, використання безпілотних літальних апаратів для моніторингу посівів не є новим питанням для сільського господарства. Зокрема в оглядових наукових працях, присвячених напрямкам використання БПЛА, сільське господарство фігурує як одна із пріоритетних сфер їх застосування [5]. Використання безпілотної авіації визначається одним із напрямів інноваційного розвитку сільськогосподарських підприємств [4, с. 56—58]. Питання особливостей та перспектив застосування безпілотної авіації в сільському господарстві досліджують А. Ачасов та А. Ачасова [2; 3] В. Гречмак та О. Кабак [6], Г. Юм та Д. Мединський [1; 8], М. Солоха [7] та ін. Вивчення питання ефективності застосування БПЛА у землеробстві здійснюється зарубіжними науковцями [9].

Водночас наукові дослідження щодо потенційного економічного ефекту від використання БПЛА у виробничому процесі сільськогосподарських підприємств, що різняться розмірами, галузевою спеціалізацією, організаційною структурою тощо, наразі практично не проводяться. Не досліджено і питання альтернативних механізмів та інструментів впровадження можливостей безпілотної авіації товаровиробниками, які виходять за рамки типових користувачів БПЛА — крупномасштабних підприємств та учасників вертикально інтегрованих аграрних бізнес-структур холдингового типу.

Основною перешкодою впровадженню технологій аерофотозйомки та придбанню і активному використанню БПЛА сільськогосподарськими підприємствами зазвичай є фінансовий чинник. Для перевірки цього твердження необхідно обчислити та проаналізувати потенційні ефекти від організації моніторингу полів на базі аерофотозйомки. Крім того, важливо визначити та економічно обґрунтувати шляхи здешевлення вартості придбання, експлуатації БПЛА та подальшої обробки аерофотознімків. Отже, метою дослідження є перевірка гіпотези про економічну ефективність впровадження технологій аерофотозйомки сільськогосподарськими підприємствами різних розмірів.

Перевірка цієї гіпотези передбачає виконання таких завдань:

1) виявлення лімітуючих чинників, що обумовлюють продуктивність поля. Лімітуючі чинники — це потенційні загрози зниження урожайності сільськогосподарських культур, існування яких на конкретному полі перевіряється за допомогою БПЛА. Знаючи всі загрози, можна ідентифікувати ймовірні причини їх виникнення;

2) формування кошторису витрат на впровадження технології моніторингу полів на основі БПЛА. До витрат слід включити витрати на придбання технічних засобів, програмне забезпечення, необхідних для збору та обробки даних моніторингу полів, навчання та утримання персоналу, логістичні витрати;

3) обчислення потенційних вигід від використання БПЛА, які визначено як додаткові доходи, що могли б отримати реальні сільськогосподарські підприємства у випадку аеромоніторингу полів;

4) перевірка можливостей використання БПЛА на прикладі моніторингу поля реального сільськогосподарського підприємства. Для цього необхідно визначити і порівняти витрати підприємства на збір та обробку інформації за допомогою аерофотозйомки та економічний ефект від аеромоніторингу поля;

5) економічне обґрунтування напрямів здешевлення впровадження технології аерофотозйомки у виробничий процес малих сільськогосподарських підприємств.

Дослідження проведено на базі сільськогосподарських підприємств Житомирської області.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Загалом аерофотозйомка полів може проводитись у трьох напрямках:

1) моніторинг стану сільськогосподарських посівів. Зокрема моніторинг полів за допомогою БПЛА дозволяє оперативно визначати стан рослини, швидко ідентифікувати наявність проблемних місць на полі та своєчасно прийняти необхідні управлінські рішення. Інформація про виявленні ділянки поля, що потребують особливого технологічного підходу, є підґрунтям для раціонального розподілу ресурсів підприємства;

2) контроль якості виконання агротехнічних операцій. Використання БПЛА дозволяє оцінити якість виконання основних агротехнічних операцій. Така оцінка може бути приводом до перегляду кваліфікації працівників, справності сільськогосподарської техніки, або ж організації, що виконують агротехнічні операції на договірній основі;

3) збір інформації про лімітуючі чинники, що впливають на продуктивність посівів. До таких чинників можуть належати вміст поживних речовин у ґрунті, кліматичні умови, ґрунтовідміни, рельєф місцевості тощо. Результати аерофотозйомки за допомогою БПЛА дають також можливість уточнення меж поля з подальшим визначенням фактичної площі угідь.

