

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 629.735

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.6.1/01>**Мовчан К.О.**Український науково-дослідного інститут спеціальної техніки та судових експертиз
Служби безпеки України

СИСТЕМИ КЛАСИФІКАЦІЇ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В РІЗНИХ ГАЛУЗЯХ

Стаття присвячена аналізу сучасних підходів до класифікації типів безпілотних літальних апаратів (БПЛА) з урахуванням досягнень у сфері авіоніки, систем управління, масо-габаритних характеристик, конструкційних особливостей, функціонального призначення та систем зв'язку за останні два десятиліття. У статті розкрито ключові аспекти розвитку технологій БПЛА, що сприяли зростанню їхньої популярності серед цивільних і військових користувачів. З'ясовано, що вдосконалення апаратних і програмних рішень зробило можливим інтеграцію дронів у системи вищого рівня, створюючи складніші системи, які забезпечують підвищену ефективність та адаптивність у широкому спектрі застосувань. Слід зазначити, що найбільш ефективно застосування дронів досягається завдяки їх інтеграції із уже існуючими технологічними платформами. Такий підхід забезпечує синергетичний ефект та розширює межі можливого використання цих систем. Аналіз літератури показав, що основні напрями використання БПЛА охоплюють такі сфери, як сільське господарство, логістика, екологічний моніторинг, пошуково-рятувальні операції, військові місії, картографування та автономна навігація в умовах обмеженого доступу до GPS. У дослідженні наведено поглиблену класифікацію БПЛА, що враховує ключові параметри, такі як вага, конструкційні характеристики (наприклад, фіксоване крило чи мультикоптер), оперативні можливості (радіус дії, тривалість польоту, вантажопідйомність) та цільові функції. З'ясовано, що така багатовимірна класифікація є корисною для створення нових моделей БПЛА та визначення їхніх потенційних галузей застосування. У статті розкрито актуальні питання класифікації безпілотних літальних апаратів. Визначено, що систематизація БПЛА за різними ознаками дозволяє оптимізувати їх використання в різних галузях. Розглянуто основні наукові напрями досліджень у цій галузі, що дозволяє оцінити динаміку розвитку технологій БПЛА. Наголошується, що подальші дослідження в цьому напрямку сприятимуть вдосконаленню характеристик БПЛА, підвищенню їхньої універсальності та забезпеченню відповідності новим вимогам сучасних технологічних систем.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, класифікація БПЛА, однороторні БПЛА, багатороторні БПЛА, БПЛА з фіксованим крилом, гібридні БПЛА.

Постановка проблеми. Безпілотні літальні апарати (БПЛА, UAV – Unmanned aerial vehicles), відомі як дрони, стали об'єктом інтенсивного дослідження в багатьох дисциплінах, включаючи як військове, так і цивільне застосування. Підвищений інтерес до них зумовлений винятковими характеристиками стабільності, витривалості та універсальності, які забезпечують ефективне виконання різноманітних операцій. Інтеграція сучасних технологій, включаючи Інтернет речей, системи зв'язку п'ятого покоління, а також штучного інтелекту та машинного навчання, сприяє експоненційному зростанню використання БПЛА. Протягом останнього десятиліття БПЛА використовувалися в різних сферах, включаючи,

але не обмежуючись ними – виявлення і відстеження об'єктів, громадську безпеку, моніторинг дорожнього руху, військову розвідку, дослідження прихованих або небезпечних середовищ, навігацію (як в приміщенні, так і на відкритому просторі), збір атмосферних і метеорологічних даних, реагування на стихійні лиха, логістику в охороні здоров'я, обмін даними, обслуговування інфраструктури, кризовий менеджмент, вантажні перевезення, моніторинг лісових пожеж і загальну логістику в мережі поставок [1].

