

ВИКОРИСТАННЯ БПЛА ТА ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ПРОТИДІЇ ДРОНАМ

THE USE OF UAVS AND FEATURES OF THE CONSTRUCTION OF ANTI-DRONE SYSTEMS

У статті наведений короткий огляд про області використання БПЛА та особливості побудови систем протидії дронам.

Abstract – The article provides a brief overview of the areas of use of UAVs and the features of building anti-drone systems.

В. Макаренко

V. Makarenko



Враховуючи різні практичні та потенційні застосування та мету використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для військових і невійськових цілей, розглянемо особливості використання таких апаратів та протидії їх зловмисним діям.

Протягом останніх 30 років БПЛА та засоби протидії їх зловмисним діям швидко розвивались і їх вдосконалення продовжується і на цей час. Зараз ми можемо спостерігати в реальному житті різні випадки використання БПЛА широко відомих як дрони. До БПЛА відносяться у тому числі дистанційно пілотовані літальні апарати, керовані оператором на землі і дрони, які можуть літати автономно.

Застосування БПЛА варіюється від дронів для розваг до комерційних і військових застосувань, включаючи хобі, ігри з дронами, зйомки фільмів для відпочинку і експлуатації БПЛА для військового призначення. У [1] наведені дані федерального управління авіації (FAA), за якими у США у 2020 р. зареєстровано 1 692 700 дронів (приблизно 29% для комерційних цілей і 71% для відпочинку).

Промисловість комерційних БПЛА у тандемі зі зростаючими потребами ринку показала стрімке зростання. Очевидно, що БПЛА розглядаються як важливий інструмент для розширення комерційних ринків і використовуються в різних галузях:

- у сільському господарстві при посіві, для нагляду за станом рослин, для перехресного запилення та обпилення культур
- для доставки та/або збору невеликих вантажів
- у будівельній галузі для будівельно-вимірвальних робіт
- в індустрії IT-технологій для розширення охоплення послугами територій та встановлення аварійних мереж
- в екології для моніторингу забруднення повітря, пожежогасіння та рятувальних робіт.

Стрімке зростання аварій і злочинів, пов'язаних з використанням БПЛА, вимушує розглянути БПЛА під іншим кутом, враховуючи можливість того, що вони можуть загрожувати безпеці або виконувати протиправні дії. Наприклад, квадрокоптер DJI для розваг

випадково розбився на південній галявині Білого Дому у 2015 р. Приблизно через півтора року японським протестувальникам проти використання ядерної енергії вдалося посадити дрон, позначений радіоактивним знаком, на даху офісу прем'єр-міністра Японії. Дрон був з контейнером, наповненим радіоактивним піском з атомної станції Фукусіма. Інші приклади такого використання дронів можна знайти в [1].

Щоб пом'якшити такі тривожні наслідки, викликані БПЛА, уряди різних держав встановлюють обмеження на максимальну робочу швидкість і висоту, розташування, поведінку та діапазони частот зв'язку. Однак, оскільки чинне законодавство пасивно контролює роботу БПЛА, воно не гарантує конфіденційності та безпеки від некерованих БПЛА, наприклад, тих, у яких виникають ненавмисні збої в роботі через втрату зв'язку оператором, і БПЛА незаконних зловмисників, які намагаються атакувати громадські або військові об'єкти. Відповідно до стрімкого розвитку технологій БПЛА, результуюча загроза від некерованих БПЛА неминуха. Таким чином, для захисту особистої конфіденційності, комерційних, громадських і військових об'єктів і територій від некерованих і воєнних БПЛА, тобто зловмисних БПЛА, необхідна система протидії БПЛА (CUS – counter UAV system), також відома як система протидії безпілотникам.

У порівнянні зі звичайними літальними апаратами, БПЛА загалом мають унікальні характеристики. Наприклад, БПЛА є безпілотними, недорогими/доступними, літають на малих висотах з малою швидкістю та мають обмежене корисне навантаження. Таким чином, БПЛА потрібно вивчати окремо від існуючих досліджень щодо захисту звичайних літаків. Глибокі та широкомасштабні дослідження CUS, однак, відсутні, і поточні дослідження були проведені та охоплюють лише частину CUS. Платформи CUS класифікують відповідно до мобільності та зони експлуатації.

Деякі системи виявлення та класифікації БПЛА:

- за допомогою радара
- EO/ІЧ – електроннооптичні/інфрачервоні види-мого, короткого, середнього та довгохвильового діапазонів
- радіочастотні
- акустичні.

Використання БПЛА

БПЛА використовуються в різних військових операціях, таких як розвідка, спостереження, захоплення цілей, бойові дії та зв'язок. БПЛА, оснащені де-

кількома сенсорами, наприклад, EO/ІЧ та акустичними сенсорами, можуть виконувати важливі задачі з розвідки та спостереження. Використовуючи численні сенсори на БПЛА, можна збирати корисну інформацію під час спостереження, виявлення цілі та розвідки, а потім її можна обробити для створення кращих бойових планів.

Використовуючи сучасні комунікаційні технології, кілька дронів можуть співпрацювати для виконання військових задач, наприклад відеорозвідки. Використання відносно малого форм-фактору міні-БПЛА в порівнянні з великими літальними апаратами дає змогу формувати радіолокаційні та комунікаційні завади. Крім того, безпілотний бойовий літальний апарат середнього розміру (UCAV – Unmanned Combat Aerial Vehicle) або бойовий дрон можуть нести авіаційні боєприпаси, такі як ракети та/або бомби, і можуть використовуватися для ударів по різних цілях. Для ефективної атаки необхідна достатня точність виявлення та ідентифікації місцезнаходження цілі, тобто захоплення цілі. Малий БПЛА також можна використовувати для виявлення та знищення мін. Крім того, БПЛА, який працює як базова станція (BS – Base Station) або ретранслятор, може збільшити зону покриття зв'язку на полі бою, де BS недоступна, таким чином, що стає можливим екстрений і короткочасний зв'язок.

Цивільні та некомерційні застосування БПЛА охоплюють широку сферу, від державних послуг до наукових досліджень.

Використання БПЛА для моніторингу навколишнього середовища

БПЛА може літати та зависати навколо важкодоступних або небезпечних місць, де моніторинг необхідний для безпеки, комфорту та наукових цілей. Наприклад, державні установи та елементи громадської інфраструктури, що охоплюють велику територію, людині складно повністю контролювати за допомогою стаціонарної камери або патрулювання. БПЛА можуть контролювати всю територію з неба або певну точку під час польоту в цій точці, тобто вони можуть покривати цільову територію без сліпих та/або закритих зон. БПЛА можуть здійснювати патрулювання для моніторингу та виявлення випадків самозаймання за відносно низьку вартість. Вони також можуть бути застосовані для моніторингу в реальному часі рівнів щільності транспортних засобів для збору інформації про дорожній рух. Звичайні стаціонарні камери спостереження можуть контролювати лише частину дороги. Хоча гелікоптери з камерами можуть знімати проїжджу частину набагато

краще, вартість їх експлуатації надзвичайно висока. БПЛА можуть вирішити такі проблеми з мобільністю та експлуатаційними витратами, а також збирати корисну інформацію, наприклад маршрути об'їзду, щоб водії могли уникнути заторів або аварій. Крім того, моніторинг БПЛА також можна використовувати в наукових цілях, наприклад, для вимірювання забруднення повітря і для моніторингу стану діючих вулканів.

