

СПЕЦІАЛЬНІ РОЗРОБКИ

УДК 629.396.969.3

**В.А. Білогуров,
К.В. Заїчко**

ОГЛЯД СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ТА ПРОТИДІЇ БЕЗПЛОТНИМ ПОВІТРЯНИМ СУДНАМ В УМОВАХ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ

У статті розглянуто принципи роботи систем та засобів протидії безпілотним повітряним суднам, проведено їхній аналіз, розглянуто вимоги до систем протидії в умовах із щільною міською забудовою, подано основні види загроз.

Ключові слова: *безпілотні повітряні судна, системи та засоби виявлення і протидії БПС, види загроз.*

В статье рассмотрены принципы работы систем и средств противодействия беспилотным воздушным судам, проведен анализ, сформированы требования для работы в условиях городской застройки, представлены основные виды угроз.

Ключевые слова: *беспилотные воздушные судна, системы и средства выявления и противодействия БВС, виды угроз.*

Paper describes the principles of the operation of systems and means of counteraction to the unmanned aircraft, an analysis is carried out, the requirements for working in urban areas are formed, the main types of threats are defined.

Keywords: *unmanned aircraft, systems and tools to identification and counteraction to the unmanned aircraft systems, types of threats.*

Щодня в засобах масової інформації з'являються нові публікації, які стосуються використання і застосування дронів або безпілотних літальних апаратів (БПЛА – unmanned aerial vehicles (UAV)), які зараз у нормативно-правовій спільноті прийнято називати безпілотними авіаційними системами (БАС – Unmanned Aerial Systems (UAS)).



Рис. 1. Доставляння зброї за допомогою БПС



Рис. 2. Доставляння заборонених предметів у місця позбавлення волі

Назва “дрони” або “БПЛА” (UAV) використовуються часто і взаємозамінно, термін “безпілотні авіаційні системи” стає загальноприйнятим у нормативно-правовій спільноті і в галузі та застосовується для позначення всіх комплексних компонентів повітряних і наземних систем, які містять у собі БПЛА та забезпечують їхню експлуатацію. Однак далі в статті будемо використовувати визначення, які внесені в Повітряний кодекс України, а саме: повітряне судно – апарат, що підтримується в атмосфері в результаті його взаємодії з повітрям, відмінної від взаємодії з повітрям, відбитим від земної поверхні (далі – ПС); безпілотне повітряне судно – повітряне судно, призначене для виконання польоту без пілота на борту, керування польотом якого і контроль за яким здійснюються за допомогою спеціальної станції керування, що розташована поза повітряним судном (далі – БПС) [1; 2].

БПС за останні роки стають пристроями, які інтегруються в різні галузі суспільного життя. З однієї сторони, БПС мають позитивний вплив на розвиток різних господарських галузей, як приклад, допомагають обробляти сільськогосподарські угіддя, проводити обстеження складних об'єктів, їх використовують у картографуванні, під час проведення моніторингу лісонасаджень (виявлення незаконної вирубки), при моніторингу корисних копалин тощо. Інша загальноновживана назва БПС у засобах масової інформації – дрони, які застосовують як спортивні засоби та розваги. Тенденції розвитку простих та відповідно дешевих моделей БПС свідчать про значне зростання ринку їхнього споживання. Згідно з даними міжнародних аналітичних досліджень станом на 2015 рік валова вартість цієї галузі зростає майже до 1,7 млрд доларів США. Прогнози на майбутні роки свідчать про нарощування темпів зростання зазначеної галузі.

Разом із позитивними тенденціями інтеграції БПС до виробничої, господарської та розважальної діяльності виявлені і негативні наслідки від їхнього протиправного застосування. Дедалі частіше з новин можна отримати інформацію стосовно використання БПС для передачі зброї, (рис. 1) наркотичних засобів та інших заборонених речовин у місця позбавлення волі, (рис. 2) або під час незаконного перетинання кордону. Не менш небезпечним явищем є поява несанкціонованих БПС у зоні злітних смуг аеропортів та під час проведення культурно-масових заходів. Також гостро стоїть проблема щодо використання БПС у таких випадках, як: несанкціоноване зняття інформації, використання

підричних пристроїв, розпилення небезпечних отруйних речовин, постановки радіозавад та порушення функціонування роботи радіочастотних пристроїв (у тому числі Wi-Fi пристроїв). Тож розглянемо основні види небезпек, які можуть виникати при протиправному використанні БПС.

