

РОЗДІЛ IV. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 681.327

Сергій Зайцев, Ольга Башинська, Юрій Камак, Борис Горлинський

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ СУЧАСНИХ БЕЗПЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

Sergey Zaitsev, Olga Bashinskaya, Yuri Camac, Borys Horlynskyi

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ИНФОРМАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Sergey Zaitsev, Olga Bashinskaya, Yuri Camac, Borys Horlynskyi

RESEARCH METHODS OF INCREASING INFORMATION RELIABILITY OF CURRENT UNMANNED AVIATION SYSTEMS

Проведено аналіз існуючих методів підвищення достовірності передачі інформації від безпілотного літака-розвідника до наземної станції прийому інформації, що були отримані під час проведення натурних експериментів безпілотних авіаційних комплексів.

Ключові слова: модуляція, сигнал, канал радіозв'язку, безпілотний авіаційний комплекс.

Рис.: 10. Бібл.: 6.

Проведен анализ существующих методов повышения достоверности передачи информации от беспилотного самолета-разведчика к наземной станции приема информации, которые были получены при проведении натурных экспериментов беспилотных авиационных комплексов.

Ключевые слова: модуляция, сигнал, канал радиосвязи, беспилотный авиационный комплекс.

Рис.: 10. Библ.: 6.

The paper analyzes the existing methods of improving the reliability of information transmission from unmanned spy drone to ground station to receive information that was obtained during the field study unmanned aircraft systems.

Keywords: modulation, signal, channel radio communication, unmanned aerial system.

Fig.: 10. Bibl.: 6.

Актуальність теми дослідження. Аналіз існуючих тенденцій розвитку авіаційного озброєння впевнено показує, що нині і в близькому майбутньому багато уваги спеціалістів повинно приділятися створенню та удосконаленню високоточної «інтелектуальної» зброї, яка забезпечує ефективне ураження цілей за будь-яких умов, незалежно від протидії супротивника, у тому числі за допомогою активних завад.

Постановка проблеми. Найуразливіше місце безпілотного авіаційного комплексу – це необхідність постійного обміну інформацією з наземними станціями прийому. Великий обсяг передачі даних по каналам радіозв'язку призводить до того, що дуже проблематично забезпечити високий рівень достовірності передачі інформації завдяки впливу завад істотного та навмисного походження [1]. Постає важлива прикладна задача вибору варіанта безпілотних авіаційних комплексів (БпАК), перевірки цього варіанта на відповідність заявлених продавцем характеристик реальним характеристикам зразка, особливо засобів передачі інформації між безпілотним літальним апаратом (БпЛА) та наземною приймаючою станцією, а також дослідження методів підвищення достовірності передачі даних цих БпАК. Саме аналізу проблеми підвищення достовірності передачі даних присвячена ця стаття.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Весь арсенал останніх досягнень щодо вирішення навігаційних завдань, таких як GPS/ГЛОНАСС технологій, машинний зір, безплатформенні інерційні системи, мікромеханіка і т. ін. можуть і повинні бути використані для вдосконалення засобів оснащення, у першу чергу, для створення безпілотних маневрених літальних апаратів [1].

У сучасній бойовій ситуації безпілотні авіаційні комплекси є більш ефективними в порівнянні з пілотованими літаками-розвідниками, які виконують завдання тактичної повітряної розвідки та радіоелектронної боротьби, цілевказівок та корегування вогню всіх бойових засобів, бойового управління та зв'язку, метеорологічної, радіаційної та біологічної розвідки без ризику для особового складу в інтересах командування різних видів збройних сил [2].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. На сьогодні існують різноманітні засоби радіоелектронної протидії передачі інформації з БпАК. Для зменшення достовірності інформації БпАК супротивником застосовуються станції (комплекси) активних завад, основними серед яких є: Р – 934Б, Р – 330Т, Р – 378А тощо. Ці засоби радіотехнічної протидії випромінюють потужні навмисні завади (шумова загороджувальна завада, шумова завада у частині смуги, завади у відповідь, ретрансльована завада та інші), які значно знижують характеристики достовірності інформації.

Існуючі методи підвищення достовірності передачі інформації у БпАК не в повному обсязі відповідають сучасним вимогам завдяки використанню при побудові БпАК та БпЛА технологій потужного завадостійкого кодування в поєднанні з методами розширення спектру сигналу та сигнальних конструкцій.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є визначення основних методів підвищення достовірності інформації в сучасних БпАК та БпЛА, а також напрямів підвищення характеристик достовірності передачі інформації.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо деякі варіанти модуляції сигналу від БпЛА до наземної станції на прикладі таких комплексів:

1. У БпАК «Silent Falcon» використовується квадратурно-амплітудна модуляція (КАМ, англ. Quadrature Amplitude Modulation (QAM)) – різновид амплітудної модуляції сигналу, яка являє собою суму двох несучих коливань однієї частоти, але зміщених за фазою одне відносно іншого на 90° , кожне з яких промодульоване за амплітудою своїм модулюючим сигналом [3]:

$$S(t) = I(t)\cos(2\pi f_0 t) - Q(t)\sin(2\pi f_0 t),$$

де $I(t)$ та $Q(t)$ – моделюючі сигнали;

f_0 – частота-носій.

