УДК 623.746-519:621.396.96

І. В. Первак, В. Д. Бондарчук

СИСТЕМИ АКУСТИЧНОГО ТА РАДІОТЕХНІЧНОГО ВИЯВЛЕННЯ МАЛОРОЗМІРНИХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Анотація. *Розглянуто принципи дії, можливості та обмеження систем акустичного й радіотехнічного виявлення малорозмірних безпілотних літальних апаратів (БпЛА). Проаналізовано вплив погодних умов, завадової обстановки, ефективної площі розсіювання та способу керування БпЛА на дальність і достовірність виявлення. Запропоновано шляхи підвищення результативності виявлення на основі комплексування датчиків, побудови розподіленої мережі та застосування методів машинного навчання.*

Ключові слова: *малорозмірний безпілотний літальний апарат, акустичне виявлення, радіотехнічне виявлення, радіолокаційна станція, комплексування датчиків.*

Abstract. *The principles of operation, capabilities and limitations of acoustic and radio-technical detection systems for small unmanned aerial vehicles (UAVs) are examined. The influence of weather conditions, interference environment, radar cross-section and the UAV control method on detection range and reliability is analyzed. Ways to improve detection effectiveness based on sensor integration, a distributed sensor network and machine learning methods are proposed.*

Keywords: *small unmanned aerial vehicle, acoustic detection, radio-technical detection, radar, sensor fusion.*

Широке застосування малорозмірних БпЛА, зокрема мультироторних і FPV-дронів, суттєво змінило характер бойових дій. Такі апарати мають малі розміри та невисоку вартість, можуть летіти на висоті десятків метрів і непомітно наближатися до позицій підрозділів та об’єктів інфраструктури. Традиційні засоби протиповітряної оборони для їх виявлення малоефективні, оскільки радіолокаційні станції (РЛС), розраховані на літаки й ракети, погано виявляють цілі з ефективною площею розсіювання (ЕПР) 0,01–0,1 м², що летять на малій висоті на тлі місцевих предметів. Тому ефективним є використання системи акустичного та радіотехнічного виявлення, які доповнюють одна одну.

Принцип дії акустичних систем ґрунтується на реєстрації звуку, який створюють двигуни та повітряні гвинти БпЛА. Спектр цього звуку має виражені гармоніки, частота яких залежить від частоти обертання гвинтів і кількості лопатей, тому за ними можна не лише виявити апарат, а й відрізнити його від автомобіля чи вітру. Система складається з мікрофонів або мікрофонних решіток, блока обробки сигналів і засобів відображення. Напрямок на джерело визначають за різницею часу приходу сигналу до різних мікрофонів або за допомогою формування діаграми спрямованості решітки. Один пункт дає лише напрямок, а координати цілі визначають, коли сигнал приймають кілька рознесених пунктів. До переваг акустичних засобів належать пасивність, а саме відсутність випромінювань, низька вартість, малі розміри й енергоспоживання, здатність працювати без прямої видимості та виявляти апарати без радіоканалу. Недоліками є невелика дальність, для окремого датчика зазвичай сотні метрів, залежність від вітру, температури й атмосферних умов, вплив шуму від техніки, стрільби та вибухів, а також запізнення сигналу через малу швидкість звуку, близько 340 м/с.

Радіотехнічне виявлення поділяють на активне та пасивне. Активні РЛС випромінюють зондувальний сигнал і приймають відбитий. Для малорозмірних БпЛА застосовують компактні станції сантиметрового діапазону з когерентною обробкою сигналу. Важливою ознакою є мікродоплерівський ефект: обертові лопаті створюють у відбитому сигналі додаткові частотні складові, за якими БпЛА можна відрізнити від птаха. Дальність виявлення сягає кількох кілометрів, проте залежить від ЕПР цілі, потужності станції та висоти польоту. Недоліки активних засобів: випромінювання демаскує станцію і робить її ціллю для засобів радіоелектронної розвідки та ураження, на малих висотах заважають відбиття від місцевих предметів, а повільні цілі можуть відсікатися фільтрами селекції рухомих цілей.