Класифікація видів загроз

За інформацією, отриманою з масових джерел, випадки протиправного застосування БПС можна розділити та відповідно класифікувати за такими напрямками:

- доставляння зброї та вибухових речовин (до місць позбавлення волі або до місць вчинення терористичних заходів);
- розпилення отруйних речовин (та їх наступна активація);
- створення радіозавад;
- зняття інформації (прослуховування та спостереження);
- фото- та відеофіксація інформації (з високою роздільною здатністю);
- контрабанда;
- БПС-камікадзе (одноразове використання з вибухівкою, хімічними або бактеріологічними речовинами);
- БПС з вогнепальною зброєю на борту (для прицільного знищення людей);
- БПС з метою перешкоджання руху повітряних суден (злітно-посадкових загроз) та створення загроз об'єктам з підвищеною небезпекою (атомні станції).

Наглядно класифікація видів загроз схематично представлена на рис. 1.

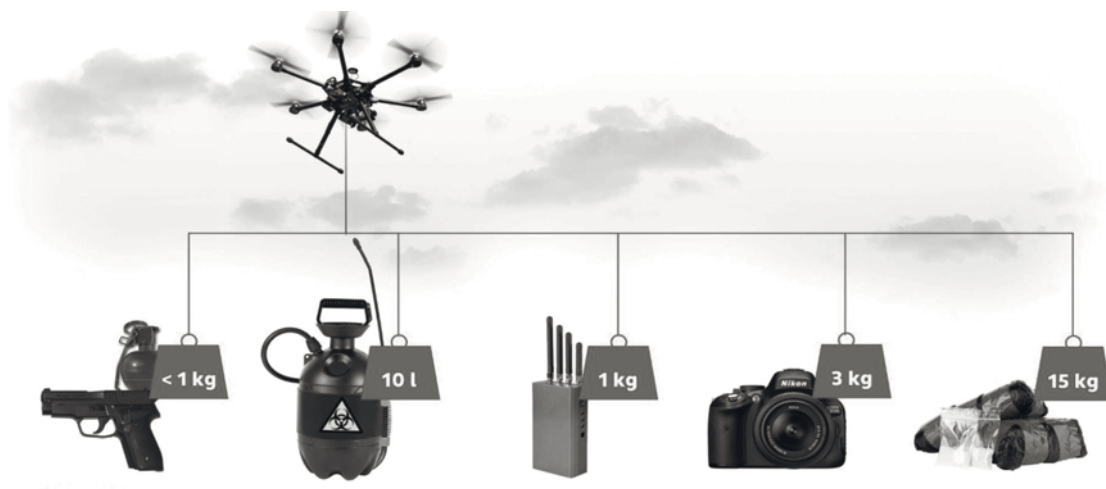


Рис. 3. Схематичне представлення видів загроз

Отже, з появою нових технологій постійно створюється також можливість для застосування БПС для вчинення протиправних дій у небезпечний для оточуючих спосіб. Тому постає нагальна потреба у знешкодженні БПС, на борту яких можуть бути речовини, що становлять загрозу життю та здоров'ю людей. Особлива увага приділяється протидії БПС в умовах міської забудови, де використання систем та засобів протидії може мати як позитивні, так і негативні наслідки. Вибір технологій та засобів боротьби з БПС є важливим завданням у діяльності правоохоронних органів.

Розглянемо найбільш відомі системи та засоби, які виявляють та протидіють несанкціонованому використанню БПС.

Тенденція розвитку систем протидії БПС у країнах Європейської спільноти (далі ЄС) – це, в першу чергу, виявлення об'єкта БПС та наступна локалізація оператора (пульта керування).

Розглянемо системний підхід до вирішення поставлених питань, а саме приклад реалізації технологій Німецької компанії DEDRONE [4].

DEDRONE

Інженери та програмісти цієї компанії для підвищення надійності виявлення БПС, що наближаються до контрольованої території, застосували декілька сенсорів, робота яких ґрунтується на різних фізичних принципах.

Схематично робота датчиків або сенсорів зображена на рис. 4.

