

В. А. Таршин, Г. С. Залевський, О. В. Очкурєнко, Р. Л. Стовба

ОСОБЛИВОСТІ ВИЯВЛЕННЯ ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧНИХ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ РАДІОЛОКАТОРАМИ РАДІОТЕХНІЧНИХ ВІЙСЬК

Номенклатура повітряних літальних апаратів швидко розширюється і на даний час включає об'єкти від гіперзвукових літаків до малих безпілотних літальних апаратів. Відповідно, контроль повітряного простору повинен здійснюватися за всіма типами літальних апаратів. У статті розглянуто особливості радіолокаційного виявлення дуже складних для засобів активної локації об'єктів – безпілотних літальних апаратів тактичного й оперативного рівнів. Їх тактико-технічні характеристики, особливості конструкції та тактика застосування дозволяють виконувати бойові завдання іноді без виявлення системою протиповітряної оборони противника. У роботі визначено фактори та особливості, які зумовлюють несвоєчасне виявлення об'єктів типу безпілотних літальних апаратів радіолокаційними станціями радіотехнічних військ або призводять до складнощів їх спостереження. Досліджено шляхи покращення радіолокаційного спостереження таких дронів. Проаналізовано досвід бойового застосування безпілотних літальних апаратів у зоні проведення операції Об'єднаних сил на сході України у 2014–2022 роках, сирійському воєнному конфлікті, Другій карабаській війні 2020 року та сучасній російсько-українській війні. Встановлено важливі фактори, які сприяли ефективному застосуванню безпілотних літальних апаратів. Наведено узагальнену інформацію щодо зміни особливостей збройних конфліктів, спричиненої можливостями такого виду озброєння. Показано, що наявні розвідувально-бойові можливості безпілотних літальних апаратів швидко змінюють не лише тактику використання озброєння та військової техніки збройних сил, а й стратегію ведення протистояння. Достатньо велика увага відведена аналізу масового використання безпілотних літальних апаратів різного типу в сучасній російсько-українській війні.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат; виявлення малопомітних об'єктів; пасивна завада; радіолокаційна станція; радіотехнічні війська.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Безпілотні літальні апарати (БпЛА) різних типів широко застосовують для виконання завдань цивільного та військового призначення: картографування, спостереження за рухомими (нерухомими) об'єктами, доставляння вантажів, розвідки, ретрансляції сигналів, збирання, накопичення та обробки даних, цілевказання й ураження об'єктів, корегування вогню засобів ураження тощо [1–3].

Залежно від призначення БпЛА можуть мати різні електричні розміри. Проте мікро, міні, малим та тактичним БпЛА характерні спільні властивості: як правило, вони мають незначну кількість металевих елементів конструкції та порівняно невеликі електричні розміри в метровому і дециметровому діапазонах частот. Ці фактори призводять до низького рівня вторинного розсіювання електромагнітних хвиль, що значно ускладнює їх радіолокаційне виявлення та супроводження [4–8]. Крім того, відносно низька швидкість

© В. А. Таршин, Г. С. Залевський, О. В. Очкурєнко, Р. Л. Стовба, 2022

і мала висота польоту додатково ускладнюють їх радіолокаційне спостереження на фоні пасивних завод.

Оперативно-тактичні, оперативно-стратегічні БпЛА мають конструктивні елементи планера, виготовлені з металевих сплавів або вуглепластику, і достатньо великі електричні розміри. Як наслідок, їх ефективна площа розсіювання (ЕПР) співмірна з традиційними аеродинамічними цілями типу літака-винищувача. Їх швидкість перевищує 500 км/год. Такі БпЛА слід розглядати як типові аеродинамічні цілі, їх радіолокаційне спостереження має багато спільного з традиційними об'єктами пілотованої авіації. Однак досвід останніх локальних війн і збройних конфліктів показує, що оперативно-тактичні й оперативно-стратегічні БпЛА є набагато складнішими об'єктами для виявлення і вогневого ураження, ніж об'єкти пілотованої авіації [3, 4, 9–14]. На жаль, у даний час утворився значний розрив між можливостями їх виявлення будь-якими засобами і безпосередньо можливостями з виконання бойових завдань ними.

Важливо додати, що воєнні доктрини багатьох країн (зокрема США та російської федерації (рф)) констатують зростання значущості сучасних технологій у збройних конфліктах [11, 14, 15]. Йдеться про використання високоточного ракетного озброєння, систем радіоелектронної боротьби, БпЛА різних типів та інших видів зброї (передусім високоточної) для максимального ураження об'єктів на всю глибину оперативної побудови військ противника.

У цілому широке застосування БпЛА в збройних конфліктах, стрімкий розвиток їх технічного оснащення й різноманіття тактичного використання вимагає переоцінки рівня їх потенційної загрози. Завдання протидії БпЛА повинне отримати новий, більш високий пріоритет. У контексті цього дуже актуальним є питання своєчасного надійного виявлення таких складних об'єктів, як БпЛА.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах [11, 15] зазначено, що під час активних бойових дій у Луганській та Донецькій областях упродовж 2014–2015 рр. унаслідок несвоечасного виявлення Збройними Силами (ЗС) України розвідувальних БпЛА, які постачала рф незаконним військовим формуванням, було отримано близько 85% всіх бойових втрат серед українських підрозділів. Зростання концентрації радіолокаційних станцій (РЛС) радіотехнічних військ (РТВ) Повітряних Сил України не привело до суттєвого покращення ситуації, що зумовлено малими висотами застосування БпЛА та високою потужністю відбиття сигналів від підстильної поверхні й розташованих на ній предметів. У роботі [16] обґрунтовано, що виявлення тактичних БпЛА радіолокаторами РТВ на дальностях 10–20 км є недоцільним і невиправданим.

У роботі [15] показано, що в ході бойових дій підрозділи рф на рівні батальйону і вище обов'язково використовували БпЛА для розвідки, цілевказівки та корегування вогневого ураження. При цьому вказано на погані спроможності підрозділів рф щодо виявлення та супроводження власних БпЛА.

