

АНАЛІЗ ВЛАСНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ОБЛАДНАННЯ ТАКТИЧНИХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Проведено вибір елементів обладнання безпілотних авіаційних засобів, власне випромінювання яких у польоті може бути використане для розробки та впровадження сучасних методів виявлення тактичних безпілотних літальних апаратів засобами радіомоніторингу.

Постановка проблеми. В умовах сучасної гібридної війни під час ведення бойових дій у тактичній ланці значно зросла роль безпіотної авіації. Тактичні безпілотні літальні апарати (БПЛА) є обов'язковою складовою озброєння армій провідних країн світу і призначені для вирішення завдань розвідки та підтримання ведення бойових дій. Постійне зростання кількості та типів засобів безпіотної авіації зумовило необхідність проведення досліджень у напрямках боротьби з тактичними БПЛА.

Проте існуючі підходи [1, 2] виявлення та ідентифікації джерел радіовипромінювань (ДРВ) засобами радіомоніторингу (РМ) не дають змоги ефективно визначати належність виявлених сигналів до малопотужних випромінювань тактичних БПЛА. Розробка та впровадження сучасних методів для підвищення достовірності їх виявлення засобами РМ – актуальне і складне науково-практичне завдання. Одним з таких методів є визначення впливу власних випромінювань елементів обладнання засобу, на якому розміщений радіопередавач, на характеристики виявленого радіосигналу. На сьогоднішній день для тактичних БПЛА не проведений достатній аналіз елементів їх обладнання з погляду впливу власних випромінювань на характеристики радіосигналів їх системи зв'язку і передачі даних.

Огляд останніх досліджень і публікацій. У провідних країнах світу активно проводяться розробки систем боротьби з БПЛА. Перспективна система GBAD збройних сил США призначена для виявлення, відстеження та знищення БПЛА всіх розмірів [3]. У Російській Федерації розробляється апаратна радіомоніторингу, блокування каналів дистанційного управління літальних апаратів «Шипшина-Аеро» [4] та система боротьби з БПЛА на базі виробу 9С482М7 [5].

Більшість сучасних публікацій, які можуть бути використані для аналізу обладнання тактичних БПЛА з метою їх виявлення, присвячено питанням дослідження структури і варіантів побудови БПЛА для їх створення та застосування. У роботах [6–8] розглянуто проблеми щодо створення БПЛА, проведено аналіз структури та варіантів їх побудови; у [9] визначено характеристики перспективних БПЛА США; у змістовній монографії [10] досліджено структуру й основи побудови БПЛА, форми та способи їх застосування, зазначено сучасні погляди на класифікацію безпілотних засобів. Проте у проведених дослідженнях тактичні БПЛА не розглянуті як система елементів обладнання з власним випромінюванням.

Отже, завданням досліджень є аналіз структури тактичних БПЛА та її декомпозиція з погляду власних випромінювань у польоті.

Виклад основного матеріалу дослідження. Безпілотний літальний апарат – це літальний апарат без людини на борту, призначений для вирішення спеціальних завдань, керований дистанційно, за програмою або комбіновано [10] і являє собою складну систему елементів випромінювання. Виявлення БПЛА у польоті може бути забезпечено шляхом прийому електромагнітних хвиль, що відбиваються від його поверхні, або електромагнітних хвиль, що випромінюються самим БПЛА. Також виявлення можливе за рахунок фіксації змінювання параметрів навколишнього середовища, що виникають під час руху БПЛА в цьому середовищі [11].

Масо-габаритні показники БПЛА є основними факторами, за якими визначають ефективну площу розсіювання (ЕПР) цілі [12]. Переважна більшість тактичних БПЛА належать до малорозмірних об'єктів, ЕПР яких можуть досягати значень 0,005 м² [11], тому їх виявлення за рахунок відбитих електромагнітних хвиль, а також інфрачервоними та телевізійними засобами наштовхується на значні труднощі. Використання ж засобів РМ визначається потужністю різного роду власних випромінювань обладнання тактичних БПЛА у польоті та чутливістю радіоприймального пристрою.

Гранична дальність виявлення тактичних БПЛА засобами РМ визначається відомим рівнянням радіозв'язку [11]:

$$D_{PM} \leq \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_c G_{nep} G_{np}}{P_{p.min} K_{vtr}}}, \quad (1)$$

де λ – довжина хвилі;

P_c – потужність випромінювань тактичних БПЛА;

G_{nep}, G_{np} – коефіцієнти підсилення передавальної і приймальної антен;

K_{vtr} – коефіцієнт втрат;

$P_{p.min}$ – чутливість приймача засобу РМ.