Технічно БПЛА визначаються як безпілотні літальні апарати, здатні здійснювати тривалий автономний або напіваавтономний політ без участі людини-оператора на борту. Ця здатність робить

їх економічно вигідною альтернативою пілотованим системам, особливо для критично важливих місій, які можуть становити значний ризик для життя людей. БПЛА працюють у двох основних режимах: дистанційно пілотовані або автономні. У дистанційно пілотованому режимі команди управління передаються з наземної станції за допомогою пульта дистанційного керування. З іншого боку, в автономному режимі БПЛА використовують складні бортові системи, включаючи автопілот, системи глобального позиціонування (GPS – global positioning system), інерціальні вимірювальні прилади (IMU – inertial measurement unit) та інші сучасні датчики [2]. Ці функції дозволяють БПЛА виконувати складні місії з мінімальним втручанням людини.

У військовій сфері БПЛА суттєво трансформували оперативні стратегії, забезпечуючи інноваційні рішення, які ставлять акцент на швидкому розгортанні, гнучкості та забезпеченні безпеки особовому складу [3]. Здатність БПЛА здійснювати доставку "останньої милі" у критичних умовах змінила правила гри. Крім того, БПЛА відомі своєю масштабованістю, адаптивністю і здатністю до самоорганізації, що робить їх важливими інструментами в сучасних військових операціях. Їх висока маневреність у поєднанні з економічною ефективністю ще більше підкреслює їх корисність у різних військових і цивільних контекстах. БПЛА характеризуються значною варіативністю у своїй конструкції та експлуатаційних характеристиках, що дозволяє їм відповідати специфічним вимогам місій. Вони можуть мати різну конфігурацію, розміри, вагу, дальність польоту, типи двигунів та експлуатаційні характеристики. З наукової точки зору, інтеграція БПЛА з новими технологіями, такими як штучний інтелект, машинне навчання і периферійні обчислення, ще більше розширила їхній потенціал. Наприклад, алгоритми на основі штучного інтелекту дозволяють БПЛА обробляти дані в реальному часі, уникати перешкод і приймати рішення в динамічному середовищі. Аналогічно, досягнення в галузі акумуляторних технологій і систем управління енергоспоживанням дозволяють подолати обмеження витривалості польоту, а гібридні двигуни забезпечують баланс між продуктивністю і ефективністю. Крім того, використання ройового інтелекту в операціях БПЛА дозволяє створювати скоординовані системи з декількох дронів, які підвищують оперативну ефективність в таких сферах, як пошуково-рятувальні місії і широкомасштабний моніторинг довкілля.

Велике різноманіття типів БПЛА надає можливість нести широкий спектр корисного навантаження, включаючи засоби зв'язку, навігаційні системи, камери з високою роздільною здатністю та спеціалізовані датчики для збору та аналізу даних [4]. Така адаптивність привела до створення різних класифікацій БПЛА на основі параметрів, таких як структурна конфігурація, типи силової установки, вагові категорії, дальність польоту та розмір. Таким чином, класифікація дронів за різними критеріями має вирішальне значення для їхнього ефективного застосування в різних галузях. Розробка та вдосконалення такої класифікації дозволяє підвищити ефективність використання БПЛА у сферах з високими вимогами до точності і надійності, таких як розвідка, логістика, моніторинг, військові місії, тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Безпілотні літальні апарати стали трансформаційною технологією завдяки своїй компактній конструкції, простоті експлуатації, підвищеній надійності та економічній ефективності. Ці якості роблять БПЛА все більш привабливими для різноманітних застосувань у багатьох секторах. Універсальність і адаптивність безпілотників призвели до їх широкого впровадження, демонструючи їх важливість як у цивільній, так і у військовій сферах. У всьому світі БПЛА інтегровані в різні оперативні і дослідницькі сценарії, кожен з яких відповідає одній з шести основних функціональних категорій. Дані категорії охоплюють широкий спектр діяльності – від спостереження і розвідки до логістики, сільськогосподарського моніторингу і збору екологічних даних. Функціональне розмаїття БПЛА прискорило прогрес у таких сферах, як ліквідація наслідків стихійних лих, точне землеробство, міське планування і громадська безпека, де збір даних в режимі реального часу має вирішальне значення. Згідно з результатами досліджень, представлених в роботах [5-7], БПЛА можуть бути класифіковані за шістьма основними критеріями.