Прийняття рішення про доцільність моніторингу полів за допомогою БПЛА має відповідати принципу економічності. Зокрема, економічний ефект сільськогосподарського підприємства від використання інформації, отриманої у процесі аерофотозйомки, має бути вищим за витрати, по-перше, на придбання й експлуатацію БПЛА та, по-друге, на збір, зберігання й обробку отриманої графічної інформації, навчання та утримання персоналу.

Під час моніторингу полів із застосуванням БПЛА можливо виявити практично всі ймовірні проблеми та загрози, які можуть негативно вплинути на рівень урожайності сільськогосподарських культур (табл. 1). Важливо, що переважну більшість загроз можна ідентифікувати на початковому етапі та своєчасно на них відреагувати. Це дає можливість суттєво скоротити або навіть усунути ймовірні втрати урожаю. Виходячи з наведеного, можна припустити, що рівні урожайності не мають сильно варіювати у підприємствах, які, по-перше, використовують технології оперативного моніторингу посівів за допомогою БПЛА та, по-друге, характеризуються приблизно однаковими природно-кліматичними і ґрунтовими умовами. Іншими словами, якби всі підприємства з подібним типом ґрунтів та однієї агрокліматичної зони своєчасно виявляли перелічені у таблиці 1 загрози й адекватно на них

реагували, то їх рівні урожайності сільськогосподарських культур визначалися б переважно однаковими зовнішніми умовами і тому не сильно різнилися.

У Житомирській області, на базі якої проведено це дослідження, однорідними природно-кліматичними умовами та низькою варіацією родючості ґрунтів характеризуються Коростенський та Малинський райони (відносно несприятливі для вирощування сільськогосподарських культур), а також Чуднівський і Ружинський райони (сприятливі умови та родючі ґрунти). Саме на базі даних про діяльність сільськогосподарських підприємств цих регіонів проведено аналіз доцільності моніторингу полів за допомогою БПЛА. Вигоду від використання БПЛА у вирощуванні сільськогосподарських культур можна визначити, виходячи з доходу від реалізації додаткового урожаю. Додатковий урожай — це урожай, який можна було б отримати у разі своєчасного виявлення, по-перше, проблем безпосередньо на полі та їх оперативного вирішення та, по-друге, недосконалоостей технологічних процесів господарства, спричинених, наприклад, недостатнім рівнем кваліфікації персоналу, недосконалою технологією тощо. Економічну вигоду у розрахунку на 1 га можна визначити за формулою:

$$E = P \cdot (Y^p - Y^f) \quad (1),$$

де Y^p — рівень урожайності сільськогосподарської культури, який можна було б отримано, у разі своєчасного вирішення проблем, виявлених на полі за допомогою БПЛА; Y^f — рівень урожайності сільськогосподарської культури, який підприємство отримало без залучення БПЛА у виробничий процес; P — ціна реалізації сільськогосподарської культури.

Виходячи із зазначеного, потенційні втрати урожаю, спричинені неспроможністю підприємства своєчасно виявити та нейтралізувати загрози, можна обчислити як обсяг втраченого урожаю у вартісному виразі:

$$V_i^- = \bar{y}_i S_i - y_i S_i \quad (2),$$

де V_i^- — втрачений (недоотриманий) обсяг урожаю i -тої сільськогосподарської культури; y_i — фактичний рівень урожайності i -тої сільськогосподарської культури у досліджуваному підприємстві; \bar{y}_i — середній рівень урожайності i -тої сільськогосподарської культури у підприємствах, які характеризуються подібними з досліджуваним виробником природно-кліматичними та ґрунтовими умовами; S_i — зібрана площа i -тої сільськогосподарської культури у досліджуваному підприємстві.

