

## ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ (UAV) ДЛЯ ГЕОФІЗИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Юрій Віхоть<sup>1</sup>, Ігор Бубняк<sup>2</sup>, Соломія Кріль<sup>1</sup>, Віталій Фурман<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005

e-mail: yuvik@ukr.net; solia\_kr@ukr.net; fourman@i.ua;

<sup>2</sup>Національний університет “Львівська політехніка”,  
вул. Карпінського, 6, Львів, Україна, 79013

e-mail: ihor.m.bubniak@lpnu.ua

Проаналізовано можливості та способи застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для геофізичних досліджень. БПЛА стають потужним інструментом для геофізичних досліджень у важкодоступних ділянках і там, де потрібно дуже швидко зробити спостереження і заміри певних параметрів фізичних полів.

Головна мета статті – показати способи використання безпілотних літальних апаратів під час вивчення геофізичних полів, виявити основні переваги і недоліки з використанням різних видів безпілотних літальних апаратів та можливостей застосування певних датчиків для тих чи інших геофізичних спостережень.

БПЛА здатні інтегрувати геофізичні датчики, стають потужним та ефективним інструментом для незначних за об’ємом геофізичних спостережень, або вже для підготовки детальніших і дорожчих геофізичних досліджень фізичних полів Землі, що сприяють вивченню глибинної будови досліджуваного району або виявленню локальних аномалій.

Отримання просторових та геофізичних даних із безпілотних літальних апаратів з використанням датчиків у комплексі з сучасним програмним забезпеченням та програмними модулями дає можливість швидко та ефективно опрацювати дані та отримувати результати геофізичних спостережень у вигляді якісного графічного матеріалу, хмар точок для аналізу у інших спеціалізованих програмах.

*Ключові слова:* безпілотний літальний апарат (БПЛА), дрон, квадрокоптер, геофізика, геофізичні датчики.

**Вступ.** В останні десятиліття безпілотні літальні апарати (БПЛА, або англ. UAV) є досить широко затребуваними і популярними практично в усіх сферах людської діяльності, включаючи і науки про Землю. БПЛА, або дрони, коптери, квадрокоптери, гексакоптери, є літальними апаратами, що управляються дистанційно, або запрограмовані певним способом. Вони стають популярними інструментами для отримання просторових даних для різних аналізів та моделювання в геофізиці, геології та інших пов’язаних з нею наук геологічного профілю, екологічному та геологічному моніторингу тощо [1].

**Мета статті** – продемонструвати можливості та способи застосування безпілотних літальних апаратів для проведення геофізичних спостережень, виявити їх переваги та недоліки порівняно з класичними геофізичними дослідженнями.

**Виклад основного матеріалу.** Конфігурації дронів, безпілотних літальних апаратів безперервно змінюються та еволюціонують упродовж останніх років відповідно до потреб та цілей. Однак Європейська асоціація безпілотних систем (EUROUVS) запропонувала класифікацію як еталонну для міжнародної спільноти БПЛА зі складанням універсального каталогу категорій БПЛА та аббревіатур. Дрони на основі таких параметрів, як їхнього розміру, висоти польоту, витривалості та можливостей, поділяють на декілька різних груп та різних класифікацій [1–3].

Швидкий розвиток технології БПЛА допоміг ширше використовувати їх як платформи дистанційного зондування та доповнення до супутникових та пілотованих систем дистанційного зондування. БПЛА з'явилися як портативні, масштабовані платформи візуалізації з високою роздільною здатністю, які доповнюють супутникові знімки, що можуть мати прогалини в спостереженнях через атмосферні явища та обмежене покриття в певному регіоні. БПЛА також стали ефективним інструментом для дистанційного зондування в районах, недоступних для звичайних пілотованих літальних платформ через логістичні та людські обмеження.