Пасивні радіотехнічні засоби не випромінюють, а виявляють сигнали, які створює сам БпЛА, канали керування та передавання відео, що працюють переважно на частотах 433, 868/915 МГц, 2,4 і 5,8 ГГц. Виявлення здійснюють аналізом спектра, а напрямок на джерело визначають

амплітудними або фазовими пеленгаторами. Порівняння сигналів із базою відомих протоколів дозволяє визначити тип апарата, а інколи й напрямок на оператора. Такі засоби недорогі, мобільні, мають більшу дальність, ніж акустичні, та працюють у будь-яку погоду. Їх головний недолік полягає в тому, що вони не бачать БпЛА, які летять за заздалегідь заданою програмою в режимі радіомовчання, а також дрони з оптоволоконним керуванням. У міському середовищі результат погіршують радіозавади.

На практиці ефективність систем виявлення залежить і від того, як вони розгорнуті. Датчики розміщують на висотах із вільним оглядом, уникаючи розташування біля доріг, ліній електропередач і генераторів, які створюють акустичні та електромагнітні завади. Рознесення пунктів на місцевості дає змогу побудувати кілька рубежів виявлення та виграти час для оповіщення підрозділів і застосування засобів ураження або радіоелектронної боротьби (РЕБ).

З метою підвищення результативності виявлення малорозмірних БпЛА пропонується наступне:

поєднувати акустичні, радіолокаційні та радіотехнічні датчики в єдину мережу з пунктом збору й обробки даних: БпЛА без радіоканалу виявить акустика, а той, що летить поза зоною чутності, – радіомоніторинг;

створювати розподілену мережу акустичних датчиків із перекриттям зон на ймовірних напрямках прольоту; рознесення датчиків дозволяє визначати координати цілі та будувати її траєкторію;

застосовувати цифрову фільтрацію шумів, адаптивне формування діаграми спрямованості та нейромережеві методи класифікації спектрограм для автоматичного розпізнавання типу БпЛА і зменшення кількості хибних тривог;

обмежувати час випромінювання та регулярно змінювати позиції активних РЛС, щоб зменшити ризик їх виявлення й ураження;

передавати дані виявлення в реальному часі мобільним вогневим групам і засобам РЕБ та підтверджувати ціль оптико-електронними засобами.

Отже, жоден окремо взятий засіб не забезпечує надійного виявлення малорозмірних БпЛА. Акустичні системи ефективні на невеликих відстанях і проти апаратів без радіоканалу, радіолокаційні забезпечують найбільшу дальність, але демаскують себе, а пасивні радіотехнічні є мобільними й безпечними, проте не бачать цілі в режимі радіомовчання. Найкращий результат дає комплексне використання цих засобів у єдиній мережі, автоматизована обробка даних із застосуванням алгоритмів штучного інтелекту та підготовка розрахунків до роботи в складних умовах.

Список використаних джерел:

1. Richards M.A., Scheer J.A., Holm W.A. Principles of Modern Radar: Basic Principles. Raleigh: SciTech Publishing, 2010. 924 p.
2. Skolnik M.I. Radar Handbook. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2008. 1328 p.
3. Chen V.C. The Micro-Doppler Effect in Radar. Boston–London: Artech House, 2011. 290 p.
4. Van Trees H.L. Optimum Array Processing. New York: Wiley, 2002. 1472 p.

Первак Ігор Володимирович – курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: pervakigor21@gmail.com.

Бондарчук Володимир Дмитрович – курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: vovabondarchuk103@gmail.com.

Pervak Ihor Volodymyrovych – cadet from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e-mail: pervakigor21@gmail.com.

Bondarchuk Volodymyr Dmytrovych – cadet from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e-mail: vovabondarchuk103@gmail.com.