

УДК 629.7

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.1/32>

Муравйов О.В.

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

Довбиш І.О.

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

Галаган Р.М.

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

Богдан Г.А.

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

Момот А.С.

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

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ АВТОНОМНОСТІ БПЛА

На сьогоднішній день безпілотні літальні апарати виконують безліч функцій: від світлових шоу до детального аналізу орних земель та пошуку злочинців. Вони не тільки привидишують процес збирання даних, а й здатні самостійно виконувати деякі задачі, які можуть бути складними або навіть небезпечними для людини. Розвиток цих технологій є однією з провідних сфер сучасного світу, адже з кожним днем перед БПЛА постають нові, складніші завдання. Для їх вирішення використовують різноманітні системи та пристрої, елементи машинного навчання. У певних ситуаціях, з якими не може впоратися один дрон, використовують рої БПЛА.

Стаття містить аналіз та короткий опис сучасних технологій, що можуть підвищити ефективність та автономність БПЛА. До них, зокрема, відносяться супутникові та інерціальні навігаційні системи, методи пасивної оптичної орієнтації із застосуванням штучного інтелекту на основі комп'ютерного зору, інфрачервоні та мультиспектральні камери, датчики вимірювання відстані до об'єктів. У роботі розглянуті сфери використання останніх та найбільш перспективних технологій БПЛА. Особливу увагу приділено об'єднанню БПЛА в рої, актуальним проблемам та сучасному стану розвитку цієї технології. Проаналізовано сучасні шляхи вирішення проблеми «паливо-вага-відстань».

У роботі розглянуті методи автоматизованої обробки зображень на основі сегментації даних, що застосовуються у сучасних БПЛА для розпізнавання та класифікації об'єктів. Проаналізовані основи технологій агрономіторингу із застосуванням дронів, що базуються на використанні мультиспектральних камер, визначенні вегетаційних та індексів рослинності. Розглянуто технологію побудови тривимірних кольорових моделей місцевості, що реалізована та впроваджена однією з українських компаній на основі датчиків LiDAR.

Розвиток БПЛА вже досяг неабияких вершин, проте досі актуальним є питання створення повністю автономного дрона, що може самостійно використовувати інформацію, отриману від наявного корисного навантаження. Потребують значного вдосконалення алгоритми взаємодії між самостійними дронами в складі рою.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати, БПЛА, дрони, автономність, корисне навантаження, навігаційні системи.

Постановка проблеми. Ідея створення «безпілотника» з'явилась наприкінці 19 ст. III всіляко намагалися втілити у життя під час Першої та Дру-

гої світових війн. У 1970-х роках почалися перші випробування НАСА безпілотних літальних апаратів на великих висотах. У той час ці технології не

привертати до себе багато уваги, адже були недостатньо функціональними і потребували великих фінансових вкладень. У наші дні БпЛА виконують більшість завдань швидше та економічно вигідніше за альтернативні методи. Часто вони рятують життя людей. Не останнє місце у розвитку таких технологій займає й Україна. Сьогодні вони використовуються у сільському господарстві, електроенергетиці, геодезії, нафтогазовій та гірській промисловості, будівництві, військовій техніці і т. д. Проте ці технології наразі активно розвиваються, вдосконалюються, сфери їх застосування постійно розширюються і залишається ще чимало невирішених питань, що потребують додаткових досліджень та доопрацювання. За думкою міністра цифрової трансформації України Михайла Федорова розробка і виробництво БпЛА є одним з пріоритетних напрямків розвитку нашої держави.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні безпілотні літальні апарати повинні вміти аналізувати навколишній світ, будувати маршрут свого руху та алгоритм виконання певних дій. Все це буде неможливим для БпЛА без забезпечення засобами орієнтації в просторі. Для цього використовують поєднання супутникових та інерціальних навігаційних систем [1, с. 79–84]. Разом ці засоби дозволяють створити досить точну автономну систему орієнтації дрона.

Аналіз сучасного ринку демонструє, що для кожної зі сфер застосування БпЛА є свої варіанти вирішення поставлених задач та компоновки структурної схеми дрона. Матеріали з джерел [2, 3] містять інформацію, як системи комп'ютерного зору використовуються у будівництві, сільському господарстві та для збереження безпеки.