2. У БпАК «APUS» використовують декілька видів модуляцій:

– на частоті 400-660 МГц – квадратурно-фазова модуляція (КФМ, англ. Quadrature phase-shift keying (QPSK)): перетворення цифрового сигналу за допомогою одного з видів фазової модуляції [4];

– на частоті 900-910 МГц – гауссівська частотна модуляція (англ. Gaussian Frequency-Shift Keying, GFSK) – одна з видів FSK маніпуляції, яка використовує гауссівський фільтр для згладжування позитивних/негативних відхилень частоти, які являють собою двійкові «1» або «0»;

– на частоті 2400 МГц – модуляція QAM16, яка є різновидом квадратурно-амплітудної модуляції. У цій модуляційній схемі вхідні цифрові дані поділяються на два потоки. Кожен потік перетворює (модулює) сигнал-носій, зазвичай синусоїду, змінюючи її амплітуду відповідно до схеми модуляції. Синусоїда одного потоку є зміщеною по фазі відносно другої на 90° . Далі два потоки підсумовуються й утворюється один аналоговий сигнал. Кожні 4 біти вхідного цифрового потоку розділяються на два по 2 біти кожний. Відповідно, 4-бітне число представляється точкою на двовимірній площині, в якій кожен вимір відповідає сигналу-носію.

3. У БпАК «PD-1» також використовують декілька видів модуляцій:

– на частоті 310-390 МГц – GFSK;

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

– на частоті 575 МГц – ортогонально-частотне розділення каналів з кодуванням (базове з усуненням помилок за рахунок субточності телеспівщення) COFDM 16QAM.

На прикладі наступних двох БпАК розглянемо методи передачі інформації до наземної станції прийому.

Для виміру характеристик каналу радіозв'язку обох БпАК використовувався аналізатор спектра Advantest U3772 сумісно з рупорною каліброваною антеною Rohde & Schwarz HF906.

У БпАК «НАВК» радіолінія «борт-земля», «земля-борт» реалізована цифровим каналом радіозв'язку типу Radio-Ethernet 2,3 ГГц, як широкопasmовий радіодоступ між БпЛА та наземним обладнанням комплексу. В системі використовується модуляція з методом канального кодування – COFDM [5].

Система зв'язку дозволяє:

- завантажувати в автопілот БпЛА польотне завдання;
- змінювати польотне завдання у ході виконання місії;
- отримувати по закритому протоколу на модулі наземної станції управління (МНСУ) в режимі реального часу відеоінформацію та телеметричну інформації (координати, висоту, швидкість, пройдено відстань, курс) з БпЛА;
- проводити аналіз відеоінформації після виконання польотного завдання.

Система зв'язку БпАК передбачає можливість використання алгоритму блочного шифрування Advanced Encryption Standard (AES) з довжиною ключа 128 біт.

Оператор БпАК «НАВК» має можливість зміни номера каналу зв'язку (частоти несучої сигналу радіоканалу) в межах діапазону частот 2,305–2,375 ГГц як у ході складання польотного завдання, так і у ході виконання польоту БпЛА. Загальна кількість каналів – 15.

У ході проведення випробувань БпАК «НАВК» доведена можливість зміни функціональних параметрів каналу зв'язку, а саме:

- зміни номера каналу зв'язку;
- ввімкнення (вимкнення) режиму шифрування;
- виключення передачі відео з БпЛА в режимі реального часу.

У разі зміни частоти каналу зв'язку відбувається перерва зв'язку до 20 секунд.

Архітектура побудови системи зв'язку БпАК «НАВК» передбачає (у разі необхідності) використання додаткових МНСУ та ретрансляторів, інформаційний обмін між якими здійснюється мережею Інтернет.

Автоматичне юстування антени дальньої зони дії на БпЛА поворотним пристроєм у БпАК не передбачене.

Аналіз спектрограм, отриманих у ході демонстраційних польотів (рис. 1–3), свідчить про таке:

– відповідно до даних «Національної таблиці розподілу смуг радіочастот України» (Постанова Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2005 р. № 1208), канал зв'язку БпАК працює у частотному діапазоні загального користування, у смузі радіочастот, що класифікується як «Фіксована рухома Аматорська Радіолокаційна»;

– частота несучої випромінювання передавача на час проведення вимірів становила 2,3340 ГГц (рис. 1);

– частота роботи радіоканалу БпАК знаходиться в межах заявленого виробником діапазону частот 2,305–2,375 ГГц;

– енергетичне заповнення спектра сигналу в смузі пропускання каналу зв'язку рівномірне, без суттєвих провалів (рис. 1);

– смуга пропускання каналу зв'язку на рівні 99 % потужності становить 8,44 МГц (рис. 2, 3).

