*Льєнко В.М., Геращенко М.М., Лось А.М., Саутін О.О. Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки
Сірик О.М. Військова частина А4583*

ОЦІНКА ЯКОСТІ КАНАЛІВ РАДІОЗВ'ЯЗКУ БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

До безпілотних авіаційних комплексів пред'являються і постійно посилюються вимоги щодо зниження маси, зменшення габаритів, збільшення функціональності, польотної дальності безпілотного літального апарату, підвищення енергоефективності та поліпшення характеристик командно телеметричних ліній радіозв'язку. Зміна умов поширення радіосигналів на ділянці наземна станція управління – безпілотний літальний апарат ставить перед необхідністю адаптивної зміни параметрів радіосигналів з метою вибору оптимального режиму каналу зв'язку для поточних умов.

Наведена методика визначає сукупність процедур і правил інструментального оцінювання (вимірювання) частоти радіовипромінювання передавачів каналів радіозв'язку зразків безпілотних авіаційних комплексів засобами радіочастотного контролю з метою перевірки дотримання відповідності її параметрів вимогам, обумовленим технічними умовами або технічним завданням на дослідний зразок безпілотного авіаційного комплексу.

***Ключові слова:** безпілотні літальні апарати, інструментальне оцінювання (вимірювання) частоти, засоби радіочастотного контролю, радіопередавач, передавач.*

Актуальність теми дослідження. Сучасна організація обслуговування та забезпечення надійності високовольтних ліній електропередачі (ЛЕП) як складову частину включає до складу підсистему спостереження за їх станом. Враховуючи велику просторову протяжність ЛЕП, це вимагає, для контролю за їх станом, більш сучасних засобів розвідки та спостереження, аніж традиційний огляд із землі або з використанням пілотованих авіаційних засобів. Подібна проблема має місце у підтриманні в належному стані сонячних електростанцій (СЕ), які займають сотні гектарів площі. Одним з перспективних напрямків розвитку форм та способів підвищення експлуатаційної надійності ЛЕП та СЕ є застосування безпілотних авіаційних комплексів (БпАК) для вирішення завдань розвідки, спостереження та пошуку місць аварій [1-3]. Проте, існує багато проблемних питань щодо створення системи зв'язку для дистанційного управління безпілотними літальними апаратами (далі – БпЛА) середнього та великого радіусу дії, отримання відеоінформації про об'єкти розвідки в режимі реального часу [4].

Постановка проблеми. Одним з важливіших питань на етапі розробки БпАК є питання збереження стійкого та надійного зв'язку, збереження достовірності та цілісності розвідінформації, що отримується з борта БпЛА в режимі реального часу, а також вдосконалення характеристик каналів радіозв'язку (передачі відеозображення, телеметричних даних на наземний пункт управління БпАК).

Наведені у статті підходи інструментальної оцінки дозволять встановити відповідність отриманих значень характеристик частот радіовипромінювання передавачів трактів каналів радіозв'язку БпАК, заявленим Розробником в технічних характеристиках на певний зразок БпАК, перевірити відповідність наданого зразка уточненим вимогам БпАК даного класу, оцінити працездатність окремих модулів системи зв'язку БпАК.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Існуючі методики дозволяють оцінити значення відхилення несучої частоти передавача каналу радіозв'язку БпАК в штатному режимі його роботи від заявленого Розробником значення дослідного зразка за результатами інструментального вимірювання середньої або присвоєної частоти модульованого радіовипромінювання.

Мета статті. Провести аналіз методів, технічних засобів та умови інструментальної оцінки частоти радіовипромінювання передавачів трактів каналів радіозв'язку БпАК енергосистем засобами радіочастотного контролю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наявні методичні підходи зумовлюють сукупність процедур і алгоритмів інструментального оцінювання частоти радіовипромінювання передавачів каналів радіозв'язку дослідних зразків БпАК засобами радіочастотного контролю (далі – методика) з метою перевірки дотримання відповідності її параметрів вимогам, обумовленим технічними умовами (далі – ТУ) або технічним завданням (далі – ТЗ) на розробку дослідного зразка.

Для інструментального оцінювання (вимірювання) частоти випромінювання передавача радіоканалу БпАК за цими методиками застосовують технічні засоби радіочастотного контролю з характеристиками, які є достатніми для проведення вимірів параметрів та характеристик каналу радіозв'язку БпАК, заявленого Розробником.