Цікавими є описи можливостей вже розроблених новітніх систем БпЛА. Наприклад, станції Menatir українського виробництва, про які зазначено у матеріалі [4], використовують для своїх дронів мультиспектральні камери, що здатні швидко і якісно аналізувати стан рослинності і надавати необхідну інформацію замовнику з аграрного сектора.

Також до прикладів сучасних дронів можна віднести Raybird-3 компанії Skyeton [5]. Серед його особливих можливостей є створення досить точної тривимірної карти місцевості, що реалізується на основі застосування датчиків LiDAR.

З метою вирішення більш складних, комплексних та масштабніших задач дрони поєднують у групи (рої). Схеми взаємодії між БпЛА у рою, що застосовуються сьогодні, описані в роботі [6, р. 0904–0905].

Формулювання цілей статті. Метою роботи є дослідження сучасних технологій БпЛА, виявлення перспективних напрямків розвитку та сфер застосування даної техніки, в тому числі для України, визначення актуальних проблем, що постають перед розробниками дронів, та пошук шляхів їх вирішення, а також аналіз систем та пристроїв, що використовуються сьогодні для забезпечення автономності БпЛА.

Виклад основного матеріалу. «Серцем» будь-якого безпілотного літального апарату є контролер польоту. Саме він відповідає за збереження рівноваги, керує подачею палива, утриманням заданої висоти, передачею даних у режимі реального часу. До контролеру польоту під'єднуються усі системи, що забезпечують режим автономної роботи БпЛА. Процес прийняття рішень та аналіз даних також відбувається у даному контролері.

Навігаційні системи. Існує три основні категорії навігаційних систем для БпЛА, що дозволяють встановити його місцезнаходження в певний момент часу: інерціальні навігаційні системи, глобальні навігаційні супутникові системи та навігаційні системи на основі комп'ютерного зору.

Інерціальна навігаційна система (ІНС) є самостійним вузлом і може містити гіроскопи, акселерометри та обчислювальні пристрої, що не потребують надходження додаткових даних з навколишнього середовища чи інших джерел. Система дозволяє досить точно визначити лінійне прискорення БпЛА за трьома координатними осями, його куту орієнтацію та координати місцезнаходження. Уся ця інформація оновлюється і передається з частотою до 100 Гц, що є важливим для літального апарату, який перебуває у постійному русі. Проте відсутність взаємодії з навколишнім середовищем має і негативні наслідки. Головним з них є те, що похибки даних ІНС з часом зростають. Для усунення цієї проблеми необхідною є періодична корекція координат. Також ІНС потребує обов'язкового налаштування на початку використання БпЛА.

Сьогодні для створення ІНС застосовують МЕМС (мікроелектромеханічні технології). Вони поєднують у своїй будові механічні частини (чутливі елементи) та датчики, що реагують на будь-які зміни параметрів чутливого елемента. Є декілька вагомих причин для їх використання. По-перше, такі системи є більш компактними, легкими та точними, що відіграє важливу роль при конструюванні БпЛА. По-друге, вони є економічно більш вигідними, адже мають налагоджене виробництво, можуть виготовлятися з різних матеріалів, використовуючи різні технології.

До супутникових навігаційних систем, що використовуються у БПЛА, відносяться загальновідомі системи GPS, ГЛОНАСС та Galileo. Всі вони працюють за однаковим принципом: на дрон встановлюється відповідний приймач, що самостійно обчислює власне місцезнаходження шляхом опрацювання сигналів, отриманих від супутників відповідної системи. Одразу можна сказати про один, досить вагомий, недолік цієї системи: для визначення місця перебування потрібен безперебійний сигнал, який досить важко забезпечити та легко навмисно заглушити. Відсутність сигналу навіть на відносно невелику тривалість часу може призвести до повної втрати орієнтації БПЛА. До слабких сторін супутникової навігаційної системи також відносяться недостатня точність та низька швидкість відновлення інформації (частота оновлення даних близько 10 Гц).