Специфіка виявлення літальних апаратів вимагає враховувати характер діаграм спрямованості антен, тому рівняння радіозв'язку для вхідного сигналу засобу РМ зручно записати у вигляді

$$D_{PM}^2 \leq \frac{\lambda^2 P_c G_{nep} G_{np} F_{n1}(\Theta, \varphi) F_{n2}(\Theta, \varphi)}{16\pi^2 P_{p.min} K_{vtr}}, \quad (2)$$

де $F_{n1}(\Theta, \varphi) = \frac{F_{nep}(\Theta, \varphi)}{F_{maxnep}(\Theta, \varphi)}$ – нормована амплітудна діаграма спрямованості передавальної

антени в напрямку БПЛА – засіб РМ;

$F_{n2}(\Theta, \varphi) = \frac{F_{np}(\Theta, \varphi)}{F_{maxnp}(\Theta, \varphi)}$ – нормована амплітудна діаграма спрямованості приймальної

антени в напрямку засіб РМ – БПЛА;

Θ, φ – кут між дійсним і головним напрямком діаграм спрямованості антен засобу РМ і БПЛА у вертикальній та горизонтальній площині відповідно.

Анени, які використовуються в тактичних БПЛА, характеризуються малою направленістю і нерівномірністю коефіцієнта підсилення в межах робочого сектора. Якщо для конкретного БПЛА значення амплітудної нормованої діаграми спрямованості невідоме, у межах робочого сектора приймається $F_{н1}(\Theta, \varphi) = \frac{F_{пер}(\Theta, \varphi)}{F_{maxпер}(\Theta, \varphi)} = 1$ [13].

З урахуванням зазначеного вище запишемо (1) у вигляді

$$D_{PM} \leq U \sqrt{\frac{G_{np} F_{н2}(\Theta, \varphi)}{P_{p\min} K_{впр}}}, \quad (3)$$

де $U = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{P_c G_{пер}}$ – енергетичний параметр випромінювань елементів обладнання тактичних БПЛА.

Система зв'язку і передачі даних тактичних БПЛА є основним ДРВ для засобів РМ. Як правило, вона складається з трьох радіоканалів: командного, телеметричного й інформаційного, – утворених відповідними радіолініями й апаратурою прийому, обробки і передачі даних.

Командний радіоканал призначений для передачі сигналів керування безпілотним літальним засобом з пункту управління на його бортову апаратуру, яка відпрацьовує отримані команди керування. За цими командами БПЛА робить різного роду маневри, змінює висоту, курс і швидкість польоту, а також відпрацьовується зміна режимів роботи розвідувальної та іншої апаратури.

Телеметричний канал призначений для передачі квитанцій про виконання команд, що надходять на борт. Передавання сигналів від бортових інформаційних датчиків здійснюється інформаційним каналом. Як правило, інформаційний і телеметричний канали об'єднані в один зворотний радіоканал, на відміну від командного – прямого каналу [10].

Виявлення засобами РМ радіоканалів системи зв'язку або передачі даних ДРВ не завжди дає змогу визначити його належність до тактичних БПЛА. Тому слід виконати декомпозицію структури тактичних БПЛА та визначити ті елементи, вплив власних випромінювань яких на радіосигнали діючих радіоканалів може бути використаний для підвищення достовірності визначення належності засобу до класу тактичних БПЛА.

У загальному випадку тактичні БПЛА можна віднести до реальних складних багатофункціональних динамічних систем, призначених для вирішення завдань у зоні до 80 км. Як відомо, будь-яку систему можна подати структурним описом, який характеризує виділення її елементів і зв'язків між ними. Структурно тактичний БПЛА складається з бортового комплексу управління (БКУ), корисного навантаження (КН), виконавчих механізмів (ВМ), силової установки (СУ) та системи електроживлення (рис. 1).

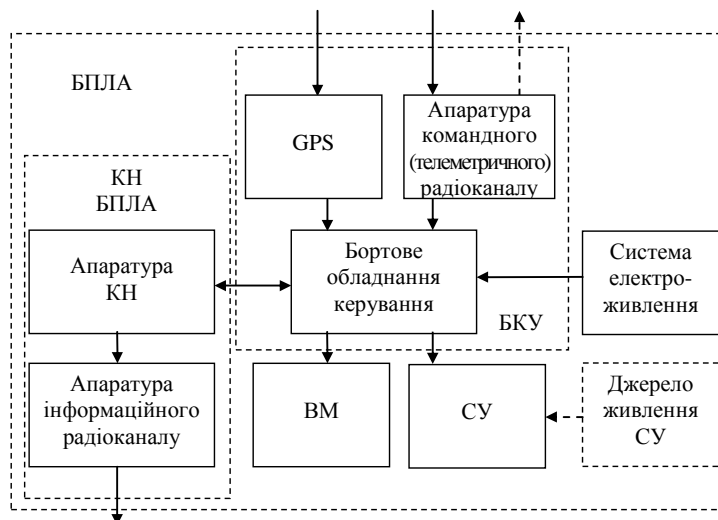


Рис. 1. Структурна схема тактичного БПЛА

Крім того, до складу тактичних БПЛА може входити повітряна платформа з системою посадки (за необхідності, спеціальна система запуску) і джерело живлення силової установки [7].