Рис. 1. Класифікація БПЛА

Така класифікація, візуалізована на рис. 1, дозволяє систематизувати різноманітність сучас-

них безпілотних літальних апаратів та є важливим інструментом для подальшого розвитку теорії та практики їх застосування.

Хоча сам БПЛА є ядром повітряної системи, його успішне розгортання для будь-якого конкретного застосування вимагає додаткових важливих компонентів. Ці компоненти включають системи зв'язку, наземні станції управління, навігаційні модулі, корисне навантаження (наприклад, камери, датчики або механізми доставки) і системи електроживлення. Разом ці елементи утворюють інтегровану систему, яку в літературі називають безпіотною авіаційною системою (UAS – unmanned aerial systems). Такий комплексний підхід підкреслює взаємозалежність апаратного і програмного забезпечення для забезпечення оптимальної продуктивності і функціональності в реальних операціях. Однак практичне застосування БПЛА пов'язане з низкою проблем, зокрема, з виконанням критично важливих вимог щодо довговічності, експлуатаційної ефективності та безпеки. Авторами в роботі [8] детально досліджено ці питання та зазначено, що подолання цих бар'єрів є життєво важливим для успішної інтеграції БПЛА в різноманітні сфери застосування. Їхнє дослідження підкреслює потребу в надійних конструкціях і системах, здатних протистояти стресам при виконанні місій, зберігаючи при цьому експлуатаційну надійність і відповідність стандартам безпеки. Ці аспекти є особливо важливими, оскільки БПЛА все частіше застосовуються в складних і чутливих операціях, таких як спостереження, ліквідація наслідків стихійних лих і точне землеробство, військові місії. У дослідженні [9] автори зосередили увагу на інших критеріях БПЛА, розглядаючи електричні, гібридні та турбоелектричні силові установки. Вони надають детальний порівняльний аналіз, окреслюючи сильні і слабкі сторони, пов'язані з кожним типом. Наприклад, електрична силова установка має такі переваги, як знижений рівень шуму і нульові викиди, що робить її ідеальною для використання в міських умовах і в екологічно чутливих операціях. Однак дальність і витривалість БПЛА часто обмежені сучасними акумуляторними технологіями. Гібридні системи являють собою компроміс, забезпечуючи більший запас ходу і гнучкість експлуатації, але за рахунок підвищеної складності і вимог до обслуговування. Турбоелектричні системи, з іншого боку, пропонують вищу ефективність і масштабованість для більших платформ, але створюють проблеми з точки зору вартості та інтеграції. Результати аналізу вказують на

необхідність індивідуального підбору силових установок для кожної місії БПЛА, що передбачає постійний розвиток технологій акумуляції та перетворення енергії.

У роботі [10] дослідники проаналізували розвиток персональних літальних апаратів (PAV – personal air vehicle), які представляють собою підгрупу БПЛА, призначених для індивідуальних перевезень. У їхньому дослідженні визначено критичні особливості БПЛА, які потребують вдосконалення для повної реалізації потенціалу цього типу БПЛА. До них відносяться розширені можливості автономної навігації, більша енергоефективність і вдосконалені механізми безпеки. Дослідники також вказують на важливість нормативно-правової бази та суспільного визнання для впровадження PAV. У міру того, як такі транспортні засоби переходять від експериментальних прототипів до операційних систем, вирішення проблем шумового забруднення, енергоємності енергосистем і відмовостійких операційних протоколів стає все більш важливим.