На відміну від інерціальних, у супутникових навігаційних системах не спостерігається тенденція зростання значення похибок з плином часу. Таким чином, поєднуючи два описаних вище типи систем, є можливість отримати вичерпну інформації про місцезнаходження БПЛА у повітрі, яка не потребуватиме додаткових коригувань ззовні та зможе з прийнятною точністю працювати у разі короткочасної втрати супутникового сигналу.

Дві зазначені навігаційні системи можуть поєднуватися по-різному. Одним із найпоширеніших варіантів зв'язку є незалежна робота двох систем, дані з яких оброблюються за допомогою фільтра Калмана [7], що виключає випадкові відхилення. Калібрування значень ІНС при цьому відбувається під час польоту БПЛА і не потребує додаткового втручання оператора.

Комп'ютерний зір. Навігаційні системи відповідають за визначення географічних координат розташування БПЛА, можуть забезпечити його автоматичне переміщення з однієї точки до іншої. Проте під час польоту часто трапляються непередбачувані перешкоди (птахи, дерева, будівлі тощо). Автономний БПЛА має розпізнавати їх, визначати їх розмір та оминати. Для вирішення цього завдання та задач з пошуку різних об'єктів (наприклад, людей чи рідкісних диких тварин) застосовують комп'ютерний зір.

Використання комп'ютерного зору має на увазі застосування технологій штучного інтелекту. Система отримує зображення від встановлених камер та має проаналізувати їх, керуючись алгоритмами та принципами, що були сформовані під час попереднього навчання. Також поширеними є наступні методи обробки отриманого зображення.

1. Сегментація – метод розподілу зображення на області за кольором, текстурою, яскравістю чи іншим критерієм однорідності в процесі аналізу пікселів. У результаті такої обробки об'єкти на зображенні мають чіткий контур [8, с. 83–84].

Методи сегментації зображень поділяють на семантичні та екземплярні. Семантична сегментація визначає клас певного об'єкта. Наприклад, дозволяє розпізнати людину, тварину певного виду чи рослину. Ця технологія широко використовується в агросекторі та при наукових дослідженнях. Екземплярна сегментація виділяє один об'єкт серед інших, присвоюючи йому унікальну мітку. Такий підхід може застосовуватись, наприклад, для пошуку злочинців та при спостереженні за конкретним об'єктом.

2. Обмежувальні рамки – метод обробки зображень, при застосуванні якого кожен розпізнаний об'єкт потрапляє в умовний прямокутник, що являє собою область зображення певного розміру. Дані рамки можуть бути прямокутної (2D) або кубоподібної (3D) форми, тобто, вони не повторюють форму об'єкта та не встановлюють його чітких контурів. Застосування таких рамок не потребує настільки детального аналізу зображення, як при сегментації, що обумовлює більш високу швидкість роботи цього алгоритму. Використання метода обмежувальних рамок також дозволяє проводити класифікацію об'єктів. Проте при наявності великої кількості елементів на зображенні даний підхід може працювати недостатньо коректно. Модифікацією метода обмежувальних рамок є використання полігональних фігур замість прямокутників, що вже більш чітко повторюють форму певного об'єкта.

Камери та датчики. Найбільшого поширення серед додаткових систем корисного навантаження набуло інтегрування в конструкцію БПЛА інфрачервоних (ІЧ) камер. Часто їх використовують для пошуку рідкісних тварин, забарвлення яких співпадає із навколишнім середовищем, спостереженням за епідеміологічною ситуацією, контролем за станом ліній електропередачі, наукових досліджень, військових задач.

Інфрачервоні камери перетворюють випромінювання ІЧ спектру у зображення, що здатне сприйняти людське око. Це також дозволяє аналізувати об'єкти, спираючись на різницю їх температури і фону. Для аналізу даних, отриманих від такої камери, в БПЛА застосовують методи комп'ютерного зору, що дає можливість автоматично реагувати на певний рівень інтенсивності сигналу на зображенні (відповідно до заданого порогу температури) [9, с. 112]. Напри-

клад, при аналізі епідеміологічної ситуації дрон може виявляти людей, температура тіла яких перевищує певну норму.