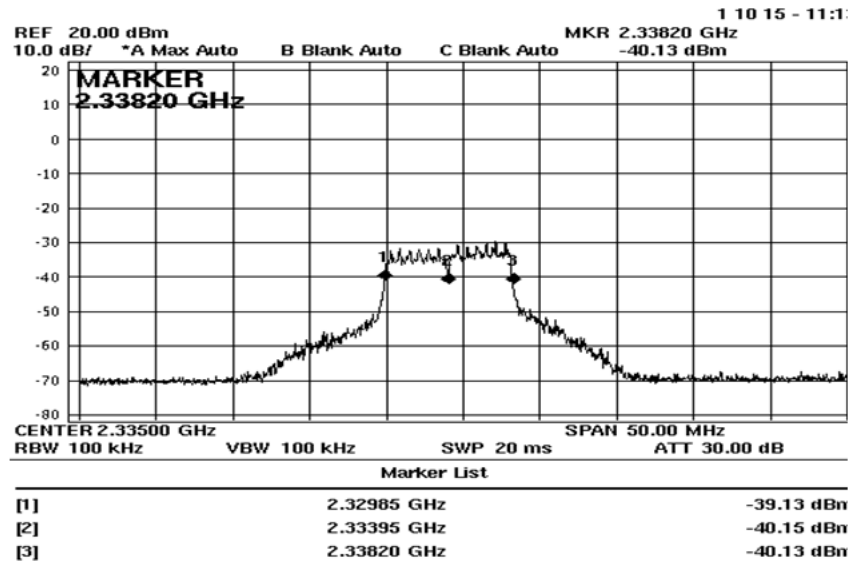


Рис. 1. Спектрограма каналу радіозв'язку БпАК

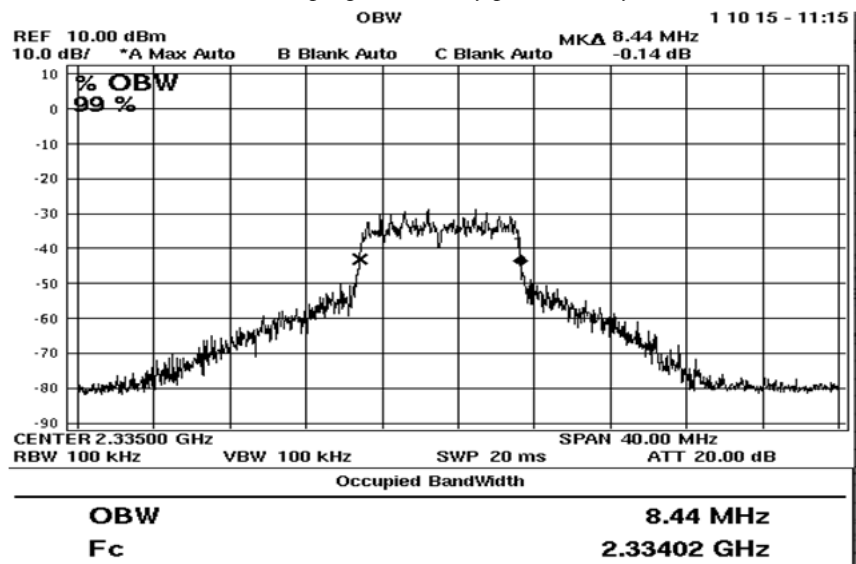


Рис. 2. Спектрограма каналу радіозв'язку БпАК (на рівні 99 % потужності)

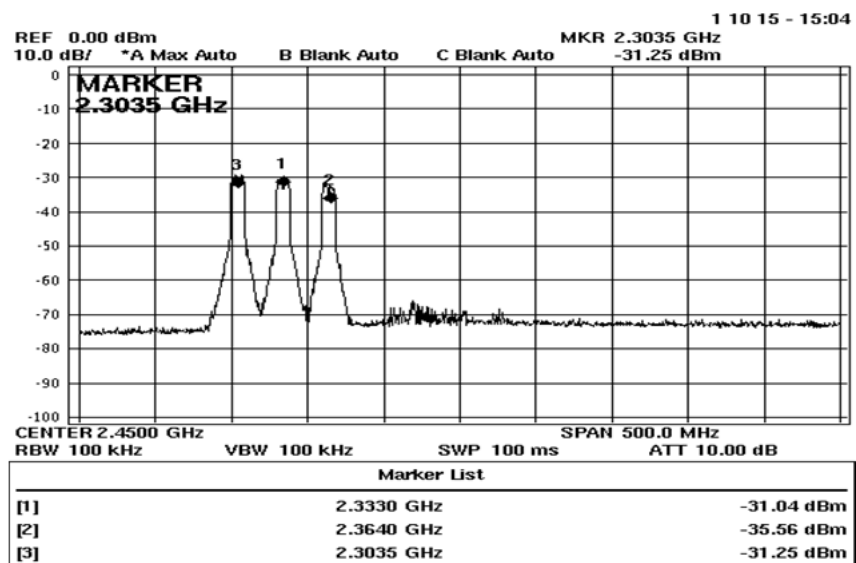


Рис. 3. Спектрограма фрагмента перелаштування каналу радіозв'язку БпАК у межах діапазону

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Система зв'язку БпАК «Мара – 2М» складається з трьох незалежних каналів радіозв'язку:

- основного каналу передачі даних та телеметрії;
- каналу передачі відео;
- допоміжного каналу керування.