Аналіз матеріалів [3, 10–12] щодо вірменсько-азербайджанського конфлікту 2020 року дозволяє зробити висновки, що однією з головних умов успішних дій ЗС Азербайджану є ставка на використання високотехнологічних повітряних засобів, які першими надавали інформацію про противника.

Достатньо важливим є аналіз досвіду сучасного сирійського конфлікту. У роботах [11–14] описані результати високоефективної взаємодії БпЛА, підрозділів вогневого ураження і радіоелектронної боротьби (РЕБ). У той же час спостерігається погана спроможність сучасних засобів протиповітряної оборони (ППО) виявляти БпЛА й висока вразливість основних зразків озброєння та військової техніки від ударних безпілотників.

Підсумки перших місяців активної фази сучасної війни між Україною та РФ свідчать про масоване використання БпЛА всіма рівнями угруповань, частин та підрозділів обома сторонами [17]. Аналітики Міністерства оборони Великої Британії відзначають, що в російсько-українській війні БпЛА відіграють вирішальну роль для обох сторін [17]. Одночасно відзначається їх вразливість, у разі застосування електронних перешкод і впливу станцій системи РЕБ, а також можливість збиття.

У цілому, проведений аналіз свідчить про малу ефективність сучасних РЛС щодо своєчасного виявлення малопомітних та малошвидкісних повітряних об'єктів, наприклад, тактичного БпЛА. Очевидно, що ефективна протидія безпілотникам вимагає комплексного підходу, а визначення шляхів покращення радіолокаційного виявлення БпЛА і зараз, і ще тривалий час буде об'єктом досліджень.

Формулювання завдання дослідження. Метою статті є проведення аналізу реального досвіду виявлення малорозмірних та малошвидкісних повітряних об'єктів під час збройних конфліктів, дослідження особливостей роботи РЛС та факторів, які зумовлюють несвоєчасне виявлення об'єктів типу БпЛА.

Виклад основного матеріалу

1. Особливості виявлення цілей типу БпЛА РЛС РТВ

На даний час ЗС різних країн світу докладають достатньо зусиль для насичення тактичної й оперативної-тактичної ланок БпЛА. Практично жодне тренування (навчання) підрозділів рівня батальйону і вище не відбувається без залучення безпілотників розвідки, цілевказівки та корегування вогню засобів вогневого ураження. При цьому деякі країни, зокрема РФ, вказують на необхідність удосконалення засобів виявлення малорозмірних повітряних об'єктів унаслідок недостатньої якості (інколи неможливості) їх викриття та супроводження власних БпЛА. Тому доцільним є аналіз особливостей та факторів, які заважають цьому.

Найбільш вагомим є досвід застосування різних типів БпЛА під час збройної агресії РФ проти України. З моменту початку війни на сході України у 2014 році військовими фахівцями спостерігається застосування РФ для виконання різних завдань безпілотників близько чотирьох десятків типів. Найбільше розповсюдження знаходять легкі дрони «Гранат-1, 2, 3, 4», «Застава», «Орлан-3М», «Орлан-10», «Элерон-3», «Тахион», «Zala» та середні «Форпост», «Дозор-100».

Ефективність поєднання сучасних розвідувальних БпЛА та систем ураження продемонстрували активні бойові дії в Донецькій та Луганській областях. За різними підрахунками впродовж 2014–2015 рр. до 85% усіх бойових втрат серед українських підрозділів є наслідком роботи артилерії противника в поєднанні з розвідувальними БпЛА [15, 17]. При цьому, незважаючи на високий енергетичний потенціал РЛС РТВ, фактів виявлення тактичних БпЛА дуже мало. Це зумовлено малими висотами польотів

безпілотників та високою потужністю пасивних завад (ПЗ). Цей фактор настільки суттєво впливає на якість викриття, що в [16] вказано на недоцільність і невиправданість здійснення виявлення тактичних БПЛА на дальностях 10–20 км радіолокаторами РТВ. Оскільки інтенсивність ПЗ пропорційна потужності зондувальних сигналів, то надмірна потужність випромінення РЛС частіше призводить до ускладнення виявлення БПЛА. Це пояснюється тим, що в системі селекції рухомих цілей (СРЦ) інколи не вистачає ступеня компенсації завад для достатнього подавлення ПЗ, тому процедура виявлення цілей проходить на фоні великих залишків завад. Відповідно, надмірний енергетичний потенціал РЛС для викриття БПЛА шкодить. На жаль, у всіх РЛС РТВ України для виявлення БПЛА на дальностях до 30–50 км енергетичний потенціал локаторів занадто високий.

Отже, для якісного виявлення БПЛА РЛС необхідне обов'язкове узгодження потужності її зондувальних сигналів з дальністю виявлення БПЛА відповідних класів (або узгодження з просторовими неоднорідностями) та введення спеціальних режимів роботи РЛС щодо БПЛА.

Значно краща ситуація з виявленням оперативно-тактичних, оперативно-стратегічних БПЛА внаслідок їх більшої ЕПР, швидкості й висоти польоту та відсутності потужних віддзеркалень від земної поверхні. Однак при цьому виникають інші труднощі, пов'язані зі складністю ураження (інколи необхідно знешкоджувати безпілотник на межі дальності роботи зенітно-ракетних комплексів (ЗРК), головки теплового наведення не завжди спроможні точно наводитись на ціль) та й фінансовий аспект не сприяє розв'язанню такої проблеми. Практика довела, що в разі використання ЗРК «Панцир», «Бук» боротьба з такими БПЛА може бути ефективною, але не завжди економічно виправданою [12–14]. Однак у даній роботі аспект знищення БПЛА розглядатися не буде.

Досвід використання БПЛА рф проти ЗС України та безпілотників підрозділів ОБСЄ в районі проведення операції Об'єднаних сил на сході України свідчить про достатню велику кількість випадків, коли виявлення та супроводження БПЛА здійснювалося на фоні цілеподібних відміток (хибних цілей) від метеоутворень типу «ангел-луна».