ІЧ камера є корисною і для пошуку об'єктів, що розташовані за певними типами перешкод, які створюють заваду у видимому діапазоні довжин хвиль (дим, туман, рослинність). Таким чином, є можливість, наприклад, знайти потрібну тварину між кронами дерев, у той час як побачити її неозброєним оком буде дуже важко. Не є проблемою і відсутність сонячного або іншого джерела випромінювання. Це робить БПЛА з ІЧ камерою надзвичайно ефективним інструментом моніторингу та виявлення об'єктів саме вночі.

Останнім часом набули розповсюдження БПЛА з мультиспектральними камерами, що реєструють інтенсивність випромінювання одночасно у декількох діапазонах оптичного спектра. Такі системи знайшли застосування, наприклад, в аграрній сфері. На основі показників мультиспектральної камери є можливість розрахувати індекси вегетації рослин, найбільш відомими з яких є NDVI (нормалізований відносний вегетаційний індекс) та NDRE (нормалізований різницевий індекс червоного краю). Обидва індекси дозволяють оцінити стан здоров'я та густину рослинності на місцевості. Розрахунок NDVI базується на порівнянні інтенсивностей ІЧ та червоного світлових потоків. У випадку NDRE визначається співвідношення між ІЧ та випромінюванням у вузькому спектральному вікні, що знаходиться в області переходу від видимого червоного до ІЧ випромінювання (так звана «зона червоного краю»). Після проведених досліджень створюють карти розподілу значень цих індексів для подальшого аналізу територій.

Приклад застосування такої технології для моніторингу мангрових лісів острова Лотіан в Шотландії продемонстровано на рис. 1, де наведені карти розподілу значення NDVI для 2016 та 2018 років та результуюче зображення, що дозволяє оцінити тенденцію зміни стану здоров'я рослинності та визначити максимально проблемні ділянки [10, р. 278].

Подібний моніторинг дозволяє робити висновки про життєздатність рослин, виявляти ділянки, що потребують зрошення, лікування чи видалення бур'янів, прогнозувати урожайність. З використанням БПЛА такий аналіз проводиться набагато швидше та якісніше, особливо, якщо це стосується сільськогосподарських угідь великого розміру. Наприклад, мережі базових станцій Menatir (розробка української компанії Culver Aviation) по 6 БПЛА у кожній, дають можливість проводити подібний аналіз автоматизовано для 45000 га за добу [4].

Наступною задачею, що можна вирішити шляхом використання додаткових бортових датчиків в БПЛА, є визначення відстані до об'єкта. Для цього застосовують системи LiDAR (виявлення та визначення дальності за допомогою світла). Принцип їх роботи базується на використанні лазерів: система посилає лазерний імпульс та реєструє його після відбиття від поверхні об'єкта і, вимірюючи час проходження оптичного випромінювання до об'єкту і назад, визначає відстань до нього [11, с. 38].

Датчик LiDAR застосовує короткі лазерні імпульси для визначення точного місцезнаходження кожної точки поверхні навколишніх об'єктів. Для цього він аналізує три величини: час, який витрачено на повернення імпульсу, інтенсивність отриманого імпульсу та кут