Акустичний (аудіо) сенсор. Чутливий направлений мікрофон вловлює коливання повітря звукового діапазону, підсилює електричні сигнали до потрібного для обробки рівня і порівнює їх із даними в пам'яті аналізатора. При тотожності прийнятого сигналу із записаним у пам'яті, сенсор на своєму виході виставляє логічну одиницю.

Ультразвуковий (УЗ) сенсор. Ненаправлений мікрофон вловлює коливання повітря ультразвукового діапазону, підсилює електричні сигнали до потрібного для обробки рівня і порівнює їх з даними в пам'яті аналізатора.

При тотожності прийнятого сигналу із записаним у пам'яті сенсор на своєму виході виставляє логічну одиницю.

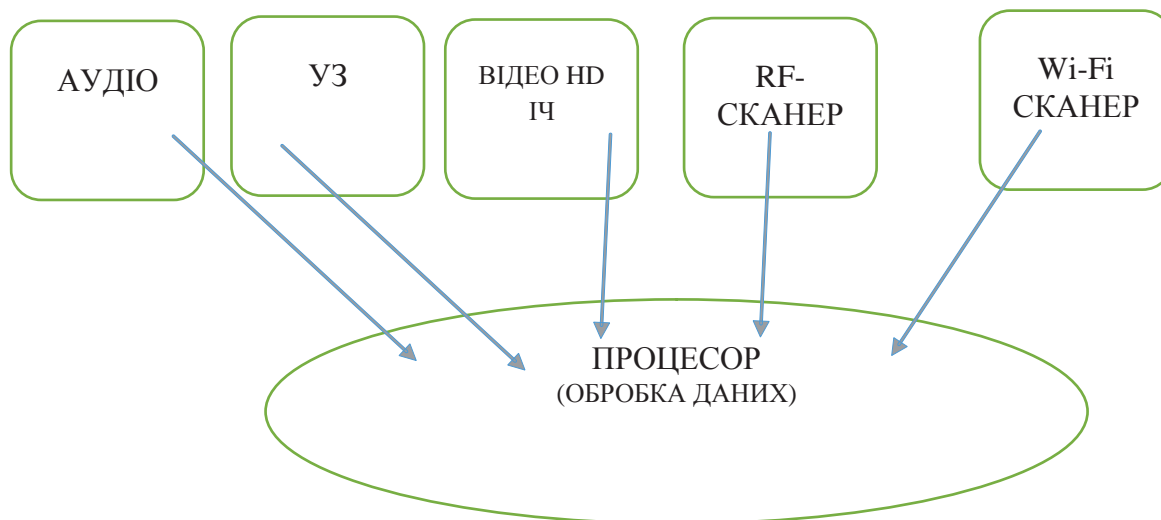


Рис. 4. Структурна схема роботи системи “Dedrone”

Відео (HD) сенсор. Дві відеокамери, одна в оптичному діапазоні, інша в інфрачервоному (ІЧ), контролюють у заданому секторі появу БПС. При тотожності прийнятих зображень із записаними в пам'яті сенсор на своєму виході виставляє логічну одиницю.

Радіочастотний сенсор (RF-сканер). У заданих користувачем частотних діапазонах виявляє наявність характерних для пульту керування БПС радіовипромінювань. При виявленні таких випромінювань у зоні свого контролю на своєму виході виставляє логічну одиницю.

Wi-Fi сканер. Відслідковує у своєму діапазоні рухомі точки доступу. При виявленні рухомих точок доступу сенсор на своєму виході виставляє логічну одиницю.

Процесор – отримує від кожного з сенсорів інформацію, яку порівнює з своєю базою даних і при тотожності більшості з них видає сигнал попередження про появу БПС у просторі, що контролюється.

Зовнішній вигляд конструкції сенсорів (датчиків) зображений на рис. 5. У кожному куту хрестовини розміщені датчики. У центрі – відеосенсор високої роздільної здатності з попередньо визначеною фокусною відстанню. У мобільній версії процесор знаходиться всередині пристрою.

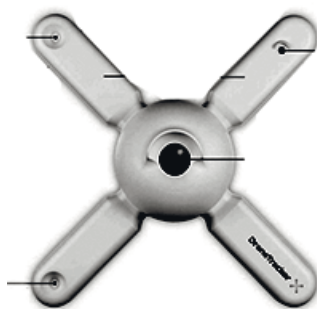


Рис. 5. Зовнішній вигляд системи сенсорів

Розміри, швидкість і різноманітність типів БПС значно ускладнює процес виявлення і відстеження. Система “Dedrone”, аналізуючи шум, розмір, схему руху, частоту, виявляє БПС з певною вірогідністю.