Використання БПЛА для надання допомоги

Іншими важливими громадськими застосуваннями БПЛА є надання допомоги. Громіздкі вертольоти та пожежні машини, не можуть легко дістатися до охопленої пожежею будівлі в міських районах через різноманітні завади та рух транспорту. Крім того, пожежникам можуть навіть не дозволити увійти в будівлю через високу ймовірність фатального обвалу. У такій екстремній ситуації БПЛА може стати порятунком завдяки своїм невеликим розмірам і мобільності, що дозволяє йому легко проникати в такі будівлі, швидко досліджувати ситуацію і повідомляти про обставини всередині. БПЛА, оснащений можливістю розпилення води, також може гасити пожежі в критичних точках, таких як газові резервуари та точки займання, негайно без прямого контролю людини.

БПЛА також може виконувати рятувальні місії, повідомляючи про місця аварій та заспокоюючи жертв після їх виявлення. Фумігатор БПЛА для боротьби з пандеміями та епідеміями є ще однією важливою діяльністю БПЛА. Наприклад, на початку 2020 року в Південній Кореї були задіяні дрони-фумігатори, щоб запобігти поширенню захворювань, наприклад, таких як коронавірус (COVID-19). Дрони-фумігатори розпилюють дезінфікуючі речовини на величезну територію за короткий час, вимагаючи найменшої кількості робочої сили. Крім того, дезінфікуючі засоби, що розпилюються за допомогою БПЛА, можуть легко окупити сліпі плями, до яких зазвичай важко дістатися людським рукам. Використання дронів-фумігаторів для запобігання епідеміям є суперечливим, оскільки ефективність цієї стратегії залежить від типу вірусу та того, чи може інфекція поширюватися повітряним шляхом, однак дрони-фумігатори будуть розвиватися й широко використовуватися завдяки їхнім потенційним перевагам у цій галузі.

Використання БПЛА для комерційних цілей

Різні галузі промисловості, від великих компаній до невеликих стартапів, використовують переваги БПЛА для збільшення прибутку. Хоча комерційне і

промислове використання БПЛА є відносно новим у порівнянні з військовим використанням, існує широкий спектр цивільно-комерційних застосувань.

У сільському господарстві щоб підвищити врожайність, БПЛА можуть допомогти фермерам виконати різні задачі, такі як аналіз ґрунту, моніторинг росту культур, перехресне запилення, зрошення, оцінка стану здоров'я та пиління посівів. Тут важливою технологією, яка дозволяє виконувати багато сільськогосподарських завдань БПЛА, є здатність БПЛА фіксувати зміни за допомогою сенсорів EO/IC та LiDAR. Крім того, для моніторингу рівня вологості та температури потрібні різні сенсори, такі як гіперспектральні, мультиспектральні або термосенсори.

БПЛА вже почали використовувати в будівельній галузі, зменшуючи людські зусилля а також помилки, пов'язані з традиційними будівельними завданнями. Наприклад, БПЛА можуть досліджувати землю з точки зору дронів, стежити за безпекою робітників, захищати будівельні майданчики від крадіжок або вандалізму, перевіряти численні небезпеки та загрози безпеці за допомогою тривимірного (3D) картографування та надавати відеоматеріали щоб полегшити спостереження. У таких випадках, поряд із здатністю зондування, яка є основною технологією сільськогосподарських БПЛА, слід підкреслити можливість зв'язку з низькою затримкою як важливу технологію, яка забезпечує переваги БПЛА на будівельних майданчиках. Зв'язок із дуже низькою затримкою важливий для будівельних БПЛА, щоб запобігти нещасним випадкам на будівельних майданчиках. З цією метою до цих БПЛА можна застосувати технологію 5G/beyond 5G (B5G). Розглядаючи БПЛА як корисний інструмент у будівництві, БПЛА візьмуть на себе ще більш комплексні та складні завдання, пов'язані з великими проектами в майбутньому.

Зараз у суспільстві легко знайти такі сфери, як кінотовиробництво, фотографія, перегони та комерційна реклама. Залежно від типу програми задіяно багато ключових технологій. Зйомка відео та фотографій за допомогою БПЛА потребує стабілізаційної технології для отримання чіткого знімка. Крім того, політ і керування БПЛА під час перегонів останнім часом стали різновидом кіберспорту. Пілот керує БПЛА, спостерігаючи за записом з камери, встановленої на БПЛА, а сигнал надсилається на окуляри або монітор, який носить пілот. Для цього потрібні ефективні технології обробки зображень і зв'язку для безперебійного та високоякісного потокового відео (зазвичай на частоті 2.4 або 5.8 ГГц). Подібно до традиційних змагань у лабіринтах роботів, гонка

БПЛА може служити для оцінки та перевірки алгоритму навчання для визначення оптимальних шляхів у небі. Для цілей відпочинку пілоти БПЛА повинні знати і дотримуватися правил і дотримуватися елементарної ввічливості, щоб забезпечити громадську безпеку та конфіденційність.

Одним із найбільш перспективних застосувань комерційних БПЛА є надання IT-послуг, де БПЛА працює, наприклад, як базова станція для підвищення якості IT-послуги.

Нормативні документи щодо використання БПЛА

Як було зазначено вище, впроваджено чи зрештою буде впроваджено багато застосувань БПЛА, які мають великі переваги. Однак кількість різноманітних інцидентів, що супроводжуються збільшенням послуг і технологій з використанням БПЛА, також збільшиться. Щоб запобігти небажаним інцидентам, спричиненим БПЛА, у багатьох країнах були встановлені правила щодо комерційних БПЛА. Деталі цих правил відрізняються від країни до країни. Наприклад, ліцензія пілота є обов'язковою для експлуатації в деяких країнах, наприклад, США, Китаї та Великобританії. У Південній Кореї та Австралії ліцензія пілота потрібна, лише якщо вага дрона перевищує встановлений стандарт. Авіаційні органи 132 країн світу також створили правила. Незважаючи на те, що нормативні акти значно відрізняються в різних країнах, їхня спільна мета полягає в запобіганні небажаним інцидентам, що виникають під час роботи БПЛА, і їх можна класифікувати на правила, що стосуються операторів, і ті, що впливають на роботу

Робота операторів БПЛА в багатьох країнах регулюється законами своїх країн. Зокрема, ліцензія пілота та страхівка потрібні в певних умовах або в усіх випадках у деяких країнах, наприклад в Австралії, де ліцензія пілота потрібна, якщо вага БПЛА перевищує два кілограми. Подібним чином у США ліцензія пілота є обов'язковою (обов'язковою для комерційних цілей), а переоцінку кваліфікації пілота слід проводити кожні два роки. Крім того, у деяких країнах необхідна підготовка пілотів для операцій за межами прямої видимості (BVLoS).