У сучасних тактичних БПЛА можуть використовуватися різні комбінації його складових елементів. Множина конструктивних рішень $V_{БПЛА}$ тактичних БПЛА виділяється з множини V_0 всіх можливих конструктивних рішень технічних засобів певними умовами, яким повинні відповідати об'єкти $V_k \in V_{БПЛА}, k = 1, 2, \dots, n$.

КН БПЛА призначене для отримання інформації відповідно до визначених польотних завдань та передачі її на пункт управління. Як КН можуть використовуватися датчики відносного та абсолютного тиску, датчики висоти, датчики відносної вологості повітря, акселерометри, гіроскопи, магнітні компаси, лазерні далекоміри, інфрачервоні камери, фото- та відеокамери, ультрафіолетові датчики, вібродатчики, а також передавальна апаратура інформаційного каналу.

Множина елементів КН:

$$V_{KH} \in V_0, V_{KH} = \{v_i^{KH}\}, i = 1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

де v_i^{KH} – елементи КН.

До складу БКУ БПЛА входить бортове обладнання керування, приймач сигналів радіонавігаційної системи, система автопілота, керуючі механізми, а також апаратура командного і телеметричного радіоканалів.

Множина елементів БКУ:

$$V_{BKV} \in V_0, V_{BKV} = \{v_i^{BKV}\}, i = 1, 2, \dots, n, \quad (5)$$

де v_i^{BKV} – елементи БКУ.

До ВМ БПЛА належать рульові машинки руля висоти, руля напрямку та елерона.

Множина елементів ВМ:

$$V_{BM} \in V_0, V_{BM} = \{v_i^{BM}\}, i = 1, 2, \dots, n, \quad (6)$$

де v_i^{BM} – елементи ВМ.

СУ (двигуни) можуть бути електричними, поршневими, турбореактивними, турбовальними і турбогвинтовими залежно від особливостей побудови БПЛА.

Множина елементів СУ:

$$V_{CV} \in V_0, V_{CV} = \{v_i^{CV}\}, i = 1, 2, \dots, n, \quad (7)$$

де v_i^{CV} – елементи СУ.

Отже, належність технічного засобу до класу тактичних БПЛА визначається:

$$V_{БПЛА} = V_{KH} \cap V_{BKU} \cap V_{BM} \cap V_{CV}. \quad (8)$$

Енергетичні параметри елементів обладнання різних типів тактичних БПЛА $U_i = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{P_c G_{nep}}, i = 1, 2, \dots, n$ обумовлені конфігурацією системи, проте їх кількість може бути обмеженою множиною конструктивних рішень (8). Значення U_i для кожного елемента $v_i^k, k = \{KH, BKU, BM, CV\}, i = 1, 2, \dots, n$ визначається частотою та потужністю власних випромінювань, а також коефіцієнтом підсилення передавальної антени за її наявності.

Елементи обладнання тактичних БПЛА працюють на відомих фізичних принципах, тому енергетичний параметр U може набувати значення:

$$U = \begin{cases} f(\lambda, P_c, G_{nep}) & \text{при } \lambda \neq 0 \\ 0 & \text{при } \lambda = 0 \end{cases}. \quad (9)$$

Отже, основними елементами обладнання тактичних БПЛА, власні випромінювання яких у польоті можуть впливати на характеристики радіосигналів інформаційного та (або) телеметричного радіоканалів, є:

з множини елементів обладнання КН – відеокамера, інфрачервона камера, фотокамера, лазерний далекомір:

$$V_{KH} = \{v_{вк}^{KH}, v_{ичк}^{KH}, v_{фк}^{KH}, v_{лд}^{KH}\}, \quad (10)$$

де $v_{вк}^{KH}$ – відеокамера;

$v_{ичк}^{KH}$ – інфрачервона камера;

$v_{фк}^{KH}$ – фотокамера;

$v_{лд}^{KH}$ – лазерний далекомір.

з множини елементів обладнання БКУ – бортове обладнання керування, керуючі механізми:

$$V_{BKU} = \{v_{бок}^{BKU}, v_{км}^{BKU}\}, \quad (11)$$

де $v_{бок}^{BKU}$ – бортове обладнання керування;

$v_{км}^{BKU}$ – керуючі механізми;

з множини елементів ВМ – рульові машинки елерона, рульові машинки руля напрямку, рульові машинки руля висоти:

$$V_{BM} = \{v_e^{BM}, v_{pn}^{BM}, v_{pv}^{BM}\}, \quad (12)$$

де v_e^{BM} – рульові машинки елерона;

v_{pn}^{BM} – рульові машинки руля напрямку;

v_{pv}^{BM} – рульові машинки руля висоти;

з множини елементів СУ – електричні двигуни, поршневі двигуни:

$$V_{CV} = \{v_{ед}^{CV}, v_{нд}^{CV}\}, \quad (13)$$

де $v_{ед}^{CV}$ – електричні двигуни;

$v_{нд}^{CV}$ – поршневі двигуни.