Терміни та визначення понять, які застосовані у методиках, наведені у ДСТУ 3254, ДСТУ 3592, ГОСТ 24375 та чинних правових документах України, термінологічних словниках.

Далі наведені основні принципи та методи інструментального оцінювання (вимірювання) частоти випромінювання передавачів каналів радіозв'язку БпАК, обґрунтовані методи розрахунку значення її відхилення.

Інструментальне оцінювання (вимірювання) частоти радіовипромінювання передавачів трактів каналів радіозв'язку БпАК (далі – передавачі) проводиться в ході випробувань в процесі радіоконтролю з метою перевірки допустимих відхилень частоти передавачів на відповідність даним, наведеним в технічній документації на дослідний зразок БпАК.

Основні способи й методи інструментального оцінювання (вимірювання) частоти передавача, визначення її відхилення від присвоєного значення під час технічного радіоконтролю, а також вимоги до засобів вимірювальної техніки та обладнання наведені в ГОСТ 30338–95 [13].

Згідно з вимогами ГОСТ 30338–95 оцінку відхилення частоти передавачів потрібно проводити з урахуванням впливу на тракт каналу радіозв'язку усіх дестабілізуючих чинників, таких, як: кліматичні фактори (вологість, опади у вигляді дощу/снігу, температура повітря), колювання рівня напруги й частоти мережі електроживлення тощо [10]. З метою підвищення достовірності результатів вимірювань частоту передавачів необхідно виміряти не менше 10 разів поспіль з послідовним визначенням середнього арифметичного значення Δf різниці між виміряним f_i ($i = 1, 2, \dots, n$) і присвоєним (заявленим Розробником) f_n значеннями частоти за формулою:

$$\Delta f = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n |f_i - f_n| \right], \quad (1)$$

де f_i – виміряне значення частоти;

f_n – присвоєне (заявлене Розробником) значення частоти;

Δf – середнє арифметичне значення між виміряним і присвоєним значеннями частоти.

Передавач, частота якого вимірювалася, відповідає даним, заявленим Розробником в технічній документації на дослідний зразок БпАК щодо допустимого відхилення частоти, вираженого у мільйонних долях ($\pm N \cdot 10^{-6}$) або в Гц (N_1), якщо:

$$\frac{\Delta f}{f_n} \leq N \quad (2)$$

або

$$\Delta f \leq N_1, \quad (3)$$

де N – допустиме відхилення частоти, заявлене Розробником.

Вимірювання частоти проводять безпосередньо на антенному виході передавача, за допомогою підключеного до вихідних ланцюгів передавача через еквівалент навантаження та узгоджуючий елемент електронно-лічильного частотоміра [11].

Відповідно до вимог ГОСТ 30338–95, нормативні значення відхилення частоти передавачів залежать виключно від потужності передавачів і не залежать від інтервалу часу, впродовж якого вони повинні дотримуватися. Тому, процес вимірювання частоти може здійснюватися як в ході проведення передпольотних перевірок БпАК, так і в ході виконання польотних завдань БпЛА.

В технічних характеристиках на деякі передавачі каналів радіозв'язку БпАК відхилення частоти від присвоєного значення визначені іншим чином, а саме: відхилення робочої частоти передавача від присвоєного значення впродовж місяця не повинні перевищувати нормованого значення. Як правило, числові показники цих норм жорсткіші за норми, регламентовані ГОСТ 30338–95.

У більшості випадків на випробувальних майданчиках оцінка частоти випромінювання передавача проводиться на значній відстані від місця розгортання наземної станції керування БпАК, шляхом визначення відхилення несучої частоти передавача від заявленої Розробником частоти за результатами інструментального оцінювання (вимірювання) середньої або характерної частоти модульованого радіовипромінювання в штатному режимі роботи технічних засобів радіозв'язку.

Виклад основного матеріалу. На сьогоднішній день дистанційне вимірювання частоти виконується автоматизованими методами. Структурна схема типової автоматизованої системи наведена на рисунку 1. Основними складовими частинами такої системи є цифровий вимірювальний радіоприймальний пристрій (далі – ЦРПП) з синтезатором частоти, частотомір та процесор. Функція частотоміра заздалегідь виконується за допомогою прикладного програмного забезпечення, встановленого на електронній обчислювальній машині (далі – ЕОМ), до складу якої входить зазначений процесор.