Одним з найважливіших аспектів безпеки експлуатації БПЛА є оцінка потенційних ризиків для наземних об'єктів та людей. Дослідження [11] пропонує детальний огляд існуючих моделей оцінки наземних ризиків, пов'язаних з використанням БПЛА. Автори ідентифікували 33 різні моделі, що свідчить про актуальність та багатогранність цієї проблематики. Така класифікація є необхідною для розробки ефективних стратегій управління ризиками та забезпечення безпечного використання безпілотних систем. Наприклад, моделі ризику враховують такі фактори, як розмір літального апарату, висота польоту, щільність населення в районі проведення операції і ймовірність збоїв у роботі системи. Крім того, інтеграція аналізу ризиків на ранніх стадіях проектування і планування експлуатації БПЛА може значно покращити профіль безпеки цих систем.

Постановка завдання. Незважаючи на бурхливий розвиток технологій БПЛА, проблема їх систематизації залишається актуальною. Відсутність єдиної, всеосяжної класифікації, яка б враховувала різноманітність конструктивних особливостей, функціональних можливостей та сфер застосування БПЛА, ускладнює проведення порівняльного аналізу та обмежує можливості для розробки ефективних систем управління та контролю. Крім того, існуюча література не містить достатньої кількості досліджень, присвячених комплексній оцінці ефективності різних класів БПЛА в залежності від умов експлуатації.

Мета даної роботи полягає в аналізі сучасних підходів до класифікації БПЛА, розгляді основних критеріїв для розробки універсальної класифікаційної схеми та визначенні ключових показників ефективності, які дозволять об'єктивно оцінювати потенціал різних типів БПЛА для виконання конкретних завдань.

Виклад основного матеріалу. БПЛА зазнали значної еволюції, трансформувались з експериментальних платформ у високотехнологічні інструменти, що використовуються в широкому спектрі галузей. Ініціальне сприйняття БПЛА як іграшок змінилося завдяки прогресу в області автоматизації, розробки датчиків та алгоритмів управління. Сьогодні БПЛА є невід'ємною частиною багатьох технологічних систем, що знаходить своє відображення в різноманітності їх застосування: від сільського господарства та моніторингу довкілля до логістики, військових місій та розваг [12]. Розуміння цієї різноманітності вимагає систематичної класифікації БПЛА за різними критеріями [13].

Однією з ключових характеристик, що визначають функціональні можливості БПЛА та сферу їх застосування, є їхня маса [14]. Класифікація БПЛА за вагою є фундаментальною, оскільки вона безпосередньо пов'язана з такими параметрами, як вантажопідйомність, дальність польоту, тривалість місії та складністю систем управління. Цей метод класифікації дозволяє виокремити категорії БПЛА, що відрізняються за призначенням та вимогами до експлуатації. Таким чином БПЛА можна розділити на наступні категорії, що відображають широкий спектр застосувань:

- нано-дрони – важать менше 250 грамів, в основному використовуються для операцій всередині приміщень, розвідки в обмежених умовах або для особистого використання. У військовому застосуванні вони можуть слугувати як одноразові дрони для розвідки в небезпечних зонах;

- мікро- і міні-дрони – дрони вагою від 250 грамів до 25 кілограмів часто використовуються для комерційних і промислових завдань, таких як картографування, топографічна зйомка і точне землеробство;

- малі та середні дрони – мають вагу від 25 до 150 кілограмів і зазвичай використовуються для логістики, екологічного моніторингу та військової розвідки;

- великі дрони – вагою понад 150 кілограмів, ці БПЛА переважно використовуються для важких завдань, включаючи перевезення вантажів і стратегічні військові місії.

Окрім ваги, БПЛА класифікуються за різними експлуатаційними і конструктивними характеристиками [15], кожна з яких відповідає конкретним оперативним вимогам:

- конфігурація – БПЛА можна розрізнити за їх конструктивним виконанням, наприклад, фіксоване крило, гвинтокрил або гібридна конфігурація. Наприклад, безпілотники з фіксованим крилом підходять для виконання місій на великі відстані завдяки своїй аеродинамічній ефективності, тоді як гвинтокрилі безпілотники відмінно справляються з ширянням і вертикальними злетами;