Експериментальні дані показують, що в разі тривалої роботи РЛС фіксується достатньо значна кількість відміток (до кількох сотень) метеоутворень типу «ангел-луна». За таких умов відчувається недостатність сучасної вторинної обробки радіолокаційних сигналів та висуваються високі вимоги до підготовленості операторів РЛС. Важливо зазначити, що сигнали від «ангел-луна» мають меншу швидкість руху, ніж БПЛА, і поширюються більш хаотично внаслідок впливу вітру. Крім того, вектор руху метеоутворень типу «ангел-луна» має здебільшого вертикальний характер, що суттєво відрізняється від переважно горизонтальних траєкторій польоту БПЛА.

Згідно з експериментальними даними БПЛА відповідає більш чітка траса порівняно з трасами, зумовленими відбиттям від хибних цілей. Слід очікувати швидкості польоту тактичних, оперативно-тактичних безпілотників в інтервалі від 70 км/год до 220 км/год за незначних змін висоти. З досвіду, висота польоту тактичних, оперативно-тактичних БПЛА переважно становить 50–300 м або більше 2000 м, на відміну від цілеподібних метеоутворень «ангел-луна», які, як правило, можуть скупчуватися на менших висотах (до

1500 м). Тому використання інформації про висоти виявлення повітряних об'єктів є важливим.

З наведених даних випливає важлива практична рекомендація для РЛС, у яких можливо оперативно змінювати пороги виявлення. Так, для РЛС типу 19Ж6 (35Д6) виявлення БпЛА бажано здійснювати в режимі «лупа» з мінімально встановленими порогоми виявлення за швидкістю (знизити рівень стабілізації рівня хибної тривоги). Приймати рішення про захоплення (ініціалізацію) траси БпЛА має оператор РЛС. Це зумовлює необхідність пошуку шляхів удосконалення системи підготовки операторів РЛС.

З іншого боку, актуальним завданням є необхідність удосконалення системи вторинної обробки радіолокаційних сигналів, основна мета якої – це забезпечення ефективного супроводження БпЛА на фоні великої кількості віддзеркалень від місцевих предметів та метеоутворень типу «ангел-луна».

На даний час майже обов'язковим є використання інформації про висоти виявлених повітряних об'єктів. Відповідно, пріоритетною є радіолокаційна інформація від РЛС, які забезпечують найкращу точність визначення координат повітряних об'єктів та роздільну здатність за висотою (кутом місця).

Отже, для якісного виявлення БпЛА РЛС необхідним є: покращення якості виділення сигналів на фоні нестационарних шумових процесів, удосконалення селекції для траскторної обробки, обов'язкове використання повного масиву радіолокаційної інформації про ціль. Крім того, бажано мати можливість адаптивного змінення значень показників якості виявлення сигналів залежно від сигнально-завадової обстановки.

2. Досвід отримання інформації про БпЛА у збройних конфліктах

2.1. Досвід виявлення БпЛА в Другій карабаській війні

Вірменія концентрувала зусилля на нарощенні сухопутної складової ЗС, а Повітряні Сили отримали 4 багатоцільові винищувачі Су-30СМ. Азербайджан, за співмірної витрати коштів, разом із підсиленням сухопутних військ закупив десятки безпілотних авіаційних комплексів турецького та ізраїльського виробництва [3]. За рахунок цього ЗС Азербайджану реалізували перевагу в повітрі, у підсумку БпАК завдали втрат більше, ніж усі інші види озброєння разом узяті.

Вірменсько-азербайджанський конфлікт (2020 р.) продемонстрував приклад швидкого ведення бойових дій за приблизно схожого складу озброєння, техніки й живої сили. Азербайджан мав єдину технологічну перевагу – найсучасніші БпЛА на основі турецьких та ізраїльських розробок [3, 10–12], які масово й постійно використовував. Це зумовило наявність важливої тактичної переваги – можливості першого виявлення угруповань і техніки противника для подальшого використання високоточної зброї. Після знищення Азербайджаном [3, 12] достатньо потужної системи ППО Вірменії (близько 40 об'єктів) у перші дні конфлікту вірменські сили втратили можливість контролю повітряного простору, а ЗС Азербайджану отримали стратегічну ініціативу для подальшого ведення бойових дій.

Особливістю Карабаської війни у 2020 році є те, що обидві сторони конфлікту майже не використовували пілотовану авіацію. Азербайджанські ЗС зробили акцент на використанні турецьких оперативно-тактичних БпАК «Bayraktar TB2». Для розвідки на великі відстані (більше 80 км) застосовувалися БпЛА ізраїльського виробництва «Heron»,

«Hermes», дрон-розвідник Aerostar. Також, за даними публікацій [10, 12], у Другій карабаській війні широко застосовувалися дрони-камікадзе (боєприпаси, які баражують), зокрема «Sky Striker», «Harop», «Orbiter-1K» та «Orbiter-3».

За оприлюдненими даними [3, 12], загальні втрати вірменських ЗС унаслідок застосування БпЛА та БпАК Азербайджану становили більше ніж 60%, а за деякими типами озброєння і військової техніки (реактивні системи залпового вогню, артилерія, самохідні артилерійські установки) ця частка перевищила 90%. При цьому, незважаючи на масове застосування ЗС Азербайджану БпЛА, Вірменією зафіксовано лише чотири факти їх знищення (наявним фотодокументуванням підтверджено два), що вкрай мало для ефективного протистояння діям повітряного противника.

Для викриття угруповань ППО ЗС Вірменії застосовувалися літаки старого парку Ан-2, які були доопрацьовані як дистанційно керовані літальні апарати (максимальна дальність управління 12 км.). У свою чергу, Вірменія, маючи достатню кількість літаків (зокрема чотири нові багатоцільові винищувачі Су-30СМ), жодного разу не підняла їх у повітря: на початку конфлікту внаслідок надмірної обережності й неочевидної раціональності використання авіації, а після втрати можливості контролю повітряного простору – унаслідок високої ймовірності втрати.