Таблиця 1. Проблеми сільськогосподарського виробництва, які виявляються за допомогою БПЛА

Проблема с.-г. виробництва, яку можна виявити за допомогою БПЛА	Причина виникнення проблеми
Ділянки з гіршими показниками продуктивності с.-г. культур	Нерівномірне внесення добрив
	Схили
	Ґрунтовідміни
	Наявність улоговин
	Часткове вимерзання через нерівномірність снігового покриву
	Загущеність посіву
Ураження рослин	Поширення хвороб та/або шкідників
Витоптування посівів	Недотримання технологічних проходів
	Організація доріг по краю поля після посівної
Пропуски посівів	Некваліфікований персонал або
Загущення рослин при посівній	несправності у сільськогосподарській техніці

Звідси можна визначити обсяг недоотриманого доходу як добуток втраченого врожаю та ціни сільськогосподарської культури:

$$D_i = V_i^- \cdot P_i \quad (3),$$

де D_i — розмір недоотриманого доходу i -тої сільськогосподарської культури; P_i — ціна реалізації i -тої сільськогосподарської культури.

Для порівняльного аналізу також доцільно обчислювати питому вагу недоотриманого доходу у фактичному доході:

$$R_i = \frac{V_i^- \cdot P_i}{y_i \cdot S_i \cdot P_i} \quad (4),$$

де R_i — питома вага недоотриманого доходу у фактичному доході i -тої сільськогосподарської культури.

Аналіз втрат урожаю проведено на прикладі дослідження фактичного та потенційного урожаю пшениці у сільськогосподарських підприємствах Коростенського, Малинського, Чуднівського та Ружинського районів у 2018 р. З даних таблиці 2 видно, що найбільш вагомий потенціал підвищення обсягів урожаю пшениці спостерігається у районах, де середній рівень урожайності невисокий. Тобто в районах з природно-кліматичними та ґрунтовими умовами менш сприятливими для вирощування сільськогосподарських культур. Зокрема загальний дохід, отриманий виробниками Малинського та Коростенського районів, міг би бути, відповідно, на 113 та 40 % вищий порівняно з фактично отриманим.

Натомість, питома вага неефективних підприємств у всіх районах коливається навколо 50 %. Згідно з попередніми припущеннями, причиною низького рівня урожайності у майже

Таблиця 2. Втрачений дохід від реалізації пшениці у 2018 р. у районах Житомирської області

Район	Середній рівень урожайності, ц/га	Питома вага підприємств з урожайністю меншою за середньорайонну, од.	Площа с.-г. угідь з урожайністю меншою за середньорайонну, га	Недоотриманий обсяг урожаю, ц	Недоотриманий дохід ¹ , тис. грн	Питома вага недоотриманого доходу у фактичному доході ² , %
Малинський	19,9	42,86	458	4833,1	22164,95	112,53
Коростенський	28,3	62,50	1140	9265,0	42490,07	40,37
Чуднівський	55,1	54,55	990,2	12787,0	58642,55	30,61
Ружинський	27,3	57,14	886,88	5069,0	23246,99	26,45

Примітка: ¹розраховано за середньорічною ціною пшениці у 2018 р.; ²розраховано для підприємств з урожайністю нижчою за середній за районом рівень.

половині підприємств досліджуваних регіонів є несвоєчасне виявлення або невиявлення перелічених у таблиці 1 загроз. Тоді логічним є твердження про те, що оперативне корегування виробничих процесів на базі даних моніторингу посівів цих підприємств могло б забезпечити вищу урожайність пшениці (тобто на середньому рівні регіону) та підвищити доходи.

У дослідженні розглянуто приклад результатів обстеження посівів кукурудзи агрофірми "АСТ" у 2017—2018 рр. за допомогою БПЛА. Під час експедиційних вильотів було виявлено такі проблеми, що визначено як загрози майбутньому урожаю:

1. Ураження рослин кукурудзи, яке проявлялось у вигляді відмирання верхньої частини пагону та листя. Таке ураження рослин спостерігалось лише на одному полі. Нижнє зелене листя домінувало відносно жовтого і тому визначення площі ураженого поля на штатній висоті польоту БПЛА (250 м) було неможливим. Водночас, спираючись на данні фотознімків, зроблених на низькій висоті (30 м), було визначено, що ураження рослин чисельне та перевищує 50 % від всієї кількості. Рослини кукурудзи могли бути уражені внаслідок недотримання технологій обприскування посівів.

