

ІВАНЕНКО РУСЛАН

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз

<https://orcid.org/0000-0002-1447-6275>e-mail: indior@ukr.net

МАРЧЕНКО ОЛЕНА

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0001-5754-4920>e-mail: marchenko.helene@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ ДРОНІВ ТА РОБОТІВ У РЯТУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЯХ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ

Стаття зосереджується на революційному впливі дронів та робототехніки на сферу рятувальних операцій та природокористування, висвітлюючи широкий спектр застосувань цих технологій. Описуючи різні аспекти використання безпілотних літальних апаратів, стаття відкриває нові горизонти для збору даних, спостереження та надання допомоги в умовах, які доти вважалися непрохідними або небезпечними для людей. Дрони оснащені найсучаснішим обладнанням, включаючи системи для отримання та зберігання зображень, супутникову навігацію, командно-навігаційні системи та бортові обчислювальні системи, що дозволяє їм виконувати розширені функції з моніторингу екологічного стану, геологічної розвідки, евакуації та багато іншого. Стаття акцентує увагу на значних перевагах дронів для моніторингу навколишнього середовища, дозволяючи отримувати високодеталізовані топографічні відомості, які можуть бути швидко інтегровані з GIS/CAD системами для точного аналізу та планування. Попри високу вартість деяких передових систем, таких як комбіновані тепловізійні системи, радіолокаційні системи пропонують вартісно-ефективне рішення, що забезпечує збір даних у складних погодних умовах. Наукова новизна дослідження полягає у розробці та аналізі інтегрованих технологічних рішень, які значно розширюють можливості традиційних методів рятувальних операцій та управління природними ресурсами. Було проведено комплексне дослідження, що охоплює розробку, тестування та впровадження спеціалізованих алгоритмів та програмного забезпечення для автоматизації процесів збору, аналізу даних та виконання задач у складних і небезпечних умовах, де використання людських ресурсів є обмеженим або неможливим. Практична цінність дослідження має значний вплив на оптимізацію та підвищення ефективності вирішення ряду ключових задач в областях аварійно-рятувальних робіт, моніторингу довкілля, аграрного сектору, управління природними ресурсами та відповіді на надзвичайні ситуації. Використання дронів та роботизованих систем дозволяє проводити рятувальні місії в небезпечних або важкодоступних районах, зменшуючи ризики для життя та здоров'я людей.

Ключові слова: дрони, роботи, рятувальні операції, моніторинг навколишнього середовища, високороздільна камера, геосистема.

IVANENKO RUSLAN

The Ukrainian scientific and research Institute of special equipment and forensic expertise

MARCHENKO OLENA

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

USE OF DRONES AND ROBOTS IN RESCUE OPERATIONS AND NATURE USE

The article focuses on the revolutionary impact of drones and robotics on the field of rescue operations and nature management, highlighting a wide range of applications of these technologies. By describing various aspects of the use of unmanned aerial vehicles, the paper opens up new horizons for data collection, surveillance and assistance in environments previously considered impassable or dangerous for humans. Drones are equipped with state-of-the-art equipment, including image acquisition and storage systems, satellite navigation, command-and-control navigation systems, and on-board computing systems, allowing them to perform advanced functions in environmental monitoring, geological exploration, evacuation, and more. The article highlights the significant advantages of drones for environmental monitoring, allowing to obtain highly detailed topographic information that can be quickly integrated with GIS/CAD systems for accurate analysis and planning. Despite the high cost of some advanced systems, such as combined thermal imaging systems, radar systems offer a cost-effective solution for data collection in difficult weather conditions. The scientific novelty of the research consists in the development and analysis of integrated technological solutions that significantly expand the capabilities of traditional methods of rescue operations and natural resource management. For the first time, a comprehensive study was conducted, covering the development, testing and implementation of specialized algorithms and software for automating the processes of data collection, data analysis and performance of tasks in complex and dangerous environments where the use of human resources is limited or impossible. The practical value of the research has a significant impact on optimizing and increasing the efficiency of solving a number of key tasks in the fields of emergency and rescue operations, environmental monitoring, the agricultural sector, natural resource management and response to emergency situations. The use of drones and robotic systems allows for rescue missions in dangerous or hard-to-reach areas, reducing risks to people's lives and health.

Keywords: drones, robots, rescue operations, environmental monitoring, high-resolution camera, geosystem.