Рис.1. Структурна схема типової автоматизованої системи вимірювання частоти

Процесор забезпечує функцію керування роботою ЦРПП та ЕОМ, здійснює математичне обчислення даних, отриманих після проведених вимірювань. Отримавши від Розробника БпАК вихідні дані у вигляді характеристик та параметрів радіоканалів, процесор за допомогою синтезатора частоти налаштовує ЦРПП на необхідну частоту шляхом комутації його вхідних каскадів (фільтрів) та встановлює певне значення ширини його смуги пропускання. Як правило, синтезатор частоти керується стандартною частотою, тому центри смуг пропускання трактів високої частоти (далі – ВЧ) і проміжної частоти (далі – ПЧ) ЦРПП визначаються доволі точно. Зважаючи на те, що у всіх вимірюваннях частота ВЧ сигналу ЦРПП перетворюється у певне значення частоти ПЧ, то за вимірним значенням ПЧ завжди можна визначити числове значення частоти ВЧ. Подальші операції щодо вимірювання частоти, а також розрахунку її відхилення від присвоєного (заявленого Розробником) значення проводяться за допомогою програмного забезпечення ЕОМ. При цьому

селективність прийомного тракту ЦРПП послідовно та досить швидко налаштовується процесором на відповідну кількість заздалегідь запрограмованих значень частот, в залежності від кількості радіоканалів БпАК, для їх приймання. При виявленні ВЧ радіосигналу в каналі, радіовипромінювання якого оцінюється, ЦРПП автоматично налаштовує свою подальшу роботу у певній смузі частот. Під керуванням процесора проводиться вимірювання значення частоти цього радіосигналу, а також подальший розрахунок її відхилення від присвоєного значення. Впродовж процедури вимірювання присвоєної частоти радіоканалу та фіксації її відхилення постійно існує можливість призупинення циклу швидкісного сканування ЦРПП у визначеному діапазоні частот. Виміряні значення частот, їх відхилення, а також деякі інші параметри радіовипромінювань передавачів БпАК сумісно з датою та часом проведення вимірів фіксуються в автоматичному режимі у вигляді протоколу в програмному регістрі ЕОМ. Оскільки вся система управляється ЕОМ, реалізація даного методу дає можливість досить швидко здійснювати оцінку значень частот та їх відхилень шляхом настройки ЦРПП на будь-яку частоту в межах заданого частотного діапазону [11].

Враховуючи рекомендації Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ) [8] у вітчизняних засобах радіочастотного контролю найбільшого застосування здобули два методи, які можуть бути застосовані під час проведення інструментального оцінювання частоти радіовипромінювання передавачів БпАК:

а) з використанням лічильника та послідуною програмною обробкою даних за результатами вимірювання;

б) шляхом аналізу радіочастотного спектра (далі – РЧС) [13] методом спектральної щільності потужності з використанням швидкого перетворення Фур'є (далі – ШПФ) і наступною програмною обробкою даних за результатами вимірювання.

Апаратно-програмний спосіб вимірювання частоти з використанням лічильника здійснюється шляхом підрахунку кількості імпульсів або переходів амплітуди напруги сигналу через нульовий рівень, які формуються з сигналу ПЧ ЦРПП за визначений інтервал часу, наприклад, за 1 секунду. При цьому інтервал дискретизації лічильника (цикл його роботи) розраховується за формулою:

$$T = T_1 + T_2, \quad (4)$$

де T_1 – часовий інтервал вимірювання (підрахунку імпульсів);

T_2 – часовий інтервал запису показань лічильника в програмний регістр ЕОМ.

Час, необхідний для запису показань лічильника в програмний регістр ЕОМ, визначається швидкодією його процесору і знаходиться у межах значень від 30 мс до 50 мс, проте, в окремих випадках, коли процесор ЕОМ паралельно із записом показників завантажено виконанням інших розрахункових операцій, може бути більшим.

ВЧ коливання вимірюється аналогічно тому, як це виконується електронно-лічильним частотоміром. При цьому, визначені надалі значення відхилення частоти від присвоєного значення будуть мінімальними за умови застосування в ході вимірювань накопичень та усереднень за частотою.

Перевагою цього методу є досить висока точність вимірювання частоти, а недоліком те, що ширина спектра радіосигналу під час вимірювання обмежується величиною ширини смуги ЦРПП, яка, як правило, складає декілька сотен кілогерц.