У результаті Друга карабаська війна стала першим збройним конфліктом, у якому основні традиційні завдання авіації (розвідка, цілевказання, завдання бойових ударів) виконали БпЛА. Використання різних малопомітних безпілотників, які працювали з різних рубежів, дозволило реалізувати перевагу в швидкості розвідки бойових порядків противника, здійсненні цілерозподілу, корегуванні результатів бойового ураження.

Наявна відкрита інформація про цю війну дозволяє зробити висновок про те, що низька ефективність виявлення та супроводження азербайджанських БпЛА засобами радіолокації Вірменії спричинила можливість панування в повітрі безпілотників Азербайджану. Головною передумовою цього стало використання радіолокаційних засобів виявлення так званого «старого парку» вірменською стороною, які не придатні для пошуку цілей з малою ЕПР, і тим більше в разі впливу потужних віддзеркалень в умовах гірської місцевості.

Аналіз результатів Другої карабаської війни чітко сигналізує, що невідповідність спроможностей озброєння і військової техніки підрозділів оборони й нападу навіть в одному аспекті може мати критичні наслідки, а відставання у можливостях виявлення цілей і контролю повітряного простору повністю віддає ініціативу противнику в повітрі та на суходолі.

2.2. Досвід виявлення БпЛА під час сирійського конфлікту

Заслуговує на увагу за інтенсивністю застосувань БпЛА різних типів сучасний сирійський конфлікт. На жаль, є обмеження на достовірну інформацію про кількість здійснених польотів, кількість випадків бойового застосування, відсоток вдалих (невдалих) застосувань, кількість (типи) уражених об'єктів, кількість збитих БпЛА, за яких умов це відбувалося тощо. Однак наявна інформація [11–14] дає можливість зробити висновок, що Туреччина створила діючу систему мережецентричної війни, у якій значна частина завдань оперативно перерозподіляється залежно від чинного на даний час критерію ефективності досягнення результату. Досвід бойового застосування турецькою

стороною в сирійському Ідлибі у 2020 році [11, 12] наявної системи БпЛА і зв'язаних з ними наземних складових ЗС проти сирійської армії, яка технічно, технологічно, ресурсно та консультативно підтримувалась РФ, свідчить про недостатню спроможність сучасних засобів ППО протидіяти різним типам БпЛА, зокрема ударним безпілотникам.

Спроби зс РФ переламати ситуацію, що склалася з використанням БпЛА в Сирії, за допомогою інтегрування системи РЕБ (широко застосовувалися засоби «Автобаза-М», «Репеллент-1», «Борисоглебск-2», «Гроза-С») у систему ППО не дали дієвого результату. Як показує досвід, сучасний рівень автономності роботи бойових БпЛА і ступінь їх захисту від впливу системи РЕБ дозволяє ефективно виконувати поставлені бойові завдання.

У свою чергу, турецькі ЗС демонстрували дуже добре скоординовані бойові операції груп БпЛА, які за підтримки комплексів радіоелектронного подавлення KORAL і REDET EW ефективно долали систему ППО противника. За даними [12], в умовах впливу системи РЕБ дальність виявлення БпЛА падала до 4–6 км, і першими виявлення противника, видачу цілевказівок і розвідданих здійснювали безпілотники. Крім того, була добре відпрацьована тактика масового застосування ударних Bayraktar TB2 під прикриттям важких розвідувальних БпЛА «Anka», обладнаних засобами радіолокаційної і радіотехнічної розвідки, оптичного моніторингу, комплексами РЕБ. У результаті Bayraktar TB2 майже завжди першими атакували позиції противника. Отже, можна констатувати, що ударні БпЛА замість об'єкта ураження стають ефективними засобами знищення системи ППО противника.

На думку експертів [11–14], саме поєднання реальної помітності та швидкості польоту БпЛА разом з їх високотехнологічним оснащенням дозволяє нівелювати спроможності засобів контролю повітряного простору зі своєчасного виявлення безпілотників. Така ситуація стала можливою, тому що майже 100% РЛС контролю повітряного простору реалізують концепцію виявлення повітряних об'єктів, яка була актуальною в 1980–1990 рр. Так, радіолокаційні засоби, які перебувають на озброєнні підрозділів ППО, за своїми тактико-технічними характеристиками здатні виявляти цілі типу «крилата ракета», що приблизно відповідає оперативно-тактичним БпЛА. Виявлення тактичних безпілотників здебільшого відбувається в ході візуального спостереження таких об'єктів особовим складом підрозділів.

2.3. Досвід виявлення БпЛА під час російсько-української війни

Російсько-українська війна виявила декілька важливих особливостей, обумовлених застосуванням БпЛА. Перша пов'язана з мобільністю підрозділів, озброєння і військової техніки. Усе більш актуальною для ЗС стає концепція «маневр – постріл – маневр». Обидві сторони докладають значних зусиль для своєчасного маневру, прихованого пересування і всебічного маскування військ, а розвіддані достатньо швидко втрачають актуальність. Тому набуває значущості завдання щодо створення дієвої мережі із системи розвідки (радіолокаційної, радіотехнічної, оптичної тощо), вискоефективних засобів автоматизованої системи управління, високоточних засобів ураження (артилерійських, ракетних, БпЛА-камікадзе). Російсько-українська війна продемонструвала, що на перший план вийшла важливість розвідданих саме від БпЛА, оскільки лише цей варіант розвідки має можливість у реальному масштабі часу надавати розвіддані з прив'язкою до системи

GPS і точного визначення координат противника, що необхідно для високоточних засобів ураження.

Друга особливість пов'язана з необхідністю застосування досконалої системи РЕБ. Наявний досвід на практиці довів, що наявного ступеня захисту БпЛА різного типу та класу рф і України недостатньо для ефективної протидії засобам системи РЕБ (станція «Нота» та її закордонні аналоги достатньо впевнено здійснюють перехоплення дронів і БпЛА, підміну координат тощо).