Використання БПЛА у геологічних, геофізичних дослідженнях та проведення різноманітних моніторингів небезпечних процесів має великий прогрес, користується великою популярністю і дає хороший результат. Актуальність і переваги проведення таких досліджень із застосуванням дронів у галузях, пов'язаних з науками про Землю з кожними десятиліттями, зростає. Для прикладу, під час геологічного картування та спостережень чимало ділянок є важкодоступними, тому застосування дронів спрощує та пришвидшує такі дослідження. БПЛА уможливають віддалене розташування датчика та автоматичне передавання інформації.

Серед основних причин застосування дронів є економічність, точність і можливість роботи у важкодоступних місцях. БПЛА оснащене найсучаснішими камерами і тому цілком придатне для ведення моніторингу за певними процесами (геологічними, гідрогеологічними, інженерними, інженерно-геологічними, змінами властивостей навколишнього середовища) на віддалі. Вартість використання літаків та гелікоптерів для локального великомасштабного знімання є досить висока, тому, як альтернативним рішенням, є використання безпілотних літальних апаратів з різними сенсорами та датчиками для спостережень.

Сучасні геофізичні дослідження вимагають перед початком дослідження параметрів фізичних полів опрацювати геологічні карти і виділити ділянки, необхідні для подальших геофізичних спостережень. Сучасні технології створення різних видів карт ґрунтуються саме на використанні матеріалів цифрового аерознімання, яке теж може бути отримане з літальних апаратів з використанням різних датчиків та сенсорів.

Для фіксації геологічних процесів та геофізичних спостережень використовують побудову детальної цифрової карти, на яку потім наноситимуть дані, отримані за допомогою датчиків або спеціальних камер, що встановлюються на БПЛА. На ділянках з проявом небезпечних геологічних процесів – осувів, завалів, затоплення ділянок, карстових процесів та інших – геофізичні спостереження можливі завдяки використанню тільки дронів, які, крім того, ще й дадуть можливість виявити масштаби і рівень небезпечних процесів та виявити ризики. Наприклад, аеромоніторинг (рівень забруднення повітря) можна виконувати завдяки управлінню БПЛА на висоті до 500 м і в радіусі півтора кілометра. Точність результатів забезпечується передовими технологіями вимірювань та відповідними датчиками. За допомогою зображень,

отриманих безпілотними літальними апаратами, оснащеними портативними радіометрами-дозиметрами для радіаційного контролю забруднення, дають можливість виявити території з підвищеними значеннями, які реєструватимуться за звуковим, або вібросигналом, який можна зафіксувати за допомогою камери на дроні.

Геофізичні спостереження за допомогою БПЛА можливі завдяки використанню датчиків та відповідного програмного забезпечення. Донедавна для геофізичного вивчення ділянок з утрудненим доступом найпоширенішим методом були аеромагнітні дослідження, які проводили переважно зі спеціалізованих літаків і вертольотів. Проте зараз їх виконують за допомогою безпілотних літальних апаратів, або дронів. Їх використання під час регіональних геофізичних досліджень, дорозвідування корисних копалин й картування дає змогу виконувати набагато ширший спектр завдань.

Головною передумовою застосування дронів у геофізичних спостереженнях є те, що роботи з використанням БПЛА не є настільки затратні і є можливість проведення повторного спостереження на проблемних ділянках, а також виконання додаткових видів геофізичних спостережень в один час за наявності відповідних геофізичних датчиків.

На борту безпілотних літальних апаратів можуть бути закріплені як і власні цифрові камери, так і додаткові геофізичні датчики. Завдяки витривалості сучасних безпілотних літальних апаратів до них можна прикріпити різні за розміром геофізичні датчики (магнітні, електромагнітні, інфрачервоні, радіолокатори, природні датчики гамма-випромінювання тощо). Навіть до дрона, наприклад, Phantom 4, ознайомившись з технічними характеристиками, можна прикріпити датчики невеликої ваги завдяки зручності конструкції (рис.1) і зробити потрібні геофізичні спостереження. На більш потужний Дрон DJI Matrice 300 RTK теж можна на платформу закріпити, але вже важчий датчик, камеру, додаткові сенсори (рис. 2).