- експлуатаційні характеристики – критично важливими показниками, що використовуються для класифікації, є розмах крила, вантажопідйомність крила, дальність польоту, максимальна висота, швидкість польоту і тип двигуна. Наприклад:

- дальність польоту – БПЛА малого радіусу дії призначені для виконання локальних завдань, в той час як БПЛА великого радіусу дії можуть долати сотні кілометрів, що робить їх ідеальними для спостереження за кордоном або для служб доставки;

- максимальна висота – висотні дрони необхідні для атмосферних досліджень і військового спостереження;

- швидкість – високошвидкісні дрони знаходять застосування в тактичних військових місіях і реагуванні на надзвичайні ситуації, тоді як повільніші дрони більше підходять для точних завдань, таких як моніторинг посівів та поля битви.

Спосіб зльоту та посадки безпілотних літальних апаратів є визначальним фактором для їх експлуатації [16]. Цей параметр класифікації дозволяє враховувати особливості середовища, в якому працює БПЛА, а також вимоги до мобільності та автономності:

- вертикальний зліт і посадка (VTOL) – БПЛА оснащені можливостями вертикального зльоту і посадки, що робить їх універсальними для обмежених територій;

- горизонтальний зліт і посадка (HTOL) – зазвичай використовується для БПЛА з фіксованим крилом, цей метод оптимізований з точки зору витривалості і дальності польоту.

В залежності від галузі в якій використовується БПЛА, класифікаційні рамки відрізняються, що відображає різноманітні сфери застосування та експлуатаційні характеристики БПЛА. Номенклатура, що використовується в цих класифікаціях,

звичай будується навколо таких параметрів, як маса БПЛА, фізична конфігурація, призначення, ступінь автономності, тип операційного середовища або сфера військового використання. Кожен з цих параметрів дає критично важливе розуміння філософії проектування БПЛА та його оперативного потенціалу. З наукової точки зору, класифікації БПЛА можуть також інтегрувати нові стандарти, які враховують технологічні досягнення, в тому числі підвищення енергоефективності, бортових обчислювальних можливостей і інтеграцію датчиків. Це гарантує, що класифікації будуть відповідати сучасним технологічним розробкам і вимогам застосування.

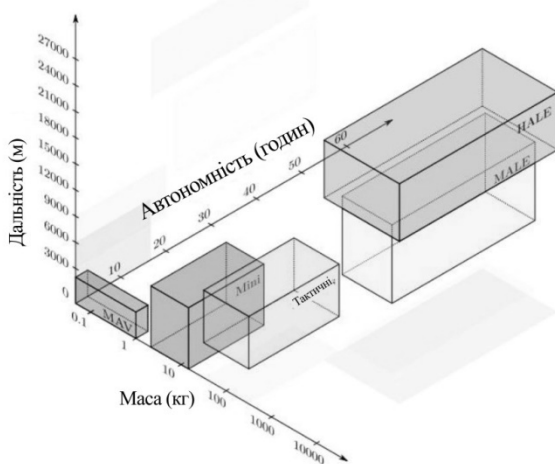


Рис. 2. Класифікація БПЛА за вагою, висотою і автономністю польоту

Так загальноприйнята класифікація (показано на рис. 2) поділяє БПЛА на

п'ять основних категорій: мікро (MAV), міні, тактичні, середньовисотні (MALE – medium altitude) і висотні (HALE – high altitude) БПЛА [17]. Кожна категорія відрізняється своїми унікальними характеристиками і оперативними можливостями. Слід відзначити, що БПЛА типу MALE і HALE за цією класифікацією мають здатність залишатися в повітрі протягом тривалих періодів часу, що надає значні переваги для місій, які потребують тривалої роботи, таких як розвідка, спостереження і моніторинг навколишнього середовища.

