

техніка) залишалися функціональними навіть під впливом ворожих перешкод або фізичного знищення.

Яковчук Віталій Святославович
викладач кафедри безпілотних систем та робототехніки
старший лейтенант служби цивільного захисту
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

РАННЄ ВИЯВЛЕННЯ МАЛОГАБАРИТНИХ БПЛА ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ АКУСТИЧНИХ, ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ТА РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ У МУЛЬТИСЕНСОРНІ СИСТЕМИ

Сучасний етап еволюції бойових дій та специфіка виконання службово-бойових завдань підрозділами сектору безпеки та оборони безальтернативно пов'язані з масовим застосуванням безпілотних літальних апаратів. Особливу загрозу на тактичному рівні становлять малогабаритні системи розвідувального та ударного типів, зокрема адаптовані комерційні квадрокоптери, ударні FPV-дрони та баражуючі боєприпаси. Їхнє широке розповсюдження докорінно змінило архітектуру поля бою, перетворивши повітряний простір на малих і надмалих висотах на зону постійної небезпеки. Асиметричність цієї загрози полягає в тому, що відносно дешевий і масовий засіб здатний завдавати критичних втрат особовому складу та техніці, залишаючись при цьому вкрай важкодосяжною ціллю для традиційних засобів протиповітряної оборони.

Фундаментальна проблема своєчасного виявлення таких об'єктів криється в їхніх фізичних та конструктивних особливостях. Використання композитних матеріалів і пластику радикально зменшує їхню радіолокаційну помітність, електричні двигуни формують надзвичайно малу теплову сигнатуру, а здатність маскуватися на фоні складного рельєфу місцевості чи міської забудови робить їх майже невидимими для звичайних приладів. Практика доводить, що ставка виключно на ізольовані засоби спостереження вже не відповідає високій динаміці сучасного протистояння. Саме тому надійне вирішення цього завдання вимагає безальтернативного переходу від розрізнених датчиків до комплексних інноваційних систем контролю повітряного простору, здатних автоматично долати фізичні переваги малогабаритних БПЛА.

Аналіз бойового застосування беззаперечно доводить, що концепція використання моносенсорних систем вичерпала свій потенціал, і жоден з існуючих типів датчиків не здатен самостійно забезпечити стабільну та високу ймовірність раннього виявлення малогабаритних БПЛА. Радіолокаційні станції, які традиційно розглядаються як основний інструмент контролю повітряного простору завдяки найбільшій дальності дії, стикаються з критичними обмеженнями. Їхнє активне випромінювання демаскує позиції підрозділу, роблячи радіолокатор пріоритетною ціллю для ворожих засобів радіотехнічної розвідки та подальшого вогневого

ураження. Крім того, малі БпЛА, виготовлені з радіопрозорих композитних матеріалів, мають настільки низьку ефективну площу розсіювання, що їхній слабкий відбитий сигнал повністю губиться в інтенсивних радіолокаційних засвітах від рельєфу місцевості, рослинності та міської інфраструктури, особливо під час польотів на надмалих висотах.

З іншого боку, оптико-електронні та акустичні засоби, хоч і працюють у пасивному режимі, не здатні самостійно закрити всі прогалини у виявленні. Оптичні прилади (камери та тепловізори) вимагають жорсткого компромісу між полем зору та дальністю розпізнавання: вузький кут огляду унеможливорює швидке сканування широких секторів неба, а ефективність сенсорів критично падає за умов туману, дощу чи сильного задимлення поля бою. Своєю чергою, акустичні пеленгатори демонструють високу ефективність у складних умовах міської забудови чи лісу, де немає прямої видимості. Проте фізика поширення звуку жорстко обмежує дальність їхньої дії, а інтенсивний фоновий шум сучасного бою (робота двигунів бронетехніки, артилерійські розриви) створює акустичний хаос, що призводить до втрати точності пеленгування та ускладнює виділення слабого сигналу малогабаритного БпЛА на тлі загальної шумової картини.