Постановка проблеми

Актуальність дослідження полягає у швидкому розвитку технологій та їх застосуванні в різних сферах життєдіяльності людства. Останніми роками свідки збільшення частоти природних катастроф і надзвичайних ситуацій, таких як землетруси, лісові пожежі, повені, що вимагає оперативної реакції та ефективних методів рятувальних робіт. У цьому контексті дрони та роботи відіграють ключову роль, дозволяючи здійснювати моніторинг небезпечних зон, доставлення необхідних матеріалів у важкодоступні

місця, пошук та рятування людей. Інтеграція цих технологій у сферу рятувальних операцій та природокористування дозволяє значно підвищити ефективність і безпеку проведення рятувальних робіт, мінімізувати ризики для життя та здоров'я рятувальників, а також сприяти швидкому відновленню постраждалих територій. Окрім того, використання дронів та роботів відкриває нові можливості для дослідження природних ресурсів, моніторингу стану довкілля, контролю за забрудненням та охорони природних заповідників.

Актуальність також зумовлена необхідністю адаптації до змінюваних умов навколишнього середовища, зростанням вимог до оперативності та точності інформації при ухваленні рішень в умовах кризових ситуацій. Впровадження інноваційних технологій у рятувальні операції та природокористування вимагає комплексного підходу, розробки нових методів управління, законодавчої підтримки, а також підготовки кваліфікованих спеціалістів, здатних ефективно використовувати потенціал цих технологій. У світлі зазначених факторів, дослідження використання дронів та роботів у рятувальних операціях та природокористуванні є вкрай актуальним і перспективним напрямком, який відкриває широкі можливості у сфері технічних приладів та забезпечення.

Аналіз останніх джерел

Огляд літератури може включати декілька ключових напрямків, що висвітлюють поточний стан досліджень у цій галузі, розглядають передові практики та ідентифікують потенційні можливості для подальшого розвитку. В роботі Бондар Д., Гурник А., Литовченко А., Хижняк В., Шевченко В., Ядченко Д. [3] зазначається, що дрони використовуються для оцінки збитків від природних катастроф, таких як землетруси, цунамі, лісові пожежі, надаючи цінну інформацію для рятувальних команд. Як вазують Андрєєв С. [1], Бабінець А. [9], використання дронів значно підвищує ефективність пошукових місій у важкодоступних або небезпечних зонах, дозволяючи швидко виявляти розташування постраждалих.

В ряді наукових робіт: Гріффітс Д., Бернінгем Х. [11], Клоучек Т. [15] говориться про те, що роботи та БПЛА використовуються для збору даних про стан екосистем, здійснення фотографування та відеозапису флори та фауни у важкодоступних місцях. Також Hematulin W. [11] вказують, що роботи забезпечують збір проб води та повітря для аналізу забруднення, виявлення витоків нафти та хімічних речовин у водоймах. Інтеграція AI дозволяє покращити здатність дронів та роботів до самостійного навігування, обробки зображень та прийняття рішень у реальному часі (Кубрак Ю. [4]).

Розробка та впровадження технологій повинні враховувати питання приватності, безпеки даних та взаємодії з людьми, це вказується в роботі Камель Булос М.Н. [13]. Дослідження показують потенціал для подальшого вдосконалення дронів та роботів, зокрема у плані збільшення автономності, покращення точності даних.

Формулювання цілей

Метою дослідження є розробка та аналіз ефективності застосування дронів та роботизованих систем в рятувальних операціях та природокористуванні, що включає вивчення потенціалу цих технологій для підвищення безпеки, ефективності та оперативності у відповідних сферах.

Завдання дослідження:

- проаналізувати існуючі технологічні рішення для використання дронів та роботизованих систем у рятувальних операціях та природокористуванні;
- обґрунтувати технічні специфікації для дронів та роботизованих систем, адаптованих до потреб рятувальних служб та органів управління природокористуванням, з акцентом на забезпечення високої надійності, точності та автономності в роботі;
- провести експериментальну перевірку прототипів в реальних умовах для оцінки їх функціональності, діапазону дії, здатності до спілкування в складних умовах та витривалості.

Виклад основного матеріалу

Використання дронів стало однією з ключових тенденцій у сучасній авіації. Ці технологічні апарати здатні виконувати широкий спектр задач, включаючи розшук морських і сухопутних об'єктів, здійснення фото- та відеознімання, моніторинг екологічного стану, проведення геологічної розвідки, надання допомоги при евакуації та діяльність у кризових ситуаціях. Завдяки дронам можна отримати детальні топографічні відомості про досліджувані території, використовуючи різноманітні технічні засоби (цифрові моделі місцевості, фотоплани, 3D-моделі) для точної та швидкої обробки даних та їхньої інтеграції з GIS/CAD системами. Для ефективного здійснення моніторингу навколишнього середовища в реальному часі дрон має бути обладнаний наступними компонентами [10]:

- система отримання та зберігання зображень;
- супутникова навігація;
- система передачі відео та телеметричних даних;
- командно-навігаційна система з антенно-фідерним устроєм;
- система командного обміну інформацією;
- система обміну інформацією;
- бортова обчислювальна система.