Відповідно до структурної і функціональної різноманітності БПЛА можна класифікувати на чотири основні типи: однороторні, багатороторні, з фіксованим крилом і гібридні дрони VTOL (vertical take-off and landing – вертикального зльоту і посадки) [18]. Однороторні БПЛА харак-

теризуються відносно простою конструкцією, що полегшує їх обслуговування і ремонт. Їх основна перевага полягає в здатності транспортувати важкі вантажі на великі відстані зі знизеним енергоспоживанням. Ця ефективність робить їх придатними для таких завдань, як доставка вантажів у віддалені райони або обприскування сільськогосподарських культур. Однак їхні експлуатаційні обмеження включають необхідність безперервного потоку повітря для підтримки стабільності під час польоту. Це обмеження призводить до низької продуктивності для застосувань, що потребують стаціонарного зависання, таких як спостереження або детальні повітряні інспекції. Останні досягнення в області динаміки ротора і систем стабілізації частково пом'якшують ці проблеми, покращуючи їх загальну продуктивність і розширюючи сферу застосування.

Багатороторні дрони, на відміну від однороторних, забезпечують підвищену стабільність і маневреність завдяки кільком роторам, які забезпечують точний контроль і більший ступінь свободи. Найпоширенішим типом є квадрокоптер, що складається з чотирьох роторів. Багатороторні БПЛА ідеально підходять для польотів у приміщеннях і завдань, що потребують стабільного польоту, таких як аерофотозйомка, картографування та інспекція. Хоча вони забезпечують універсальність і простоту використання, їхні основні обмеження включають коротший час польоту і обмежену вантажопідйомність через більш високе споживання енергії. Нові технології, такі як вдосконалені акумуляторні системи і легкі матеріали, допомагають подолати ці обмеження, забезпечуючи більшу тривалість польоту і підвищуючи ефективність корисного навантаження.

Дрони з фіксованим крилом в першу чергу призначені для операцій на великих відстанях і керуються автономно, часто з мінімальним втручанням людини. Хоча середній час польоту таких дронів становить приблизно дві години, останні інновації збільшили їхню витривалість до 16 годин і більше, що робить їх ідеальними для таких застосувань, як моніторинг довкілля, військова розвідка і спостереження за кордонами. БПЛА з фіксованим крилом вирізняються швидкістю, дальністю польоту та довговічністю. Однак їхнє розгортання вимагає спеціальних навичок і обладнання, в тому числі стартових майданчиків або злітно-посадкових смуг, а їхня вартість може бути непомірно високою. Удосконалення аеродинамічних конструкцій, силових установок на сонячних батареях і навігаційних систем на

основі штучного інтелекту значно розширюють їхні можливості, роблячи експлуатацію більш ефективною і економічно вигідною.

Гібридні безпілотники VTOL з фіксованим крилом являють собою синтез технологій фіксованого крила і багатороторних літальних апаратів, поєднуючи в собі сильні сторони обох систем. Ці дрони можуть злітати і сідати вертикально, усуваючи потребу в злітно-посадковій смугі, при цьому зберігаючи тривалість польоту, характерну для конструкцій з фіксованим крилом. Вони особливо корисні для завдань, що потребують універсальності, таких як пошуково-рятувальні місії, геологічні дослідження і перевірка інфраструктури. Ця категорія літальних апаратів вирає від вдосконалення систем управління енергоспоживанням, що дозволяє збільшити тривалість польоту, і гібридних силових установок, які підвищують їхню адаптивність до різноманітних профілів місій.

Висновки. Різноманітність БПЛА зумовлює необхідність їх систематизації за комплексом характеристик: масо-габаритні характеристики, експлуатаційні параметри, конструктивні конфігурації та функціональне призначення. Класифікація дозволяє виділити окремі категорії БПЛА, що відрізняються технологічними рішеннями та сферами застосування. Кожна категорія формується відповідно до специфічних операційних вимог, демонструючи технологічну варіативність БПЛА в сучасних системах. Еволюція технологій БПЛА безпосередньо корелює з модифікацією класифікаційних систем. Легкі БПЛА оптимізовані для рекреаційних та низькоризикових операцій, роблячи акцент на мобільності та економічній ефективності. Натомість, важкі БПЛА з підвищеною конструктивною міцністю застосовуються в промисловому, військовому та дослідницькому секторах, де пріоритетними є довготривала експлуатація та надійність. Експлуатаційні характеристики, включаючи дальність, тривалість польоту та максимальну висоту, є диферен-