Третя особливість зумовлена діючою системою ППО. На відміну від Чечні, Грузії, Сирії, де рф використовувала власні зс, в Україні потужна система ППО. Під час перших масованих ударів російською стороною було знищено велику частину сил та засобів радіотехнічних і зенітно-ракетних військ. Однак достатньо швидко відбулася ротація підрозділів системи ППО, ЗС України отримали багато переносних ЗРК (ПЗРК) від країн НАТО. Сучасні РЛС П-18МА, П-18 «Малахіт», П-19МА, 35Д6М, 79К6 достатньо впевнено виявляють та спостерігають оперативно-тактичні БпЛА на відстані 30–35 км. За даними цілевказівок від підрозділів РТВ та результатами візуального виявлення БпЛА здійснюється застосування ПЗРК (типу «Ігла», «Stinger» тощо). Результати перших трьох місяців повномасштабного російського вторгнення довели вразливість БпЛА для ураження: станом на 14.06.2022 знищено 588 БпЛА оперативно-стратегічного рівня. У доповіді Міністерства оборони Великої Британії [17] зазначається, якщо рф продовжуватиме втрачати БпЛА нинішніми темпами, то можливості російських сил розвідки та спостереження значно погіршаться, а це негативно вплине на оперативну ефективність. Також зафіксовано факти знищення БпЛА «Форпост», «Оріон», «Орлан-10» за допомогою ЗРК «Бук-М1». Але оскільки ЗРК «Бук-М1» частіше застосовують для знищення крилатих ракет, то завдання ураження БпЛА наразі виконують ПЗРК типу «Ігла», «Stinger», «Starstreak» та інші. Найбільша кількість уражених безпілотників мали бензинові двигуни, оскільки вони залишали чіткий тепловий слід, на який надійно реагували головки самонаведення ПЗРК.

Четверта особливість пов'язана з виявленням та протидією міні- (мікро-) БпЛА. На теперішній час у російсько-українській війні обома використовується велика кількість мікродронів, які засобами радіолокації РТВ не виявляються. Але певний контроль можна здійснювати. У відсотковому співвідношенні найбільша кількість мікро-БпЛА виготовлена фірмами Autel Robotics та DJI. Фірма DJI розробила комплекс AeroScore, який відстежує, аналізує електронні сигнали дронів та видає інформацію про їх розташування, висоту, напрямок руху, швидкість, модель, серійний номер тощо. Так, у ході операції з оборони Києва декілька AeroScore фіксували в повітрі до 400 дронів фірми DJI [18]. Тобто, по-перше, є можливість віддаленого підключення до БпЛА та переведення його керування до нового командного джерела. Отже, використання дронів фірми DJI ризиковане, тому необхідно виконувати певні інструкції з безпеки й розширити використання AeroScore для боротьби з ними. По-друге, виникає дуже складне організаційно-технічне завдання щодо моніторингу повітряного простору засобами підрозділів ЗС України для фіксації дронів за категорією «свій – чужий», подальшого впливу на ворожі БпЛА та оптимального використання своїх.

П'ята особливість пов'язана зі співвідношенням оперативно-тактичних, тактичних БпЛА та завданнями, які вони виконують. Тактичні міні- (мікро-) БпЛА переважно

проводять оптичний моніторинг на невеликій віддалі від оператора, тобто розвідку лінії зіткнення. Мікро-БпЛА (наприклад, DJI Mavic, DJI Phantom, Autel Evo II) реально є витратним матеріалом, який достатньо швидко збивається або перехоплюється засобами РЕБ. Але оскільки їх вартість мала, а кількість пропозицій з продажу велика, то відновити втрати мікро-БпЛА не складно. Тобто це розвідний ресурс, який оперативно поповнюється та здатний ефективно виконувати завдання оптичного моніторингу невеликих за площею районів. У російсько-українській війні розвідка лінії зіткнення постійно якісно здійснюється обома сторонами.

У свою чергу, оперативно-тактичні БпЛА спеціально виготовляють для виконання специфічних, складних завдань із спостереження. Вони дозволяють вести точну різнодіапазонну розвідку майже за будь-яких умов протягом 10–25 годин з глибини фронту 30–50 км. Для ефективної протидії таким безпілотникам необхідна потужна система ППО і ЗРК середньої та великої дальності дії. На жаль, ворог має значну перевагу в ЗРК, а українська сторона намагається не ризикувати, оскільки оперативно-тактичні БпЛА є складним для поповнення ресурсом. Враховуючи, що рф до початку російсько-української війни мала до трьох тисяч оперативно-тактичних БпЛА різного типу, а Україна – декілька десятків (це відставання скорочується за рахунок допомоги країн НАТО), то спостереження глибини фронту на 20–50 км українською стороною досить ускладнене.

На жаль, подальше насичення ЗС України більшою кількістю мікро-БпЛА не змінить ситуації щодо повноти та глибини здійснення розвідки з повітряного простору, оскільки функціональні можливості цих дронів дуже обмежені. У свою чергу, оперативно-тактичні БпЛА можуть виконувати завдання, які частіше перекладають на мікробезпілотники. Крім того, різноманіття в рф оперативно-тактичних БпЛА дозволяє використовувати їх з різних рубежів відносно лінії зіткнення і, відповідно, організувати розвідку в декілька ешелонів. Це дає можливість оперативно планувати застосування БпЛА не лише для уникнення польотів безпілотників у зоні ураження українських ЗРК, а й для обльоту зон виявлення РЛС.

Отже, наявне співвідношення мікро- й оперативно-тактичних БпЛА ЗС України та рф створюють передумови для кращого отримання розвідданих для противника. Така ситуація вимагає від української сторони дієвих кроків для ліквідації переваги російської армії в кількості та якості БпЛА, а також значного покращення можливостей їх виявлення.

Висновки. У статті порушено питання виявлення малорозмірних та малошвидкісних повітряних об'єктів. Аналіз реального досвіду викриття тактичних, оперативно-тактичних БпЛА під час збройних конфліктів і дослідження особливостей застосування РЛС та факторів, які спричиняють несвоєчасне виявлення об'єктів типу БпЛА, дозволяють дійти таких висновків.