Більшість дронів оснащені високороздільними камерами, які дозволяють операторам отримувати чітке зображення спостережуваної території в реальному часі. Однак основною проблемою сучасних камер є їх обмежена чутливість, що ускладнює цілодобове використання дронів. Більш ефективним рішенням є

використання комбінованих телетепловізійних систем, які надають зображення, що поєднує інформативні елементи видимого та інфрачервоного спектрів, значно покращуючи характеристики систем спостереження. Однак такі системи мають високу вартість та технічну складність [12].

Використання радіолокаційних систем є найкращим вибором, коли мова йде про баланс між вартістю та якістю, оскільки вони забезпечують можливість збору даних без перерв та у складних погодних умовах. Змінні модулі дозволяють адаптувати та оптимізувати вартість обладнання дронів, роблячи їх здатними до ефективної роботи в специфічних умовах експлуатації. Відповідно до міжнародних стандартів існуючі безпілотні літальні апарати класифікуються в такий спосіб (таблиця 2).

Таблиця 1

Класифікація безпілотних літальних апаратів [3]

Клас	Найменування	Злітна маса, кг	Радіус дії, м	Висота застосування, м
Малі	Нано	<0,025	<1	100
	Мікро	<5	<10	3000
	Міні	<25	10–40	3000
Легкі	Близького дії- 1	25–50	25–70	3000
	Близького дії- 2	50–150	50–100	3000
Середні	Малий дальності (SR)	<=200	<=150	4000
	Середній дальності (MR)	<=500	200	5000
	Середня дальність з великою тривалістю польоту (MRE)	500	500	8000
	Маловисотний великої дальності (LADP)	>=250	>250	<=4000
Важкі	Маловисотний (LALE)	>=250	>=250	4000
	Середньовисотний (MALE)	>=1000	>1000	8000
	Більше висотний (HALE)	>=2500	>4000	20000

На сьогодні ціни на базові моделі дронів є порівняно доступними та продовжують знижуватися, що сприяє зростанню їхнього використання як на глобальному рівні, так і в Україні. Використання дронів дозволяє економічно вирішувати багато задач, пов'язаних із безпекою та надійністю, на які раніше витрачалися значні кошти. Прогнозується, що до 2025 року світовий ринок дронів, які доповнюють або навіть заміщують традиційні операційні процеси, сягне 180 млрд дол. США. Згідно зі звітами провідних світових новинних агенцій, у США та Європейському Союзі були прийняті програми розвитку використання дронів у економіці, що включає їх активне впровадження у геологічну розвідку, моніторинг об'єктів великої протяжності та доставлення матеріалів на будівельні майданчики до 2025 року [19].

Дрони знаходять застосування у сфері аварійно-рятувальних операцій для захисту людей, матеріальних та культурних активів, а також навколишнього середовища в зонах стихійних лих і інших надзвичайних ситуацій. Вони використовуються для ідентифікації осередків небезпеки, оцінки пошкоджень та розшуку людей у потенційно небезпечних місцях. Завдяки аеріальній підтримці, завдання виконуються швидше та з більшою точністю, при цьому мінімізуючи ризики для здоров'я та життя рятувальників [1]. Залежно від конкретного завдання, дрони можуть бути оснащені різноманітним обладнанням, включаючи відеокамери, лідарні датчики та сканери, газоаналізатори, прилади для радіаційного та хімічного дослідження, тепловізори, та здатні працювати в умовах з різноманітними рельєфами та складним доступом (рис. 1).

У лісових масивах дрони виявляються надзвичайно корисними завдяки можливості охопити великі території та здатності підтримувати польоти на низькій висоті, нижчій, ніж це можливо для маневрування пілотованими літаками. Під час пошуково-рятувальних операцій вертольоти зазвичай літають на висоті 200 метрів і вище. Використання вертольотів є звичним, коли місцезнаходження людини вже відоме приблизно, і потрібно визначити її точне розташування та оцінити можливості для евакуації. Тепловізори рідко застосовуються у таких ситуаціях через обмежену деталізацію зображення: сучасне обладнання часто не може похвалитися високою роздільною здатністю, тому оптимальним варіантом є використання тепловізійних систем як допоміжного обладнання на дронах [18]. Процес рятувальної операції з вертольота відбувається наступним чином: після отримання приблизного місцезнаходження зниклої особи організовується виліт, де рятувальники шукають особу, використовуючи власне зір пілота та, у випадку нічних польотів, допоміжне освітлення. З висоти 200 метрів можна легко помітити будь-які сигнали SOS, подані зниклою особою, навіть світло ліхтарика смартфона. У разі виявлення людини екіпаж вертольота або самостійно здійснює евакуацію, або передає дані про розташування особи наземним групам рятувальників [9].