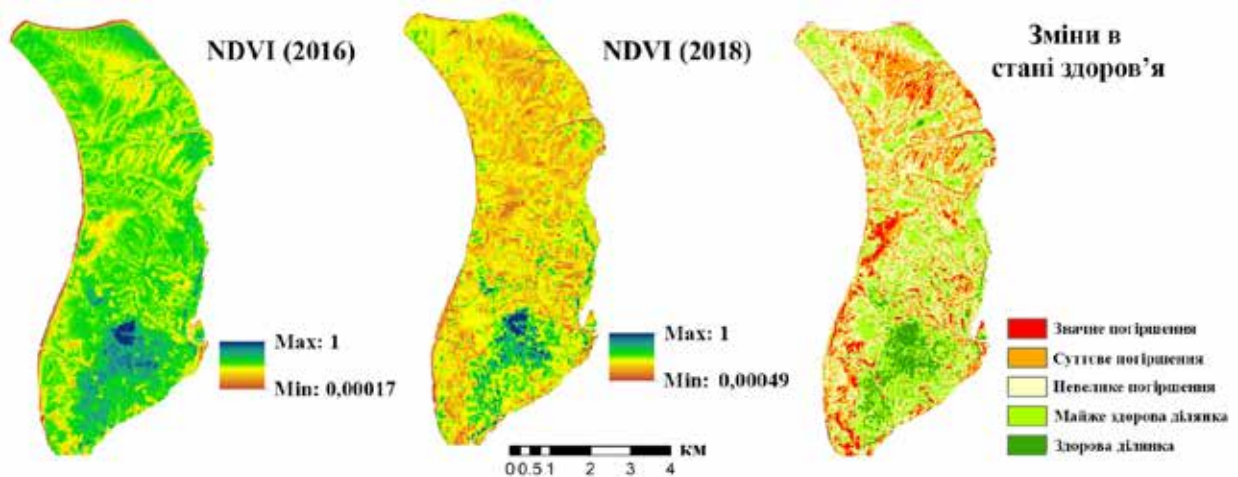


Рис. 1. Оцінка зміни стану здоров'я ділянки мангрових лісів на основі NDVI

його відбиття. На основі отриманої інформації є можливість сформувати об'ємну карту проаналізованого навколишнього простору. Отримані 3D-моделі можуть використовувати як БПЛА (для побудови оптимального маршруту), так і людина-оператор. При поєднанні LiDAR з камерами видимого діапазону спектра або ІЧ випромінювання стає можливим створення тривимірної кольорової карти місцевості. Датчик LiDAR не потребує освітлення, тому ефективність його використання вночі не знижується. На сьогоднішній день прикладами сфер використання БПЛА з такими бортовими датчиками є лісництво, сільське господарство, картографія, добування корисних копалин та робота правоохоронних органів.

Прикладом українського дрону, що здатен створювати високоточні 3D-моделі місцевості, є Raybird-3, виготовлений компанією Skyeton. Зображення такої моделі, наведені на сайті виробника [5], демонструють високу точність отриманих результатів (рис. 2).

Ройове використання. Потужностей одного БПЛА може не вистачати для виконання певних завдань. Прикладами таких задач є аналіз великої території, моніторинг руху транспорту у місті, транспортування та пошук об'єктів тощо. В даних випадках використовують групу БПЛА, яку називають роєм. Тип взаємодії між БПЛА залежить від рівня їх автономності.

Розглядаючи світлові шоу з використанням роїв БПЛА або будь-які завдання, де рух має відбуватися згідно чітко визначеного маршруту, варто говорити про найнижчий рівень автономності. У цих випадках кожен дрон отримує інформацію лише від центра управління і виконує заздалегідь запрограмовані дії. Кількість сфер подібного при-

мітивного застосування роїв БПЛА дуже обмежена та носить скоріше розважальних характер.

Наступною сходинкою є отримання БПЛА даних з навколишнього середовища, які надсилаються до центру управління, де аналізується отримана інформація та визначається взаємне розташування кожної одиниці рою та формуються подальші команди керування. Головним недоліком цього підходу є залежність від центру управління: у разі його втрати чи порушення каналу зв'язку втраченим буде увесь рій.

Рій з повністю автономними БПЛА не має єдиного центру прийняття рішень чи аналізу інформації. Кожен дрон є самостійним та опирається на інформацію, що отримує зі свого власного корисного навантаження (камер та датчиків). Взаємодія літаючих апаратів відбувається шляхом передачі між ними отриманих з навколишнього середовища даних. Причому дрон ділиться нею лише з сусідніми БПЛА, а не з роєм загалом. Це реалізовано з метою збереження енергоресурсів та зниження вимог до бортового обладнання БПЛА.

Основними задачами рою на сьогодні є контроль за взаєморозташуванням дронів та оптимізація виконання поставлених задач. Основу механізму рою взято з природи. Найяскравішими прикладами є мурашиний алгоритм та алгоритм рою бджіл [6, р. 0904]. При знаходженні цілі, дрон вказує на неї іншим учасникам рою. У процесі аналізу БПЛА обирає або рухатися до найближчої цілі, або до найбільшої в залежності від обраного розробниками алгоритму.