1. Досвід останніх локальних війн і конфліктів свідчить про те, що БпЛА стали ефективним інструментом ведення бойових операцій. Особливості сучасних військових безпілотників дозволяють ефективно виконувати бойові завдання здебільшого без їх виявлення засобами активної локації системи ППО противника.

Спостерігається тенденція збільшення ефективності застосування БпЛА для виконання завдання домінування в повітряному просторі й ураження озброєння та

військової техніки сухопутної складової ЗС, тому слід очікувати поступової зміни тактики та стратегії ведення війн.

2. Розвиток тактики застосування БпЛА і в подальшому буде ґрунтуватися на використанні малого значення їх ЕПР, особливостей рельєфу місцевості, маскувального ефекту віддзеркалень від земної поверхні та місцевих предметів, низької швидкості й малої висоти польоту тактичних БпЛА, на здійсненні польотів та використанні зброї оперативно-тактичних БпЛА до рубежів їх виявлення засобами радіолокаційного спостереження повітряного простору.

3. Відзначається невідповідність сучасних особливостей бойового застосування БпЛА наявним спроможностям їх виявлення засобами радіолокаційного контролю повітряного простору. При цьому різноманіття типів БпЛА дозволяє їх використовувати з різних рубежів відносно лінії бойового зіткнення, залишаючись поза зоною радіолокаційного виявлення.

4. Досвід роботи радіотехнічних військ вимагає наявності в РЛС режимів роботи, які враховують особливості виявлення маловисотних та малошвидкісних цілей. Процедура виявлення БпЛА повинна бути адаптована до малих значень ЕПР таких цілей. Принципово важливою особливістю цих РЛС повинна бути висока якість роботи системи селекції рухомих цілей.

5. Завдання ефективної боротьби із цілеподібними сигналами типу «ангел-луна» повинне вирішуватися системою вторинної обробки сигналів на основі використання удосконалених алгоритмів оброблення, спеціалізованих режимів випромінення, приймання та оброблення радіолокаційних сигналів РЛС, а також максимального застосування радіолокаційної інформації для аналізу (площинні координати повітряних об'єктів; висота, швидкість, вектор руху; тип об'єкта тощо).

6. Тактичні мікро-БпЛА не виявляються РЛС, але вони мають малий радіус бойової роботи і суттєво обмежені можливості зі збирання розвідданих, тому концентрувати зусилля для їх виявлення недоцільно. Вважаємо, що на даний час більш важливим є завдання ефективного виявлення оперативно-тактичних БпЛА, які в змозі проводити оптичне, радіотехнічне, радіолокаційне спостереження великих територій тривалий час.

Подальшою перспективою проведення подібних досліджень є систематизація та узагальнення інформації про виявлення БпЛА інших класів за різних умов радіолокації. Дослідження особливостей цього процесу та порядку використання безпілотників дозволить сформулювати пропозиції до технічних та організаційних заходів, які спрямовані на підвищення ефективності радіолокаторів з виявлення БпЛА різних класів.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Сучасне озброєння і військова техніка Збройних сил Російської Федерації. Довідник учасника ООС / За ред. С. П. Корнійчука. Харків : ДІСА ПЛЮС, 2020. 1220 с.
2. Markarian G., Staniforth A. Countermeasures for Aerial Drones. Boston, London : Artech House, 2021. 350 p.
3. Жарик О. М., Тристан А. В. Військова операція Азербайджану в Нагірному Карабасі в контексті розвитку Повітряних Сил Збройних Сил України // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2021. № 2 (43). С. 19–24. doi: [10.30748/nitps.2021.43.02](https://doi.org/10.30748/nitps.2021.43.02)

4. Riabukha V. Radar surveillance of unmanned aerial vehicles (review) // Radioelectronics communication system. 2020. № 63 (11). P. 655–669. doi: [10.3103/S0735272720110011](https://doi.org/10.3103/S0735272720110011)
5. Sukharevsky O., Vasilets V., Orlenko V., Ryapolov I. Radar Scattering Characteristics of a UAV Model in X-band // IET Radar, Sonar & Navigation. 2020. Vol. 14, № 4. P. 532–537. <https://doi.org/10.1049/iet-rsn.2019.0243>
6. Zalevsky G., Sukharevsky O., Vasilets V. Integral equation modelling of unmanned aerial vehicle radar scattering characteristics in VHF to S frequency bands // IET Microwaves, Antennas & Propagation. 2021. Vol. 15, № 10. P. 1299–1309. <https://doi.org/10.1049/mia2.12164>
7. Zhang P., Yang L., Chen G., Li G. Classification of drones based on micro-Doppler signatures with dual-band radar sensors // Progress in Electromagnetics Research Symposium – Fall (PIERS – FALL). 2017. P. 638–643. <https://doi.org/10.1109/PIERS-FALL.2017.8293214>
8. Taha B., Shoufan A. Machine Learning-Based Drone Detection and Classification: State-of-the-Art in Research // IEEE Access. 2019. Vol. 7. P. 138669–138682. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2942944>
9. State of the Art and Problems of Defeat of Low, Slow and Small Unmanned Aerial Vehicles / A. Dudush, V. Tyutyunnik, I. Trofymov et al. // Advances in Military Technology. 2018. № 13 (2). P. 157–171. <https://doi.org/10.3849/aimt.01233>
10. Аксенов П. Война дронов в Карабахе: как беспилотники изменили конфликт между Азербайджаном и Арменией // BBC news. Русская служба. URL: <https://www.bbc.com/russian/features-54431129> (дата обращения: 25.05.2022).
11. Таран М. В., Шулежко В. В. Визначення способів протидії та зниження ефективності застосування безпілотних авіаційних комплексів із врахуванням аналізу локальних війн і збройних конфліктів сучасності // Зб. наук. праць Харківського нац. ун-ту Повітряних Сил. 2021. № 1 (67). С. 32–37. doi: [10.30748/zhups.2021.67.04](https://doi.org/10.30748/zhups.2021.67.04)
12. Афонин И. Е., Макаренко С. И., Петров С. В., Привалов А. А. Анализ опыта боевого применения групп беспилотных летательных аппаратов для поражения зенитно-ракетных комплексов системы противовоздушной обороны в военных конфликтах в Сирии, в Ливии и в Нагорном Карабахе // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 4. С. 163–191. doi: [10.24411/2410-9916-2020-10406](https://doi.org/10.24411/2410-9916-2020-10406)
13. Противостояние ЗРК «Панцирь-С1» и турецких БПЛА: репетиция войн будущего. URL: <https://topwar.ru/172126-protivostojanie-zrk-pancir-s1-i-tureckih-bpla-repeticij-voin-buduscego.html> (дата обращения: 25.05.2022).
14. Аналіз застосування угруповання повітряно-космічних сил Російської Федерації у Сирійській Арабській Республіці / С. І. Корсунов, О. В. Лезік, Ю. О. Галкін та ін. // Зб. наук. праць Харківського нац. ун-ту Повітряних Сил. 2020. № 4 (66). С. 7–18. doi: [10.30748/zhups.2020.66.01](https://doi.org/10.30748/zhups.2020.66.01)
15. Белесков М. Сучасний російський спосіб ведення війни: теоретичні основи і практичне наповнення. Аналітична доповідь. Київ : Центр безпекових досліджень, Нац. ін.-т стратегічних досліджень, 2021. 29 с.
16. Вишневецький С. Д., Бейліс Л. В., Климченко В. Й. Потенційні можливості РЛС РТВ з виявлення оперативно-тактичних та тактичних безпілотних літальних апаратів // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2017. № 2. С. 92–98. doi: [10.30748/nitps.2017.27.18](https://doi.org/10.30748/nitps.2017.27.18)