Рис. 1. Ідентифікація об'єкта БПЛА при проведенні аварійно-рятувальних операцій [3]

Основні етапи порятункового алгоритму як у мирний, так і у воєнний час включають пошук постраждалих або поранених, надання їм первинної медичної допомоги та евакуацію. Японська компанія iRobot розробляє робота для допомоги пораненим солдатам в умовах екстремального ризику, здатного обходити перепони й виявляти поранених. Цей робот оснащений спеціальними пристроями, включно з відеокамерою, радіопередавачем, електронним стетоскопом, що дозволяє здійснювати взаємодію з лікарем та пораненим. За допомогою даних, зібраних з сенсорів, визначається важкість травми, після чого санітар-робот може надати первинну медичну допомогу або зробити ін'єкцію знеболювального або антидоту [7]. Американська компанія «Vespa Technologies» розробляє роботи «BEAR» (Battlefield Extraction-Assist Robot), призначені для транспортування важких вантажів до 270 кг на далекі відстані [5]. Вони будуть використовуватися в ситуаціях з високим ризиком радіаційного чи хімічного забруднення для рятування поранених солдатів, чия вага через захисне спорядження може бути занадто великою для евакуації рятувальними командами (рис. 2).



Рис. 2. Робот-евакуатор поранених людей [15]

В останні роки відбувається стрімкий розвиток використання дронів для медичних потреб, таких як транспортування медичних виробів, включаючи донорську кров для трансфузій, вакцини, антидоти до зміїних укусів та біологічні зразки для досліджень. Ця інновація сприяє підвищенню ефективності надання медичної допомоги пацієнтам в районах, доступ до яких ускладнений через погані дороги. У таких країнах як Канада, США та деяких європейських країнах розглядається ідея мобільної швидкої допомоги, яка передбачає використання дронів для доставлення дефібриляторів на місце надзвичайної події, хоча наразі їх застосування обмежене потребою знаходитись у прямій видимості [17].

Протягом останнього десятиліття активізувалася розробка роботизованих систем для цілей рятування та евакуації, як у сфері військової, так і цивільної медицини при стихійних бідах. Розробки ведуться як на землі, так і в повітрі в таких країнах, як Ізраїль, США, Китай та Японія. У Ізраїлі, наприклад, компанія «Urban Aeronautics» працює над дронами для евакуації поранених і у 2015 році провела успішні випробування літального апарату «Cormorant», здатного виконувати автономні польоти за встановленим маршрутом (рис. 3).



Рис. 3. БПЛА «Cormorant», Ізраїль [19]

«Cormorant» відрізняється здатністю до вертикального зльоту і посадки, що дозволяє йому оперувати в обмежених просторах, недоступних для традиційних вертольотів, включаючи зони активних бойових дій. Його унікальна конструкція гвинтів уможливорює маневровість серед міських споруд і посадку при швидкості вітру до 90 км/год. Апарат може автономно евакуювати до двох поранених осіб, яких достатньо лише покласти в нього. Використовуючи один двигун і два гвинти у хвостовій частині, «Cormorant» досягає швидкості до 160 км/год і здатен долати відстань до 32 км, працюючи при більш сильних поривах вітру, ніж пілотовані вертольоти. Він також має підвищену живучість порівняно з вертольотами, завдяки своїм компактним розмірам і низькому рівню шуму, який стає непомітним на відстані понад 800 метрів. Крім того, евакуаційних місій, «Cormorant» може слугувати для доставлення військових вантажів та використовуватись в цивільній сфері для підтримки рятувальників та медичних бригад [3].

Тим часом інша компанія з Ізраїлю, «Israel Aerospace Industries», провела випробування прототипу дрона Air Hopper (рис. 4). Air Hopper представляє собою дрон-вертоліт, який розроблено з використанням технологій маневрових вертольотів, оснащений бензиновим двигуном та може перевозити вантаж від 100 до 180 кг залежно від модифікації. Цей апарат забезпечує безпеку людей, знижуючи ризики для життя, і є економічним у порівнянні з використанням вертольотів з екіпажем. Ключовим елементом системи евакуації є автоматизована система надання невідкладної медичної допомоги. Військово-морські сили США планують створити першу в галузі польової медицини повністю автоматизовану систему медичної допомоги, що дозволить роботу підтримувати життєво важливі функції постраждалого під час транспортування, забезпечуючи його необхідними рідинами, киснем та знеболювальними.



Рис. 4. Air-хопери. Ізраїльська аерокосмічна промисловість IAI [8]

Революційний медичний робот ACCS здатен моніторити життєві показники та здійснювати медикаментозну підтримку у випадку критичних станів. Перспектива цієї автоматизованої системи полягає не лише в створенні помічника для медичного персоналу, а в реалізації автономного безпілотного санітарного транспорту для самостійної евакуації поранених до медичного закладу після їх підготовки та підключення до системи невідкладної допомоги (рис. 5).