2. Неякісне внесення азотних добрив. Зокрема деякі поля мали блідо-зелене забарвлення, зумовлене недостатнім рівнем фотосинтетичної активності листя через низький вміст легкодоступного для рослин азоту у ґрунті. За попередніми розрахунками лише на одному полі площа з нестачею азоту становила близько 11 % від площі всього поля, або 4,4 га. Згідно з результатами подальших польових обстежень, рослини з нестачею азоту відрізнялись нижчою продуктивністю (на 64 % менше, ніж на інших частинах поля), а на відповідних ділянках спостерігалась висока забур'яненість піриєм. Результатом виявленої проблеми ста-

ло суттєве зменшення рівня урожайності кукурудзи на ділянках, де не було внесено азотних добрив. Зафіксовані під час аерофотозйомки рівні полоси світлого кольору вздовж технологічних колій проходів дали можливість виявити порушення технології внесення добрив.

5. Витоптування рослин сільськогосподарською технікою та систематичне утворення доріг по посівах вздовж краю поля. Найбільшого знищення рослини зазнали на полях, де вздовж посіву навколо поля прокладено колії польової дороги. Знищенню підлягли рослини на смузі шириною до 3 метрів. У цьому випадку економічні втрати виробника пов'язані не лише з втратою потенційного врожаю, але й з марними витратами на посівний матеріал, добрива, витрати що пов'язані з технологічними операціями тощо.

6. Виявлено ділянку з порушеним ґрунтовим покривом, на якій еродований родючий шар ґрунту. Саме на цій ділянці забезпечити мінімально необхідний для покриття всіх витрат урожай неможливо. Тому економічно вигідно не використовувати ділянку для вирощування сільськогосподарських культур та заощадити на витратах насіння, добрив, засобів захисту, пального тощо. Або провести докорінне поліпшення ґрунтового покриву та відновлення родючості ґрунту.

Отже, під час моніторингу досліджуваних полів виявлено значну кількість чинників, що зменшують валовий збір кукурудзи. Необхідно наголосити на тому, що всі перелічені причини втрати урожаю кукурудзи виробником не мали тотального характеру, а їх виявлення та оцінка масштабів безпосередньо під час польових обстежень було малоімовірним. Крім того, встановлено, що ділянки з гіршими показниками продуктивності сільськогосподарської культури, які чітко ідентифікуються на фотознімках, отриманих за допомогою БПЛА, не-

можливо виявити за даними космічної зйомки супутників навіть розрахувавши вегетаційний індекс NDVI. Зокрема виявлено істотну різницю інформативності знімків, зроблених за використання БПЛА, та індексів NDVI, розрахованих за даними космічної зйомки Sentinel-2 станом на той самий період.

Втрати виробника у натуральному та грошовому виразі, а також потенційний економічний ефект у разі своєчасного виявлення загроз та їх усунення можна обчислити, виходячи з таких даних:

1) площа ділянок з різною інтенсивністю забарвлення. Виділення ділянок з різною інтенсивністю забарвлення зеленого кольору проведено шляхом класифікації зображення за допомогою геоінформаційного програмного продукту ArcGis;

2) середня біологічна урожайність, яка прямопропорційна інтенсивності забарвлення ділянки зеленим кольором. Чим інтенсивніше забарвлення, тим вищий рівень біологічної урожайності. На ділянках з однаковою інтенсивністю визначено біологічну урожайність кукурудзи за випадковим чином відібраними точками;

Виходячи з площ ділянок з низькою, середньою та високою інтенсивністю забарвлення та середнього показника біологічної урожайності на кожній з них, визначено обсяг урожаю, наближений до фактично отриманого досліджуваним господарством у 2019 р. Потенційний обсяг урожаю кукурудзи встановлено, виходячи

Таблиця 3. Втрати урожаю кукурудзи агрофірми "АСТ"

Інтенсивність забарвлення	Площа ділянок, га	Середня біологічна урожайність, т/га	Обсяг урожаю, т	Потенційний обсяг урожаю, т ¹	Втрати урожаю, %
Висока	22,83	7,2	164,4	164,4	0,00
Середня	9,35	5,4	50,5	67,3	25,00
Низька	4,29	3,2	13,7	30,9	55,56
Незадовільна	3,10	0,8	2,5	22,3	88,89
Відкритий ґрунт	0,42	–	–	3,0	100,00
Всього	39,99	–	231,1	287,9	19,80

Примітка: ¹виходячи з середньої біологічної урожайності на ділянках високою інтенсивністю забарвлення.