Висновки. У результаті проведених досліджень визначено елементи обладнання тактичних БПЛА, власне випромінювання яких у польоті може бути використане для вирішення завдання підвищення достовірності їх виявлення засобами РМ. У подальшому планується розглянути питання оцінювання впливу власних випромінювань елементів обладнання тактичних БПЛА на характеристики радіосигналів апаратури інформаційного і телеметричного радіоканалів та можливості їх виявлення засобами РМ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Смирнов Ю. А. Радиотехническая разведка / Ю. А. Смирнов. – М. : Воениздат, 2001. – 456 с. : ил.
2. Рембовский А. М. Радиомониторинг – задачи, методы, средства / А. М. Рембовский, А. В. Ашихмин, В. А. Козьмин ; под ред. А. М. Рембовского. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Горячая линия-Телеком, 2010. – 624 с. : ил.
3. Апаратна радіомоніторингу, блокування каналів ДУ літальних апаратів «Шипшина-Аеро» [Електронний ресурс] // Військова панорама. – Режим доступу : <http://wartime.org.ua/4408-apatatna-rado-montoringu-blokuvannya-kanalv-du-ltalnihi-apatatv-shipshina-aero>.
4. Наприкінці цього літа у морської піхоти США з'явиться перша лазерна зброя підтримки [Електронний ресурс] // Надзвичайне. – Режим доступу : <http://www.nadzvichayne.com.ua/uncategorized/Naprik-nc-c-ogo-l-ta-u-mors-ko-p-hoti-SShA-z-yavit-sya-persha-lazerna-zbroya-p-dtrimki>.
5. Система борьбы с БПЛА от ОАО «Радиоизавод» [Электронный ресурс] // Сделано у нас. – Режим доступа : <http://sdelanounas.ru/blogs/53633/?pid=576971>.

6. Проблемы создания беспилотных авиационных комплексов в Украине / А. Г. Гребеников, А. Г. Журавский, А. К. Мялица и др. // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х. : НАКУ, 2009. – Вып. 42. – С. 111–119.
7. Проценко М. М. Аналіз структури та варіантів побудови безпілотних авіаційних комплексів / М. М. Проценко // Вісник ЖДТУ. – Житомир : ЖДТУ. – 2012. – № 2(61). – С. 113–118.
8. Руснак І. С. Безпілотна авіація у сфері цивільного захисту України. Стан і перспективи розробки та застосування / І. С. Руснак, В. В. Хижняк, В. І. Ємець // Наука і оборона. – К. : «Стилос», 2014. – № 2'2014. – С. 34–39.
9. Кузнецов В. Беспилотная одиссея в небе будущего / В. Кузнецов // Наука и техника. – Х. – 2011. – № 5 (60). – С. 21–26.
10. Радецький В. Г. Безпілотна авіація в сучасній збройній боротьбі : монографія / В. Г. Радецький, І. С. Руснак, Ю. Г. Даник. – К. : НАОУ, 2008. – 224 с.
11. Довідник з протиповітряної оборони / А. Я. Торопчин, І. О. Ромапенко, Ю. Г. Даник та ін. – К. : МО України, Х. : ХВУ, 2003. – 368 с.
12. Иленко Е. Ю. Влияние аэродинамической компоновки на радиолокационную заметность беспилотных летательных аппаратов / Е. Ю. Иленко // Системи обробки інформації – Х. : Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. – 2014. – № 5 (121). – С. 52–54.
13. Мельников Ю. П. Воздушная радиотехническая разведка (методы оценки эффективности) / Ю. П. Мельников. – М. : Радиотехника, 2005. – 304 с. : ил.

Подано 23.02.2015

Ю. Г. Даник, С. А. Дупелич

АНАЛИЗ СОБСТВЕННЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ ОБОРУДОВАНИЯ ТАКТИЧЕСКИХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Проведен выбор элементов оборудования беспилотных авиационных средств, собственное излучение которых в полете может быть использовано для разработки и внедрения современных методов обнаружения тактических беспилотных летательных аппаратов средствами радиомониторинга.

Y. G. Danik, S. O. Dupelich

THE ANALYSIS OF OWN RADIATIONS OF THE EQUIPMENT OF TACTICAL UNMANNED AERIAL VEHICLES

The choice of elements of the equipment of pilotless aviation means which own radiation in flight can be used for development and deployment of modern methods of detection tactical unmanned aerial vehicles by means of radio monitoring is carried out.