Основний канал передачі даних та телеметрії є цифровим, який реалізовано модемами зв'язку 3D Robotics з частотою несучої 433 МГц. В каналі забезпечується обмін пакетними даними з підтвердженням зі швидкістю до 56 Кбіт/с (за даними виробника).

Канал призначений для завантаження у БпЛА польотного завдання та отримання з БпЛА телеметричної інформації, відображення на моніторі наземної станції управління (НСУ) навігаційних елементів польоту: висоти, швидкості польоту, пройденої відстані, поточного місця знаходження та траєкторії польоту БпЛА.

Канал захищений від засобів постановки навмисних завад методом псевдовипадкового перелаштування робочої частоти (ППРЧ). Інформація, що циркулює в каналі зв'язку, не захищена від втручання й руйнування методом шифрування [6].

Аналіз спектрограм сигналу каналу передачі даних та телеметрії (рис. 4, 5), отриманих під час виконання польотів БпЛА, свідчить про таке:

- частота несучої випромінювання передавача на час проведення вимірів становила 437,48 МГц;
- відхилення центральної частоти спектра сигналу від частоти випромінювання, заявленої виробником, становить 4,48 МГц;
- максимальний рівень спектра сигналу, отриманий у режимі виміру «накопичення складових спектру сигналу» на частоті 438,6 МГц, дорівнює $-16,6$ dBm;
- ширина смуги частот випромінювання каналу зв'язку на рівні -30 dB становить 4,77 МГц;
- відповідно до даних «Національної таблиці розподілу смуг радіочастот України» (Постанова Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2005 р. № 1208), прийомо-передавач працює у частотному діапазоні загального користування (432–438 МГц аматорська радіолокаційна фіксована Супутникова служба дослідження Землі (активна) 5.279A U016 U031 U042 U093);
- форма спектра сигналу має форму наближену до прямокутної, що характерно для спектра цифрового каналу зв'язку;
- енергетичне заповнення спектра сигналу у смузі пропускання каналу зв'язку рівномірне, без провалів, що характерно для застосування в каналі методу ППРЧ.

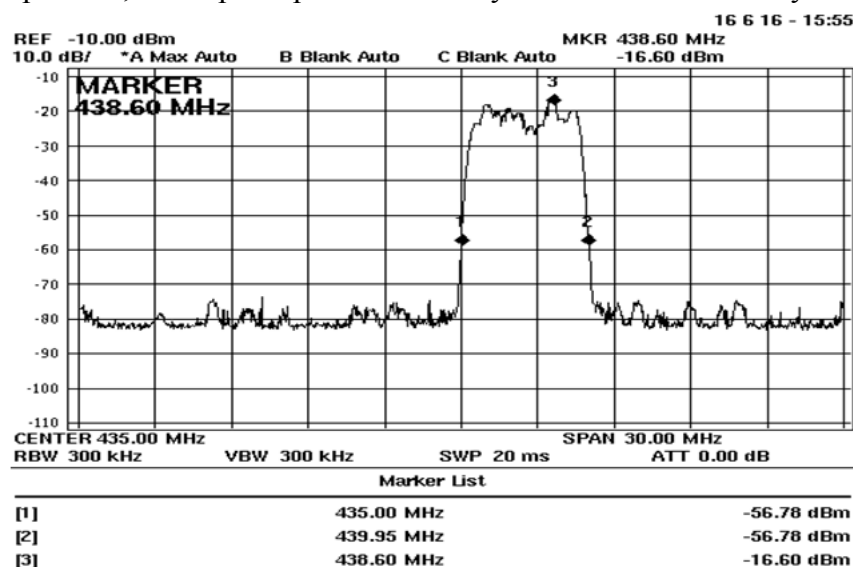


Рис. 4. Спектрограма сигналу каналу передачі даних та телеметрії

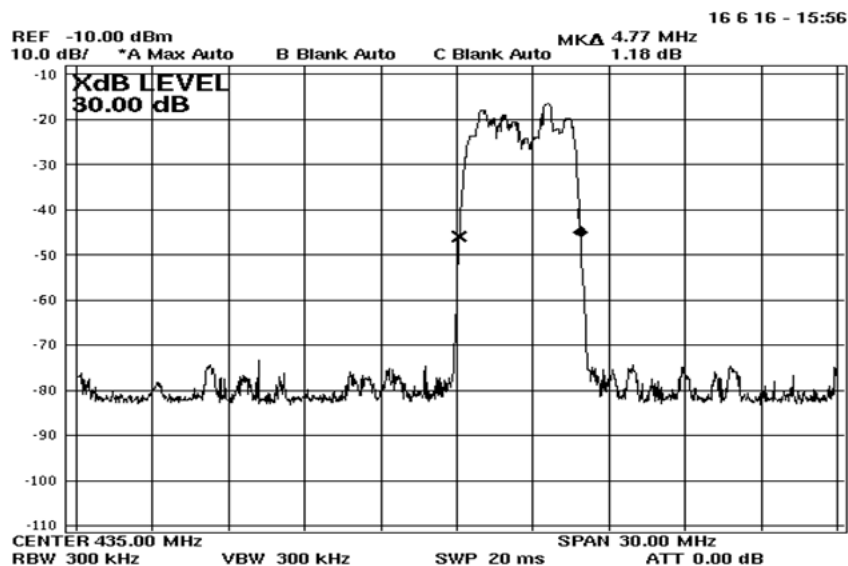


Рис. 5. Спектрограма сигналу каналу передачі даних та телеметрії (на рівні -30 dB)