Рис. 1. Дрон Phantom 4 Pro (джерело: <https://unsplash.com/>), на платформу якого можна закріпити геофізичний датчик



Рис. 2. Дрон DJI Matrice 300 RTK (джерело: <https://www.dji.com/matrice-300>)

Геофізики іноземних компаній активно виконують картографування на основі дронів та використовують різні геофізичні датчики, встановлені на дронах або безпілотних літальних апаратах, залежно від ваги датчика [4–6], для геофізичних досліджень уже протягом останніх десятиліть. Великої уваги заслуговують, наприклад, портативні магнітометри Sensys [7]. MagDrone R3 – ультрапортативний комплект для магнітометра, який можна прикріпити за допомогою спеціального кріплення до будь-якого БПЛА або дрона, вантажопідйомністю понад 1 кг (рис. 3).



Рис. 3. Ультрапортативний комплект магнітометра MagDrone R3 для дронів DJI (дрон DJI Matrice 300 RTK) [7]

Безпілотний аерогеофізичний комплекс MagDrone R3 на базі DJI Matrice 300 RTK, прикріплений з допомогою спеціального з'єднання, дає можливість робити знімання та контроль, тобто виконувати розвідку, моніторинг на малих висотах і реєструвати

магнітне поле навіть на недоступних, затоплених ділянках. Час польоту дрона DJI Matrice 300 RTK з таким датчиком сягає 35–40 хв. Використання цього дрона у комплексі з датчиком має й інше дуже практичне значення. Застосування такого комплексу дає змогу картувати трубопроводи, а також його можна використовувати для моніторингу та виявлення замінованих ділянок за принципом виявлення магнітних аномалій, що зараз, у час російської агресії проти України, є теж досить актуальним.

**Наукова новизна та практичне значення.** Використання геофізичних датчиків на борту БПЛА або дронів дає можливість провести демонстраційне обстеження, наприклад, родовищ, кар'єрів, затоплених ділянок тощо. Геофізичне спостереження за допомогою дронів або БПЛА з певними датчиками стає популярною в розвідці корисних копалин, сприяє нашому розумінню можливостей та обмежень візуалізації на базі безпілотних літальних апаратів. Отже, маючи відповідний дрон і певний геофізичний датчик чи сенсор, можна виконати будь-яке поставлене завдання з визначення параметрів геофізичних полів для певної ділянки.

Програмне забезпечення дронів та безпілотних комплексів допомагає ідентифікувати поточні дані, вирізати, фільтрувати та компенсувати необроблені дані, генерувати попередній перегляд та експортувати дані у різні формати для подальшої обробки записаних значень у програмних забезпеченнях MAGNETO, GEOSOFT, інструментах GIS. Отримання геофізичних даних із безпілотних літальних апаратів та закріплених датчиків у комплексі з сучасним програмним забезпеченням допомагає швидко та ефективно опрацьовувати дані та отримувати результати геофізичних спостережень у вигляді якісного графічного матеріалу, хмар точок для аналізу у інших спеціалізованих програмах.

Серед переваг є й незначні недоліки у застосуванні дронів для геофізичних спостережень. Серед основних недоліків – обмеження виконання досліджень протягом усього року, зміна погоди, пориви вітру, дощ, вологість і т.д., тобто обмеженість у часі досліджень, явища природи, крім того, поганий GPS-сигнал, якщо літати, наприклад, по заданому маршруту, отримання дозволів на політ, збільшення витрати батареї та зменшення відстані досліджень через вагу закріплених датчиків, дороговизна геофізичних датчиків та спеціального програмного забезпечення. Проте, незважаючи на незначні недоліки, частина з яких з часом зменшується завдяки еволюції, витривалості дронів і доступності або появи маленьких геофізичних датчиків та недорогого універсального програмного забезпечення, безпілотні літальні апарати стають потужним інструментом швидкого та не настільки затратного отримання даних геофізичних спостережень.