Правила роботи з БПЛА визначають певні експлуатаційні обмеження, такі як максимальні швидкості, максимальні висоти, мінімальні відстані щодо певних зон або об'єктів, схвалені зони польоту та поведінку, а також встановлені діапазони робочих частот. Більшість країн регулюють максимальну висоту та швидкість БПЛА. Також вказано мінімальну відстань до людей, транспортних засобів або пев-

них зон, наприклад військових баз. У деяких країнах під час роботи БПЛА дозволяється лише візуальна лінія видимості (VLoS) між БПЛА та оператором; тобто робота БПЛА під BVLoS не допускається, оскільки нечітка видимість може призвести до інциденту з високою ймовірністю під час експлуатації БПЛА. Однак деякі країни дозволяють роботу BVLoS, якщо БПЛА використовує функцію запобігання зіткненням. У деяких країнах необхідна реєстрація БПЛА. Під час зв'язку БПЛА канал передачі даних має бути встановлений у межах попередньо визначеного діапазону частот відповідно до певних правил.

Положення також визначають основні етичні прояви люб'язності, які не мають юридичної сили для захисту конфіденційності та безпеки, наприклад заборона польотів над приватною власністю, заборона перенесення небезпечних матеріалів і заборона скидати будь-які предмети.

Хоча правила щодо систем БПЛА були встановлені для запобігання інцидентам, вони пасивно контролюють можливе неправильне використання БПЛА і можуть бути порушені навмисно чи ненавмисно. Таким чином, слід чітко розуміти та вивчити порушення нормативних актів і відповідні наслідки, щоб розробити відповідні контрзаходи, щоб можна було зменшити загрози приватному життю та громадській безпеці, які залишаються. З цією метою порушення правил і супутні результати поділяються на три різні випадки з можливими контрзаходами та технологіями.

Аварії. Правила щодо максимальної висоти або швидкості можуть бути ненавмисно порушені через відсутність обережності або несподівані завади, такі як вітер. Якщо БПЛА летить надто далеко в середовищі BVLoS, потужність сигналів зв'язку стає недостатньою, і пілот може втратити контроль над ним. У цих випадках БПЛА може вторгнутися на приватну територію або будь-яку заборонену територію та призвести до жертв та/або пошкодження майна. Велика ймовірність, що такі аварії відбуваються, коли пілот має низьку кваліфікацію. Якщо пілот не має ліцензії або БПЛА не зареєстровано відповідною страховкою, відстежити підозрюваного також важко, і це спричиняє затримку процесу відновлення пошкоджень.

Ненасильницькі злочини. Порушуючи правила, БПЛА може бути неправильно використаний для ненасильницьких злочинів, таких як вторгнення в конфіденційність, пограбування даних і незаконні доставки. Зокрема, правопорушник міг спробувати

зібрати приватну або секретну інформацію від цивільних осіб, офіцерів або військовослужбовців, фотографуючи та підслуховуючи їх. Перевезення незаконних предметів, таких як недозволена вогнепальна зброя, вибухові речовини та наркотики, також може здійснюватися за допомогою несанкціонованого БПЛА.

Насильницькі злочини. Насильницькі злочини, тобто напади, безпосередньо загрожують безпеці людини з можливим смертельним наслідком. Насильницькі злочини тісно пов'язані з політичними та військовими проблемами, такими як тероризм, і є відносно рідкісними порівняно з випадковими та ненасильницькими злочинами. Однак у міру того, як БПЛА стають доступнішими для населення, зростає побоювання, що насильницькі злочини з їх участю зростуть.

Щоб запобігти можливій шкоді від нещасних випадків, ненасильницьких і насильницьких злочинів з використанням БПЛА, необхідні подальші чіткі та конкретні правила. Таким чином, як регіональні, так і міжнародні правила, що стосуються БПЛА, продовжують вдосконалюватися. Крім того, для безпеки та захисту майна від неправильного застосування БПЛА та для отримання переваг від їх застосувань необхідні подальші активні заходи протидії, які б ефективно виявляли та нейтралізували мБПЛА. У

статті некеровані та військові БПЛА, включаючи БПЛА вторгнення та ворожі БПЛА, називаються мБПЛА.

Якщо безпілотні літальні апарати становлять пряму загрозу, то терміни її нейтралізації системами захисту мають вирішальне значення. На рис. 1 показано, у який час потрібно вклатися для ліквідації загрози в залежності від відстані між БПЛА та об'єктом [2].

Платформи та мережі захисту

Системи захисту для запобігання небажаним інцидентам, злочинам і атакам від неправильного застосування БПЛА, тобто мБПЛА, у [1] називаються CUS (Counter UAV System). Така система виявляє, розпізнає, відстежує та нейтралізує мБПЛА. Крім того, CUS може локалізувати оператора мБПЛА.

Платформи CUS можна розділити на два класи – наземні і повітряні, як показано на рис. 2.

Наземна та повітряна платформи складаються з CUS, які працюють на землі та в повітрі, відповідно. Наземні платформи можна далі класифікувати на стаціонарні наземні, мобільні наземні та керовані людиною (тобто портативні та переносні) платформи відповідно до рівня мобільності. Залежно від робочої висоти повітряні платформи також можна додатково класифікувати на дві платформи: низьковисотні платформи (LAP) і висотні платформи (HAP).