чи з урожайності на ділянках з максимальною інтенсивністю забарвлення. Своєчасне виявлення загроз за допомогою БПЛА могло б забезпечити рівень урожайності кукурудзи на всіх ділянках на рівні продуктивності рослини на ділянках з максимальною інтенсивністю забарвлення за умови застосування додаткових меліоративних заходів (табл. 3).

Однак для прийняття рішення про впровадження технологій моніторингу полів за допомогою БПЛА недостатньо лише даних про втрачений урожай і дохід. Необхідно також знати витрати на придбання БПЛА та його експлуатацію. Економічно вигідним моніторинг полів є у випадку, коли потенційні доходи від вирощування сільськогосподарських культур більші за витрати використання технологій аерофотозйомки, а термін окупності витрат максимально швидкий.

Окрім витрат на придбання БПЛА до вартості моніторингу посівів із застосування технології аерофотозйомки необхідно включити витрати на експедиційні виїзди і на обробку та

Таблиця 4. Площа сільськогосподарських культур у досліджуваних підприємствах Житомирської області, га

Підприємство	С.-г. культури										Всього
	пшениця озима	пшениця яра	овес	ячмінь озимий	ячмінь ярий	гречка	ріпак озимий	кукурудза	соя	сояшник	
<i>Загальна посівна площа до 300 га</i>											
1	70	–	–	–	14	–	–	61,4	70	70	285,4
2	15	–	–	–	16	15	–	–	30,1	8	84,1
3	70	–	–	–	–	–	–	84,9	30	60	244,9
4	–	14	–	–	–	20	–	–	13	–	47,0
5	–	–	–	–	–	–	8	–	11,5	30	49,5
6	10	5	5	–	5	–	–	–	20	18,1	63,1
7	50	–	–	–	25	–	–	–	37,2	–	112,2
8	20	–	–	–	33,8	–	–	–	50	100	203,8
<i>Загальна посівна площа понад 800 га</i>											
1	300	–	–	50	–	20	–	250	–	350	970
2	360	–	10	25	60	60	–	234	42	230	1021
3	96	–	–	–	–	–	–	731	–	5	832

Джерело: власні дослідження.

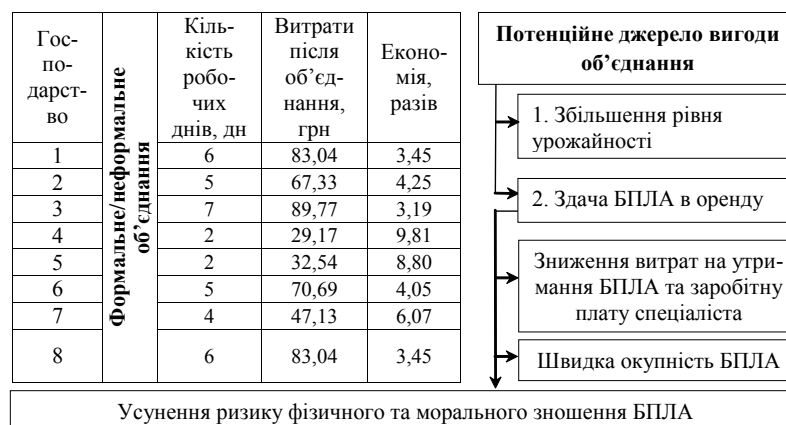


Рис. 1. Вигоди малих і середніх підприємств Ружинського району Житомирської області від спільної закупівлі та експлуатації БПЛА

Примітка: логістичні витрати при обчисленні кошторисної вартості до та після об'єднання не враховано.

аналіз отриманих фотознімків. Розмір витрат на купівлю БПЛА, вильоти та заробітну плату змінюються залежно від посівної площі та вирощуваних сільськогосподарських культур. Це пояснюється варіюванням, по-перше, інтенсивності зносу БПЛА, по-друге, частоти експедиційних виїздів та, по-третє, чисельності персоналу.

