

Ільєнко В.М., Ісаченко О.О., Лось А.М., Геращенко М.М., Рудніченко С.В. Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки

ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ БЕЗПЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ І ТА ІІ КЛАСУ

Через відсутність сучасних типових методик випробувань каналів зв'язку сучасних безпілотних авіаційних комплексів І та ІІ класів, згідно класифікації БпАК Збройних Сил України, доцільно визначити основні підходи до обґрунтування показників, умов та порядку проведення випробувань за даним напрямком.

Запропоновані методичні рекомендації дозволять підвищити якість оцінки параметрів та характеристик каналів зв'язку БпАК І та ІІ класів.

Ключові слова: *безпілотні авіаційні комплекси, методики проведення випробувань БпАК, канал зв'язку БпАК, випробування БпАК*

Постановка проблеми. Одним з характерних напрямків розвитку сучасних форм та способів ведення збройної боротьби на всіх стадіях збройного конфлікту є широке застосування протидіючими сторонами безпілотних авіаційних комплексів (БпАК). БпАК здатні суттєво підвищити ефективність вирішення завдань з ведення повітряної розвідки, організації радіоелектронної боротьби, забезпечити в режимі реального часу видачу цілевказівок вогневим засобам для знищення бойової техніки і живої сили противника.

Характерною особливістю застосування БпАК є те, що його зовнішній екіпаж під час виконання місії, як правило, знаходиться на значній відстані від об'єктів спостереження, і цей факт значно зменшує безпекові ризики та загрози, пов'язані з виконанням бойових завдань в умовах активної протидії противника. Саме завдяки цій особливості значна увага при розробці комплексів приділяється створенню надійної системи зв'язку, яка спроможна забезпечити управління БпАК на максимальній відстані від пунктів виконання завдань.

Під час розробки БпАК технічні, економічні та інші вимоги до ліній керування та контролю безпілотним літальним апаратом (БпЛА) наводяться в тактико-технічному (технічному) завданні (ТТЗ) на виконання дослідно-конструкторської роботи (ДКР). Вимоги ТТЗ на ДКР передбачають створення надійних та ефективних зразків (складових частин) з урахуванням застосування прогресивних принципів конструювання, технологій виробництва, обслуговування та ремонту.

Для підтвердження якісних і кількісних показників створеної системи зв'язку БпАК на основі типових програм та методик проведення практичних експериментів (випробувань) розробляються часткові програми та методики.

У зв'язку з тим, що типові програми та методики випробувань описані у відповідних випусках “Руководства по испытаніям авиационной техники”, які розроблено в 70-х роках ХХст., існує потреба в удосконаленні існуючих програмно-методичних документів, умов та порядку проведення випробувань БпАК, формуванні сучасних системних підходів для визначення показників системи зв'язку.

Актуальність дослідження. Враховуючи значну кількість типів БпАК І та ІІ класів, які виготовляються вітчизняними підприємствами в інтересах Збройних Сил та інших складових сектору безпеки і оборони держави, актуальним залишається питання створення єдиного підходу до визначення номіналів та смуг частот каналів зв'язку для БпАК, як спеціальних користувачів радіочастотного ресурсу України.

Мета статті. Розробити сучасні методи та способи оцінки якісних та кількісних показників радіоканалів БпАК І та ІІ класів.

Основна частина. За результатами узагальнення здобутого практичного досвіду під час випробувань, оптимальним варіантом побудови системи зв'язку БпАК I та II класів є використання ультракороткохвильових (УКХ) каналів в діапазоні (0,4 – 6,0) ГГц.

Головними факторами, які обмежують використання УКХ діапазону, є:

дальність прямої радіовидимості між БпЛА і наземним пунктом управління (НПУ), яка, у свою чергу, залежить від висоти польоту БпЛА і висоти підйому (виносу) антени НПУ; бюджет каналу зв'язку; масогабаритні характеристики апаратури зв'язку.

Розрахунки залежності дальності прямої радіовидимості між БпЛА і НПУ, висоти польоту БпЛА і висоти підйому (виносу) антени НПУ свідчать про те, що стійкий зв'язок у частотному діапазоні (0,4 – 6,0) ГГц зі швидкістю передачі даних до 5 Мбіт/с на відстані до 60 км можливо організувати при висоті польоту БпЛА до 3 км.

Іншим важливим параметром при побудові системи зв'язку є бюджет каналу зв'язку. Основними факторами, що мають вплив на бюджет каналу є направленість антен, потужність та чутливість приймача.

Потужність сигналу передавача, який передається фідером в антену, визначається за допомогою вимірника прохідної потужності, який підключається до входу в антену або до виходу передавача зі штатним фідером.

Чутливість приймача – це мінімальний рівень сигналу на його вході, за яким забезпечується задане відношення сигнал/шум і рівень корисного сигналу на виході приймача.