Для забезпечення ідентифікації БПС компанією “Dedrone” отримано домовленість з виробниками БПС щодо можливості досліджень нових моделей і зняття основних характеристик (швидкість руху, телеметрія керування, акустичний малюнок та багато інших), які постійно оновлюються в базі даних системи, яка називається – Дрон-ДНК. Користувачі системи виявлення мають доступ до регулярного оновлення бази даних характеристик БПС.

Сектори (зони параметрів) роботи сенсорів (датчиків), функції яких описано вище, схематично зображено на рис. 6.

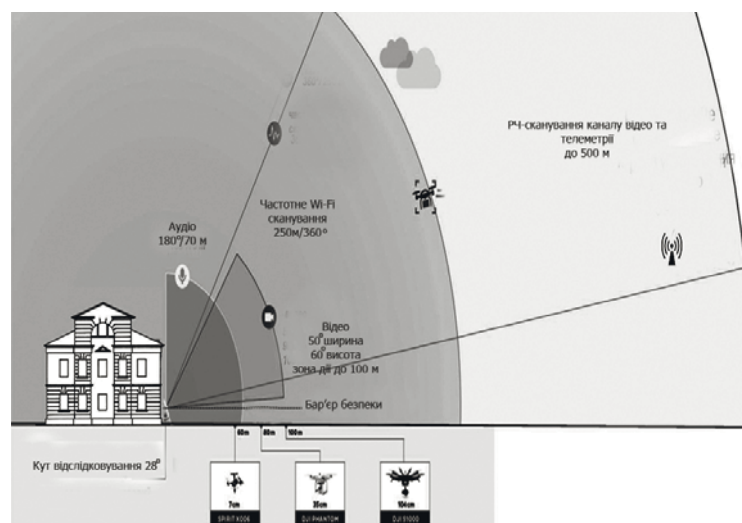


Рис. 6. Сектори роботи сенсорів (датчиків)

Крім місця розміщення об'єкта, значний вплив на систему мають сезонні та погодні коливання, оскільки безпосередньо змінюються фізичні умови роботи сенсорів (датчиків). Відбувається накопичення хибних спрацювань. Крім того, в умовах міста зміна акустичного фону відбувається постійно (шум вулиці, дерев, рух автомобілів (інтенсивність залежно від часу доби), в т.ч. зі спеціальними сигналами тощо. Також існує залежність фізичних параметрів розповсюдження акустичних хвиль від кліматичних умов. На відеосенсори будуть негативно впливати різноманітні джерела освітлення. Представники виробника не дають чітких відповідей щодо можливостей доступу до налаштувань системи або її окремих датчиків (мова йде виключно про зміни порогу чутливості або ступеня довіри).

За інформацією виробників, система проводить документування усіх датчиків, в тому числі проводиться відслідковування руху БПС. У випадку ситуації, яку зображено на рис. 7, відбувається фіксація "атаки" декількох БПС, про що свідчить слід траєкторії польоту. Система передає координати сектору порушення повітряного простору.



Рис. 7. Приклад зображення роботи програмного забезпечення системи Dedrone

За наявності в оснащенні системи не менше 4-х RF-сканерів доступна функція локалізації місця розміщення пульта керування. Система надсилає SMS-повідомлення або в інший спосіб надає координати джерела випромінювання. Для умов міської забудови – це будуть орієнтовні координати (сектор), оскільки відбувається багатократне перевідбиття хвиль від різних об'єктів.

Основні характеристики системи:

- цілодобова робота в автоматичному режимі;
- акустичний та ультразвуковий сенсори виявляють об'єкт на відстані від 50 до 80 м в спектрі від 10 Гц до 96 кГц;
- Wi-Fi сенсор контролює діапазони 2,4 ГГц ISM та 5 ГГц ISM в зоні близької до 360°;
- відеокамера в оптичному діапазоні з роздільною здатністю 1080 пікселів по горизонталі, варіофокальний об'єктив (10 – 90);
- відеокамера в ближньому інфрачервоному (ІЧ) діапазоні з роздільною здатністю 1080 пікселів по горизонталі.