З огляду на зазначене та на об'єкт даного дослідження — невеликі сільськогосподарські підприємства. Кошторис організації моніторингу полів за допомогою БПЛА розглянуто для двох типів підприємств, а саме для підприємств з площею ріллі до 300 га та від 300 до 1100 га. Обрані виробники вирощують сільськогосподарські культури на території Ружинського району Житомирської області, якому притаманна відносна однорідність природно-кліматичних та ґрунтових умов. Кошториси моніторингу посівів за допомогою БПЛА розраховано для восьми господарств з посівною площею до 300 га та трьох — з площею до від 300 до 1100 га (табл. 4). Структура посівних площ в обраних підприємствах відповідає спеціалізації рослинництва в регіоні. З метою дотримання положень про конфіденційність статистичної інформації, що забезпечується статтями 21 та 22 Закону України "Про державну статистику" від 17.09.1992 р, досліджувані підприємства знеособлено.

Критеріями, за яким відрізнятиметься кошторисна вартість придбання та використання БПЛА, є логістичні витрати на експедиційні виїзди та кількість вильотів впродовж вегетаційного періоду, який залежить від виду культури, що вирощується. Відповідно, чим більша посівна площа у підприємства та чим віддалені одне від одного його поля, тим вищими будуть логістичні витрати. За попередніми розрахун-

ками, без урахування витрат на логістику, кошторисна вартість придбання та експлуатації БПЛА (враховано річні експлуатаційні витрати) у розрахунку на 1 сільськогосподарське підприємство складають близько 304 тис. грн. Витрати розраховано для придбання квадрокоптера DJI Mavic Air Fly More Combo. До витрат віднесено вартість літального апарату (26 тис. грн), ноутбуку (25 тис. грн), необхідного програмного забезпечення (41 тис. грн), річна заробітна плата спеціаліста (180 тис. грн), витрати на придбання двох додаткових акумуляторів (5 тис. грн) та непередбачувані витрати (27 тис. грн).

Доцільність самостійного придбання БПЛА кожним господарством визначається, перш за все, посівною площею сільськогосподарських культур. Як зазначалось, важливо, щоб, поперше, ефект був більший за витрати. Відповідно, чим більша посівна площа, тим вищим буде ефект. По-друге, необхідно мінімізувати час простоїв БПЛА і максимально швидко окупити витрати. Для дрібних фермерів забезпечити виконання зазначених умов неможливо через невеликі посівні площі. Саме тому вигідною для них є горизонтальна інтеграція та кооперування з метою спільного придбання і використання БПЛА.

Для мінімізації витрат бажано, щоб сільськогосподарські виробники розміщувались недалеко один від одного. Крім того, обов'язковим є оптимізація графіка використання БПЛА, придбаного на засадах кооперації. Критерієм оптимізації краще обрати сумарну відстань на перевезення БПЛА від одного підприємства до іншого, а одним із обмежень має бути уникнення втрат через несвоєчасні вильоти. Розмір внеску кожного члена об'єднання у придбання БПЛА та оплату праці спеціаліста

має визначатись сумарною кількістю робочих днів, під час яких відбуватимуться вильоти та обробка отриманих знімків для кожного господарства. Для цього пропонується ввести корегувальний коефіцієнт, із урахуванням якого формула витрат на придбання та експлуатацію БПЛА кожним окремим членом об'єднання матиме вигляд:

$$C_j = 1,1 \cdot \frac{wd_j^f + wd_j^s}{\sum_{j=1}^n (wd_j^f + wd_j^s)} \sum_{i=1}^5 c_{ji} + EC_j \quad (5),$$

де C_j — загальні витрати на придбання та експлуатацію БПЛА j -тим членом об'єднання; wd_j^f, wd_j^s — кількість, відповідно, днів експедиційних вильотів та роботи спеціаліста для БПЛА j -го члена об'єднання; c_i — i -та стаття кошторисної вартості придбання та експлуатації БПЛА (витрати на купівлю БПЛА, ноутбука, програмного забезпечення та витрати на оплату праці спеціалістів); EC_j — логістичні витрати на транспортування БПЛА; коефіцієнт 1,1 враховує 10 % на непередбачувані витрати.