Ефективне та надійне виявлення малорозмірних повітряних об'єктів у сучасному динамічному середовищі бою стає можливим виключно за рахунок впровадження технології апаратно-програмного комплексування даних. Цей інноваційний підхід передбачає глибоку інтеграцію різномірної інформації від акустичних, оптико-електронних та радіолокаційних датчиків у єдину цифрову картину в режимі реального часу. Суть методу полягає не в простому паралельному використанні розрізнених засобів спостереження, а у математичному поєднанні їхніх сигналів на рівні програмних алгоритмів. Це дозволяє створити синергетичний ефект, який гарантовано нівелює індивідуальні технологічні обмеження кожного окремого сенсора, забезпечуючи високу достовірність розвідувальних даних за будь-яких погодних умов чи за наявності інтенсивних радіоелектронних завад.

Практична реалізація цього підходу будується на чіткому принципі ієрархічного взаємодоповнення сенсорів, що дозволяє значно пришвидшити та оптимізувати процес пошуку. На першому етапі пасивна акустична система або портативна радіолокаційна станція здійснює широкий секторний огляд, фіксуючи наявність аномалії в просторі та визначаючи її наближені координати, зокрема азимут і дальність. Щойно потенційну ціль виявлено, система миттєво та повністю автоматично формує цільовказівку для високоточного оптико-електронного модуля. Завдяки швидкому розвороту поворотної платформи, телевізійні камери та тепловізори здійснюють візуальне захоплення об'єкта, його точну ідентифікацію та перехід у режим стійкого автосупроводу, що формує ідеальні умови для подальшого застосування засобів ураження або РЕБ.

Актуальні наукові дослідження у сфері протидії малогабаритним безпілотним системам комплексно зосереджені на математичному вдосконаленні алгоритмів обробки мультисенсорних даних та їхній глибокій інтеграції з технологіями штучного

інтелекту. З одного боку, активно розробляються передові нейромережеві моделі машинного зору, які в режимі реального часу аналізують оптичні й тепловізійні потоки, автоматично порівнюючи об'єкти з базами візуальних сигнатур для надійного відсікання хибних цілей. З іншого боку, для подолання інтенсивних фонових завад створюються складні адаптивні цифрові фільтри та спектральні алгоритми, здатні виділяти специфічний звук роторів БпЛА на тлі вибухів чи роботи бронетехніки, а також впроваджуються інноваційні технології мікродоплерівського аналізу в радіолокації, що дозволяють ідентифікувати навіть радіопрозорі пластикові дрони за характерним обертанням їхніх пропелерів.

Для практичного та оперативного вирішення порушеної проблеми пропонується розробка, стандартизація та масове масштабування мобільних компактних мультисенсорних платформ, адаптованих до суворих умов бойових дій. Такі комплекси мають конструюватися за модульним принципом, що дозволить гнучко розгортати їх як на стаціонарних позиціях піхоти, так і монтувати на рухому техніку для захисту колон, що рухаються на позиції. Надзвичайно важливою вимогою до цих платформ є їхня здатність захищено інтегруватися в єдину тактичну систему управління військами, що забезпечить миттєвий обмін даними про повітряну обстановку між сусідніми підрозділами та формування суцільного радіолокаційно-оптичного поля попередження.

Ключовою пропозицією щодо підвищення бойової ефективності є програмне забезпечення жорсткої синхронізації між підсистемою виявлення та засобами безпосереднього впливу на ціль. Пропонується налаштувати автоматизовану передачу точних просторових координат та параметрів руху виявленого БпЛА безпосередньо на комплекси радіоелектронної боротьби (для спрямованого придушення каналів управління та навігації) або на дистанційно керовані вогневі модулі. Виключення з цього ланцюга тривалих голосових доповідей та ручного введення координат критично скоротить час реакції контуру "виявлення-ураження", що є вирішальним фактором при протидії високошвидкісним БпЛА мультироторного типу.

Інтеграція акустичних, оптико-електронних та радіолокаційних сенсорів у єдину систему — безальтернативний шлях розвитку комплексів протидії БпЛА. Синергія цих засобів нівелює їхні індивідуальні недоліки, гарантуючи стійкість до складних погодних умов та ворожого РЕБ. Завдяки автоматизації процесів виявлення і супроводу вирішується проблема дефіциту часу та пришвидшується прийняття рішення на ураження цілі. Зрештою, масове впровадження таких мультисенсорних систем є головною умовою підвищення виживаності особового складу та успішного виконання бойових завдань.