**Висновки.** Швидкий розвиток технології безпілотних літальних апаратів дав можливість ширше використовувати безпілотні літальні апарати та дрони, здатні інтегрувати геофізичні датчики, такі як магнітні, електромагнітні, інфрачервоні, радіолокатори, природні датчики гамма-випромінювання для будь-якого виду геофізичних спостережень. Технології БПЛА мають кілька переваг перед традиційними геофізичними спостереженнями – роздільна здатність, стійкість, вартість, швидкість – тому, навіть не зважаючи на деякі недоліки, це сприятиме розвитку та розширеному застосуванню безпілотних літальних апаратів або дронів для геофізичних вимірювань під час пошукових робіт і, відповідно, виконанню геологічної розвідки, дослідженню параметрів фізичних полів Землі, моніторингу геологічних та геофізичних процесів.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ/REFERENCES

1. AA.VV. The Future of Unmanned Aerial Vehicles in Europe, Civilian and Military Market Outlook. 2013–2021. 2012. P. 209.
2. Gupta S. G., Ghonge M. M., Jawandhiya P. M. Review of Unmanned Aircraft System (UAS) // International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology. 2013. Vol. 2. No. 4. P. 1646–1658.
3. Singhal G., Bansod B., Mathew L. Unmanned aerial vehicle classification applications and challenges: A review // Preprints. 2018. 2018110601.
4. Hatch M. Environmental geophysics: Using drones to create base maps // Preview. 2016. Vol. 185. P. 31–32.
5. Hatch M. Environmental geophysics: Developments in miniaturisation technology // Preview. 2017. Vol. 189. P. 32–33.
6. Gavazzi B., Le Maire P., Munsch M., Dechamp A. Fluxgate vector magnetometers: A multisensor device for ground, UAV, and airborne magnetic surveys // The Leading Edge. 2016. Vol. 35. No. 9. P. 795–797.
7. SENSY. Magnetometer & Survey Solutions. [Online]. Available: <https://sensysmagnetometer.com/products>

*Стаття: надійшла до редакції 15.02.2022  
прийнята до друку 15.03.2022*

### USING UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAV) FOR GEOPHYSICAL OBSERVATIONS

**Yuriy Vikhot<sup>1</sup>, Ihor Bubniak<sup>2</sup>, Solomiia Kril<sup>1</sup>, Vitaly Fourman<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Ivan Franko National University of Lviv,  
Hrushevskoho Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005  
e-mail: [yuvik@ukr.net](mailto:yuvik@ukr.net); [solia\\_kr@ukr.net](mailto:solia_kr@ukr.net); [fourman@i.ua](mailto:fourman@i.ua);

<sup>2</sup>Lviv Polytechnic National University,  
Karpinskoho Str., 6, Lviv, Ukraine, 79013  
[ibubniak@yahoo.com](mailto:ibubniak@yahoo.com)

The article demonstrates the possibilities of using various types of unmanned aerial vehicles (UAVs) for geophysical research. UAVs are becoming a powerful tool for high-speed geophysical research in hard-to-reach areas for quick observation and measurements of certain parameters of physical fields.

UAVs, capable of integrating geophysical sensors, become a powerful and effective tool for preparation of more detailed and more expensive geophysical observations of the Earth's physical fields for the study of the deep structure and detection of local anomalies.

Obtaining spatial and geophysical data from unmanned aerial vehicles using sensors in combination with modern software and software modules allows to quickly and efficiently process data and obtain results of geophysical observations in the form of high-quality graphic material, point clouds, etc. in other specialized software.

*Key words:* Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Drone, quadcopter, geophysics, geophysical sensors.