Інший приклад системного підходу до виявлення та протидії БПС – Blighter AUDS (Anti-UAV Defence System) – система, яка розроблена в Великій Британії [5; 6; 9].

Blighter AUDS



Рис. 8. Зовнішній вигляд основних компонентів системи Blighter AUDS

Перший елемент системи – це радар Blighter A400, що працює в сантиметровому діапазоні (Ku band) (на рис. 8 – праворуч). Потужність радару невелика – всього 4 Вт, але цього цілком вистачає, щоб виявляти цілі з ефективною площею відбиття від 0,01 м² на відстані від 8 км. Сектор дії радару – 180°.

Завдання радару – виявити БПС, що наближається, якомога раніше. Далі у справу вступає спеціальна довгофокусна відеокамера (дальнього радіуса дії, на рис. 8 – ліворуч).

У системі використовується кольорова камера компанії Chess Synamics з об'єктивом, який здатний 30-кратно змінювати фокусну відстань. Система наведення Gen 3 Cooled. Камера встановлена на спільному електрокерованому підвісі з системою РЕБ компанії Enterprise Control Systems Ltd (три спрямованих антени на рис. 8 – ліворуч).

Отже, сигнал щодо виявлення цілі з радару надходить у систему керування відеокамерами, яка забезпечує “захоплення цілі”, її ідентифікацію та прогноз маршруту руху. Якщо БПС продовжує рух у сторону забороненої зони, то після порушення периметра, оператор може дати сигнал на “усунення” вторгнення, для цього вмикається система радіоелектронної боротьби, далі РЕБ, що включає три антени з високим коефіцієнтом підсилення і круговою поляризацією.

Компанія не розкриває параметри системи, але принцип її дії цілком зрозумілий. Система створює локальні перешкоди для БПС на частотах, які використовуються для його зв'язку з пультом дистанційного керування.

Інша система виявлення, розроблена фахівцями відомого світового бренду NEC (Японія), у своєму арсеналі має засоби перехоплення певних видів БПС.

Пропозиції від компанії NEC

Систему, яка запропонувала NEC, можна віднести до систем виявлення без особливих оригінальностей в роботі [8]. Найвний стандартний набір, в основі якого – чутлива оптична камера, яка націлена на певний сектор простору і контролює появу БПС в цьому секторі. Камера може автоматично фокусуватися на БПС навіть у випадку його маневрування. Заявлена дальність виявлення БПС у ясну погоду – 1 км. Крім оптичної, в системі є інфрачервона камера, яка використовується системою в разі настання темноти. Тоді дальність виявлення – 120 м.

До складу комплексу входять також акустичні сенсори, які за допомогою чутливих мікрофонів та підсилювачів здатні виявляти БПС на відстані до сотні метрів.

До складу комплексу входить також детектор випромінювання, який виявляє сигнали обміну БПС з пультом керування оператора (зовнішнього пілота). На основі прийнятої інформації локатор обчислює положення БПС з використанням методу триангуляції. Чутливість детектора достатня для виявлення сигналів на відстані до 1 км.

Безсумнівна перевага системи – в автоматичному режимі роботи.

Недолік – у відсутності активних режимів блокування польоту БПС у контрольованому просторі.

Мають переваги перед названою інші системи, які активно впливають на БПС при порушенні ним контрольованої території. Це – система AUDS компанії Blihter, яка готова поставити вузьконаправлені перешкоди в зоні дії БПС-порушника. Перешкоди спонукають БПС повернутися в точку запуску або спричинять його відмову. Ще більше можливостей у системи Falcon Schield компанії Selex ES (США) – спеціальне програмне забезпечення та апаратна частина аналізують дані керування БПС – порушником та система намагається перехопити керування, в разі негативного результату генерується радіоперешкода на частоті каналу керування. Приклад результатів роботи системи виявлення наведено на рис. 9.



Рис. 9. Результати виявлення БПС ІЧ-камерою

Personal Drone Detection System

Для боротьби з БПС започатковано проект “Personal Drone Detection System” (США), основна мета якого – виявлення несанкціонованого спостереження за допомогою використання аматорського БПС та його переслідування [8]. Завдяки пристрою під назвою Personal Drone Detection System розробники планують забезпечити захист. Принцип дії системи – локатор виявляє БПС, який наближається до об’єкту в радіусі 15 м з діапазоном робочих частот від 1 МГц до 6,8 ГГц.