17. Latest Defence Intelligence update on the situation in Ukraine - 21 May 2022. Ministry of Defence, United Kingdom government organization. URL: https://twitter.com/DefenceHQ/status/1527888361763000321?ref_src=twsrc%5Etfw%7Ctwcamp%5Etweetembed%7Ctwterm%5E1527888361763000321%7Ctwgr%5E%7Ctwcon%5Es1_&ref_url=https%3A%2F%2Ftsn.ua%2Fato%2Frosiya-vtrachaye-bezpilotniki-ce-negativno-vpline-na-yiyi-operativnu-efektivnist-u-viyni-britanska-rozvidka-2067400.html (last accessed: 21.05.2022).
18. Некрасов В. Орланы здесь – как пчелы, это наш главный враг. Сооснователь Аэроразведки Ярослав Гончар о войне дронов. URL: <https://www.epravda.com.ua/rus/publications/2022/04/30/686413/> (дата обращения: 30.04.2022).

Стаття надійшла до редакції 05.07.2022.

REFERENCES

1. Korniiichuk, S. P., Turinskyi, O. V., & Pievtsov, H. V. et al. (2020). *Suchasne озброєння і військова техніка Збройних Сил Російської Федерації. Довідник учасника ООС [Modern weapons and military equipment of the Armed Forces of the Russian Federation. Handbook of the OOS participant]*. Kharkiv [in Ukrainian].
2. Markarian, G., & Staniforth, A. (2021). *Countermeasures for Aerial Drones*. Boston, London: Artech House.
3. Zharyk, O. M., & Trystan, A. V. (2021). *Viiskova operatsiia Azerbaidzhanu v Nahirnomu Karabasi v konteksti rozvytku Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy [Azerbaijan's military operation in Nagorno-Karabakh in the context of the development of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine]*. *Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy [Science and technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine]*, 2 (43), 19–24. doi: [10.30748/nitps.2021.43.02](https://doi.org/10.30748/nitps.2021.43.02) [in Ukrainian].
4. Riabukha, V. (2020). Radar surveillance of unmanned aerial vehicles (review). *Radioelectronics communication system*, 63 (11), 655–669. doi: [10.3103/S0735272720110011](https://doi.org/10.3103/S0735272720110011)
5. Sukharevsky, O., Vasilets, V., Orlenko, V., & Ryapolov, I. (2020). Radar Scattering Characteristics of a UAV Model in X-band. *IET Radar, Sonar & Navigation*, Vol. 14, № 4, 532–537. <https://doi.org/10.1049/iet-rsn.2019.0243>
6. Zalevsky, G., Sukharevsky, O., & Vasilets, V. (2021). Integralequation modelling of unmanned aerial vehicle radar scattering characteristics in VHF to S frequency bands. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, Vol. 15, № 10, 1299–1309 <https://doi.org/10.1049/mia2.12164>
7. Zhang, P., Yang, L., Chen, G., & Li, G. (2017). Classification of drones based on micro-Doppler signatures with dual-band radar sensors. *Progress in Electromagnetics Research Symposium – Fall (PIERS – FALL)*, 638–643. <https://doi.org/10.1109/PIERS-FALL.2017.8293214>
8. Taha, B., & Shoufan, A. (2019). Machine Learning-Based Drone Detection and Classification: State-of-the-Art in Research. *IEEE Access*, Vol. 7, 138669–138682. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2942944>
9. Dudush, A., Tyutyunnik, V., & Trofymov, I. et al. (2018). State of the Art and Problems of Defeat of Low, Slow and Small Unmanned Aerial Vehicles. *Advances in Military Technology*, 13 (2), 157–171. <https://doi.org/10.3849/aimt.01233>