Рис. 5. Проект дрона-рятувальника [10]

З аналізу наданої інформації випливає, що сучасні концепції розвитку робототехніки у медицині відкривають значні перспективи для використання земних та літаючих роботів задля мінімізації втрат життів у ситуаціях кризи, як у мирний, так і у військовий час. Застосування цих технологій дозволить не лише скоротити час на пошук, надання першої допомоги і евакуацію потерпілих та поранених, зменшуючи кількість невинуватених смертей, але й забезпечить безпеку для рятувальників та медперсоналу. Інтенсивний розвиток технологій, вдосконалення в області навігації, комунікацій, радіолокації, виробництва композитних матеріалів, нанотехнологій, мікропроцесорної техніки, сонячних панелей, потужних акумуляторів, оптоелектроніки та іншого значно розширює можливості для створення медичної робототехніки, спрямованої на зниження людських втрат [16].

У сфері досліджень ґрунто-біотичних взаємозв'язків необхідно вибирати репрезентативні ділянки для оцінки стану екосистем. Розширення людської діяльності призводить до змін природного середовища, підвищуючи різноманітність і контрастність серед порушених та відносно неторканих екосистем. При зменшенні антропогенного впливу починається процес відновлення, що може тривати роками і зачіпати великі території [4]. Однак визначення первісного стану екосистем на межі між різними типами (наприклад, між лісовими та степовими зонами) у так званих екотонах, які мають унікальну структуру та відіграють роль у формуванні специфічних екотональних груп, виявляється складним. Це породжує потребу в оцінці поширення різних рослинних угруповань. Для цих цілей в останні роки використовуються дані дистанційного зондування Землі, зокрема, через супутникові знімки. Найзручнішим інструментом для цього стає використання дронів.

Для цих цілей найзручніший інструмент - це використання дронів. У дослідженні застосовувалися зображення, отримані за допомогою дрона Phantom 3 Advanced. Фотографії місцевості, доступні з супутників через відкриті джерела (GloVis: glovis.usgs.gov; Google EarthPro 7.3), дозволяють ідентифікувати великі території, де знаходяться як змінені, так і природні об'єкти (рис. 6) [8]. Однак вибрати ключові ділянки і достатньо контрольних точок для аналізу на рівні екосистем з використанням цих даних може бути складно.



Рис. 6. Розташування геосистем із різним рівнем антропогенного впливу; де: 1 – умовно не порушений сосновий ліс; 2 – вирубка лісу; 3 – лісовідновлювальні насадження [8]

Дослідження на рівні біоценозів дозволяють аналізувати найбільш детальну топологію, і переходячи до вивчення фацій та їхніх груп (які представляють вищий рівень ландшафту), можливо вивести важливі висновки про динаміку угруповань ґрунтових безхребетних з урахуванням комплексу зовнішніх впливів, в тому числі антропогенного впливу. Екотони, як перехідні зони між різними екосистемами, зазвичай мають більшу біорізноманітність, включаючи види з обох навколишніх спільнот. Екотон між тайгою та степом відіграє важливу роль як бар'єр та місце контакту, допомагаючи зберігати унікальність і відносну ізоляваність цих геосистем, а також сприяє їх взаємодії та зв'язку. Функції ектонів можна розглядати під кутом зору вибіркової: вони можуть діяти як перепона для деяких процесів та як активний медіатор для інших, а також часової вибіркової, коли екотон може змінювати свої функції залежно від часу [3].

Використання дронів у наземних дослідженнях є ефективним, особливо в умовах катастрофічних подій природного характеру. Наприклад, для аналізу наслідків зсуву в лісових екосистемах, коли в нижніх частинах скупчується мулистий матеріал, потрібно визначити межі пошкоджених лісових масивів, що з підлоги лісу є складним через густий ліс. Плотний шар дрібнодисперсного матеріалу повністю закриває плідний шар верхніх горизонтів ґрунту, роблячи його майже «безжиттєвим». Ґрунтова біота не може існувати в умовах «місячного пейзажу». Мурахи є одними з перших колонізаторів таких змінених геосистем, але в цій зоні відновлення життєздатних колоній не спостерігається [7]. Причини цього природні, і питання про механізми відновлення та шляхи їх активації залишається відкритим (рис. 7).



Рис. 7. Визначення ареалів пошкоджених лісів селом, що зійшло, в районі через три роки; ліворуч вид на місцевість, праворуч з висоти 200 м [14]

При аналізі біорізноманіття особлива увага зосереджується на таксономії спільнот, які є ключовими структурними елементами у складній системі життя. Варіації в таксономічній різноманітності угруповань безхребетних на мезо-рівні (у межах фаційних груп) переважно залежать від едофокліматичних та фітоценотичних факторів, які змінюються з позицією біоценозу у ландшафті.