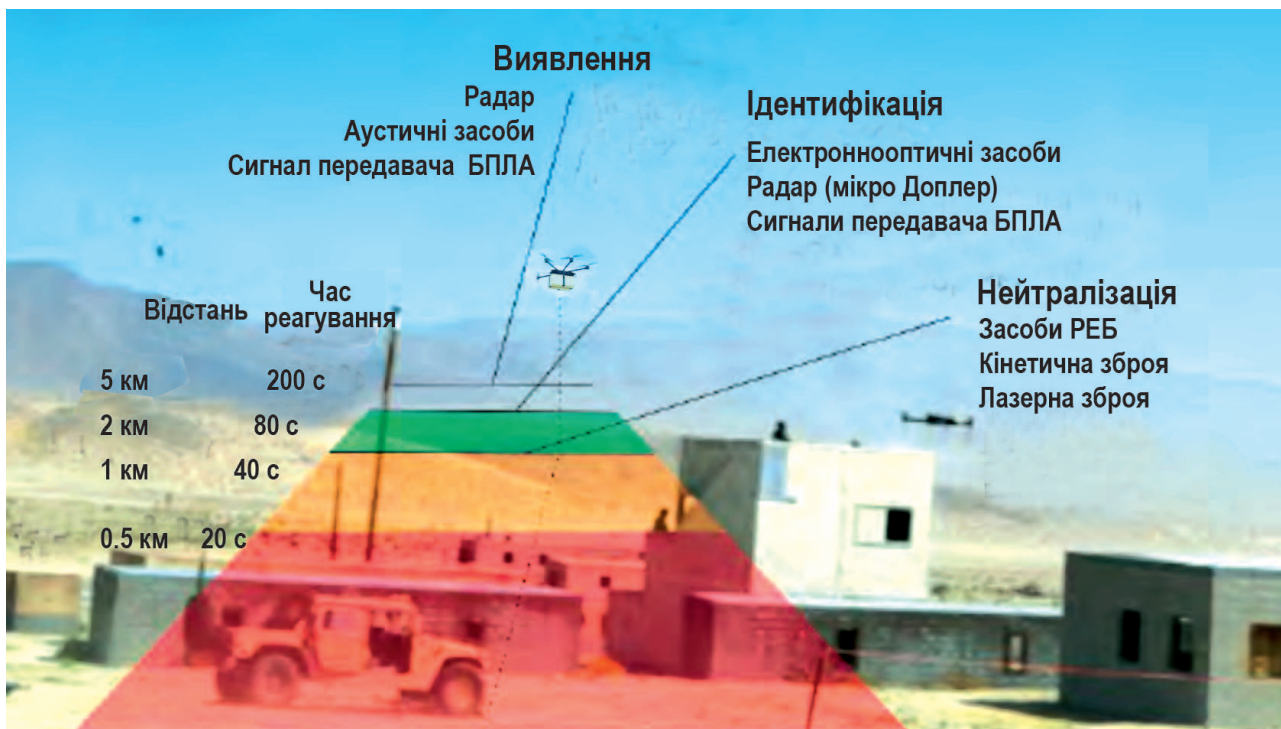


Рис. 1. Залежність часу для ліквідації загрози від відстані між БПЛА та об'єктом

Інтегровані платформи, що складаються з наземних і повітряних платформ, які працюють як на землі, так і в повітрі, називаються гібридними платформами.

Кожна платформа може бути належним чином використана в CUS з урахуванням їхніх переваг і недоліків і залежно від конкретних вимог кожної програми. Крім того, кілька платформ можуть бути розгорнуті одночасно та можуть співпрацювати через мережу CUS. Мережа має бути сумісною, щоб вона могла координувати декілька платформ. Наприклад, стаціонарна наземна платформа, оснащена радаром, два LAP, оснащені сенсором EO, і мобільна наземна платформа, що забезпечує радіочастотні завади, можуть спільно функціонувати як єдина мережа CUS.

Мережа CUS може максимізувати ефективність захисту, доповнюючи обмеження кожної платформи. Крім того, мережа CUS може включати будь-які типи платформ, наприклад, гібридну платформу, яка є специфічною реалізацією мережі CUS.

Наземна платформа

За способом експлуатації наземні платформи поділяються на стаціонарні наземні, мобільні наземні та платформи, що керуються людиною. Стаціонарні наземні платформи зазвичай складні, тому їх розгортають і експлуатують у фіксованому місці. З іншого боку, мобільні наземні платформи, як правило, монтуються на транспортних засобах, якими можна керувати в русі або в фіксованому місці. Платформи, що керуються людиною, повинні бути компактними та легкими, щоб їх носила людина.

Варто зазначити, що, слідуючи характеристикам платформ CUS, можна сформулювати теоретико-ігрову проблему між мБПЛА та CUS. CUS намагається обмежити та стримати мБПЛА, тоді як мБПЛА намагається виконати свою місію. БПЛА можуть намагатися знайти шлях, який не є найкоротшим, але найбільш придатним для виконання зловмисних місій, передбачаючи відповідь CUS. З іншого боку, CUS також може передбачати зловмисну поведінку мБПЛА

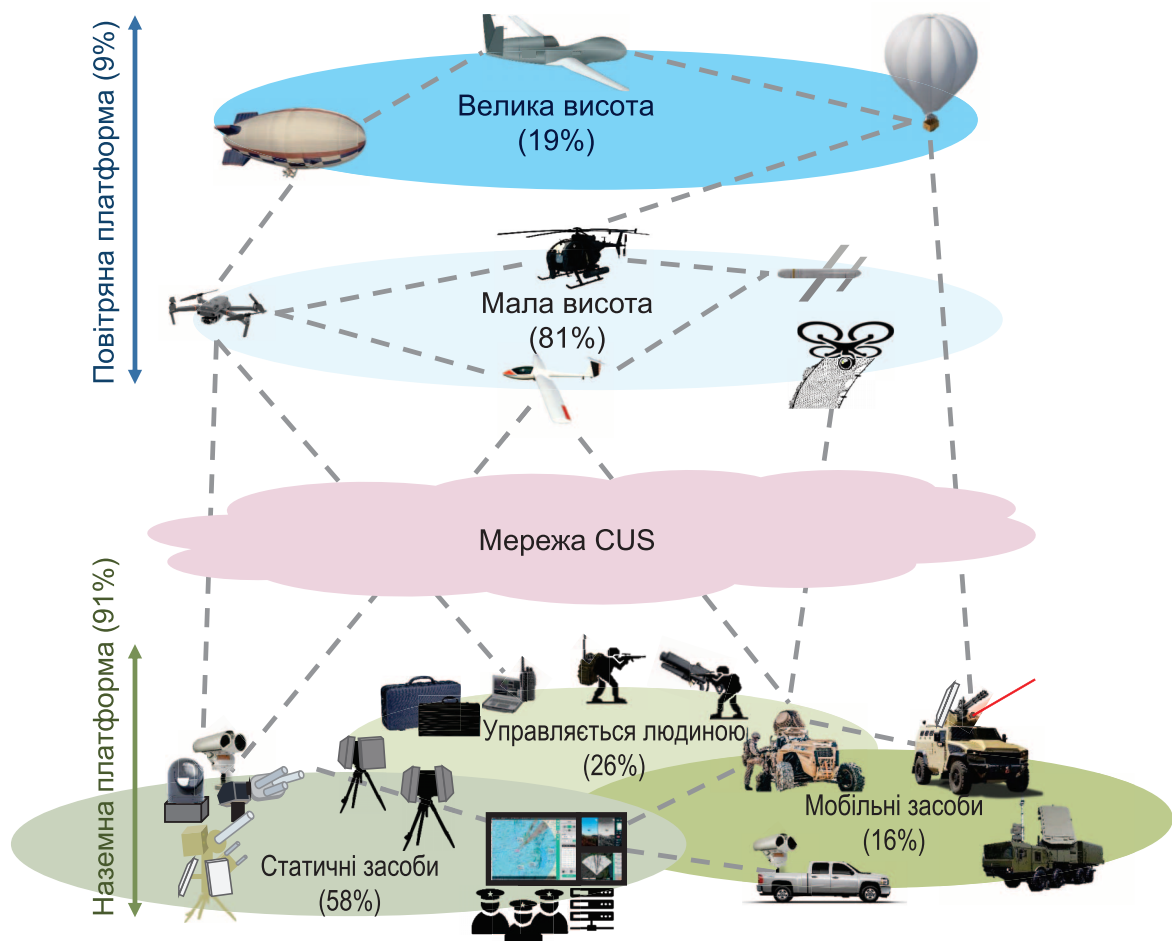


Рис. 2. Наземна та повітряна платформи CUS

та розробляти ефективні стратегії захисту. У роботі [3] інтерактивні ситуації критичного часу досліджувалися на основі теорії ігор. Тут мБПЛА намагається мінімізувати час виконання зловмисної місії, тоді як платформа CUS протистоїть цьому, щоб спробувати максимізувати час виконання зловмисної місії мБПЛА. У цій грі стратегії захисту повинні бути ретельно розроблені з урахуванням обмеження мобільності літальних апаратів.