Окрім використання БПЛА на засадах групової взаємодії, його також доцільно здавати в оренду. Основною ціллю надання БПЛА в оренду має бути не отримання додаткового прибутку, а акумуляція коштів для своєчасного з позицій як фізичного, так і морального зносу оновлення БПЛА. Додатковою вигодою членів об'єднання також стане зменшення витрат за рахунок зниження їх частки у заробітній платі спеціаліста, що оброблятиме фотознімки. На рисунку 1 відображено вигоди досліджуваних сільськогосподарських підприємств Ружинського району Житомирської області. У розрахунках враховано, що у сезон один спеціаліст не зможе обслужити всіх розглянутих у прикладі сільськогосподарських підприємств. Відтак у дослідженні враховано витрати на заробітну плату двох спеціалістів, один з яких здійснюватиме експедиційні вильоти, а інший — обробку знімків.

Згідно з отриманими даними, підприємство з найменшою посівною площею (47 га) у рамках об'єднання може зменшити витрати на самостійне придбання і подальше використання БПЛА у господарській діяльності майже у 10 разів. Водночас економія підприємств із найбільшою посівною площею (203 та 285 га) також є високою — 3,5 разів.

Для підприємств Ружинського району з площею ріллі понад 800 га (табл. 1) актуальним є придбання не квадрокоптера, а БПЛА літакового типу, вартість якого складає близько

80 тис. грн. Загальні витрати без урахування логістичних витрат складуть близько 375,1 грн. З огляду на те, що БПЛА літакового типу характеризується більшою площею зйомки за один виліт (1500 га проти максимум 100 га у квадрокоптера), його придбання для об'єднання середніх господарств також є економічно доцільним, особливо якщо їх поля знаходяться поруч. Кількість робочих днів (днів експедиційних вильотів та обробки знімків) у всіх підприємствах однакова — 20 днів. Тому загальні витрати на придбання й експлуатацію БПЛА вони розподілятимуть порівну, що дасть змогу зменшити витрати приблизно вдвічі.

ВИСНОВКИ

1. Використання БПЛА у виробничому процесі сільськогосподарських підприємств може суттєво знизити втрати урожаю сільськогосподарських культур. Зокрема своєчасне обстеження полів дає можливість, по-перше, виявити осередки потенційного зменшення продуктивності поля і, по-друге, встановити їх ймовірні причини. Моніторинг посівів за допомогою БПЛА є особливо актуальним з огляду на те, що супутникові знімки не завжди забезпечують потрібні розрізнення та оперативність отримання даних.

2. Обґрунтування ефективності моніторингу полів за допомогою БПЛА доцільно здійснювати на базі аналізу системи показників, до яких включено потенційні втрати урожаю, спричинені неспроможністю підприємства своєчасно виявити та нейтралізувати загрози; обсяг недоотриманого доходу; питому вагу недоотриманого доходу у фактично одержаному доході. Саме на базі дослідження перелічених показників для невеликих сільськогосподарських підприємств можливо прогнозувати потенційні ефекти від використання БПЛА та, в такий спосіб, мотивувати їх впроваджувати новітні геоінформаційні технології у господарський процес.

3. На прикладі сільськогосподарських підприємств Житомирської області, які вирощують пшеницю та характеризуються відносно однорідними природно-кліматичними та ґрунтовими умовами, доведено, що найбільший потенціал підвищення обсягів урожаю спостерігається у найменш сприятливих для виробництва продукції рослинництва районах. Зокрема встановлено, що загальний дохід від вирощування та реалізації пшениці у таких районах Житомирської області міг би на 40—113 % вищий порівняно з фактично отриманим.

4. Придбання та експлуатація БПЛА малими сільськогосподарськими підприємства потребує вагомих для них інвестиційних витрат. А з огляду на невеликі посівні площі та, відповідно, простої БПЛА та кваліфікованого персоналу, економічний ефект від таких інвестиційних витрат може бути меншим за потенційний. Вирішення обох зазначених проблем лежить у площині кооперації суб'єктів агробізнесу задля спільної організації моніторингу полів за допомогою технологій аерофотозйомки. На прикладі сільськогосподарських підприємств Ружинського району Житомирської області встановлено, що об'єднання невеликих сільськогосподарських виробників дасть можливість зменшити витрати на самостійне придбання і експлуатацію БПЛА у 3—10 разів. Економічно вигідним є спільне використання БПЛА літакового типу середніми за розмірами сільськогосподарськими виробниками.