10. Aksenov, P. (n.d.). Voina dronov v Karabakhe: kak bespilotniki izmenili konflikt mezhdu Azerbaidzhanom i Armeniei [Drone war in Karabakh: how drones have changed the conflict between Azerbaijan and Armenia]. *BBC news. Russkaia sluzhba [BBC news. Russian service]*. Retrieved from <https://www.bbc.com/russian/features-54431129> [in Russian].
11. Taran, M. V., Shulezhko, V. V. (2021). Vyznachennia sposobiv protydii ta znyzhennia efektyvnosti zastosuvannia bezpilotnykh aviatsiinykh kompleksiv iz vrakhuvanniam analizu lokalnykh viin i zbroinykh konfliktiv suchasnosti [Determination of methods of countermeasures and reduction of the effectiveness of the use of unmanned aircraft systems, taking into account the analysis of local wars and modern armed conflicts]. *Zb. nauk. prats Kharkivskoho nats. un-tu Povitrianykh Syl [Coll. of science works of the Kharkiv National Air Force University]*, 1 (67), 32–37. doi: [10.30748/zhups.2021.67.04](https://doi.org/10.30748/zhups.2021.67.04) [in Ukrainian].
12. Afonin, I. E., Makarenko, S. I., Petrov, S. V., & Privalov, A. A. (2020). Analiz opyta boevogo primeneniia grupp bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlia porazheniia zenitno-raketnykh kompleksov sistemy protivovozdushnoi oborony v voennykh konfliktakh v Sirii, v Livii i v Nagornom Karabakhe [Analysis of the experience of combat use of groups of unmanned aerial vehicles to destroy anti-aircraft missile systems of the air defense system in military conflicts in Syria, Libya and Nagorno-Karabakh]. *Sistemy upravleniia, sviazi i bezopasnosti [Control, communication and security systems]*, 4, 163–191. doi: [10.24411/2410-9916-2020-10406](https://doi.org/10.24411/2410-9916-2020-10406) [in Russian].
13. *Protivostoianie ZRK «Pantsir'-S1» i turets'kikh BpLA: repetitsiia voin budushchego [The confrontation between the Pantsir-S1 air defense system and Turkish UAVs: a rehearsal for the wars of the future]*. (n.d.). Retrieved from <https://topwar.ru/172126-protivostojanie-zrk-pancir-s1-i-tureckih-bpla-repeticij-voin-buduscego.html> [in Russian].
14. Korsunov, S. I., Lezik, O. V., & Halkin, Yu. O. et al. (2020). Analiz zastosuvannia uhrupovannia povitriano-kosmichnykh syl Rosiiskoi Federatsii u Syriiskii Arabskii Respublitsi [Analysis of the use of the air and space forces of the Russian Federation in the Syrian Arab Republic]. *Zb. nauk. prats Kharkivskoho nats. un-tu Povitrianykh Syl [Coll. of science works of the Kharkiv National Air Force University]*, 4 (66), 7–18. doi: [10.30748/zhups.2020.66.01](https://doi.org/10.30748/zhups.2020.66.01) [in Ukrainian].
15. Bieliesskov, M. (2021). *Suchasnyi rosiiskyi sposib vedennia viiny: teoretychni osnovy i praktychne napovnennia. Analitychna dopovid [The modern Russian way of waging war: theoretical foundations and practical content. Analytical report]*. Kyiv [in Ukrainian].
16. Vyshnevskiy, S. D., Beilis, L. V., Klymchenko, V. Y. (2017). Potentsiini mozhlyvosti RLS RTV z vyjavlennia operatyvno-taktychnykh ta taktychnykh bezpilotnykh litalnykh aparativ [Potential capabilities of RTV radar for detection of operational-tactical and tactical unmanned aerial vehicles]. *Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy [Science and technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine]*, 2, 92–98. doi: [10.30748/nitps.2017.27.18](https://doi.org/10.30748/nitps.2017.27.18) [in Ukrainian].
17. *Latest Defence Intelligence update on the situation in Ukraine*. (May 21, 2022). Ministry of Defence, United Kingdom government organization. Retrieved from https://twitter.com/DefenceHQ/status/1527888361763000321?ref_src=twsrc%5Etfw%7Ctwcamp%5Etweetembed%7Ctwterm%5E1527888361763000321%7Ctwgr%5E%7Ctwcon%5Es1_&ref_url=https%3A%2F%2Ftsn.ua%2Fato%2Frosiya-vtrachaye-bezpilotniki-ce-negativno-vpline-na-yiyi-operativnu-efektivnist-u-viyni-britanska-rozvidka-2067400.html

18. Nekrasov, V. (n.d.). Orlany zdes' – kak pchely, eto nash glavnyi vrag. Soosnovatel' Aerorazvedki Iaroslav Gonchar o voine dronov [Eagles here are like bees, they are our main enemy. Aerial reconnaissance co-founder Yaroslav Gonchar about the war of drones]. Retrieved from <https://www.epravda.com.ua/rus/publications/2022/04/30/686413/> [in Russian].

V. A. Tarshyn, Z. S. Zalevsky, O. V. Ochkurenko, R. L. Stovba

FEATURES OF THE DETECTION OF OPERATIONAL TACTICAL UAVS BY RADIOLOCATORS OF THE RADIO ENGINEERING TROOPS

The range of aircraft is expanding rapidly and it should currently include objects from hypersonic aircraft to small unmanned aerial vehicles. Accordingly, airspace control must be carried out on all types of aircraft. The article discusses the features of radar detection of very complex objects for active location - unmanned aerial vehicles of tactical and operative-tactical level. Their tactical and technical characteristics, design features and tactics of application allow such aircraft to perform combat missions sometimes without detection of the enemy's air defense system. The article discusses the factors and features that contribute to the untimely detection of objects such as unmanned aerial vehicles by radar stations of radio troops or lead to difficulties in their observation. Ways to improve radar surveillance of unmanned aerial vehicles are noted. The analysis of the experience of combat use of unmanned aerial vehicles in the area of the Joint Forces operation is carried out in the east of Ukraine in 2014–2022 the Syrian military conflict, the second Karabakh war of 2020 and the modern Russian-Ukrainian war. There are more important factors that contributed to the effective use of unmanned aerial vehicles. The generalized information of change of features of the military conflicts which were formed thanks to possibilities of unmanned aerial vehicles is resulted. It is shown that modern reconnaissance and combat capabilities of unmanned aerial vehicles are rapidly changing not only the tactics of using weapons and military equipment of the Armed Forces, but also changing the strategy of warfare. Much attention is paid to the analysis of the mass use of unmanned aerial vehicles of various types in the current Russian-Ukrainian military conflict.

Keywords: *unmanned aerial vehicle, low-visibility detection, passive interference, radio technical troops.*