Стаціонарні наземні платформи

Стаціонарні наземні платформи CUS складають більшість усіх платформ (приблизно 54%) і призначені для розгортання на стаціонарних наземних об'єктах, наприклад аеропортах, аеродромах, атомних електростанціях, нафтопереробних заводах, державних установах. Ці платформи пов'язані з меншими обмеженнями щодо розміру, ваги та потужності. Таким чином, стаціонарні наземні платформи є складними та ефективними та можуть бути оптимізовані для конкретних завдань для захисту від мБПЛА. Однак стаціонарні наземні платформи не завжди здатні справлятися з непередбачуваними загрозами з боку мБПЛА.

За даними [1] стаціонарна наземна платформа може бути обладнана лише системою сенсорів (приблизно 43%), системою протидії (приблизно 25%), або обома системами (приблизно 31%). Приблизно 60% сенсорних систем мають один сенсор, а 40% з них обладнано декількома типами сенсорів, наприклад, радаром, радіочастотними сенсорами, ЕО та інфрачервоними сенсорами. З іншого боку, приблизно 34% систем використовують єдиний засіб протидії, а 66% з них мають декілька, таких як радіочастотні та GNSS завади.

Важливо відзначити, що інтегровані платформи, обладнані як системами сенсорів, так і системами протидії, вимагають надійного зв'язку між системами. Таким чином, стаціонарні наземні платформи можна віднести до інтегрованих платформ.

Мобільні наземні платформи

Мобільні наземні платформи CUS, що становлять приблизно 14%, встановлені на наземних транспортних засобах, і їх можна швидко розгорнути, використовуючи рухливість транспортних засобів на землі. Мобільні наземні платформи підходять для використання на полі бою. Однак, порівняно зі стаціонарними наземними платформами, мобільні наземні платформи мають менші можливості ніж стаціонарні системи. Крім того, на використання мобільної наземної платформи впливають можливості транспортних засобів.

Як показано на рис. 3, серед усіх мобільних наземних платформ приблизно 49% мають як системи зондування, так і системи протидії, приблизно 25% використовують лише систему зондування, а решта 25% мають лише систему протидії. Порівняно зі стаціонарними наземними платформами, 31% з яких мають як системи сенсорів, так і системи протидії, можна зробити висновок, що окрема мобільна наземна платформа ефективно працює в інтегрованій системі CUS для успішної протидії.

Платформи, що керуються людиною

На платформи, що керуються людиною, припадає приблизно 22% CUS. Вони призначені для керування окремою особою вручну. Більшість платформ, які збираються людиною, із сенсорними системами нагадують рюкзак або портфель, тоді як платформи із системами протидії нагадують гвинтівки. Однак продуктивність платформ, що керуються людиною, обмежена. Це пов'язано з обмеженими можливостями виявлення, відстеження та націлювання, а також залежать від кваліфікації оператора. Крім того, більшість таких платформ мають лише системи протидії (приблизно 81%) без системи виявлення і вимірювання (рис. 3).

Повітряні платформи

Повітряні платформи – це системи, встановлені на БПЛА, наприклад на дирижаблях, повітряних ку-

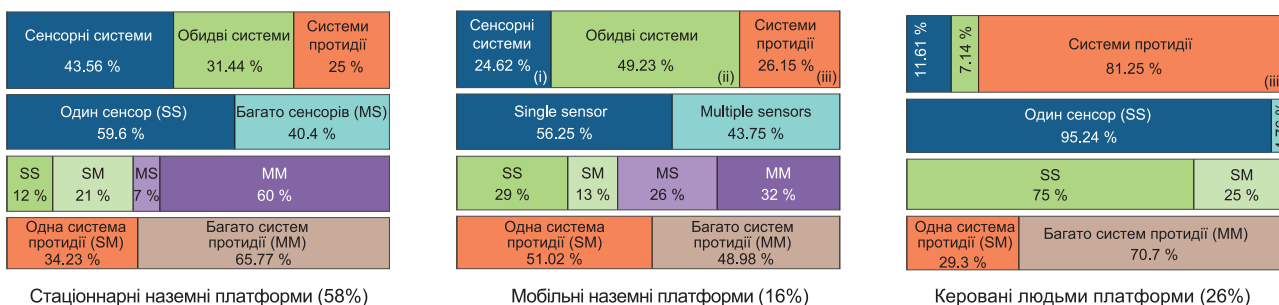


Рис. 3. Особливості наземних платформ різних типів

лях, літаках і вертольотах. Завдяки їх маневреності в повітрі можливе швидке розміщення елементів платформи у потрібних місцях.

Ці платформи не обмежуються традиційними місіями, наприклад, розвідкою та атаками, а також можуть бути використані для таких цілей, як створення завад і ретрансляції радіосигналів для збільшення дальності зв'язку.

З іншого боку, повітряні платформи мають критичні обмеження порівняно з наземними платформами. Обмежені корисне навантаження та заряд батареї, призводять до того що вони можуть нести лише легкі та малопотужні системи виявлення та протидії. Крім того, повітряні платформи вимагають безпроводових каналів зв'язку. Ці вимоги роблять повітряні платформи більш складними порівняно з наземними.

Низьковисотні та високовисотні платформи

Низьковисотні БПЛА (нБПЛА) можуть літати та зависати на малих висотах до декількох кілометрів, а їх розгортання є швидшим і гнучкішим, ніж висотних БПЛА (вБПЛА). Завдяки надзвичайно високій маневреності та економічності вони можуть відігравати важливу роль як частина інтегрованої CUS. Проблему обмеженої енергоємності батарей намагаються вирішувати за допомогою різних методів, наприклад, використання по черзі декількох БПЛА, швидка заміна батарей, безпроводова передача електроенергії та прив'язаний БПЛА, живлення якого може подаватись через кабель. Одночасно у прив'язаних БПЛА такий кабель використовується для надійного та безпечного зв'язку.

Більшість нБПЛА оснащені лише системою протидії. Типовим методом протидії ворожим БПЛА є використання сітки або БПЛА-камікадзе. У деяких БПЛА (незначної долі від усіх нБПЛА) використовуються електронно-оптичні або інфрачервоні сенсори виявлення цілей. Однак ефективність таких БПЛА обмежена, якщо вони не співпрацюють з іншими типами платформ.

Висотні вБПЛА літають і зависають на великих висотах (до десятків кілометрів). Вони можуть бути оснащені більшою кількістю систем, таких як системи зв'язку та виявлення цілей і мають значні ресурси для тривалих польотів. Завдяки великій висоті польоту вони можуть контролювати значно більші території у порівнянні з нБПЛА і передавати розвідувальні дані до інших систем протидії повітряним цілям, підтримуючи інші платформи.

