

¹Анатолій Сергійович Дудуш (канд. техн. наук)¹Владислав Олександрович Тютюнник (канд. техн. наук, с. н. с.)¹Олександр Анатолійович Резніченко²Спартак Юрійович Гогоняц (канд. військ. наук, с. н. с.)¹Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна²Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПРОБЛЕМИ ПРОТИДІЇ МАЛОВИСОТНИМ, НИЗЬКОШВИДКІСНИМ ТА МАЛОРОЗМІРНИМ БПЛА

У статті розглядається одна з найбільш інтенсивно зростаючих світових загроз – використання неурядовими організаціями маловисотних, низькошвидкісних і малорозмірних (МНМ) безпілотних літальних апаратів (БпЛА) для здійснення атак по об'єктах критичної інфраструктури. Проведена класифікація МНМ БпЛА, систематизовані їх головні переваги і слабкі сторони. Розглянуто світові тенденції ворожого використання МНМ БпЛА для проведення атак і ведення розвідки та виділено три категорії існуючих загроз їх застосування. Особлива увага приділена третій категорії загроз, яка характеризується високим рівнем підготовленості оператора, здатного самостійно зібрати БпЛА з використанням комерційних або навіть військових технологій, і допрацювати його апаратні і програмні засоби під конкретні завдання. Проаналізовано сучасний стан та існуючі проблеми щодо організації протидії МНМ БпЛА. Встановлено, що найкращою концепцією є застосування ієрархічного комплексу заходів з протидії БпЛА, який включає регулюючі (попередження, стримування, заборона), пасивні (виявлення та постановка перешкоди) та активні контрзаходи (знищення). Описані перспективні технології протидії МНМ БпЛА. Найбільша увага приділена спеціалізованим засобам виявлення та сучасним системам активної протидії МНМ БпЛА, таким як боєприпаси з програмованим повітряним підривом і потужні лазери.

Ключові слова: МНМ БпЛА, класифікація, загрози, переваги, слабкі сторони, заходи протидії.

Вступ

Постановка проблеми. Не дивлячись на первісну прерогативу використання для вирішення військових завдань, технології БпЛА – дронів – сьогодні знаходять все більше застосування у багатьох галузях народного господарства, а також для задоволення потреб комерційних і приватних споживачів. Компанія *VI Intelligence* прогнозує, що в 2021 році рівень продажів комерційних дронів перевищить \$12 мільярдів, що еквівалентно сукупному відсотку росту 7,6% по відношенню до \$8,5 мільярдів у 2016 [1].

Одна з основних загроз, що інтенсивно розвивається як у військовій, так і в громадянській сферах діяльності, це малорозмірні комерційні БпЛА. Передумовою цього, перш за все, є мініатюризація і здешевлення електронних компонентів, таких як мікропроцесори, сенсори, елементи живлення і системи безпроводового зв'язку. Комерційний ринок БпЛА відкриває широкий доступ до даної технології для приватних споживачів, урядових і неурядових організацій, здешевлює їх виробництво при одночасному розширенні можливостей і поліпшенні характеристик.

Нині є велика кількість сфер застосування малорозмірних БпЛА в громадянському суспільстві, і в майбутньому їх число буде зростати. Однією з найприбутковіших сфер може стати застосування БпЛА для доставки інтернет-замовлень. Скоординоване використання роїв або

великого числа БпЛА обіцяє бути ключовим напрямом їхнього розвитку, що дозволить ще ефективніше вирішувати покладені завдання.

З боку військових також збільшився інтерес до малорозмірних БпЛА, які можуть використовуватися для вирішення завдань тактичної розвідки, радіоелектронної боротьби, лазерного наведення різних платформ зброї або для доставки маленьких бомб [2]. Інтенсивного розвитку набуває спеціальний тип малорозмірних БпЛА військового призначення – так звані одноразові ударні БпЛА. Даний БпЛА оснащений боєголовкою, виводиться оператором в район виконання завдання, а потім баражує в заданому районі де за допомогою бортових сенсорів або зовнішньої цілевказівки визначає ціль і пікірує на неї.

Вказані чинники послужили каталізатором виникнення нового типу загроз – маловисотних, низькошвидкісних і малорозмірних (МНМ) БпЛА, які стали широко застосовуватися неурядовими організаціями (терористами, повстанцями, кримінальними угрупованнями, активістами і т. д.) по всьому світу. Найбільш небезпечними загрозами застосування МНМ БпЛА в терористичних цілях вважається оснащення їх радіаційною, хімічною та біологічною (РХБ) зброєю, вогнепальною зброєю або вибухівкою для здійснення атак по об'єктах критичної інфраструктури, по місцях великого скупчення людей, а також для здійснення замахів на важливих політичних діячів.

Тому метою статті є систематизація властивостей МНМ БпЛА, які можуть бути використані для ефективної протидії цьому типу загроз, а також аналіз типових структур існуючих комплексів і систем протидії БпЛА та виділення переваг і недоліків контрзаходів, що ними реалізуються.

1. Особливі якості МНМ БпЛА

Визначення та класифікація МНМ БпЛА.

На відміну від більшості повітряних цілей, МНМ БпЛА: 1) літають лише на малих та гранично малих висотах, що в умовах складного ландшафту

забезпечує скритність їх застосування; 2) рухаються з низькими швидкостями (<50 м/с) і можуть зависати в повітрі, що вимагає їх розпізнавання з поміж птахів, кажанів, паперових зміїв і повітряних куль; 3) є дуже маленькими (<20 кг) і виготовляються з радіопрозорих матеріалів, що ускладнює їх виявлення.

Виділимо категорії МНМ БпЛА залежно від максимальної злітної ваги (МЗВ) і основних характеристик, властивих усім типам платформ (табл. 1) [3].

Таблиця 1

Категорії МНМ БпЛА

Категорії	МЗВ [кг]	Тип	Навантаження [кг]	Дальність дії [км]	Швидкість [км/год.]	Тривалість польоту [год.]	Висота [км]
Нано	< 0,5	МК, ЛТ, РТ	< 0,1	< 1,5	0...80	< 0,5	< 0,1
Мікро	< 2	ЛТ, РТ	< 1	< 10	0...100	< 1,5	< 1,5
Міні легкі	< 10	ЛТ, РТ	< 5	< 25	0...150	< 3	< 3
Міні важкі	< 20	ЛТ, РТ	< 12	< 50	0...180	< 5	< 4

За типом платформи МНМ БпЛА поділяються на [4, 5]:

- БпЛА літакового типу (ЛТ), які мають фіксоване крило і часто вимагають для запуску злітно-посадочну смугу або спеціальний катапультуючий пристрій;

- БпЛА роторного типу (РТ), також відомі як гвинтокрили або БпЛА з вертикальним зльотом і посадкою, перевагами яких є можливість зависання в повітрі і висока маневреність. Ці якості обумовлюють широке застосування платформ даного типу для вирішення ряду практичних завдань. У таких БпЛА можуть бути різні конфігурації: з головним і рульовим гвинтами (звичайний вертоліт), співвісними гвинтами, тандемними гвинтами, мультироторами і т. д.;

- БпЛА з махаючими крилами (МК), маленькі крила яких, подібно до птахів або літаючих комах, є гнучкими та/або трансформуються.