Використання відносно низького діапазону частот сприяє підвищенню дальності та стійкості каналу передачі даних та телеметрії. Застосування частотного ресурсу з більш високими значеннями призводить до більш значного поглинання в середовищі розповсюдження та оточуючих об'єктах, однак дозволяє реалізувати більш високу швидкість передачі даних у цифровому каналі зв'язку.

Канал передачі відео є аналоговим, реалізований у межах частотного діапазону $1,04\text{--}1,28$ ГГц з можливістю дискретного перелаштування частоти несучої з кроком у 40 МГц у межах діапазону. Канал призначений для передачі в реальному режимі часу з БпЛА на НСУ відеоінформації у стандарті аналогового кольорового телебачення PAL (Phase Alternating Line) про об'єкти розвідки. В наземній частині тракту каналу, а саме в окремому модулі антенного терміналу (ОМАТ) НСУ, реалізовано алгоритм стиснення інформації H264. Для виключення вірогідності бути запеленгованим у місті розгортання БпЛА та запуску БпЛА засобами розвідки вірогідного супротивника, передавач відеоканалу оснащений системою ввімкнення та вимкнення дистанційно з НСУ в режимі реального часу або за польотним завданням. Таким чином, БпЛА здатний здійснити зліт та приземлення в режимі радіотиші, а протягом усього польоту оператор має можливість, за потребою, вмикати або вимикати трансляцію відео з БпЛА.

За результатами аналізу спектрограм сигналу каналу передачі відео (рис. 6–8) можливо зробити висновок про те, що:

- існує можливість дискретного перелаштування частоти-несучої радіоканалу передачі відео в межах частотного діапазону, заявленого виробником;
- центральна частота спектра сигналу (дискретний канал № 1) становить $1,076$ ГГц;
- максимальний рівень спектра сигналу (дискретний канал № 1), отриманий у режимі виміру «накопичення складових спектру сигналу» на частоті $1,0764$ ГГц, дорівнює $-22,6$ dBm;
- ширина смуги пропускання каналу зв'язку (дискретний канал № 1) на рівні -30 dB становить $26,3$ МГц;
- центральна частота спектру сигналу (дискретний канал № 7) становить $1,24$ ГГц;
- максимальний рівень спектра сигналу (дискретний канал № 7), отриманий у режимі виміру «накопичення складових спектру сигналу» на частоті $1,2384$ ГГц, дорівнює $-37,48$ dBm;
- відповідно до даних «Національної таблиці розподілу смуг радіочастот України» (Постанова Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2005 р. № 1208), передавач кана-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

лу відео працює у частотному діапазоні спеціального користування, що призначений виключно для радіоелектронних засобів спеціальних користувачів;

– форма спектра сигналу має ломані передній і задній фронти з багатьма сплесками енергетичних складових, що характерно для форми спектра аналогового сигналу.

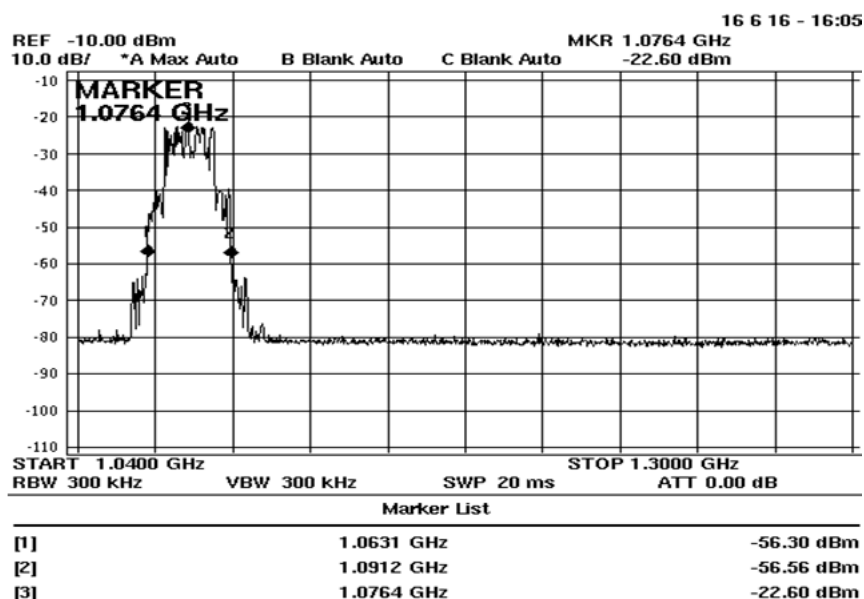


Рис. 6. Спектрограма сигналу радіоканалу передачі відео (дискретний канал 1)