ціюючими факторами. БПЛА дальнього радіусу дії інтегруються в системи тривалого спостереження та екологічного моніторингу, тоді як БПЛА малого радіусу оптимізовані для локальних операцій. Конструктивна конфігурація є визначальним параметром: БПЛА з фіксованим крилом характеризуються підвищеною швидкістю та паливною ефективністю, оптимальні для дальніх місій. На відміну від них, гвинтокрилі БПЛА, зокрема квадрокоптери і мультиротори, відрізняються маневреністю і вертикальним злетом, що робить їх ідеальними для застосування в умовах обмеженого простору або в міських умовах. Гібридні БПЛА, що поєднують в собі риси обох типів, представляють зростаючий сегмент, спрямований на подолання операційних прогалів.

Функціональні застосування ще більше розширюють класифікаційний спектр, охоплюючи такі сфери, як військова розвідка, реагування на катастрофи, логістика і автономна навігація в умовах відсутності GPS. Впровадження передових технологій штучного інтелекту і машинного навчання в системи БПЛА також формує додатковий динамічний рівень до їхньої класифікації, забезпечуючи адаптивні функції, такі як аналіз даних в реальному часі і прийняття рішень.

Підсумовуючи, можна зазначити, що класифікація БПЛА – є динамічним і багатогранним процесом, який розвивається разом з технологічним прогресом і оперативними потребами. Постійне вдосконалення цих систем не лише покращує зручність використання і універсальність дронів, але й підкреслює їхню зростаючу роль в різних секторах – від комерційних операцій до складних військових і дослідницьких місій. Результати проведеного дослідження показують, що ієрархічна класифікація БПЛА на основі їх функціональних характеристик та технічних параметрів є стійкою до змінних умов експлуатації. Це дозволяє ефективно використовувати дану класифікацію для розробки систем автоматичного виявлення та ідентифікації БПЛА в реальному часі.

Список літератури:

1. Hassija V., Saxena V., Chamola V. Scheduling drone charging for multi-drone network based on consensus time-stamp and game theory, *Comput. Commun.*, 149, 2019, pp. 51–61.
2. Nourmohammadi A., Jafari M., Zander T.O. A Survey on Unmanned Aerial Vehicle Remote Control Using Brain–Computer Interface, *IEEE Trans. Hum.-Mach. Syst.*, 48, 2018, pp. 337–348.
3. Kanellakis C., Nikolakopoulos G. Survey on Computer Vision for UAVs: Current Developments and Trends, *J. Intell. Robot. Syst.*, 87, 2017, pp. 141–168.
4. Tahir A., Boling J., Haghbayan M.H., Toivonen H.T., PLoSila J. Swarms of unmanned aerial vehicles-A survey, *J. Ind. Inf. Integr.*, 16, 2019, pp. 10106–10127.
5. Washington A., Clothier R.A., Silva J. A review of unmanned aircraft system ground risk models, *Prog. Aerosp. Sci.*, 95, 2017, pp. 24–44.