У кожного з цих типів платформ є слабкі та сильні місця, які можуть бути використані для створення ефективних засобів протидії. Наприклад, БпЛА ЛТ здатні швидко і ефективно долати великі дистанції, але не можуть зависати в повітрі. БпЛА РТ дуже маневрені, але менш ефективні при польотах на великі дальності. Жоден з даних двох типів платформ не піддається масштабуванню – і з точки зору аеродинаміки управління польотом і у виконанні компонентів, необхідних для створення рушійної сили.

Для приведення в дію БпЛА ЛТ і РТ зазвичай використовують електродвигуни. Деякі БпЛА МК також використовують електродвигуни, але вимагають спеціальний механізм для перетворення обертального руху двигуна в коливальний рух

крил. Більшість МНМ БпЛА можуть бути побудовані з використанням традиційних методів, таких як адитивна і субтрактивна механічна обробка та поелементна зборка.

Переваги МНМ БпЛА. Безліч переваг, що забезпечуються технологією дронів, роблять МНМ БпЛА ефективною зброєю для проведення атак неурядовими організаціями, які несуть серйозну загрозу внутрішній безпеці держави. Головні переваги МНМ БпЛА наступні [6, 7]:

- можливість атаки цілей, які важко вразити за допомогою наземних засобів (начинених вибухівкою транспортних засобів або терористів-смертників);

- можливість здійснення площадкової атаки, зокрема шляхом застосування РХБ зброї в густо населених районах (навіть маленький вибуховий пристрій, доставлений БпЛА до місця, переповненого людьми, може заподіяти набагато більше шкоди, ніж той же пристрій на поясі терориста-смертника);

- скритність підготовки теракту і гнучкість у виборі стартового майданчика БпЛА;

- забезпечення відносно великої дальності застосування і прийнятної точності при використанні недорогих і все більш доступних технологій;

- низька ефективність протидії з боку існуючих засобів ППО, таких як зенітні ракетні комплекси, переносні зенітні ракетні комплекси і зенітні установки;

- рентабельність МНМ БпЛА в порівнянні зі звичайними БпЛА і пілотованими літальними апаратами (ЛА);

- можливість досягнення сильного психологічного ефекту, залякування людей і чинення тиску на політиків.

До потенційних загроз доцільно віднести комерційно доступні і любительські МНМ БпЛА.

Це обумовлено рядом чинників [6, 8]:

- можливістю отримання необхідних знань, навичок, а також обладнання для створення БпЛА з метою "любительського авіамоделізму" практично безконтрольно;
- недосконалість нормативно-правової бази, що регулює використання БпЛА як в цілому на території держави, так і над об'єктами критичної інфраструктури зокрема;
- інтенсивний розвиток сервісів доставки товарів за допомогою БпЛА, що ще більше ускладнює проблему контролю й ідентифікації літальних апаратів, які несуть потенційну загрозу.

Слабкі сторони МНМ БпЛА. Як будь-який аеродинамічний ЛА, обладнаний руховою установкою і оснащений комплектом радіоелектронної апаратури (РЕА), МНМ БпЛА в процесі свого застосування мають певні обмеження та ряд демаскуючих ознак.

Основні слабкі сторони МНМ БпЛА [3-7]:

- **Погодозалежність.** Більшість комерційних МНМ БпЛА мають низькі експлуатаційні умови. Здатністю працювати в ширшому діапазоні погодних умов, таких як сильні вітри, дощ і сніг, володіють лише дорогі комерційні або військові БпЛА. Стійкість до атмосферних дій обумовлює необхідність збільшення ваги БпЛА. Це, у свою чергу, зменшує його час польоту і корисне навантаження, або призводить до збільшення потужності двигуна та числа гвинтів.

- **Схильність до зовнішнього фізичного впливу.** Більшість комерційних МНМ БпЛА зроблена з дуже легких матеріалів, таких як пінопласт або пластмаса, які характеризуються низькою стійкістю до фізичного і температурного впливу.

- **Наявність ряду демаскуючих ознак.** Щоб мінімізувати масу МНМ БпЛА, їх бортова РЕА як правило неекранована і є джерелом радіовипромінювання, яке може бути виявлене за допомогою засобів радіотехнічної розвідки. Крім того, існує можливість використання акустичних сигнатур БпЛА для їх розпізнавання та класифікації.

Основними демаскуючими ознаками МНМ БпЛА є:

а) електромагнітне випромінювання автопілота і навігаційних систем, які можуть застосовуватися при виконанні завдань без використання каналів управління;

б) радіовипромінювання систем радіоуправління (наприклад, командних радіоліній управління, каналів передачі даних, каналів зв'язку) і різних датчиків (наприклад, висотоміра або далекоміра);

в) інфрачервоне випромінювання батареї й осей ротора, що обертаються;

г) акустичне випромінювання різних компонентів приводів (наприклад, електродвигуна, редукторів і роторів)

- Схильність до впливу перешкод і хакерських атак. Щоб унеможливити управління БпЛА, передача команд управління і сигнали

ГНСС можуть бути заблоковані за допомогою систем постановки перешкод. Це позбавляє оператора можливості наведення БпЛА на ціль і здійснення маневру проти активних засобів протидії. Хакери також можуть вторгнутися в систему управління БпЛА, підмінивши оригінальний код новими драйверами або контролерами пристрою. Шкідливий код, завантажений через командну радіолінію, може вимкнути автопілот і взяти на себе віддалене управління БпЛА.

- Низький рівень технічної надійності. Частота аварій БпЛА в десятки разів вища, ніж пілотованих ЛА. Головними причинами цього є значно менша надійність складної, "тонкої" бортової РЕА і повна відсутність резервів РЕА основних систем МНМ БпЛА через їх малу вантажопідйомність.

2. Протидія МНМ БпЛА

Загрози використання МНМ БпЛА.

Неурядові організації визначили два основні способи ворожого використання МНМ БпЛА: проведення атак і ведення розвідки (ISR).

Навіть без озброєння, комерційні дрони здатні до нанесення збитку або ушкоджень людям і транспортним засобам на землі та в повітрі. Відомо три випадки зіткнення пілотованих ЛА і десятки нещасних випадків й інцидентів, спровокованих БпЛА у всьому світі [9].

Згідно з дослідженням можливих наслідків повітряного зіткнення між БпЛА і пілотованими ЛА [10] квадрокоптер з МЗВ = 0,4 кг може пробити протиударне вертолітне вітрове скло і критично пошкодити хвостові лопаті. Також було показано, що повітряні зіткнення на високих, але реалістичних швидкостях з

4-кілограмовим БпЛА РТ і 3,5-кілограмовим БпЛА ЛТ з металевими компонентами можуть критично пошкодити вітрове скло авіалайнера.