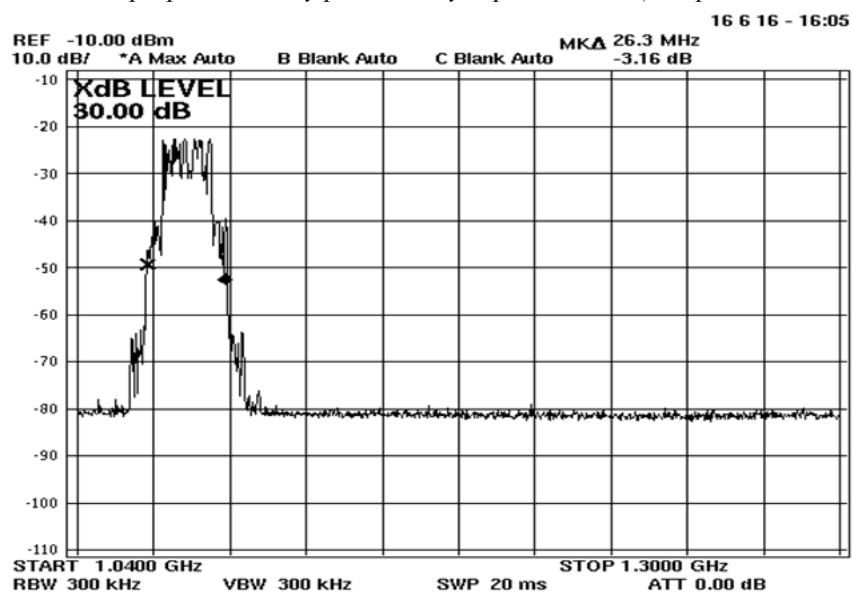


Рис. 7. Спектрограма сигналу радіоканалу передачі відео на рівні мінус 30 dB (дискретний канал 1)

Допоміжний канал керування забезпечує можливість здійснення пілотажу БпЛА у напівавтоматичному режимі в разі виникнення непередбачуваних обставин на етапах пуску БпЛА, а також керування оператором посадкою БпЛА. Крім цього, канал використовується для передстартової перевірки справної роботи аеродинамічних поверхонь та силової установки БпЛА. Після переходу БпЛА в автоматичний режим керування канал автоматично вимикається, що унеможливує несанкціоноване втручання у хід виконання польотного завдання. Канал побудований на базі технології ACCST (Advanced Continous Channel Shiting Tehnology – технологія безперервного перемикання каналів), що забезпечує безпечність та стійкість зв'язку до впливу завад у діапазоні 2,4 ГГц при дальності керування до 1000 метрів. У каналі реалізовано метод ППРЧ.

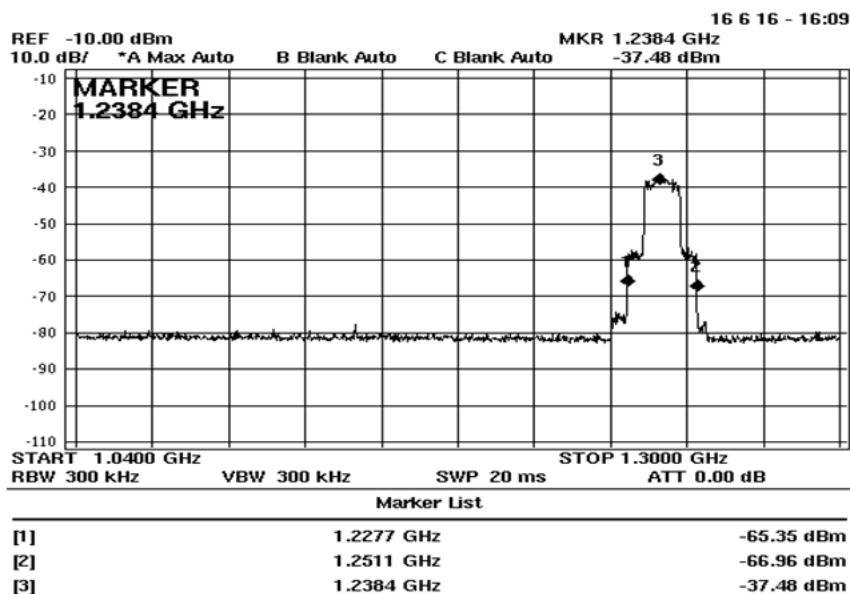


Рис. 8. Спектрограма сигналу радіоканалу передачі відео (дискретний канал 7)

Аналіз спектрограм сигналу допоміжного каналу керування (рис. 9, 10), отриманих під час виконання польотів БПЛА, свідчить про таке:

- частота несучої випромінювання передавача знаходиться в межах частотного діапазону, заявленого виробником;
- центральна частота спектра сигналу на час проведення вимірів становила 2,44 ГГц;
- ширина смуги частот випромінювання каналу зв'язку на рівні -30 dB становить 74,9 МГц;
- максимальний рівень спектра сигналу, отриманий у режимі виміру «накопичення складових спектра сигналу» на частоті 2,43 ГГц, дорівнює $-20,2$ dBm;
- відповідно до даних «Національної таблиці розподілу смуг радіочастот України» (Постанова Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2005 р. № 1208), канал зв'язку БпАК працює у частотному діапазоні загального користування у смузі радіочастот, що класифікується як «фіксована рухома Аматорська Радіолокаційна».