За зовнішнім виглядом система нагадує Wi-Fi-роутер (взаємодіють окремі пристрої системи Personal Drone Detection System, які між собою безпосередньо зв’язуються за допомогою технології Wi-Fi), а саме декілька сенсорів, кожен з яких є тим самим датчиком виявлення БПС (рис. 10). БПС виявляються системою як джерела електромагнітного випромінювання, які переміщуються в просторі.



Рис. 10. Зразок реалізації проекту Personal Drone Detection System

Головний модуль управління здатний взаємодіяти з “портативними локаторами” на віддалі до 61 м. Для роботи системи потрібно розмістити по периметру контрольованої зони достатню кількість сенсорів, задіяти командний контролер і синхронізуватися з модулем управління системою. Про наближення БПС сповістить відповідний звуковий сигнал, і буде відправлене повідомлення за допомогою технології GSM. На рис. 11 схематично зображено принцип виявлення БПС, його більш відома назва – принцип тріангуляції, коли за наявності 3-х азимутів точно визначаються координати джерела випромінювання БПС.

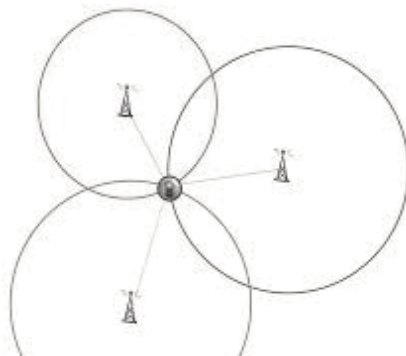


Рис. 11. Принцип виявлення БПС

На рис. 12 показано структурну схему проекту Personal Drone Detection System та взаємозв'язки між її функціональними модулями.

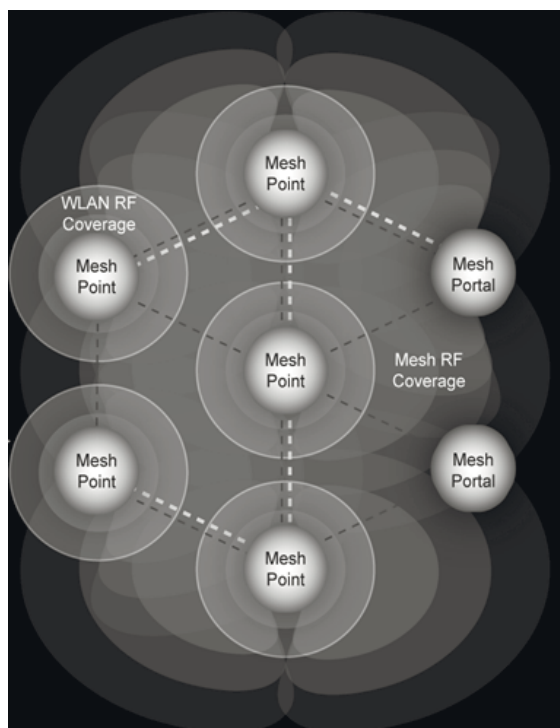


Рис. 12 Структурна схема проекту Personal Drone Detection System

Причиною реалізації цього проекту стала законодавча незахищеність американських громадян, яка виникла внаслідок доступності БПС, що оснащені найбільш сучасними професійними відеокамерами і мають достатньо тривалу автономність польоту. Використання приватних БПС не регулюється Федеральним управлінням цивільної авіації, що веде за собою безвідповідальність і непродуманий вибір маршруту польоту.

Часто траплялося, що БПС ставав причиною інциденту, а саме падіння на чужу приватну власність або винуватцем аварії. Однак знайти власника апарату після його падіння досить часто було не можливо, якщо той не заявив про випадок за власним бажанням. У інших ситуаціях власник БПС легко може залишитися інкогніто.

Альтернативні системи та засоби протидії БПС

Нестандартний спосіб для вирішення поставлених питань можна побачити в рішенні фахівців Південної Кореї, який полягає в тому, що на БПС діють потужними звуковими хвилями. Попередньо в БПС виявили спільну для багатьох із них залежність, яка пов'язана з конструкцією гіроскопа. Останній є практично в кожному БПС, оскільки це основний датчик вимірювання зміни кутів нахилу, зміни курсу тощо. У гіроскопа, як у будь-якої механічної системи, є резонансна частота. Достатньо подіяти на гіроскоп з його резонансною частотою, і він почне видавати параметри, які в результаті призводять до аварії БПС. Це встановив

дослідник Yongdae Kim з південнокорейського інституту KAIST (Korea Advanced Institute of Science and Technology).