Найбільш небезпечною загрозою, що надходить від неурядових організацій, є цілеспрямоване створення або модифікація БпЛА з метою доставки та застосування різних видів зброї. Слід повторитися, що навіть маленький вибуховий пристрій, доставлений БпЛА до місця, переповненого людьми, може заподіяти набагато більше шкоди, ніж аналогічний пристрій на поясі терориста-смертника. Тому існують серйозні побоювання, що МНМ БпЛА використовуватимуться як прості, доступні і ефективні імпровізовані вибухові пристрої (ІВП) [11].

Перші повідомлення засобів масової інформації про спроби неурядових організацій використати БпЛА для створення ІВП почали з'являтися в середині дев'яностих [6]. Головні цілями нападів були об'єкти критичної інфраструктури, переповнені людьми місця, військова техніка і війська противника.

Найбільший резонанс викликала інформація про створений у січні 2017 року підрозділ ІДІЛ "Unmanned Aircraft of the Mujahideen", "озброєний" комерційними міні БпЛА, модифікованими для скидання гранат або інших вибухових пристроїв з

метою здійснення атак по техніці та живій силі противника. Вже в перший тиждень застосування таких БпЛА було нанесено ряд успішних ударів по іракській армії [12].

Аналогічні заходи по оснащенню БпЛА засобами поразення проводяться також бойовиками Хезболли і Хамасу [13]. Хезболла вже оприлюднила відео, на якому демонструється, як їх дрони скидають елементи касетних бомб на позиції сирійських повстанців.

Здатність ведення якісної ефективної розвідки є добре апробованою основною перевагою МНМ БпЛА. Вони можуть добувати інформацію про місце розташування і склад засобів противника з метою наведення ударних БпЛА-камікадзе або інших систем зброї. Після завдання перших ударів дрони можуть забезпечити проведення оцінки бойових ушкоджень і, у разі потреби, коригування вогню. Крім того, МНМ БпЛА можуть зняти і транслювати відеозаписи здійснених атак або інші пропагандистські повідомлення. Вони також можуть використовуватися в політичних цілях: для підвищення прозорості дій політиків, формування громадської думки через пропаганду або поширення дезінформації [14].

Наприклад, джихадистські групи, що борються з сирійським урядом, – передусім ІДІЛ і Ябхет аль-Нусра – використовують сучасні технології дронів з метою точного визначення місця розташування сирійської армії, отримання інформації про розгортання військ, а також запису атак смертників і пропагандистських відеороликів [12].

Класифікація загроз застосування МНМ БпЛА. Комерційні МНМ БпЛА доступні у вигляді готових до використання (Ready to Fly – RTF), потребуючих дообладнання передавачем (Bind and Fly – BNF) і повністю збірних (Plug and Fly – PNF) моделей [11]. Користувачі, що не мають досвіду експлуатації БпЛА, найчастіше використовують RTF-моделі, а досвідчені і добре поінформовані – можуть самостійно зібрати PNF-модель з комерційно доступних складових (передавача, приймача, ГНСС-модуля, двигуна, батареї та ін.).

Для проведення аналізу можливих заходів протидії МНМ БпЛА доцільно виділити три категорії існуючих загроз їх застосування [15]. До першої категорії загроз належить випадкове несанкціоноване застосування RTF-моделей незалежно від рівня підготовки оператора. Друга і третя категорії – загрози умисного несанкціонованого застосування БпЛА невідповідними і відповідними операторами відповідно. При цьому особливістю третьої категорії загроз є високий рівень підготовленості оператора, здатного самостійно зібрати PNF-модель з використанням комерційних або навіть військових технологій, і допрацювати його апаратні і програмні засоби під конкретні завдання.

Одним із ефективних методів протидії першій і другій категоріям загроз є «прошивка» виробниками в програмне забезпечення комерційних дронів геодезичних даних про заборонені зони польоту ("geofencing"). При

отриманні від датчика ГНСС даних про перетин меж забороненої зони автопілот автоматично відхилятиме траєкторію БпЛА від польоту над нею або зупинить БпЛА на межі цієї зони. Станом на 22.04.17 у базу даних компанії DJI, світового лідера з продажу комерційних БпЛА, внесені 7 824 заборонених зони польоту по всьому світу [16]. Окрім цього, об'єкти критичної інфраструктури можуть бути оснащені комерційно доступними засобами виявлення і перехоплення БпЛА.

Протидія загрозам третьої категорії є більш складною проблемою. Фахівець здатний підготувати атаку БпЛА-камікадзе, "начиненого" вибухівкою, з можливістю його запуску за десятки кілометрів від об'єкту атаки. При цьому для зниження ймовірності виявлення може бути передбачене вимкнення двигунів БпЛА на підльоті до цілі і виготовлення БпЛА з матеріалів, які погано відбивають електромагнітні хвилі. Незначна зміна програмного забезпечення автопілота дозволяє відключити відслідковування геодезичних даних і запрограмувати БпЛА на політ в режимі радіомовчання без прийому команд управління і випромінювання яких-небудь сигналів. В цьому випадку виявлення БпЛА і злом командної радіолінії управління суттєво ускладнюються. Крім того, на кінцевій ділянці польоту може бути вимкнене використання даних ГНСС, а політ БпЛА по заданому маршруту забезпечений за рахунок застосування недорогих комерційно доступних інерційних навігаційних систем (ІНС). Ці заходи зробляють неефективним використання таких методів протидії, як постановка перешкод і злом ("spoofing") каналів ГНСС.

Враховуючи зазначене вище, жоден з методів протидії БпЛА окремо не є достатньо ефективним для протидії ворожому використанню МНМ БпЛА. Тому найкращою концепцією є застосування ієрархічного комплексу заходів з протидії БпЛА (рис. 1) [11, 17].

Регулюючі заходи протидії (попередження, стримування, заборона). Регулювання всередині країни може бути забезпечено рядом заходів, націлених на повний контроль над продажами та життєвим циклом БпЛА. Специфічні регулюючі заходи протидії можуть включати [11, 17]:

- регулювання постачань й імпорту, включаючи обов'язкову реєстрацію для здійснення купівлі/продажу БпЛА вище певного класу (по дальності польоту, корисному навантаженню і т. д.);
- застосування правил цивільної авіації для ліцензування та використання БпЛА, що передбачають адміністративну і кримінальну відповідальність за польоти поблизу важливих державних об'єктів і об'єктів критичної інфраструктури;
- програмні обмеження, включаючи "прошивку" заборонених зон польоту і обмеження максимальної злітної ваги і віддалення оператора.