Мережі CUS

Як було зазначено вище, кожна платформа має

унікальні переваги. З іншого боку, кожна платформа також має певні обмеження. Таким чином, гібридна платформа, яка складається з наземних і повітряних систем, може розглядатися як більш досконала і дозволяє нівелювати недоліки окремих платформ.

Якщо різноманітні платформи об'єднати у єдину мережу, то можливості інтегрованої системи визначаються не тільки продуктивністю окремої платформи, але й властивостями всієї мережі. Такі мережі поділяються на централізовані та децентралізовані, як показано на рис. 4.

У децентралізованій мережі системи керування розподілені на кількох платформах, як показано на рис. 4,б та 4,в. Кожна платформа в мережі спільно обчислює та приймає рішення. Децентралізовані мережі можна розділити на два різновиди, децентралізовані однорідні мережі (всі компоненти системи однакові і виконують однакові функції) та децентралізовані гетерогенні мережі (складаються з кількох типів платформ).

Сенсорні системи

Системи сенсорів можуть збирати звукові, оптичні та радіочастотні дані. Для цього використовуються сонари, акустичні ультразвукові сенсори, радары, чутливі радіоприймачі, лідари (LiDAR) та електронно-оптичні та інфрачервоні (EO/IR) сенсори.

Звукові сигнали включають інфразвукові (до 20 Гц), акустичні (від 20 Гц до 20 кГц) та ультразвукові (вище 20 кГц, до кількох гігагерц) сигнали. Звукові хвилі розповсюджуються зі швидкістю приблизно 350 м/с, що набагато нижче за швидкість розповсюдження радіохвиль та світла.

Дані сенсорів звуку можуть зробити системи виявлення більш надійними, надаючи додаткові дані разом із даними електромагнітних хвиль. Сонари (гідролокатори) працюють в активному режимі, тоді як акустичні та ультразвукові датчики працюють в пасивному режимі.

Проте гідролокатори використовуються для виявлення різних об'єктів (а також для навігації та зв'язку) під водою та не використовуються для виявлення БПЛА через особливості розповсюдження звукових хвиль в повітрі.

Мікрофони широко використовуються як акустичні датчики. Більшість БПЛА створюють звук від роботи двигунів та обертання роторів. Міні-БПЛА генерують звукові сигнали в діапазоні частот від 400 Гц до 8 кГц [1], які можуть бути виявлені акустичними датчиками. Зібрані звукові дані можна порівняти з бібліотеками акустичних сигнатур, щоб відрізнити

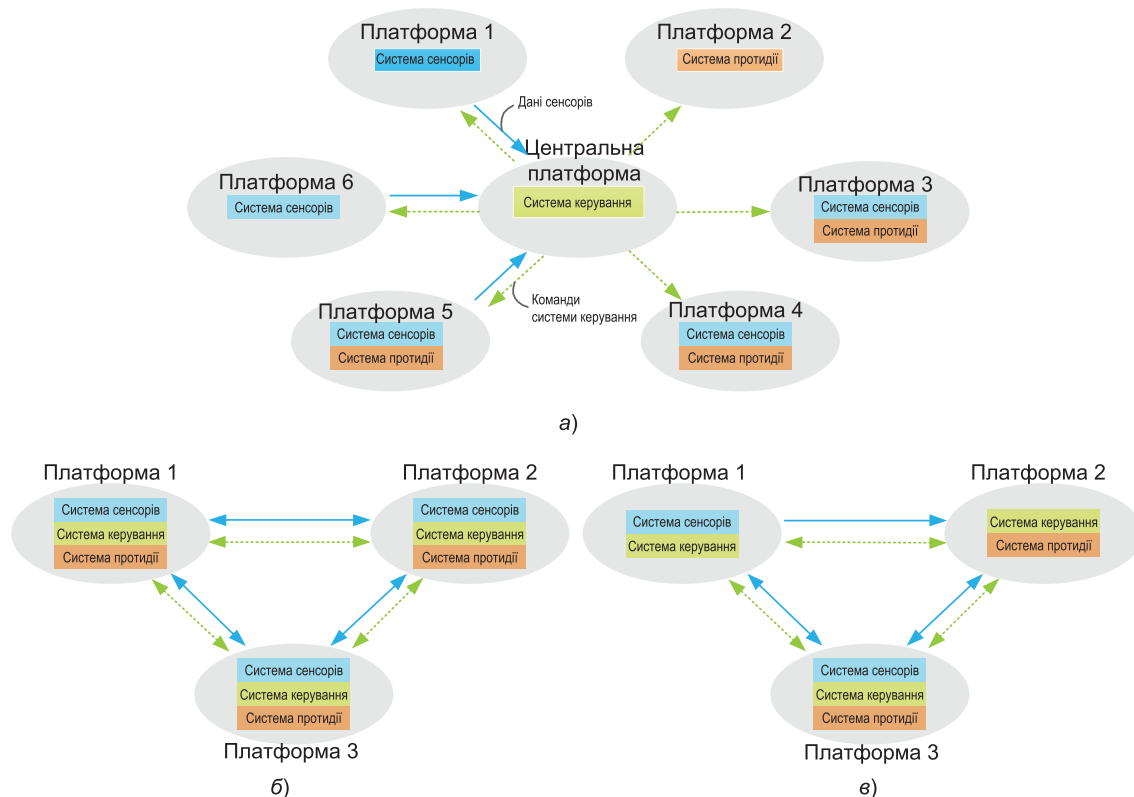


Рис. 4. Приклади централізованої (а), децентралізованої однорідної (б) та децентралізованої гетерогенної мереж

БПЛА від інших подібних об'єктів.

Компанія DroneShield створила базу даних акустичних сигнатур різних моделей БПЛА для запобігання помилкових тривог через навколишній шум. Система виявлення Alsok використовує акустичні датчики для виявлення БПЛА та порівняння виявлених даних з акустичними сигнатурами в базі даних [1].

Однак бібліотеки акустичних сигнатур не охоплюють усі типи розповсюджуваних БПЛА в різних областях. Крім того, акустичні датчики охоплюють обмежений частотний діапазон і чутливі до вітру та навколишніх джерел шуму. Щоб подолати обмеження акустичного/ультразвукового зондування та підвищити продуктивність інших типів датчиків, було вивчено різні методи та алгоритми з використанням акустичних/ультразвукових даних.

Для виявлення БПЛА можна використовувати або один мікрофон або декілька мікрофонів об'єднаних в одну конструкцію для збільшення дальності виявлення БПЛА. Найбільш ефективно працюють мікрофонні решітки побудовані за принципом ФАР (фазованих антенних решіток). Локалізацію та супроводження БПЛА здійснюється формуванням діаграми спрямованості такого акустичного сенсора за

допомогою сигнального процесора з сигналів окремих мікрофонів.

Радіочастотні датчики

Радіочастотні датчики вловлюють навколишні електромагнітні сигнали, які випромінюють передавачі мБПЛА та операторів, що управляють ними. БПЛА та оператори обмінюються даними та БПЛА передає телеметричну інформацію, таку як висота, позиція, термін служби батареї та відеодані.