Відхилення частоти радіосигналу від присвоєного значення можливо визначити безпосередньо за допомогою лічильника іншим шляхом. Радіочастота, що приймається ЦРПП, відхилення якої потрібно виміряти, трансформується за допомогою синтезатора частот в ПЧ. Оскільки синтезатор керується сигналами кварцового генератора опорної частоти з еталонною стабільністю, то абсолютне значення відхилення частоти радіосигналу на рівні ПЧ повністю відповідає відхиленню частоти на рівні ВЧ. На початку кожного вимірювання на лічильнику, що з'єднаний з каскадом ПЧ, попередньо встановлюється значення частоти ПЧ. Потім, в ході вимірювання частоти радіосигналу, лічильник фіксує в режимі інверсійного відліку кількість імпульсів, що з'явилися впродовж певного інтервалу.

За результатами підрахунку імпульсів можливі наступні варіації:

а) частота, що виміряна, точно відповідає присвоєному значенню, тому в момент завершення терміну вимірювання показники лічильника сягають нуля;

б) частота, що виміряна, менша присвоєного значення, тому в момент завершення терміну вимірювання показники лічильника не досягнуть нуля, і дадуть деякий додатній залишок, який після зміни знака на протилежний буде відповідати від'ємному значенню відхилення частоти;

в) частота, що виміряна, більша за присвоєне значення, тому показання лічильника сягають нуля до закінчення терміну вимірювання, що призводить до переведення лічильника в режим подальшого прямого відліку кількості імпульсів, а підрахований їх кількісний залишок у момент завершення терміну вимірювання буде відповідати значенню відхилення частоти з додатнім знаком.

Зазначений метод дозволяє реалізувати високу точність вимірювання. Його застосування є доцільним у разі проведення вимірювань середньої частоти модульованого безперервного випромінювання радіосигналу (без затримок на інтервалі відліку). Обмеженням до застосування методу є утворення несприятливих комбінацій, які виникають в ході вимірювання частоти сигналів з частотною модуляцією, високою девіацією частоти з низькою частотою модуляції та доволі малим інтервалом вимірювань [11].

Оскільки, більшість РЧС радіовипромінювань, отриманих за результатами оцінки параметрів каналів зв'язку в ході дослідних випробувань БпАК класу “Міні” (тактичні – поля бою) мають обвідну РЧС характерної форми, наближеної до форми “дзвону” (Рис.2), визначення частоти радіовипромінювання здійснюється шляхом аналізу РЧС контрольованого сигналу методом спектральної щільності потужності.

Рис.2. Приклади РЧС радіовипромінювань каналів зв'язку БпАК

Застосування методу дозволяє здійснювати визначення ширини спектру B_x радіосигналу на певному рівні (контрольної смуги частот) за умови визначення центральної частоти f_0 шляхом аналізу РЧС на рівні мінус X дБ (Рис.3). Безпомилково, застосування методу досить ефективно для спектрів вузькосмугових сигналів з симетричним спектром відносно центральної частоти.

Рис.3. Фрагмент обвідної РЧС у формі дзвону

Технічні засоби радіочастотного контролю, які застосовуються для інструментального оцінювання (вимірювання) частоти шляхом аналізу РЧС методом спектральної щільності потужності з використанням ШПФ, містять наступні переваги:

- простота реалізації;
- можливість одночасного вимірювання як частоти, так і ширини спектру сигналу в широкій смузі частот;
- висока точність та роздільність за частотою;
- просте налаштування на контрольовані смуги частот та регулювання (з клавіатури ЕОМ або аналізатора спектру);
- висока гнучкість, що дозволяє залучати технічні засоби радіочастотного контролю для роботи у відокремлених смугах частот;
- можливість проводити інструментальну оцінку у безпосередній близькості до джерела радіовипромінювання (передавача радіоканалу БпАК);
- обирати найменше значення смуги пропускання серед розрахованих значень.

Основними недоліками методу є суттєва залежність значень виміряних параметрів радіосигналу від рівня симетрії його спектру. Будь які спотворення інформативного корисного сигналу у процесі обміну даними призводять до асиметрії його РЧС, і як наслідок – до збільшення похибок вимірювання та розрахунків.

В залежності від умов проведення випробувань БпАК для оптимального вибору методу вимірювання частоти та визначення відхилення частоти радіосигналу від присвоєного значення необхідно здійснити аналіз форми обвідної його РЧС.

В разі, якщо центральна частота спектра чітко виражена (Рис.4), проводять вимірювання її значення апаратно-програмним методом з використанням лічильника.