Рис. 1 Ієрархічний комплекс заходів з протидії МНМ БпЛА [11]

Основним світовим регулятором продажів систем доставки, які можуть сприяти поширенню зброї масового поразення, (у тому числі БпЛА) є заснована в 1987 р. асоціація Режим Контролю за Ракетними Технологіями (РКРТ). Партнерами РКРТ є 35 країн світу. Проте, Ізраїль та Китай, найбільші в світі виробники та експортери БпЛА, не є членами РКРТ. Крім того, згідно п. п. 19.A.2 і 19.A.3 [18] ліцензуванню підлягають лише “закінчені атмосферні безпілотні літальні апарати (включаючи крилаті ракети, радіокеровані літаки-мішені і радіокеровані розвідувальні літаки) з максимальною дальністю 300 км і більше” або “укомплектовані або розроблені для перенесення систем розпилення аерозолів з місткістю, що перевищує 20 літрів, й автономною системою управління польотом або навігацією, або можливістю контрольованого польоту в межах видимості оператора”.

Отже, на сьогоднішній день РКРТ переслідує глобальні цілі, а проблема регулювання продажів МНМ БпЛА лежить поза компетенцією даної асоціації і вимагає рішення в масштабах окремих держав або їх співдружностей.

Спеціально розроблені закони, що регламентують використання БпЛА в Австралії, Японії, Великобританії, США і Європейському Союзі припускають різні підходи, які могли б бути узагальнені й інтегровані в національні повітряні простори інших країн. У [19] запропоновані наступні десять дій, які мають бути виконані для інтеграції БпЛА в повітряний простір країни упродовж декількох років:

- затвердження концепції застосування БпЛА в цивільному повітряному просторі;
- розробка класифікації БпЛА і відповідної термінології з урахуванням застосування в цивільному повітряному просторі;
- встановлення правил сертифікації систем БпЛА, польотів БпЛА і рівнів кваліфікації операторів;

- розробка ефективних технологій і процедур для запобігання зіткненням БпЛА з іншими ЛА, землею або іншими перешкодами;
- впровадження системи контролю і підтвердження безпеки польотів БпЛА;
- розробка і впровадження комунікаційного обладнання для систем БпЛА;
- розвиток мережі обміну, обробки і синхронізації аеронавігаційних даних, яка враховує особливі вимоги БпЛА;
- узгодження нормативно-правових актів, стандартів сертифікації і правил експлуатації БпЛА;
- забезпечення сумісності з системами управління повітряним рухом (УПР) і протиповітряної оборони (ППО), а також оцінка потенційних впливів на ці системи та їх регулююче і робоче середовище;
- отримання громадського схвалення й активна взаємодія з усіма потенційними зацікавленими сторонами.

Пасивні заходи протидії (виявлення та постановка перешкод). Комплекс пасивних заходів протидії включає виявлення і визначення просторових координат БпЛА, розпізнавання, визначення типу БпЛА, розкриття параметрів випромінюваних сигналів з метою радіоелектронного заглушення каналів зв'язку і командних радіоліній управління (КРУ), а також перехоплення управління.

Приналежність МНМ БпЛА до класу малопомітних ЛА, а також схожість їх характеристик з характеристиками і параметрами руху птахів, обумовлює необхідність застосування спеціалізованих систем виявлення і розпізнавання БпЛА. До складу цих систем можуть входити засоби радіолокаційної, радіотехнічної, акустичної і оптико-електронної розвідки. При цьому найбільш ефективними є системи, які інтегрують різноманітні засоби розвідки та засоби радіоелектронної протидії (РЕП) [3].

Основними перевагами використання активних РЛС для виявлення МНМ БпЛА є їх здатність виявляти цілі вдень та вночі, всепогодність і незалежність від наявності власного радіовипромінювання БпЛА. Попри те, що активні РЛС є основними засобами контролю повітряного простору систем УПР та ППО, застосування наявних в їх складі РЛС для виявлення МНМ БпЛА є неефективним [3, 7, 20]. Головними проблемами при вирішенні завдань виявлення МНМ БпЛА за використанням існуючих РЛС НВЧ-діапазону є наявність безлічі хибних відміток і складність розпізнавання реальних загроз, які знаходяться в області швидкостей пасивних перешкод або природних об'єктів, таких як птахи, "ангели" або наземні транспортні засоби.

Світова практика вирішення цієї проблеми полягає в створенні спеціалізованих РЛС виявлення МНМ БпЛА. Одним з перспективних типів таких систем є голографічні РЛС [7, 21], конструктивні особливості яких дозволяють проводити миттєвий огляд широкого сектору простору при високій роздільній здатності за кутовими координатами.

Важливими особливостями голографічних РЛС є їх здатність виявляти:

- швидкісні цілі та/або цілі, що маневрують – завдяки високому темпу оновлення інформації;
- низькошвидкісні цілі та/або цілі з нестаціонарними сигнатурами – завдяки високій роздільній здатності за частотою Доплера;
- малорозмірні цілі – завдяки великому часу накопичення сигналу.

Ці особливості роблять голографічні РЛС ідеально пристосованими для виявлення МНМ БпЛА. Такі РЛС можуть виявляти малошвидкісні цілі та забезпечують високу роздільну здатність за частотою Доплера, що дозволяє фіксувати рухливі

елементи та вібрацію планера БпЛА – так званий "мікро Доплер". У випадку МНМ БпЛА рухливими елементами є гвинти або крила, які можуть бути унікальними ідентифікаторами типу цілі.

Дана технологія не може бути реалізована в існуючих оглядових РЛС з механічним скануванням або зі звичайними фазованими антенними решітками, сутність роботи яких полягає в послідовному огляді вузьких секторів за заданою програмою.

Наявність електромагнітного випромінювання бортових засобів БпЛА дозволяє розглядати системи радіотехнічної розвідки (РТР) і пасивної локації як альтернативу активним РЛС.

Командні радіолінії управління МНМ БпЛА як правило займають один з трьох частотних діапазонів, зарезервованих для радіокерованих пристроїв (табл. 2). Найчастіше управління і передача даних БпЛА здійснюється в діапазоні 2,4 ГГц і 5,8 ГГц з розширенням спектру сигналів методами псевдовипадкової перебудови робочої частоти (FHSS) і прямої послідовності (DSSS) або використанням протоколів безпроводового зв'язку. Застосування фазованих антенних решіток і наявність баз даних параметрів сигналів управління БпЛА дозволяє виявити і розпізнати їх за час від 10 мкс до 500 мс після перехоплення сигналу [22].

Для збільшення контрольованої зони і визначення просторових координат БпЛА можуть застосовуватися багатопозиційні пасивні РЛС (системи пасивної когерентної локації), що використовують різницево-далекомірний метод визначення координат. В цьому випадку має бути реалізована можливість спільної обробки сигналів, прийнятих в рознесених позиціях, при їх точній часовій синхронізації [23].

Таблиця 2

Основні діапазони частот для каналів радіокерування БпЛА

Діапазон	Нижня межа	Верхня межа	Обмеження потужності
UHF	433,05 МГц	434,79 МГц	≤ 10 мВт
2,4 ГГц	2,4 ГГц	2,4835 ГГц	≤ 100 мВт
5,8 ГГц	5,725 ГГц	5,85 ГГц	≤ 100 мВт

Перевагами систем РТР і багатопозиційних пасивних РЛС є можливість визначення просторових координат БпЛА і оператора, висока достовірність розпізнавання і визначення типу БпЛА, підготовка початкових даних для ефективного заглушення КРУ та каналів зв'язку, а також перехоплення управління БпЛА. Проте при протидії третій категорії загроз залишається ризик застосування БпЛА в режимі радіомовчання, що зробить його "невидимим" для таких систем.