Проблема «паливо-вага-відстань». Основною метою, що переслідується про розробці будь-якого БПЛА є вирішення проблеми співвідношення палива, ваги та відстані. Ідеальним варіантом є роз-



Рис. 2. 3D-модель місцевості, побудована на основі даних з БПЛА Raybird-3

робка системи дрона, який мав би усе необхідне корисне навантаження, невелику масу (включаючи паливо) і міг би долати великі відстані.

Першим, на що необхідно звернути увагу при проектуванні БпЛА, є економія палива чи ресурсу джерела живлення. Для цього в БпЛА використовують системи вертикального зльоту та посадки, що є менш енерговитратними. Також максимально зменшують розміри, вагу усіх компонентів конструкції дрона. Чим менша маса, тим менше потужності двигуна потрібно для переміщення апарату, а отже, й менше необхідного запасу джерела живлення. Наприклад, зменшення ваги є однією з причин, що обумовила застосування МЕМС технологій в інерціальних навігаційних системах. Крім того, з цією ж метою максимально зменшують кількість корисного навантаження, використовуючи найефективніші прилади, що дозволяють вирішувати різноманітні задачі.

Найбільш поширеним типом джерела живлення для БпЛА на сьогоднішній день є літій-полімерна (LiPo) батарея, яка забезпечує високу щільність енергії і здатна підтримувати досить тривалі польоти. Інші джерела енергії включають паливні елементи, сонячні батареї та гібридні системи. Гібридні системи об'єднують два або більше типів джерел енергії для підвищення енергоефективності системи.

Одним зі шляхів вирішення проблеми «паливо-вага-відстань» стало використання гібридних систем [12]. Їх безумовною перевагою є не тільки збільшення часу польоту, а й швидкість оновлення ресурсів. Принцип їх роботи полягає у перетворенні хімічної енергії палива в механічну, а далі – в електричну. Простіше кажучи, двигун внутрішнього згорання працює як генератор електроенергії, що приводить компоненти дрону до руху. Особливого поширення набули газоелектричні гібридні паливні системи, що на сьогодні можуть утримувати БпЛА у повітрі до 48 годин.

Інноваційним є використання у гібридних системах для БпЛА водневих двигунів. Вони використовують хімічну енергію, що виділяється

в процесі реакції між воднем та киснем (вихідним продуктом є вода). Такі двигуни дозволяють в рази збільшити дальність польоту та час перебування дрону в повітрі. Вони є легшими за інші системи та менше шкодять навколишньому середовищу. У якості палива в таких двигунах використовують як рідкий водень, так і водень, збережений під високим тиском.

Висновки. У сучасному світі реальною стала ідея створення повністю автономного БпЛА. Для досягнення цієї мети використовують технології штучного інтелекту та комп'ютерного зору, що обумовлюють необхідність встановлення додаткового корисного навантаження. Суттєво підвищити точність позиціонування БпЛА, рівень його автономності та завадозахищеності дозволяють інтегровані інерціально-спутникові навігаційні системи та технології пасивної оптичної орієнтації.

Однією з найперспективніших сфер застосування дронів для України, як аграрної держави з давніми традиціями землеробства, є моніторинг стану здоров'я рослинності та прогнозування урожайності земель сільськогосподарського призначення. Технологія базується на мультиспектральному скануванні та визначенні індексу вегетації.

Для виконання масштабних робіт використовують рої дронів. Модель їх взаємодії залежить від рівня автономності БпЛА. Пріоритетним напрямком розвитку даної технології є створення повністю самостійних роїв, що не потребують додаткових інструкцій від оператора в ході виконання поставлених задач. Налагодження комунікації між БпЛА зі штучним інтелектом наразі знаходиться в процесі розробки, але є кілька алгоритмів, що вже успішно використовуються.

Проблема співвідношення палива, ваги та відстані, напевно, завжди буде актуальною для БпЛА. На сьогоднішній день для подовження часу перебування дрону в повітрі та збільшення радіусу його дії найбільш перспективними є технології гібридних паливних систем та водневі двигуни. Гібридні двигуни є легкими, більш ефективними за традиційні акумулятори і потребують менше часу для заправлення.