Доведено, що належний рівень зв'язку досягається при бюджеті каналу не менш ніж 5 дБ.

Обмеження на масо-габаритні характеристики апаратури зв'язку БпЛА не дозволяють розміщення на борту літального апарату крупноапертурної антени, яка забезпечує високий коефіцієнт підсилення і розміщення потужного прийомо-передавального пристрою.

Для забезпечення належного рівня підсилення бортової антени можливе використання:

- багатоелементної фазованої антенної решітки з керованою діаграмою направленості;
- декількох антен з відносно вузькою діаграмою направленості та засобів їх комутації;
- антени з параболічним рефлектором на опорно-поворотному пристрої.

Перевагою багатоелементної фазованої антенної решітки є можливість електронного сканування напрямком діаграми направленості по азимуту і куту місця. Для забезпечення необхідного значення коефіцієнта підсилення багатоелементної антенної решітки потрібно від 32 до 64 її окремих елементів, що призводить до необхідності побудови досить складної системи синхронізації.

Використання декількох антен з вузькою діаграмою направленості сумісно з засобом комутації дозволяє організувати зв'язок у будь-якому напрямку. Так, якщо антена має діаграму направленості 60°, рівномірне розміщення у фюзеляжі БпЛА 6 таких антен забезпечить повний кут “огляду” на 360°. Перевагою такого варіанту є можливість використання одного прийомо-передавального модуля, який з використанням комутатора буде переключатися на потрібну антену в залежності від напрямку прийому/передачі. До недоліків такого рішення слід віднести збільшені втрати потужності корисного сигналу в комутуючому пристрої та можливі перерви передачі даних, які обумовлені втратами часу на комутацію антен. Останній недолік може бути компенсовано при передачі даних за рахунок бортової буферизації потоку даних.

Використання у високочастотному тракті БпЛА антени з параболічним рефлектором на опорно-поворотному пристрої дозволяє використовувати одну антену для безперервного стеження за НПУ та забезпечувати безперервним зв'язком всі складові БпАК. Орієнтація поворотної платформи у просторі може розраховуватись бортовими обчислювальними засобами та навігаційною інформацією, яка отримується з польотного контролера.

Оптимальним є розміщення на опорному поворотному пристрої всієї бортової прийомо-передавальної апаратури, що дозволяє відмовитись від волноводних переходів, які обертаються, що збільшує енергетичні втрати корисного сигналу та знижує надійність.

При оцінці тактико-технічних характеристик радіоліній БпАК перевіряються:

- структура та принцип побудови трактів радіозв'язку каналів управління та передачі відео;
- особливості розміщення основних вузлів (блоків) трактів радіозв'язку в БпЛА та в НПУ;
- порядок та особливості доступу до складових трактів радіозв'язку в ході проведення ремонту або технічного обслуговування БпАК;
- контролепридатність апаратури радіозв'язку;
- перевірка можливості зміни робочих частот каналу радіозв'язку;
- оцінка дальності дії радіоліній в умовах прямого радіобачення;
- алгоритм функціонування БпЛА в разі відмови або придушення каналу радіозв'язку;
- оцінка параметрів випромінювань радіоканалу.

Оцінка структури трактів каналів зв'язку, працездатність систем та агрегатів БпАК здійснюється шляхом спостереження за роботою БпАК під час передпольотних налаштувань (перевірок), під час виконання польотів та післяпольотного технічного обслуговування комплексу.

Аналіз основних елементів трактів зв'язку БпАК “борт-земля”, “земля-борт” здійснюється окремо. Також, тракт радіоканалу поділяється на високочастотну (ВЧ) та низькочастотну (НЧ) складові.

Перевірка елементів радіоканалу “борт-земля” включає:

а) для ВЧ складової:

- тип та модель антен, їх поляризація;
- характеристика діаграм спрямованості;
- місця розміщення антен в площині крила або фюзеляжу БпЛА;
- спосіб з'єднання антен з ВЧ елементами трактів, тип ВЧ роз'ємів;
- наявність diversity-модуля або реалізованого стандарту МІМО;
- тип приймачів (передавачів) або модемів, їх частотний діапазон;
- особливості електроживлення ВЧ елементів трактів;

б) для НЧ складової:

- місце розташування НЧ елементів, вузлів, блоків в БпЛА;
- спосіб з'єднання з ВЧ частиною трактів, тип роз'ємів, місце їх розташування, особливості монтажу дровових з'єднань (жгутування та прокладання);
- особливості електроживлення, наявність DC/DC перетворювачів.

За результатами візуального спостереження за діями членів екіпажу БпАК в ході проведення передпольотної підготовки з'ясовується наявність достатнього доступу до елементів та вузлів трактів каналів зв'язку для їх технічного обслуговування або ремонту.

Апаратура радіолінії “земля-борт” реалізована в наземному обладнанні БпАК, а саме в НПУ та антенному комплексі НПУ.