Електромотори і двигуни БпЛА видають характерний звук, що може бути використано для їх виявлення і розпізнавання за звуковими портретами. Акустичні сенсори, навіть з урахуванням необхідності використання систем з декількох сенсорів для визначення просторових координат об'єктів, є економічно доступною

альтернативою РЛС.

У нових векторних акустичних сенсорів (Acoustic Vector Sensors – AVS), здатних вимірювати акустичну швидкість частинок, а також їх тиск як у звичайному мікрофоні, є можливість виявлення в широкому діапазоні частот від 0,1 Гц до 14 кГц з точністю близько 1...2 градуси в заданому секторі. Такі сенсори можуть одночасно визначати просторові координати декількох джерел звуку [7].

Акустичні сенсори можуть бути досить ефективні при виявленні БпЛА-камікадзе внаслідок необхідності короткочасної роботи рухових установок БпЛА у форсажному режимі перед їх вимкненням на підльоті до цілі. Проте невелика дальність розпізнавання МНМ БпЛА (до 2 км) і висока ймовірність хибної тривоги за

наявності сторонніх звуків, схожих з роботою БпЛА (робота електротримера, відтворення аудіо запису польоту БпЛА) на даний момент істотно обмежують їх сферу застосування [15].

Розширити можливості активних і пасивних РЛС, станцій РТР і акустичних сенсорів по виявленню, розпізнаванню і визначенню типу БпЛА можна шляхом комплексування їх з пасивними або активними оптико-електронними (ОЕ) сенсорами. Пасивні ОЕ сенсори працюють в інфрачервоному (ІЧ) діапазоні електромагнітного спектру (0,75...1 000 мкм). Вони можуть виявляти БпЛА вдень і вночі по температурному контрасту гарячих моторів або акумуляторних батарей. Комбінація ІЧ-камер з тепловізорами і ТВ-камерами дозволяє розпізнавати і визначати тип МНМ БпЛА на дальності до 3 500 м [24].

Активні ОЕ сенсори (Burst Illumination LIDARs) [25] мають робочу дальність до 10 км, та ширші можливості з розпізнавання та визначення типу цілі в умовах поганої видимості (дим, пил, туман). Проте через вузький кут огляду вони мають бути інтегровані з додатковими засобами, такими як РЛС або пасивні ІЧ-камери, для ефективного застосування проти МНМ БпЛА.

Виявлення, розпізнавання і визначення типу БпЛА є першим етапом комплексу пасивних заходів протидії. Другим етапом має бути вибір відповідного методу захисту об'єкту від можливої атаки БпЛА. Для цього слід передбачити використання засобів РЕП ліній зв'язку та КРУ БпЛА.

Керований політ більшості МНМ БпЛА здійснюється за допомогою двох безпроводових ліній зв'язку: КРУ і пасивної лінії зв'язку з ГНСС. Виходячи з цього, основна задача засобів РЕП – порушити лінії зв'язку БпЛА або зламати їх і підмінити циркулюючу в них інформацію.

Радіоелектронне заглушення КРУ позбавляє оператора можливості управляти польотом БпЛА як в режимі прямої видимості, так і в режимі відеуправління. Результатом постановки перешкод КРУ БпЛА може бути його падіння, неконтрольована посадка або активація режимів польоту по заданому маршруту з використанням даних ГНСС. Для отримання повного контролю над БпЛА і здійснення його контрольованої посадки у безпечному місці необхідно зламати КРУ. Останнє є досить складним завданням якщо інформація управління зашифрована з використанням криптографічних алгоритмів, які на сьогодні доступні навіть у відкритому доступі.

Наявність у складі бортової апаратури БпЛА приймача сигналів ГНСС дозволяє застосовувати автономний режим польоту по заданому маршруту відразу після зльоту. Тому важливим елементом комплексу пасивних заходів протидії є радіоелектронне заглушення ліній зв'язку з ГНСС. Цивільні коди сигналів ГНСС відкриті (незашифровані) і мають низьку потужність, що дозволяє відносно легко заглушити їх перешкодами або підмінити координатну інформацію.

Можливість підміни сигналів ГНСС («spoofing») і відхилення маршруту польоту БпЛА підтверджена теоретичними і практичними дослідженнями [26]. Ця технологія також може застосовуватися для захисту площадних об'єктів при виборі відповідної конфігурації системи і раціональному розділенні території, що захищається, на сектори.

Радіоелектронне заглушення ліній зв'язку БпЛА (КРУ і ГНСС) зробить практично неможливим застосування МНМ БпЛА першої та другої категорій загроз. Для загроз третьої категорії, що допускають використання комерційно доступних ІНС в автономному режимі, це приведе до істотного погіршення точності наведення БпЛА на ціль. Високоточні ІНС і відповідне програмне забезпечення, що використовуються для точної навігації БпЛА, є досить дорогими, підпадають під дію РКРТ [18] і тому малоімовірно зможуть бути використані для організації атак третьої категорії загроз.

В той же час системи заглушення або підміни сигналів ГНСС представляють серйозну небезпеку також і для цивільних та військових об'єктів, що використовують приймачі ГНСС (аеродроми, авіація, мобільний і тактичний зв'язок). Тому застосування засобів РЕП ліній зв'язку з ГНСС обмежено в урбанізованій зоні і повинно бути суворо регламентованим.

Між тим інформація ГНСС недостатньо точна для регулювання висоти при польоті в декількох метрах над землею і не завжди доступна або надійна в певних місцях, таких як міста, ліси і будівлі. Тому, автономний політ МНМ БпЛА на гранично малих висотах вимагає складніших навігаційних систем і додаткових сенсорів для визначення відстані до навколишніх перешкод і реалізації безпечної і стабільної траєкторії руху.

Машинний зір – багатообіцяюча технологія сенсорів для маленьких дронів, яка в порівнянні з сонарами, інфрачервоними і лазерними далекомірами, не вимагає енергії для опромінення навколишнього середовища, і при однаковій вазі, дозволяє отримувати більше інформації і забезпечує ширший кут огляду [5]. Це може бути новим викликом при організації пасивних заходів протидії БпЛА.

Активні заходи протидії (знищення). Незважаючи на високу ефективність комплексного застосування регуляторних і пасивних контрзаходів при протидії МНМ БпЛА першої і другої категорії загроз, все ж залишається ймовірність їх подолання для загроз третьої категорії. Тому, для того, щоб з максимальною ймовірністю забезпечити особливо важливі об'єкти від загроз застосування БпЛА, необхідною умовою є використання систем, здатних їх знищити. До найбільш ефективних систем активної протидії МНМ БпЛА можна віднести боєприпаси з програмованим повітряним підривом (Programmable Air Burst Munition – PABM) та потужні лазери (High Energy Laser – HEL) [7, 27, 28].