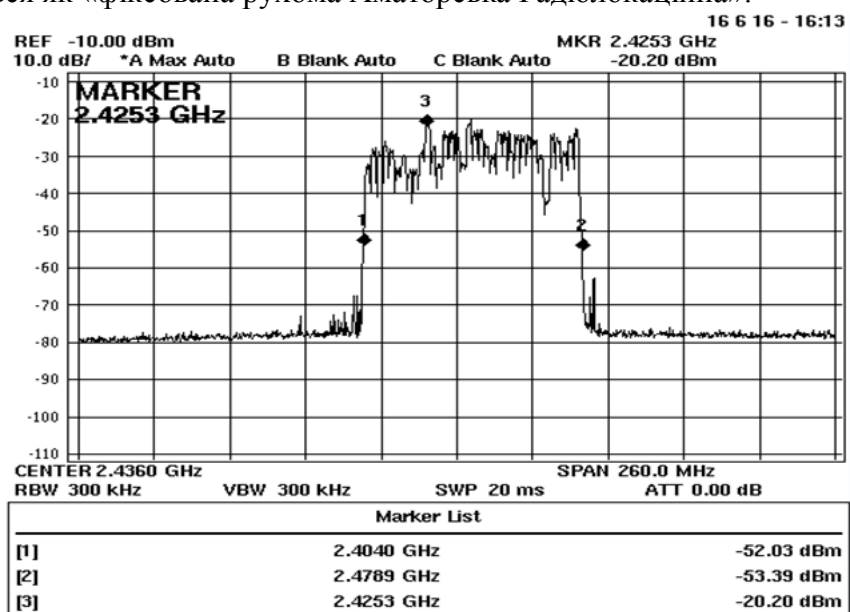


Рис. 9. Спектрограма сигналу допоміжного каналу керування

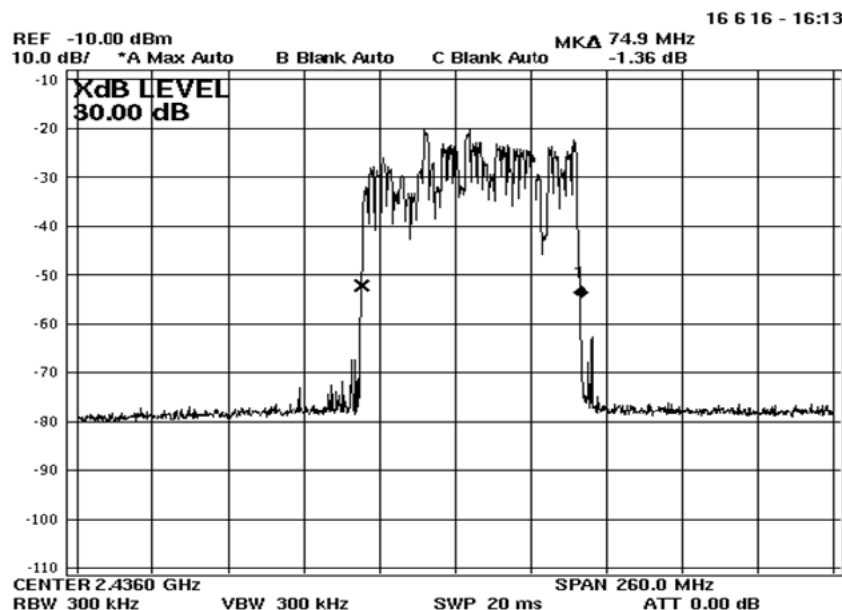


Рис. 10. Спектрограма сигналу допоміжного каналу керування (на рівні -30 dBm)

Під час проведення випробувань з'ясована можливість екстреного переходу з автоматичного в напівавтоматичний режим управління при польоті БПЛА по маршруту, за умови знаходження останнього в зоні дії допоміжного каналу керування.

Враховуючи заявлений радіус дії каналів радіозв'язку, застосування ретрансляторів зв'язку в БпАК «Мара – 2М» не передбачене.

Висновки і пропозиції:

1. З метою протидії технічним засобам радіоелектронного подавлення в сучасних БпАК використовується цифровий канал передачі відео, канал передачі даних (розвідінформації) та канал управління.

2. Основними методами підвищення достовірності в сучасних БпАК є застосування цифрових методів модуляції сигналу (QPSK, QAM, GFSK і т. ін.) та застосування розширення спектра сигналу методом ППРЧ.