Якщо ж обвідна РЧС має форму з нечітко вираженою центральною частотою, то на певному рівні мінус X дБ відносно рівня випромінювання, прийнятого за 0 дБ, необхідно визначити характерні частоти спектра цього сигналу, на яких із спектра “вирізається” його частина, з подальшим аналізом якої визначається центральна частота як центр симетрії цієї частини спектра (Рис.3).

Рис.4. Фрагмент РЧС з чітко вираженою центральною частотою

Похибки при вимірюванні частоти, що виникають за рахунок присутності завад різного походження та (або) модуляції радіосигналу можуть контролюватися в ході вимірювань. За необхідності, їх значення можуть бути зменшені до прийнятних величин шляхом раціонального вибору часу усереднення вимірювань та виконання вимог цієї методики.

Якщо радіовипромінювання має імпульсну природу (з тривалістю меншою за час усереднення отриманих даних) або його поява в ефірі носить епізодичний характер, показання частотоміра можуть мати методичні похибки, що обумовлені відсутністю сигналу на вході його лічильника або впливом радіошумів впродовж паузи. Виникнення таких умов цілком можливе у процесі контролю радіовипромінювання передавачів, наприклад, у ході виконання польоту БпЛА на граничних відстанях від наземної станції керування БпАК або потрапляння БпЛА в зону радіотіні. Характерні частоти таких випромінювань доцільно вимірювати методом спектральної щільності потужності з використанням ШПФ і наступним програмним обробленням даних за результатами вимірювання.

Зазначені методи, завдяки комп'ютеризації процесу вимірювання та незначній кількості апаратних складових частин, мають високу надійність і дозволяють:

накопичувати дані за результатами вимірювання та дані щодо РЧС контрольованих сигналів;

здійснювати регулювання та переналаштування системи;

передавати інформацію за результатами радіоконтролю каналами зв'язку для їх подальшого оброблення, аналізу та накопичення.

Під час проведення інструментального оцінювання частоти повинні дотримуватися вимог безпеки та охорони праці, зазначені в інструкціях з експлуатації засобів радіочастотного контролю, засобів вимірювальної техніки і допоміжного обладнання.

Викладена тут методика оцінки параметрів радіоканалу БпАК спостереження за станом великих енергосистем дозволить підвищити надійність роботи БпАК, що в цілому сприяє підвищенню експлуатаційної надійності підконтрольних їм енергосистем.

Висновки

За вказаною методикою передбачається інструментальне оцінювання (вимірювання) частоти радіовипромінювання передавачів трактів каналів радіозв'язку БпАК та визначення її відхилення із застосуванням вимірювального обладнання, яке забезпечує:

можливість аналізу РЧС випромінювання передавачів радіоканалів БпАК під час їх роботи в штатному режимі;

можливість вибору необхідного сигналу зі спектру частот;

можливість вимірювання частоти або її відхилення методом спектральної щільності потужності або з використанням лічильника;

повторюваність вимірів (можливість проведення багаторазових вимірювань впродовж польоту БпЛА без повторного калібрування самого обладнання або його складових частин);

високу точність;

можливість збереження отриманих даних для їх аналізу;
можливість управління процесом контролю та оброблення даних за допомогою ПЕОМ;

можливість проведення інструментальної оцінки у безпосередній близькості до джерела радіовипромінювання (передавача радіоканалу БпАК).