Боєприпаси з програмованим повітряним

підривом можуть бути запрограмовані для детонації спеціальної боеголовки поблизу цілі на дальності до 4 000 м. Існує два типи боеголовки: багатосекційні і осколкового типу з часовим або дистанційним детонаторами. Їх ефективність залежить від здатності системи забезпечити доставку боеприпасу до цілі в межах летального радіусу дії і від оптимальності вибору часу детонації.

Уражальна дія багатосекційних боеголовки заснована на кінетичному впливі металевих елементів зі стабілізованим обертанням. Ці елементи розлітаються перед ціллю за рахунок використання програмованого детонатора. Підриг боеприпасу створює щільну хмару елементів, що накривають очікуване положення цілі і завдають летального фізичного впливу.

Технологія боеприпасів з програмованим повітряним підривом досить гнучка і дозволяє отримати оптимальний результат залежно від вирішуваних завдань і типу цілей. Ця властивість забезпечується наступними характеристиками [27]:

- дальність підриву боеголовки може регулюватися в квазіреальному часі залежно від вирішуваних завдань і характеристик цілі для завдання необхідної шкоди – від стримування до пошкодження або повного руйнування;
- щільність і число уражальних елементів, що накривають область цілі, можуть варіюватися за рахунок регулювання довжини ствола, скорострільності і точки підриву боеприпасів;
- кількість і маса уражальних елементів можуть бути оптимізовані для протидії певному типу загроз та/або виконання конкретних завдань;
- здатність нести різне корисне навантаження, наприклад, хибні цілі, які можуть бути доставлені в задану точку з високою точністю.

Потужні лазери спричиняють менш руйнівну дію ніж РАВМ, проте можуть бути досить ефективним при протидії МНМ БпЛА в комплексі з системами РЕП, що забезпечують порушення КРУ і ліній зв'язку з ГНСС. Застосування лазерної зброї ґрунтується на трьох основних її властивостях [28]: перша – можливість поразення цілі в межах прямої дальності в умовах гарної видимості, друга – моментальне досягнення цілі лазерним променем; і третя – лазерний промінь переносить на поверхню цілі лише теплову енергію за період часу від одиниць до декількох десятків секунд. Тому вибухонебезпечні речовини і легко займисті поверхні комерційних МНМ БпЛА є ідеальною ціллю для таких систем.

Висока ефективність застосування лазерів для виконання завдань боротьби з МНМ БпЛА обумовлена низькою собівартістю їх застосування, необмеженістю "боеприпасу", миттєвістю досягнення цілі, точковою дією на конкретно вибрану ціль і можливістю регулювання потужності випромінювання залежно від умов застосування і необхідного ефекту.

Проте необхідність безперервного контакту з ціллю впродовж певного періоду часу, а також можливість використання в конструкції БпЛА

ізолюючих, негорючих матеріалів з високою температурою плавлення можуть звести до мінімуму ефективність застосування лазерної зброї.

Описані вище активні заходи протидії на сьогодні доступні в основному для військового застосування. Їх використання виправдано лише в тих випадках, коли можливий відвернений збиток є порівнянним з витратами і ризиками, а застосування пасивних заходів протидії неможливе або не дало бажаного результату.

Висновки і перспективи подальших досліджень

Безліч переваг, що забезпечуються технологією дронів, роблять маловисотні, низькошвидкісні та малорозмірні БпЛА (МНМ БпЛА) ефективною зброєю для проведення атак неурядовими організаціями, які несуть серйозну загрозу внутрішній безпеці держав. Існує два основні способи ворожого застосування МНМ БпЛА: проведення атак і ведення розвідки (ISR).

Найбільш імовірні загрози становлять комерційно доступні і любительські комплекти МНМ БпЛА. Користувачі без досвіду використання БпЛА (перша і друга категорії загроз) можуть застосовувати вже готові RTF-моделі. Досвідченіші і добре обізнані користувачі (третя категорія загроз) можуть купити повністю збірні PNF-моделі та модернізувати їх апаратне й програмне забезпечення під конкретні завдання.

Результати дослідження різних заходів протидії МНМ БпЛА дозволяють зробити висновок, що жодна окремо взята міра не є абсолютно ефективною для стримування їх ворожого використання недержавними організаціями. Краща стратегія протидії полягає у використанні ієрархічного комплексу контрзаходів, що охоплюють регулюючі (попередження, стримування, заборона), пасивні (виявлення та постановка перешкод) і активні (знищення) заходи протидії.

Регулюючі контрзаходи, такі як регулювання постачань й імпорту, застосування правил цивільної авіації для ліцензування та використання БпЛА, а також програмні обмеження нацелені на повний контроль над продажами та життєвим циклом БпЛА.

Основними слабкими сторонами МНМ БпЛА, які можуть бути використані для організації пасивних і активних заходів протидії, є їх погодозалежність, схильність до зовнішнього фізичного впливу, наявність ряду демаскуючих ознак (електромагнітне, інфрачервоне, акустичне та радіовипромінювання), а також схильність до впливу перешкод і хакерських атак.

Перший етап пасивних заходів протидії – виявлення, ідентифікація і визначення типу загрози. Існуючі РЛС УПР і ППО неефективні проти МНМ БпЛА і мають бути об'єднані з акустичними та/або електронно-оптичними сенсорами. Найбільш перспективним шляхом вирішення завдання виявлення МНМ БпЛА є використання багатопозиційних активно-пасивних

систем або голографічних РЛС.

Другий етап може передбачати використання засобів РЕП каналів управління і каналів зв'язку з ГНСС для порушення керованого польоту БпЛА і, по можливості, перехоплення його управління.

Проте МНМ БпЛА з високою мірою автономності все ще можуть нести небезпеку і мають бути знищені фізично. Тому сучасні активні заходи протидії мають передбачати використання засобів фізичного впливу, таких як боєприпаси з програмованим повітряним підливом (Programmable Air Burst Munition – PABM) та

потужні лазери (High Energy Laser – HEL).

Для ефективного використання засобів РЕП і активних контрзаходів спеціалізовані сенсори повинні відповідати наступним головним вимогам:

- бути здатними до своєчасного виявлення і попередження про загрози застосування МНМ БпЛА при малому рівні хибних тривог;
- гарантувати високу достовірність розпізнавання загрози;
- забезпечувати цілевказівку, що відповідає вимогам засобів впливу.