Список літератури:

1. Захарін Ф.М., Пономаренко С.О., Ковтун В.І. Сучасні тенденції розвитку інтегрованих інерціально-спутникових навігаційних систем літальних апаратів. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації*. 2013. № 9 (16). С. 77–85.
2. Your Guide to Computer Vision in Drone Technology. URL: <https://keymakr.com/blog/computer-vision-in-drone-technology> (дата звернення: 27.03.2023).
3. Computer vision in AI drones. URL: <https://www.superannotate.com/blog/computer-vision-in-ai-drones> (дата звернення: 27.03.2023).

4. Автоматизований дистанційний моніторинг: як система Menatir допомагає бізнесу ухвалювати зважені управлінські рішення. URL: <https://culver.aero/articles/how-menatir-system-helps-businesses-make-informed-management-decisions> (дата звернення: 27.03.2023).
5. Skyeton. Сфери застосування. URL: <https://skyeton.com/komertsiyne-vikoristannya> (дата звернення: 27.03.2023).
6. Campion M., Ranganathan P., Faruque S. A review and future directions of UAV swarm communication architectures. *Proc. IEEE Int. Conf. Electro/Inf. Technol. (EIT)*. May 2018. pp. 0903–0908.
7. Hematulin W., Kamsing P., Torteeka P., Somjit T, Phisannupawong T., Jarawan T. Trajectory planning for multiple UAVs and hierarchical collision avoidance based on nonlinear Kalman filters. *Drones*. 2023. № 7. 142.
8. Сторожик Д.В., Муравйов О.В., Протасов А.Г., Баженов В.Г., Богдан Г.А. Комплексування мульти-спектральних зображень як метод підвищення їх інформативності при бінарній сегментації. *KPI Science News*. 2020. № 2. С. 82–87.
9. Живкович А.В., Муравьев А.В. Современные технологии бесконтактного измерения температуры. *Materialy XVI Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Dynamika naukowych badań - 2020»*. 2020. Vol. 7, С. 110–115.
10. Jyoti Prakash Hati et al. Mangrove classification using airborne hyperspectral AVIRIS-NG and comparing with other spaceborne hyperspectral and multispectral data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 2021. Vol. 24, Issue 2. pp. 273–281.
11. Морозов М.А., Муравьев А.В. Современная лазерная дальнометрия *Новые направления развития приборостроения: материалы 9-й международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов*. 2016. 38 с.
12. Hybrid Drones, UAV, UAS. URL: <https://www.unmannedsystemstechnology.com/expo/hybrid-drones> (дата звернення: 27.03.2023).

Muraviiov O.V., Dovbysh I.O., Galagan R.M., Bohdan H.A., Momot A.S. DEVELOPMENT PROSPECTS OF TECHNOLOGIES AND INCREASING AUTONOMY LEVEL OF UAV

Today unmanned aerial vehicles perform many functions: from light shows to detailed analysis of arable land and search for criminals. UAVs not only speed up data collection process, but they are also able to independently perform some tasks that may be difficult or even dangerous for people. Development of these technologies is one of the leading areas in modern world, because every day new, more difficult tasks are faced by UAVs. Various systems and devices, elements of machine learning are used to solve them. In certain situations that cannot be solved by a single drone, swarms of UAVs are used.

The article contains analysis and short description of modern technologies that can increase the efficiency and autonomy of UAVs. These include, in particular, satellite and inertial navigation systems, methods of passive optical orientation using artificial intelligence based on computer vision, infrared and multispectral cameras, sensors for measuring distance to objects. The paper considers areas of usage of latest and most promising UAV technologies. Particular attention is paid to the UAVs swarms, actual problems and current state of this technology development. Modern ways for solving "fuel-weight-distance" problem are analyzed.

Methods of automated image processing based on data segmentation, which are used in modern UAVs for object recognition and classification, are considered in the paper. The basics of agricultural drones monitoring technologies, based on usage of multispectral cameras, determination of vegetation indices, are analyzed. The technology for building of three-dimensional color terrain models, which was designed and implemented by one of the Ukrainian companies, based on LiDAR sensors, is considered.

The development of UAVs already achieved extraordinary results, but issue of creating a fully autonomous drone that can independently use information obtained from the available payload is still relevant. Interaction algorithms between independent drones in a swarm require significant improvement.

Key words: *unmanned aerial vehicles, UAVs, drones, autonomy, payload, navigation systems.*