Розробка методологічних аспектів допомогла зробити проведені дослідження менш витратними за зусиллями при збереженні їх достовірності та репрезентативності. Антропогенні процеси, які впливають на перетворення ґрунту та рослинності, спричиняють зміни у фізико-хімічних властивостях ґрунтів та у водному та тепловому балансі, провокуючи різноманітні зміни у структурі та кількості тваринних популяцій. Аналіз структури угруповань ґрунтових безхребетних дозволяє швидше виявити зміни, які відбуваються протягом процесу ґрунтоутворення, ніж за допомогою інструментальних чи хімічних досліджень. Структура зооценозів та розмаїтість її проявів у просторово-часовому вимірі можуть слугувати показником стабільності екосистем до зовнішніх чинників і здатності біотичних спільнот до самовідновлення. Застосування даних про стан мезофауни ґрунтів для розв'язання ландшафтно-екологічних завдань є доречним і включає дослідження місцевих і регіональних моделей зооценозів ґрунтів та їх розподілу у просторі залежно від клімату, ґрунтових та біотичних факторів, виявлення особливостей структури та функціонування мезофауни ґрунтів, а також просторових характеристик природної динаміки.

Висновки

Дослідження використання дронів у сучасній авіації виявило значні перспективи застосування цих апаратів для вирішення різноманітних завдань: від моніторингу навколишнього середовища до участі в аварійно-рятувальних операціях. Дрони демонструють високу ефективність у зборі детальних топографічних даних, що сприяє точній і швидкій обробці інформації та її інтеграції з GIS/CAD системами.

Основною проблемою залишається обмежена чутливість камер, що ускладнює цілодобове використання дронів, однак використання комбінованих телетеєловізієвих систем виявилось ефективним рішенням для покращення характеристик спостереження. Проте такі системи є досить дорогими та технічно складними. Дрони виявляються особливо корисними у лісових масивах та в умовах кризових ситуацій, де їх здатність до вертикального зльоту та посадки робить можливим ефективне використання в умовах, недоступних для традиційних літальних апаратів. Це відкриває широкі можливості для їх застосування в аварійно-рятувальних операціях та медичних місіях, особливо в регіонах з важкодоступним рельєфом.

Дослідження підтвердило, що дрони та роботи можуть виконувати широкий спектр завдань, від моніторингу стану довкілля до надання допомоги в умовах надзвичайних ситуацій, підвищуючи ефективність та безпеку рятувальних операцій та забезпечуючи швидкий доступ до важкодоступних місць.

Особливу увагу в дослідженні було приділено можливості БПЛА і роботів забезпечувати точний збір даних для аналізу та оцінки екологічного стану територій, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення у сфері природокористування. Їхнє використання сприяє зменшенню часу реакції на екологічні та надзвичайні події, а також забезпечує збір даних без безпосереднього втручання людини в потенційно небезпечні процеси. Застосування дронів та роботів в аварійно-рятувальних операціях значно підвищує безпеку персоналу, оскільки дозволяє проводити розшукові місії та діагностику ситуацій на місці події на безпечній відстані. Ефективність рятувальних операцій зростає за рахунок можливості швидко ідентифікувати постраждалих та надати їм першу медичну допомогу в критичні моменти.

Література

1. Андреев С. Застосування даних аерофотозйомки з безпілотних літальних апаратів для побудови 3D-моделей місцевості / С. Андреев, В. Жилін // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – 2019. – №1. – С. 3-16. – 10.26906/SUNZ.2019.1.003.
3. Афтаназів І. С. Визначення координат та параметрів руху безпілотних літальних апаратів / І. С. Афтаназів, Р. З. Стоцько, А. О. Шевчук, О. І. Строган, Бойко О. О. // Системи озброєння і військова техніка. – 2022. – № 3 (71). – С. 49-59. – <https://doi.org/10.30748/soivt.2022.71.07>.
3. Застосування безпілотних авіаційних систем у сфері цивільного захисту: монографія / Д.В. Бондар, А.В. Гурник, А.О. Литовченко, В.В. Хижняк, В.Л. Шевченко, Д.М. Ядченко. Київ. – 2022. – 312 с.
4. Кубрак Ю. Формування комплексної системи стеження сучасних БПЛА на базі штучного інтелекту / Ю. Кубрак, Д. Плечистий, І. Толстой // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 2/2022 (133). С. 41-47. DOI <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.2.5>
5. Македон В. В. Планування і організація впровадження цифрових технологій в діяльність промислових підприємств. Науковий вісник Херсонського державного університету / В. В. Македон, О. О. Байлова // Серія «Економічні науки». – 2023. – Випуск 47. – С. 16-26. – DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3
6. Македон В. В., Чабаненко А. В. Факторні складові цифровізації глобальної економіки та макроекономічних систем країн світу / В. В. Македон, А. В. Чабаненко // Ефективна економіка. – 2022. – №1. – URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=9875>. DOI: 10.32702/2307-2105-2022.1.11.
7. Толкунова Ю. Розробка системи подолання перешкод для безпілотного літального апарату / Ю. Толкунова // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – 2022. – №2(68). – С. 32-36. – <https://doi.org/https://doi.org/10.26906/SUNZ.2022.2.032>