Література:

1. Алексеев В. Беспилотные летательные аппараты — на службу армии и народного хозяйства. *Голос Украины*. 12.06.2009. № 107. URL: <http://www.golos.com.ua/rus/article/168156> (дата звернення: 28.04.2020).
2. Ачасов А., Ачасова А. Безпілотні літальні апарати як інструмент сучасного землеробства та охорони ґрунтів. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія "Екологія"*. 2017. Вип. 15. С. 15—20.
3. Ачасов А.Б., Ачасова А.О., Тітенко Г.В., Селіверстов О.Ю., Сєдов А.О. Щодо використання БПЛА для оцінки стану посівів. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Сер. "Екологія"*. Вип. 13. 2015. С. 13—18.
4. Водянка Л., Кутаренко Н., Сеньовська Я. Суть та необхідність використання сучасних інноваційних технологій в сільському господарстві Чернівецької області. *Агросвіт*. 2018. № 5. С. 53—61.
5. Глотов В., Гуніна А. Аналіз можливостей застосування безпілотних літальних апаратів для аерознімальних процесів. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2014. Вип. 2. С. 65—70.
6. Гречмак В., Кабак О. Аеромоніторинг як один із методів інтенсифікації. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2017. Вип. 17. С. 203—205.
7. Солоха М. Проблеми та перспективи аеромоніторингу у сільському господарстві. *Пропозиція*. 2013. № 12. С. 120—123.

8. Юн Г.М., Мединський Д.В. Застосування безпілотних літальних апаратів у сільському господарстві. *Наукоємні технології*. 2017. № 4. С. 335—341.

9. Jenkins D., Vasigh B. The Economic Impact of Unmanned Aircraft Systems Integration in the United States. *Association for Unmanned Aircraft Systems International*. 2013. 40 с.

References:

1. Alekseev, V. (2009), "Unmanned aerial vehicles — at the service of the army and national economy", *Holos Ukrainy*, vol. 107, available at: <http://www.golos.com.ua/rus/article/168156> (Accessed 28 April 2020).
2. Achasov, A. and Achasova, A. (2017), "Unmanned aerial vehicles as a tool of modern agriculture and soil protection", *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho universytetu imeni V. N. Karazina. Seriiia "Ekolohiia"*, vol. 15, pp. 15—20.
3. Achasov, A.B. Achasova, A.O. Titenko, H.V. Seliverstov, O.Yu. and Siedov, A.O. (2015), "Regarding the use of UAVs to assess the condition of crops", *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho universytetu imeni V.N. Karazina. Ser. "Ekolohiia"*, vol. 13, pp. 13—18.
4. Vodianka, L. Kutarenko, N. and Sen'ovs'ka, Ya. (2018), "The nature and necessity of the use of modern innovation technologies in the agricultural economy of the Chernivtsi region", *Ahrosvit*, vol. 5, pp. 53—61.
5. Hlotov, V. and Hunina, A. (2014), "Analysis of the possibilities of using unmanned aerial vehicles for aerial photography processes", *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva*, vol. 2, pp. 65—70.
6. Hrechmak, V. and Kabak, O. (2017), "Aeromonitoring as one of the methods of intensification", *Hlobal'ni ta natsional'ni problemy ekonomiky*, vol. 17, pp. 203—205.
7. Solokha, M. (2013), "Problems and prospects of aeromonitoring in agriculture", *Propozytsiia*, vol. 12, pp. 120—123.
8. Yun, H.M. and Medyns'kyj, D.V. (2017), "Application of unmanned aerial vehicles in agriculture", *Naukoiemni tekhnolohii*, vol. 4, pp. 335—341.
9. Jenkins, D. and Vasigh, B. (2013), *The Economic Impact of Unmanned Aircraft Systems Integration in the United States*, *Association for Unmanned Aircraft Systems International*, Arlington, USA.

Стаття надійшла до редакції 01.06.2020 р.