Література

1. Commercial unmanned aerial vehicle market analysis – industry trends, companies and what you should know [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.businessinsider.com/commercial-uav-market-analysis-2017-8.2>.
2. **Baker B.** Small bombs, big effect: arming small UAVs with guided weapons [Електронний ресурс] / B. Baker // Air Force Technology. Режим доступу: <https://www.airforce-technology.com>.
3. **Munday R.** GBAD Sensor Mix Optimisation Study for Emerging Threats : Study Report / NATO Industrial Advisory Group (Study Group 188). – NATO, 2015. – 237 p.
4. **Valavanis K. P.** Handbook of Unmanned Aerial Vehicles / K. P. Valavanis, G. J. Vachtsevanos. – London: Springer, 2015. – 3022 p.
5. **Floreano D.** Science, technology and the future of small autonomous drones / D. Floreano, R. J. Wood // Nature. – 2015. – Vol. 521. – p. 460–466.
6. **Мясников Е. В.** Угроза терроризма с использованием беспилотных летательных аппаратов: технические аспекты проблемы / Центр по изучению проблем разоружения, энергетики и экологии при МФТИ. – Долгопрудный, 2004. – 29 с.
7. **Munday R.** Engagement of Low, Slow and Small Aerial Targets by GBAD : Study Report / NATO Industrial Advisory Group (Study Group 170). – NATO, 2013. – 333 p.
8. Delivery drone [Електронний ресурс]. Wikipedia, the free encyclopedia. Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Delivery_drone.
9. UAV-related events [Електронний ресурс]. Wikipedia, the free encyclopedia. Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/UAV-related_events.
10. Small Remotely Piloted Aircraft Systems (drones) Mid-Air Collision Study : Study Report / Crown copyright. London, 2016. – 18 p.
11. **Abbot C.** Hostile Drones: the Hostile Use of Drones by Non-State Actors against British Targets : Study Report / Remote Control Project. – London, 2016. – 20 p.
12. **Warrick J.** Use of Weaponized Drones by ISIS Spurs Terrorism Fears [Електронний ресурс] / J. Warrick // The Washington post. Режим доступу: <https://www.washingtonpost.com>.
13. Non-State Actors with Drone Capabilities [Електронний ресурс]. World of Drones. Режим доступу: <https://www.newamerica.org/in-depth/world-of-drones/5-non-state-actors-drone-capabilities/>.
14. **Sander A.** Game of Drones ; Wargame Report / Centre for a New American Security. – Washington, 2016. – 23 p.
15. Unmanned Aerial System Threats: Exploring Security Implications and Mitigation Technologies ; Hearing Report / U.S. Government Publishing Office. – Washington, 2015. – 46 p.
16. No Fly Zone Database as extracted 4/22/2017 from DJI Go4 apps [Електронний ресурс]. GitHub. Режим доступу: <https://github.com/MAVProxyUser/dji.nfzdb/blob/master/dji.nfzdb.csv>.
17. **Wallace R. J.** Examining Unmanned Aerial System Threats & Defenses: A Conceptual Analysis / R. J. Wallace, J. M. Loffi // International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace. – 2015. – Vol. 2(4). – P. 1–33.
18. Missile Technology Control Regime (MTCR) Annex Handbook – 2017 [Електронний ресурс]. Brno: MTCR, 2017. – 352 p. Режим доступу: <http://mtrc.info/wordpress/wp-content/uploads/2017/10/MTCR-Handbook-2017-INDEXED-FINAL-Digital.pdf>.
19. **Ravich T. M.** The Integration of Unmanned Aerial Vehicles into the National Airspace / T. M. Ravich // North Dakota Law Review. – 2009. – Vol. 85, No. 597. – P. 597–622.
20. **Вишневський С. Д.** Потенційні можливості РЛС РТВ з виявлення оперативного-тактичних та тактичних безпілотних літальних апаратів / С. Д. Вишневський, Л. В. Бейліс, В. Й. Климченко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 2. – С. 92–98.
21. **Harman S. A.** Applications of Staring Surveillance Radars / Harman S. A., Hume A. L. // Proceedings of IEEE International Radar Conference. – Arlington VA: USA, 2015. – P. 270–273.
22. **Hindle P.** Drone Detection and Location Systems. [Електронний ресурс] / P. Hindle // Microwave journal, 2017. Режим доступу: <http://www.microwavejournal.com/articles/28459-drone-detection-and-location-systems>.
23. **Седышев Ю.Н.** Оценка влияния точности временной синхронизации позиций многопозиционных РЛС на ошибки определения пространственных координат воздушных объектов / Ю. Н. Седышев, А. С. Дудуш // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – 2013. – Том 56, № 4. – С. 178–185.
24. **Warnke H. W.** Reconnaissance of LSS-UAS with Focus on EO-Sensors / H. W. Warnke // NATO Military Sensing STO Meeting Proceedings (STO-MP-SET-241). – Canada: STO, 2017. – P. 9-3-1–9-3-18.
25. **Baker I.** Detector and Camera Technologies for 3D Active Infrared Imaging / I. Baker, K. Storie // NATO Military Sensing RTO Meeting Proceedings (RTO-MP-SET-130). – Orlando: RTO, 2008. – P. 26-1–26-10.
26. **Kerns A. J.** Unmanned aircraft capture and control via GPS spoofing / A. J. Kerns, D. P. Shepard, J. A. Bhatti // Journal of Field Robotics. – 2014. – Vol. 31, № 4. – P. 617–636.
27. Oerlikon Ahead Air Burst Technology: Air Burst Munition (ABM) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://en.calameo.com/books/005068186ce3abb3008f7>.
28. **Pudo D.** High Energy Laser Weapon Systems: Evolution, Analysis and Perspectives / D. Pudo, J. Galuga // Canadian Military Journal. – 2017. – Vol. 17, № 3. – P. 53–60.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ МАЛОВЫСОТНЫМ, НИЗКОСКОРОСТНЫМ И МАЛОРАЗМЕРНЫМ БПЛА

Анатолій Сергеевич Дудуш (канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры)¹Владислав Александрович Тютюнник (канд. техн. наук, с. н. с., начальник научно-исследовательского отдела)¹Александр Анатольевич Резниченко (старший преподаватель кафедры)¹Спартак Юрьевич Гогоняц (канд. воен. наук, с. н. с., начальник научно-исследовательского отдела)²¹Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков, Украина²Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина

В статье рассматривается одна из наиболее интенсивно растущих мировых угроз – использование неправительственными организациями маловысотных, низкоскоростных и малоразмерных (МНМ) беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для осуществления атак по объектам критической инфраструктуры. Проведена классификация МНМ БПЛА, рассмотрены их главные преимущества и слабые стороны. Рассмотрены мировые тенденции враждебного использования МНМ БПЛА для проведения атак и ведения разведки, выделены три категории существующих угроз их применения. Особое внимание уделено третьей категории угроз, которая характеризуется высоким уровнем подготовленности оператора, способного самостоятельно собрать БПЛА с использованием коммерческих или даже военных технологий, а также доработать его аппаратные и программные средства под конкретные задачи. Проанализировано современное состояние и существующие проблемы относительно организации противодействия МНМ БПЛА. Установлено, что наилучшей концепцией является применение иерархического комплекса мероприятий по противодействию БПЛА, который включает регулирующие (предупреждение, сдерживание, запрет), пассивные (выявление и постановка помех) и активные контрмеры (уничтожение). Описаны перспективные технологии противодействия МНМ БПЛА. Наибольшее внимание уделено специализированным средствам обнаружения и современным системам активного противодействия МНМ БПЛА, таким как боеприпасы с программируемым воздушным подрывом и мощные лазеры.