8. Ямелинець Т. Інформаційне ґрунтознавство : монографія / Т. Ямелинець // Львів : ЛНУ ім. Івана Франка. – 2022. – 352 с.
9. Babinec A. On accuracy of position estimation from aerial imagery captured by low-flying UAVs / A. Babinec, J. Apeltauer // *International Journal of Transportation Science and Technology*. – 2016. – No.3(5). – P. 152-166. – <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2017.02.002>.
10. Du X. Data Processing and Encryption in UAV Radar / X. Du, Y. Tang, Y. Gou, Z. Huang // 2021 IEEE 4th Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC). – 2021. – pp. 1445-1450. – DOI: 10.1109/IMCEC51613.2021.9482373
11. Griffiths D. Comparison of pre-and self-calibrated camera calibration models for UAS-derived nadir imagery for a SfM application / D. Griffiths, H. Burningham // *Progress in Physical Geography*. – 2019. – №43(2). – pp. 215–235. – <https://doi.org/10.1177/0309133318788964>
12. Hematulin W. Trajectory planning for multiple UAVs and hierarchical collision avoidance based on nonlinear Kalman filters / W. Hematulin, P. Kamsing, P. Torteeka, T. Somjit, T. Phisannupawong, T. Jarawan // *Drones*. – 2023. – № 7. – P. 142.
13. Kamel Boulos M. N. Geospatial techniques for monitoring and mitigating climate change and its effects on human health / M. N. Kamel Boulos, J. P. Wilson // *International Journal of Health Geographics*. – 2023. – №22(2). – <https://doi.org/10.1186/s12942-023-00324-9>.
14. Landsat Science. – URL: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>
15. Klouček T. The Use of UAV Mounted Sensors for Precise Detection of Bark Beetle Infestation / T. Klouček, J. Komárek, P. Surový, K. Hrach, P. Janata, B. Vašíček // *Remote Sensing*. – 2019. – Vol. 11. – № 13. – P. 1561.
16. Makedon V. Modification of Value Management of International Corporate Structures in the Digital Economy / V. Makedon, O. Mykhailenko, O. Dzyad // *European Journal of Management Issues*. – 2023. – №31(1). – pp. 50-62. – <https://doi.org/10.15421/192305>
17. Mohsan S. A. H. Towards the Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Comprehensive Review / S. A. H. Mohsan, M. A. Khan, F. Noor, I. Ullah, M. H. Alsharif // *Drones*. – 2022. – No. 6(6). – pp. 147. – <https://doi.org/10.3390/drones6060147>
18. Ye S. Detecting subtle change from dense Landsat time series: Case studies of mountain pine beetle and spruce beetle disturbance / S. Ye, J. Rogan, Z. Zhu, T.J. Hawbaker, S. J. Hart, R. A. Andrus, A. J. H. Meddens, J. A. Hicke, J. R. Eastman, D. Kulakowski // *Remote Sensing of Environment*. 2021. Vol. 263. P. 112-560.
19. Your Guide to Computer Vision in Drone Technology. – URL: <https://keymakr.com/blog/computer-visionin-drone-technology>