Для різних конструкцій гіроскопів резонансні частоти також різні, деякі з них знаходяться у звуковому діапазоні, інші – в ультразвуковому. Дослідники перевірили 15 типів гіроскопів, які застосовуються в популярних БПС. Як правило, це продукти ST Microelectronics і InvenSense. Сім із них були вразливі до акустичної атаки.

У експерименті вчені досліджували вплив звуку на БПС у тестовій камері. За їхніми розрахунками звукова атака потужністю 140 дБ достатня, щоб збивати БПС на відстані 40 метрів.

Гіроскопи відрізняються конструкцією, в деяких з них блокується лише канал орієнтації по горизонталі, цього може бути недостатньо для аварії БПС, тому що в БПС, як правило, є ще магнітометр, який також забезпечує орієнтацію по горизонталі.

Реакції автопілоту БПС у разі втрати каналу керування

Втративши зв'язок з оператором, деякі БПС просто вимушено знижуються вертикально та приземляються на поверхню відносно точки втрати зв'язку з оператором, більш складні моделі можуть повертатися в місце старту в автоматичному режимі. Системи автоматичного повернення в місця старту теж можливо перехопити, створюючи перешкоду на частотах систем супутникової навігації GPS/ГЛОНАСС.

Системи інерційного орієнтування БПС використовуються практично тільки у військових зразках, і можуть бути виведені з ладу внаслідок дії на них потужного спрямованого надвисокочастотного випромінювання.

Сутність інерціальної навігації полягає у визначенні прискорення об'єкта і його кутових швидкостей за допомогою встановлених на об'єкті, що рухається, приладів і пристроїв, а за цими даними – розташування (координат) цього об'єкта, його курсу, швидкості, пройденого шляху та інших. Також визначаються параметри, які необхідні для стабілізації об'єкта і автоматичного управління його рухом.

Висновки

Розглянуті системи та засоби протидії БПС можуть бути рекомендовані для впровадження в діяльність підрозділів поліції (Департамент поліції охорони, підрозділи патрульної поліції Національної поліції України) під час проведення культурно-масових заходів та підрозділів правоохоронних органів Національної гвардії України під час несення служби на важливих державних об'єктах.

Однак слід пам'ятати про переваги та недоліки систем протидії БПС. До основних недоліків слід віднести відсутність гарантованого припинення польоту БПС. Наслідком застосування систем БПС може бути неконтрольоване падіння, в разі чого є висока вірогідність завдання шкоди життю та здоров'ю людей, а також пошкодження майна.

Виникає необхідність у проведенні детальних досліджень систем функціонування керування БПС з метою вдосконалення систем протидії. Комплексний підхід до вдосконалення функціональних модулів систем протидії підвищить позитивний результат їхнього застосування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Повітряний кодекс України : Закон України від 19 травня 2011 р. № 3393-VI [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/3393-17>.
2. Повітряне право України : навчальний посібник / За заг. ред. д-ра ю.н. В.В. Костицького. – Дрогобич : Коло, 2011. – 552 с.
3. Про радіочастотний ресурс України : Закон України № 1770-III від 01.06.2000 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon.nau.ua/doc/?code=1770-14>.
4. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.dedrone.com.
5. JDN 2/11 (2011). “Точка зору Великої Британії на безпілотні авіаційні системи” (The UK approach to unmanned aircraft systems). Публікація МО Великої Британії Joint Doctrine Note 2/11, dated 30 March 2011.
6. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://robotrends.ru/pub/1634/sistema-apollo-shield-obnaruzhit-i-izgonit-zabludivshiesya-bla>.
7. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.popularmechanics.com/military/weapons/a20914/dod-dhs-buying-drone-jammers/>.
8. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.dronedetector.com/>.
9. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://robotrends.ru/pub/1542/bespilotnik-v-polete-ostanovit-blighter-auds>.

Отримано 09.11.2016

Рецензент Марченко О.С., к.т.н.