Отримані дані дозволять оцінювати зміни параметрів радіосигналів під час випробувань нових БпАК для обслуговування та забезпечення надійності високовольтних ліній електропередачі з метою вибору оптимального режиму каналу зв'язку для поточних умов.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гриб О.Г. Использование беспилотных летательных аппаратов для безопасности функционирования линий электропередачи / О.Г. Гриб [и др.] // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ": зб. наук. пр. Сер.: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Харків: НТУ "ХПІ", 2017. – Вип. № 31(1253). – С. 19–24.
2. Горюшко В.В. Диагностика линий электропередач при помощи летательного аппарата повышенной дальности действия / В.В. Горюшко [и др.] // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ": зб. наук. пр. Сер.: Енергетика: надійність та енергоефективність = Bulletin of the National Technical University "KhPI": coll. sci. papers. Ser.: Energy: Reliability and Energy Efficiency. – Харків: НТУ "ХПІ", 2018. – Вип. № 10(1286). – С. 19–23.
3. Бабак С.В. Особливості практичного використання автономних діагностичних комплексів для теплового контролю повітряних ліній електропередачі / С.В. Бабак, М.В. Мислович // Технічна електродинаміка. – 2016. – Вип. № 1. – С. 73–80. – Бібліогр.: 14 назв. – укр.
4. Сапожников В.О. Эффективность деятельности оператора в системе дистанционного управления беспилотными летательными аппаратами / В.О. Сапожников // Журнал Белорусского государственного университета. Философия. Психология. – Минск: БГУ, 2020. – Вип. № 3. – С. 109–113.
5. Устройства радиопередающие всех категорий и назначений народнохозяйственного применения: ГОСТ 30338–95.
6. Регламент радиосвязи: сборник рабочих материалов по международному регулированию планирования и использования радиочастотного спектра. – Т. 1. – М, 2004.
7. Інструментальне оцінювання (вимірювання) частоти радіовипромінювання передавачів засобами радіочастотного контролю: методика від 22.01.2007 № 12. – УДЦР.
8. Справочник по радиоконтролю. – Женева: МСЭ, 2002.
9. Про радіочастотний ресурс України: Закон України від 01.06.2000 р. № 1770-III: зі змінами від 24.06.2004 р. № 1876-IV.
10. Радіозв'язок. Терміни та визначення: ДСТУ 3254–95.
11. Сигнали радіотехнічні вимірювальні. Терміни та визначення: ДСТУ 3592–97.
12. Телебачення мовне. Системи аналогового телебачення звичайної чіткості. Основні параметри та методи вимірювань: ДСТУ 3837–99.
13. Система стереофонічного звукового мовлення пілот-тоном. Загальні технічні вимоги. Методи вимірювання: ДСТУ 4053–2001.

Ільєнко Володимир Миколайович

старший науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2854-1012>
E-mail: valdek_yes1967@ukr.net

Volodymyr Iliencko

Senior Researcher of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2854-1012>
E-mail: valdek_yes1967@ukr.net

Максим Михайлович Геращенко

начальник відділу Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна

<https://orcid.org/0000-0001-6587-0355>

E-mail: demio99@ukr.net

Лось Андрій Миколайович

молодший науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-0076-1745>

E-mail: andriilos91@gmail.com

Саутін Олександр Олександрович

старший науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-8167-8862>

+38-095-121-50-12

Сірик Олександр Миколайович

начальник відділу планування та управління – заступник начальника управління зв'язку та інформаційних систем штабу військової частини А4583, Чернігів, Україна.

<https://orcid.org/0000-0001-6738-449X>

+38-067-424-20-70

Maksym Gerashchenko

Chief of Section of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-6587-0355>

E-mail: demio99@ukr.net

Andrii Los

Junior Researcher of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-0076-1745>

E-mail: andriilos91@gmail.com

Oleksandr Sautin

Senior Researcher of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-8167-8862>

+38-095-121-50-12

Oleksandr Siryk

Chief of Planning and Management Section – Deputy Chief of Communications and Information Systems Division of Military Unit Headquarters A4583, Chernihiv, Ukraine.

<https://orcid.org/0000-0001-6738-449X>

+38-067-424-20-70

ASSESSMENT OF THE QUALITY OF RADIO COMMUNICATION CHANNELS OF UNMANNED AERIAL SURVEILLANCE SYSTEMS

V Iliencko, M Gerashchenko, A Los, O Sautin and O Siryk

Unmanned aerial vehicles (UAVs) allow effective solving the problems of reconnaissance, relaying information on targets to means of fire destruction and striking on any type of object. However, there are many problematic issues regarding the creation of a communication system for remote control of UAV of medium and long range, obtaining video information about reconnaissance objects in real time.

The methods allow to estimate the value of the deviation of the carrier frequency of the transmitter of the radio communication channel of unmanned aerial system (UAS) in the normal mode of its operation from the value of the prototype stated by the Developer based on the instrumental measurement of the average or assigned frequency of modulated radio emission.

The purpose of the article is to consider the methods, technical means and conditions of instrumental evaluation of the radio emission frequency of UAV's radio channels transmitters by means of radio frequency control.

This technique defines a set of procedures and rules for instrumental evaluation (measurement) of radio frequency of UAVs prototypes radio transmitters by means of radio frequency control in order to verify compliance of its parameters with the requirements of technical conditions or specifications for experimental aircraft.

Keywords: *unmanned aerial vehicles, instrumental evaluation (measurement) of frequency, means of radio frequency control, radio transmitter, transmitter.*