3. Для підвищення характеристик достовірності інформації сучасних БпАК пропонується додаткове застосування методів завадостійкого кодування, зокрема турбокодів, кодів Ріда-Соломона, а також їх каскадних конструкцій.

Список використаних джерел

1. Красилщиков М. Н. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий / М. Н. Красилщиков, Г. Г. Себрякова. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 272 с.

2. *Результати* аналізу основних класів БПЛА для оцінювання можливості їх спільного застосування з армійською авіацією / А. М. Алімпієв [та ін.] // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 1 (45). – С. 6–9.

3. Квадратурно-амплітудна модуляція [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://uk.wikipedia.org/wiki/Квадратурно-амплітудна_модуляція.

4. Квадратурно-фазова модуляція [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://uk.wikipedia.org/wiki/Квадратурно-фазова_модуляція.

5. Звіт по результатам демонстраційних польотів БпАК «НАWK» компанії «Drone-TechSRL» (Республіка Молдова). – Чернігів : Державний науково-випробувальний центр ЗС України, 2016. – Інв. № 774. – 67 с.

6. Звіт по результатам демонстраційних польотів БпАК «Мара-2М». – Чернігів : Державний науково-випробувальний центр ЗС України, 2016. – Інв. № 802. – 52 с.

References

1. Krasilshchikov, M.N., Sebriaikova, G.G. (2005). *Upravlenie i navedenie bespilotnykh manevrennykh letatelnykh apparatov na osnove sovremennykh informatsionnykh tekhnologii* [Management and guidance maneuverable unmanned aerial vehicles on the basis of modern information technologies]. Moscow: FYZMATLYT (in Russian).
2. Alimpiiev, A.M. et al. (2016). Rezultaty analizu osnovnykh klasiv BPLA dlia otsiniuvannia mozhlivosti ikh spilnoho zastosuvannia z armiiskoiu aviatsiieiu [The analysis of the main classes of UAVs to evaluate the possibility of joint use of Army Aviation]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika – Weapons systems and military equipment*, no. 1 (45), pp. 6–9 (in Ukrainian).
3. *Kvadrurno-amplitudna moduliatsiia* [Quadrature amplitude modulation]. Retrieved from https://uk.wikipedia.org/wiki/Kvadrurno-amplitudna_moduliatsiia.
4. *Kvadrurno-fazova moduliatsiia* [Quadrature-phase modulation]. Retrieved from https://uk.wikipedia.org/wiki/Kvadrurno-fazova_moduliatsiia.
5. *Zvit po rezultatam demonstratsiinykh polotiv BpAK «HAWK» kompanii «Drone-TechSRL» (Respublika Moldova)* [Report on the results of demonstration flights UAV «HAWK» of «Drone-TechSRL» (Republic of Moldova)] (2016). Chernihiv: Derzhavnyi naukovo-vyprobuvalnyi tsentr ZS Ukrainy. Inv. № 774.
6. *Zvit po rezultatam demonstratsiinykh polotiv BpAK «Mara-2M»* [Report on the results of demonstration flights BpAK «Mara-2M»] (2016). Chernihiv: Derzhavnyi naukovo-vyprobuvalnyi tsentr ZS Ukrainy. Inv. № 802.

Зайцев Сергій Васильович – доктор технічних наук, завідувач кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Зайцев Сергей Васильевич – доктор технических наук, заведующий кафедрой информационных и компьютерных систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Zaitsev Sergey – Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Information and Computer Systems, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: Serza1979@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6643-917X>

Scopus Author ID: 56673709400

Башинська Ольга Олександрівна – аспірант кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Башинская Ольга Александровна – аспирант кафедры информационных и компьютерных систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Bashinskaya Olga – PhD student of the Department of Information and Computer Systems, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: 220kiss_she@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1851-3520>

Камак Юрій Олександрович – начальник відділу наукових досліджень і випробувань безпілотних авіаційних комплексів, Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України (вул. Стрелецька, 1, м. Чернігів, 14013, Україна).

Камак Юрий Александрович – начальник отдела научных исследований и испытаний беспилотных авиационных комплексов, Государственный научно-испытательный центр Вооруженных Сил Украины (ул. Стрелецкая, 1, г. Чернигов, 14013, Украина).

Самас Yuri – Head of Research and Testing of Unmanned Aircraft Systems, State Research and Test Center of the Armed Forces of Ukraine (1 Striletskaya Str., 14013 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: dnvc@meta.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1953-411X>

Горлинський Борис Вікторович – начальник управління Департаменту захисту інформації Адміністрації Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України (вул. Солом'янська, 13, м. Київ, 03110, Україна).

Горлинский Борис Викторович – начальник управления Департамента защиты информации Администрации Государственной службы специальной связи и защиты информации Украины (ул. Соломенская, 13, г. Киев, 03110, Украина).

Horlynskyi Borys – Head of Office of Department of Information Protection of Administration of State Service of Special Communication and Information Protection of Ukraine (13 Solomianska Str., 03110 Kyiv, Ukraine).

E-mail: vjzgoxf@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9993-2427>