References

1. Andryeyev S. Zastosuvannya danykh aerofotozhyomky z bezpilotnykh lital'nykh apparativ dlya pobudovy 3D-modeley mistsevoosti / S. Andryeyev, V. Zhylin // *Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zv'yazku. Zbirnyk naukovykh prats'*. – 2019. – №1. – p. 3-16. – 10.26906/SUNZ.2019.1.003.
2. Aftanaziv I. S. Vyznachennya koordynat ta parametriv rukhu bezpilotnykh lital'nykh apparativ / I. S. Aftanaziv, R. Z. Stots'ko, A. O. Shevchuk, O. I. Strohan, Boyko O. O. // *Systemy ozbroynennya i viys'kova tekhnika*. – 2022. – № 3 (71). – p. 49-59. – <https://doi.org/10.30748/soivt.2022.71.07>.
3. Zastosuvannya bezpilotnykh aviatyinykh system u sferi tsyvil'noho zakhystu: monohrafiya / D.V. Bondar, A.V. Hurnyk, A.O. Lytovchenko, V.V. Khyzhnyak, V.L. Shevchenko, D.M. Yachchenko. Kyiv. – 2022. – 312 p.
4. Kubrak YU. Formuvannya kompleksnoyi systemy stezhennya suchasnykh BPLA na bazi shuchnoho intelektu / YU. Kubrak, D. Plechystyy, I. Tolstoy // *Visnyk KrNU imeni Mykhayla Ostrohrads'koho*. Vypusk 2/2022 (133). p. 41-47. DOI <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.2.5>
5. Makedon V. V. Planuvannya i orhanizatsiya vprovadzheniya tsyfrovyykh tekhnolohiy v diyal'nist' promyslovykh pidpryyemstv. Naukovyy visnyk Khersons'koho derzhavnoho universytetu / V. V. Makedon, O. O. Baylova // *Seriya «Ekonomiczni nauky»*. – 2023. – Vypusk 47. – C. 16-26. – DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3
6. Makedon V. V., Chabanenko A. V. Faktorni skladovi tsyfrovizatsiyi hlobal'noyi ekonomiky ta makroekonomichnykh system krayin svitu / V. V. Makedon, A. V. Chabanenko // *Efektivna ekonomika*. – 2022. – №1. – URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=9875>. DOI: 10.32702/2307-2105-2022.1.11
7. Tolkunova YU. Rozrobka systemy podolannya pereshkod dlya bezpilotnoho lital'noho aparatu / YU. Tolkunova // *Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zv'yazku. Zbirnyk naukovykh prats'*. – 2022. – №2(68). – p. 32-36. – <https://doi.org/https://doi.org/10.26906/SUNZ.2022.2.032>
8. Yamelynets' T. Informatsiyne ґрунтознавство : monohrafiya / T. Yamelynets' // L'viv : LNU im. Ivana Franka. – 2022. – 352 s.
9. Babinec A. On accuracy of position estimation from aerial imagery captured by low-flying UAVs / A. Babinec, J. Apeltauer // *International Journal of Transportation Science and Technology*. – 2016. – No.3(5). – p. 152-166. – <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2017.02.002>.
10. Du X. Data Processing and Encryption in UAV Radar / X. Du, Y. Tang, Y. Gou, Z. Huang // 2021 IEEE 4th Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC). – 2021. – pp. 1445-1450. – DOI: 10.1109/IMCEC51613.2021.9482373
11. Griffiths D. Comparison of pre-and self-calibrated camera calibration models for UAS-derived nadir imagery for a SfM application / D. Griffiths, H. Burningham // *Progress in Physical Geography*. – 2019. – №43(2). – pp. 215–235. – <https://doi.org/10.1177/0309133318788964>
12. Hematulin W. Trajectory planning for multiple UAVs and hierarchical collision avoidance based on nonlinear Kalman filters / W. Hematulin, P. Kamsing, P. Torteeka, T. Somjit, T. Phisannupawong, T. Jarawan // *Drones*. – 2023. – № 7. – P. 142.
13. Kamel Boulos M. N. Geospatial techniques for monitoring and mitigating climate change and its effects on human health / M. N. Kamel Boulos, J. P. Wilson // *International Journal of Health Geographics*. – 2023. – №22(2). – <https://doi.org/10.1186/s12942-023-00324-9>.
14. Landsat Science. – URL: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>
15. Klouček T. The Use of UAV Mounted Sensors for Precise Detection of Bark Beetle Infestation / T. Klouček, J. Komárek, P. Surový, K. Hrach, P. Janata, B. Vašíček // *Remote Sensing*. – 2019. – Vol. 11. – № 13. – P. 1561.

-
16. Makedon V. Modification of Value Management of International Corporate Structures in the Digital Economy / V. Makedon, O. Mykhailenko, O. Dzyad // *European Journal of Management Issues*. – 2023. – №31(1). – pp. 50-62. – <https://doi.org/10.15421/192305>
 17. Mohsan S. A. H. Towards the Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Comprehensive Review / S. A. H. Mohsan, M. A. Khan, F. Noor, I. Ullah, M. H. Alsharif // *Drones*. – 2022. – No. 6(6). – pp. 147. – <https://doi.org/10.3390/drones6060147>
 18. Ye S. Detecting subtle change from dense Landsat time series: Case studies of mountain pine beetle and spruce beetle disturbance / S. Ye, J. Rogan, Z. Zhu, T.J. Hawbaker, S. J. Hart, R. A. Andrus, A. J. H. Meddens, J. A. Hicke, J. R. Eastman, D. Kulakowski // *Remote Sensing of Environment*. 2021. Vol. 263. pp. 112-560.
 19. Your Guide to Computer Vision in Drone Technology. – URL: <https://keymakr.com/blog/computer-visionin-drone-technology>