6. Finn R.L., Wright D. Unmanned aircraft systems: Surveillance, ethics, and privacy in civil applications, *Comput. Law Secur. Rev.*, 28(2), 2012, pp.184–194.
7. Bloss, R. Unmanned vehicles while becoming smaller and smarter are addressing new applications in medical, agriculture, in addition to military and security, *Ind. Robot Int. J.*, 41(1), 2014, pp.82–86.
8. Bijjahalli S., Sabatini R., Gardi A. Advances in intelligent and autonomous navigation systems for small UAS, *Prog. Aerosp. Sci.*, 115, 2020, pp. 100617–100629.
9. Brelje B.J., Martins J.R.R.A. Electric, hybrid, and turboelectric fixed-wing aircraft: A review of concepts, models and design approaches, *Prog. Aerosp. Sci.*, 104, 2019, pp.1–19.
10. Liu Y., Kreimeier M., Stumpf E., Zhou Y., Liu H. Overview of recent endeavors on personal aerial vehicles: A focus on the US and Europe led research activities, *Prog. Aerosp. Sci.*, 91, 2017, pp. 53–66.
11. Washington A., Clothier R.A., Silva J. A review of unmanned aircraft system ground risk models, *Prog. Aerosp. Sci.*, 95, 2017, pp. 24–44.
12. Finn R.L., Wright D. Unmanned aircraft systems: Surveillance, ethics, and privacy in civil applications, *Comput. Law Secur. Rev.*, 28(2), 2012, pp. 184–194.
13. Hassanalian M., Abdelkefi A. Classifications, applications, and design challenges of drones: A review. *Progress in Aerospace Sciences*, 91, 2017, pp. 99–131.
14. Chan K. W., Nirmal U., Cheaw W. G. Progress on drone technology and their applications: A comprehensive review., In *AIP Conference Proceedings*, 2030(1), 2018, pp. 20308–20334.
15. Alghamdi Y., Munir A., La H. M. Architecture, classification, and applications of contemporary unmanned aerial vehicles., *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 10(6), 2021, pp. 9–20.
16. Dileep M. R., Navaneeth A. V., Ullagaddi S., Danti A. A study and analysis on various types of agricultural drones and its applications., *Fifth International Conference on Research in Computational Intelligence and Communication Networks (ICRCICN) IEEE*, 2020, pp. 181–185.
17. Weibel R., Hansman R. Safety considerations for operation of unmanned aerial vehicles in the national airspace system, *Workshop and Exhibit*, 11, 2006, pp. 161–188.
18. Zaludin Z., Harituddin A. S. M. Challenges and Trends of Changing from Hover to Forward Flight for a Converted Hybrid Fixed Wing VTOL UAS from Automatic Flight Control System Perspective., *IEEE 9th International Conference on System Engineering and Technology (ICSET) IEEE*, 2019, pp. 247–252.

Movchan K.O. CLASSIFICATION SYSTEMS FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES AND THEIR APPLICATION IN VARIOUS INDUSTRIES

The article analyses modern approaches to the classification of types of unmanned aerial vehicles (UAVs), taking into account advances in avionics, control systems, weight and dimensions, design features, functional purpose and communication systems over the past two decades. The article reveals the key aspects of the development of UAV technologies that have contributed to the growth of their popularity among civilian and military users. It is found that the improvement of hardware and software solutions has made it possible to integrate drones into higher-level systems, creating more complex systems that provide increased efficiency and adaptability in a wide range of applications. It should be noted that the most effective use of drones is achieved through their integration with existing technology platforms. This approach provides a synergistic effect and expands the scope of possible use of these systems. A literature review has shown that the main areas of UAV use include agriculture, logistics, environmental monitoring, search and rescue operations, military missions, mapping and autonomous navigation in conditions of limited access to GPS. The study provides an in-depth classification of UAVs, which takes into account key parameters such as weight, structural characteristics (e.g., fixed wing or multicopter), operational capabilities (range, flight duration, payload), and target functions. It has been found that such a multidimensional classification is useful for creating new models of drones and determining their potential applications. The article reveals topical issues of classification of unmanned aerial vehicles. It is determined that the systematisation of UAVs by various features allows optimising their use in various industries. The main scientific areas of research in this area are considered, which allows assessing the dynamics of development of UAV technologies. It is noted that further research in this area will help to improve the characteristics of UAVs, increase their versatility and ensure compliance with the new requirements of modern technological systems.

Key words: *unmanned aerial vehicle, UAV classification, single-rotor UAVs, multi-rotor UAVs, fixed-wing UAVs, hybrid UAVs.*