Радіочастотні датчики широко застосовуються в різних системах завдяки своїй простоті, але вони мають ряд обмежень. Вони мають низьку надійність виявлення цілей і високу ймовірність помилкової тривоги. Оскільки радіочастотний датчик пасивний, він не надає інформацію про відстань до мБПЛА. Для виявлення БПЛА необхідне знання смуги частот спектру, що використовується, та знання типу модуляції, наприклад, розширеного спектру зі стрибками частоти, розширеного спектру прямої послідовності та мультиплексування з ортогональним частотним поділом. Тому для виявлення мБПЛА використовують сканери радіоефіру що дають змогу не тільки виявляти діапазон роботи передавача БПЛА а і тип модуляції.

Ця інформація потім використовується для ство-

рення електромагнітних завад системами РЕБ (радіоелектронної боротьби).

Радари

Для визначення дальності, кута та швидкості мБПЛА широко використовуються радары. Оскільки радары є активними засобами виявлення цілей, то вони дають змогу отримати такі дані на основі аналізу відбитого від цілі випромінювання. Діапазон частот, в яких можуть працювати радары, від 3 МГц до 300 ГГц залежить від характеру цілей, матеріалу, з якого вони виготовлені чи покриття, нанесеного на них, їх розміру, а також платформ, на яких вони розміщуються.

Однак традиційні радіолокаційні системи розроблені для виявлення пілотованих літальних апаратів з високими швидкостями та великим радіолокаційним перетином (RCS – Radar Cross-Section), непридатні для виявлення повільно рухомих і низько висотних мБПЛА з малим RCS. Щоб уникнути цієї проблеми, нещодавно використовувалися мікрорухоми вібраційних (двигунами або моторами) та обертових (пропелерами) структур БПЛА, які викликають унікальну мікродоплерівську сигнатуру (MDS) для радіолокаційного виявлення. Дослідження показали, що квадрокоптери, гексакоптери та октокоптери мають різні характеристики MDS. Радар може виявляти мБПЛА шляхом аналізу його MDS. Спільний метод частотно-часового аналізу, наприклад, швидке перетворення Фур'є, також може бути використане для аналізу радіолокаційних MDS БПЛА.

Радари з немодульованим безперервним випромінюванням (CW) дозволяють отримувати багату інформацію для боротьби з невеликими БПЛА з малим RCS, хоча вони не дозволяють отримати дані про дальність до цілі. Частотно-модульована радіолокаційна система дозволяє оцінювати дальність, а також швидкості кількох цілей одночасно. Ультраширокопосмугові (UWB) радары генерують дуже короткі імпульси, що дозволяє вимірювати відстань до цілі з високою роздільною здатністю.

Експериментальні результати показують, що MDS, спричинені міні-БПЛА та птахами, суттєво відрізняються, і було виявлено, що міні-БПЛА та птахів можна відрізнити на основі особливостей, спричинених помахами крилами птахів та унікальним MDS. Було також виявлено, що радар міліметрового діапазону може забезпечувати високоточні мікродоплерівські відлуння від міні-БПЛА від гвинтів, що дуже швидко обертаються.

ЕО/ІЧ-сенсори

Електронно-оптичні (ЕО) сенсори виявляють електромагнітні хвилі в діапазоні від інфрачервоного (300 ГГц...30 ТГц) до ультрафіолетового (більше 790 ТГц) діапазону. Як правило, сенсори ЕО працюють в діапазоні 300 ГГц...430 ТГц, щоб виявити мБПЛА в умовах денного освітлення. З іншого боку, ІЧ-сенсори, тобто тепловізійні камери, виявляють інфрачервоне випромінювання з роздільною здатністю до 0.01 °С, що випромінюються мБПЛА, і таким чином можуть виявляти цілі навіть темної пори доби.

ІЧ-камери з меншою довжиною хвилі забезпечують кращу продуктивність для захоплення швидко рухомих яскравих і малих цілей, ніж довгохвильові ІЧ-камери. Пасивні ЕО/ІЧ-датчики забезпечують лише двовимірні (2D) зображення. Відповідно, для покращення продуктивності виявлення нещодавно почали використовувати різні підходи на основі машинного навчання. Підходи на основі машинного навчання, наприклад SVM і k-NN, класифікують об'єкти на основі заздалегідь визначених ознак, тоді як підходи на основі глибокого навчання зазвичай являють собою згорточні нейронні мережі (CNN) без визначених функцій. Детальніше про використання нейронних мереж для виявлення мБПЛА можна прочитати в [1].

Лідари

Як і радар, LiDAR виявляє мБПЛА за сигналами, що повертаються після відбиття від мБПЛА. На відміну від радарів, LiDAR випромінює лазерні промені (зазвичай з діапазону частот 300...500 ТГц) для вимірювання відстані до мБПЛА і може формувати тривимірні зображення, використовуючи різницю в часі повернення променів від різних точок об'єкту. Таким чином, LiDAR дозволяє відрізнити цільовий об'єкт від складного фону.

Однак LiDAR має малий радіус дії для виявлення об'єктів, на його роботу впливають погодні явища, такі як хмари, туман, дощ, сніг, мокрий сніг і пряме сонячне світло.

Методи боротьби з БПЛА

Всі методи боротьби з БПЛА можна розділити на нефізичні та фізичні.

Нефізичні методи боротьби

Нефізичні методи боротьби використовують електромагнітні хвилі, щоб вивести з ладу, та/або знищити мБПЛА. Пристрої боротьби з мБПЛА можуть бути реалізовані різними методами, такими як електромагнітне випромінювання високої потужності, лазери та кібератаки (наприклад, радіочастотні/GNSS завади та підробка команд, атаки деаутен-

тифікації, атаки за кількома протоколами та інші). Найчастіше використовується радіочастотне/GNSS-глушіння і спуфінг. Спуфінг-атака намагається обдурити GPS-приймач завдяки формуванню більш потужного сигналу ніж сигнали від супутників. Він схожий на ряд нормальних сигналів GPS. Ці імітовані сигнали, змінені таким шляхом, щоб змусити одержувача неправильно визначати своє місце розташування, вважаючи його таким, яке призначене для атаки. Спуфінг дозволяє взяти під контроль мБПЛА і дати команду змінити напрямок і місце атаки. Для впровадження спуфінгу потрібні передові технології, які повністю визначають стеки протоколів зв'язку, послуги GNSS і вразливі місця мБПЛА.

Створення радіочастотних завад зменшує відношення сигнал/шум приймача мБПЛА та порушує його роботу і він може втратити канал дистанційного керування та може знизитися або приземлитись і не виконати свою місію.

Існує кілька схем глушіння. Пристрій формує заваду великої потужності на одній частоті (точкові завади), швидко перебудовує частоту сигналу завади (завади розгортки) або формує сигнал завади в широкому діапазоні частот (загороджувальні завади). Крім того, пристрої формування завад класифікують як активні та реактивні. Активний пристрій формує сигнали завад постійно або включається по випадковому закону у часі для економії енергії.