Ключевые слова: МНМ БПЛА; классификация, угрозы, преимущества, слабые стороны, мероприятия противодействия.

STATE OF THE ART AND PROBLEMS OF DEFEAT OF LOW, SLOW AND SMALL UNMANNED AERIAL VEHICLES

¹Anatolii S. Dudush (Candidate of Technical Sciences)¹Vladislav A. Tyutyunnik (Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher)¹Alexander A. Reznichenko²Spartak U. Hohoniants (Candidate of Military Sciences, Senior Researcher)¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine²National defense university of Ukraine named after Ivan Cherniakhovski, Kyiv, Ukraine

In the article considered one of the most intensive developing threat for civilian and military spheres – hostile use of Low, Slow and Small Unmanned Aerial Vehicles (LSS UAVs). The classification of the LSS UAVs is given. World tendencies of hostile use of LSS UAVs – attack and ISR – are considered. Three categories of existing threats of using LSS UAVs are distinguished. Special attention is paid to the third category of threats, the main feature of which is a high level of training of the operator that can independently assemble Plug and Fly model using COTS or military technologies and finalizing its hardware and software tools for specific tasks. Main advantages and weak sides of LSS UAVs is distinguished. Determined that the best strategy is therefore to employ a hierarchy of countermeasures including regulatory (prevention, deterrence, denial), passive (detection and interruption) and active countermeasures (destruction). State of the art and current problems of possible countermeasures is analyzed. The most promising LSS UAVs` defeat technologies is described. Most attention is paid to specialized sensors and modern active defeat means such as programmable air burst munition (PABM) and high energy laser (HEL) systems.

Keywords: LSS UAV; classification; threats; advantages; weak sides; countermeasures.

References

1. Commercial unmanned aerial vehicle market analysis – industry trends, companies and what you should know [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.businessinsider.com/commercial-uav-market-analysis-2017-8-2>.
2. Baker B. Small bombs, big effect: arming small UAVs with guided weapons [Електронний ресурс] / В. Baker // Air Force Technology. Режим доступу: <https://www.airforce-technology.com>.
3. Munday R. GBAD Sensor Mix Optimisation Study for Emerging Threats : Study Report / NATO Industrial Advisory Group (Study Group 188). – NATO, 2015. – 237 p.
4. Valavanis K. P. Handbook of Unmanned Aerial Vehicles / K. P. Valavanis, G. J. Vachtsevanos. – London: Springer, 2015. – 3022 p.
5. Floreano D. Science, technology and the future of small autonomous drones / D. Floreano, R. J. Wood // Nature. – 2015. – Vol. 521. – p. 460–466.
6. Miasnikov, E. Threat of Terrorism Using Unmanned Aerial Vehicles: Technical Aspects. [Study Report]. Moscow: Moscow Institute of Physics and Technology, 2005. 26 p.
7. Munday R. Engagement of Low, Slow and Small Aerial Targets by GBAD : Study Report / NATO Industrial Advisory Group (Study Group 170). – NATO, 2013. – 333 p.
8. Delivery drone [Електронний ресурс]. Wikipedia, the free encyclopedia. Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Delivery_drone.
9. UAV-related events [Електронний ресурс]. Wikipedia,

- the free encyclopedia. Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/UAV-related_events.
10. Small Remotely Piloted Aircraft Systems (drones) Mid-Air Collision Study : Study Report / Crown copyright. London, 2016. – 18 p.
11. **Abbot C.** Hostile Drones: the Hostile Use of Drones by Non-State Actors against British Targets : Study Report / Remote Control Project. – London, 2016. – 20 p.
12. **Warrick J.** Use of Weaponized Drones by ISIS Spurs Terrorism Fears [Электронный ресурс] / J. Warrick // The Washington post. Режим доступа: <https://www.washingtonpost.com>.
13. Non-State Actors with Drone Capabilities [Электронный ресурс]. World of Drones. Режим доступа: <https://www.newamerica.org/in-depth/world-of-drones/5-non-state-actors-drone-capabilities/>.
14. **Sander A.** Game of Drones ; Wargame Report / Centre for a New American Security. – Washington, 2016. – 23 p.
15. Unmanned Aerial System Threats: Exploring Security Implications and Mitigation Technologies ; Hearing Report / U.S. Government Publishing Office. – Washington, 2015. – 46 p.
16. No Fly Zone Database as extracted 4/22/2017 from DJI Go4 apps [Электронный ресурс]. GitHub. Режим доступа: <https://github.com/MAVProxyUser/dji.nfzdb/blob/master/dji.nfzdb.csv>.
17. **Wallace R. J.** Examining Unmanned Aerial System Threats & Defenses: A Conceptual Analysis / R. J. Wallace, J. M. Loffi // International Journal of Aviation, Aeronautics,
18. Missile Technology Control Regime (MTCR) Annex Handbook – 2017 [Электронный ресурс]. Врно: MTCR, 2017. – 352 p. Режим доступа: <http://mtrc.info/wordpress/wp-content/uploads/2017/10/MTCR-Handbook-2017-INDEXED-FINAL-Digital.pdf>.
19. **Ravich T. M.** The Integration of Unmanned Aerial Vehicles into the National Airspace / T. M. Ravich // North Dakota Law Review. – 2009. – Vol. 85, No. 597. – P. 597–622.
20. **Vishnevsky, S.** Potential Capabilities of Radiotechnical Troops Radars to Detect Operational-Tactical and Tactical Unmanned Air Vehicle (in Ukrainian). Science and Technology of the Air Force of Ukraine, 2017, Vol. 2, № 27, p. 92-98.
21. **Harman S. A.** Applications of Staring Surveillance Radars / Harman S. A., Hume A. L. // Proceedings of IEEE International Radar Conference. – Arlington VA: USA, 2015. – P. 270–273.
22. **Hindle P.** Drone Detection and Location Systems. [Электронный ресурс] / P. Hindle // Microwave journal, 2017. Режим доступа: <http://www.microwavejournal.com/articles/28459-drone-detection-and-location-systems>.
23. **Sedyshev, Yu. and Dudush, A.** Evaluation of the Impact of the Time Synchronization Accuracy of Multistatic Radar Positions on Errors in Determining the Spatial Coordinates of Aerial Objects. Radioelectronics and Communications Systems, 2013, vol. 56, no.4, p. 178-185.
- GPS spoofing / A. J. Kerns, D. P. Shepard, J. A. Bhatti // Journal of Field Robotics. – 2014. – Vol. 31, № 4. – P. 617–636.
27. Oerlikon Ahead Air Burst Technology: Air Burst Munition (ABM) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://en.calameo.com/books/005068186ce3abb3008f7>.
28. **Pudo D.** High Energy Laser Weapon Systems: Evolution, Analysis and Perspectives / D. Pudo, J. Galuga // Canadian Military Journal. – 2017. – Vol. 17, № 3. – P. 53–60.
26. **Kerns A. J.** Unmanned aircraft capture and control via