Оманлива завада, тип активної завади, що змушує БПЛА безперервно отримувати пакети даних (щоб він весь час залишався в режимі прийому).

Реактивний глушник передає сигнали лише тоді, коли виявляє, що у контрольованому спектрі з'явилися невідомі сигнали, тобто мБПЛА. Однак радіочастотні завади можуть бути неефективними для автономних БПЛА, які не потребують дистанційного керування, або для БПЛА, які сліднують заздалегідь запрограмованим маршрутом через контрольні точки глобальної системи позиціонування GPS. Таким чином, глушіння GNSS необхідно для компенсації обмежень радіочастотних глушіння.

Завади GNSS заважають навігаційним системам. Оскільки сигнали GPS надходять від супутників, його потужність мала що робить його вразливим до завад. Як тільки мБПЛА втрачає сигнал GNSS, він буде зависати або приземлятися, не виконуючи свою місію. Однак глушіння GNSS може бути неефективним для мБПЛА, оснащених датчиками інерціального вимірювального блоку і зашифрованими сигналами для навігації. Тому необхідна комбі-

нація обох методів глушіння.

Важливо відзначити, що повітряні платформи можуть бути використані для ефективного формування завад при малих відстанях між БПЛА що формує завади і мБПЛА.

Фізичні методи протидії

На відміну від нефізичних, фізичні методи протидії призводять до знищення мБПЛА. Для знищення БПЛА можуть використовуватися снаряди, ракети та ударні БПЛА.

Ударні БПЛА повинні мати системи виявлення та відстеження цілей і можуть слідувати за мБПЛА і знищувати їх шляхом зіткнення з ними. Вони можуть також нести вибухівку, щоб максимізувати вплив зіткнення, і повинні мати високу швидкість для переслідування мБПЛА.

Ще одним методом нейтралізації мБПЛА є використання сіток. Мережа сіток може бути створена сітковою гарматою або за допомогою повітряних платформ. В одному дослідженні [4] було продемонстровано, що портативний БПЛА з сіткою здатний захоплювати мБПЛА. Сітки можуть бути обладнані парашутами, щоб гарантувати безпечне зниження БПЛА для аналізу та запобігання супутньому пошкодженню інших об'єктів.

Використання орлів для боротьби з БПЛА

Поліція Нідерландів і Шотландії використовує орлів для нейтралізації та лову міні-БПЛА (рис. 5 і 6). Дресування орла не потребує високих технологій. Для навчання та розведення орлів може знадобитися менше людських ресурсів, ніж для інших засобів протидії, розроблених дослідниками та інженерами в різних областях. Однак орли можуть бути легко поранені лопатями та гвинтами мБПЛА, і їхнє використання обмежується повільнішими та меншими мБПЛА відносно швидкості та розміру орлів. Крім того орли не можуть одночасно нейтралізувати декілька БПЛА.

Стрімке зростання індустрії БПЛА призводить до зростання їх сфер використання. Благонадійні користувачі БПЛА успішно скористалися перевагами різноманітних застосувань БПЛА, які варіюються від розваг до аварійно-рятувальних робіт.

Зловмисні користувачі БПЛА також широко використовують БПЛА для терору, порушення безпеки та вторгнення на захищені об'єкти. У результаті потреби ринку у протидії негативним наслідкам використання БПЛА стрімко зростають разом із зростанням індустрії БПЛА.

Очікується, що розмір комерційної індустрії БПЛА зросте, досягнувши 6,6 мільярда доларів США



Рис. 5. Мікродрон



Рис. 6. Мінідрон

у 2024 році зі зведеним річним темпом зростання 23,37% від розміру ринку в 1,2 мільярда доларів США у 2018 році [1]. Перспективи промисловості комерційних БПЛА почали ставати особливо обнадійливими, коли Джефф Безос, генеральний директор компанії Amazon у грудні 2013 року оголосила про майбутні плани Amazon запустити службу доставки дронами під назвою Amazon Prime Air. Однак приблизно в той же час стали помітні передвісники того, що комерційні БПЛА стануть використовувати для зловмисних дій. У листопаді 2013 року у в'язниці Гатіно в Квебеку був помічений дрон, який було використано для спроби контрабанди у в'язницю. Через кілька днів охоронці в'язниці штату Джорджія помітили шестироторний безпілотник, що перевозив пачки тютюну, що кружляв над територією в'язниці. Потенційні загрози від БПЛА за останні 10 років значно зросли, що підвищило потреби ринку в рі-

шеннях протидії БПЛА (рис. 7).

Детальну інформацію про компанії що виробляють БПЛА та засоби протидії ним можна знайти в [1].

ЛІТЕРАТУРА

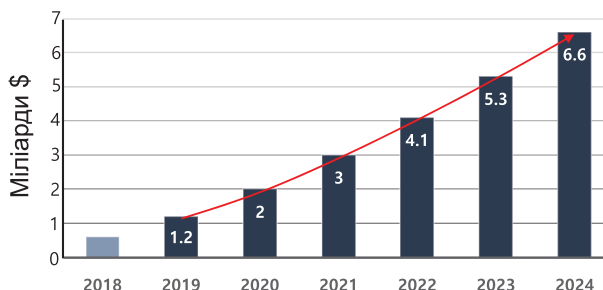


Рис. 7. Розмір ринку засобів боротьби з БПЛА та прогноз на 2023...2024 роки

1. Honggu Kang, Jington Joung, Jinyoung Kim, etc. Protect Your Sky: A Survey of Counter Unmanned Aerial Vehicle Systems. – DOI: 10.1109/ACCESS.2020.DOI

2. Detection and Classification of Small UAS for Threat Neutralization. – dsia.org /articles/detection-and-classification-of-small-uas-for-threat-neutralization/

3. A. Sanjab, W. Saad, and T. Baësar, "A game of drones: Cyber-physical security of time-critical UAV applications with cumulative prospect theory perceptions and valuations," arXiv preprint arXiv:1902.03506, 2019.

4. OpenWorks Engineering. (2020, Apr.) Skywall. [Online]. Available: <https://openworksen지니어.com/skywall-patrol/>

VD MAIS

Устаткування та матеріали для монтажу/демонтажу електронних компонентів (ЕК)



- паяльне та ремонтне обладнання
- системи очищення повітря
- пристрої трафаретного друку
- системи встановлення компонентів
- паяльні печі: конвекційного та селективного паяння, паяння хвилею
- випробувальне обладнання
- системи візуального контролю
- координатно-фрезерні верстати
- технологічні матеріали монтажу ЕК
- засоби антистатичного захисту

Дистрибуція та прямі поставки:
AIM, Bernstein, Charleswater, Electrolube, Essemtec, KIC, Kolver, LPKF, Magic Ray, Miele, Nordson, Optilia, PACE, PDT, Hanwha, Seho, TWS, Vision, Weiss

Україна, 03061 Київ, вул. М. Донця, 6
Тел.: (0-44) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110
e-mail: info@vdmals.ua, www.vdmals.ua