Аналіз та оцінка НПУ включає перевірку працездатності та надання характеристик складовим елементам НПУ та комплекту з'єднувальних та інтерфейсних кабелів.

Для антенного комплексу НПУ перевіряються:

- тип та модель антен, їх поляризація;
- характеристика діаграм направленості;
- спосіб з'єднання антен з ВЧ елементами трактів, тип ВЧ роз'ємів;
- наявність diversity-модуля або стандарту МІМО;
- тип приймачів (передавачів) або модемів, їх частотний діапазон;
- особливості електроживлення ВЧ елементів трактів;
- наявність пристрою автоматичного юстування антен.

Окремим елементом антенного комплексу НПУ є антенна щогла.

Оцінка антенної щогли передбачає аналіз:

- загальної конструкції та розмірів в робочому та похідному станах;
- місце розміщення та способу кріплення антен;
- наявності засобів для кріплення кабелів та арматури для кріплення щогли.

Контролепридатністю апаратури радіозв'язку є її придатність для перевірки технічного стану, знаходження пошкоджень за допомогою систем контролю, в тому числі й автоматизовано.

Перевірка контролепридатності здійснюється шляхом проведення практичних робіт з контролю її параметрів для кожного етапу технічного обслуговування.

Оцінка контролепридатності включає:

- достатність об'єму параметрів апаратури, які контролюються, для визначення її технічного стану та знаходження пошкоджень;
- зручність знімання інформації про стан апаратури;
- регулювання та налаштування обладнання без демонтажу з БпЛА;
- ступінь автоматизації та глибини контролю;
- оцінка зручності і безпеки технічного обслуговування апаратури.

Перевірка можливості зміни робочих частот каналу радіозв'язку здійснюється у наступній послідовності:

- визначається перелік частот, на яких забезпечується обмін інформацією без спотворень, виконується налаштування апаратури на ці частоти;
- оцінюється послідовність дій оператора НПУ для зміни частот;
- уточнюється мінімальний час переналаштування робочої частоти (складання радіолінії).

Оцінка дальності дії каналу радіозв'язку в умовах прямого радіобачення.

Під граничною дальністю дії каналу радіозв'язку між БпЛА, що знаходиться в горизонтальному польоті, і НПУ розуміється та гранична відстань, на якій забезпечується стійкий радіозв'язок при польоті БпЛА в обох напрямках (при польоті від НПУ та в напрямку НПУ) [1].

Дальність дії каналу радіозв'язку визначається за наступними параметрами:

- енергетичним потенціалом радіоканалу (вид модуляції, потужність передавача, чутливість приймача);
- параметрами антенно-фідерних пристроїв;
- стабільністю частоти радіолінії;
- завадостійкістю класу випромінювання.

В ході випробувань визначається:

- надійність зв'язку;
- якість каналів зв'язку;
- достовірність передачі/прийому інформації.

Довжина маршруту при визначенні дальності радіозв'язку визначається ефективним значенням радіогоризонту:

$$D = 3,55 \times (\sqrt{H} + \sqrt{h}),$$

де D – ефективне значення радіогоризонту, км;

H – висота польоту БпЛА, м;

h – висота підйому антен НПУ, м.

Визначення дальності радіозв'язку здійснюється не менш ніж на трьох частотах каналної смуги частот (двох крайніх і середньої) та не менш ніж на трьох висотах БпЛА, які ефективні для ведення повітряної розвідки зі штатним цільовим навантаженням.

При виконанні польотів на дальність радіозв'язку вся випробувальна апаратура, яка може створювати завади радіоприйому, повинна бути вимкнена, штатна апаратура – включена.

Оцінка дальності дії радіоканалу передачі відео та телеметрії.

Під дальністю дії радіоканалу передачі відео та телеметрії в режимі реального часу між БпЛА, який виконує горизонтальний політ, та НПУ розуміється та гранична відстань, на якій забезпечується достатній рівень співвідношення сигнал/шум, при якому спостерігається стійкий та якісний радіозв'язок на контрольних відрізках при польоті БпЛА в напрямку “від НПУ” та “на НПУ” за умови максимальної завантаженості каналу. На маршруті польоту, на різних дистанціях від НПУ (5 км, 10 км, 15 км,...) виконуються відхилення БпЛА від прямолінійного курсу з послідовним маневруванням (віраж, галс тощо).

Варіант маршруту польоту БпЛА (у горизонтальній площині) для перевірки дальності дії радіолінії передачі відео та телеметрії в режимі реального часу БпЛАК наведено на рисунку 1.

В ході польоту в режимі реального часу перевіряється якість отриманого відео зображення та телеметричної інформації на НПУ. Обов'язковим є фіксація координат місця знаходження БпЛА в момент значного погіршення якості прийому відео та телеметрії.

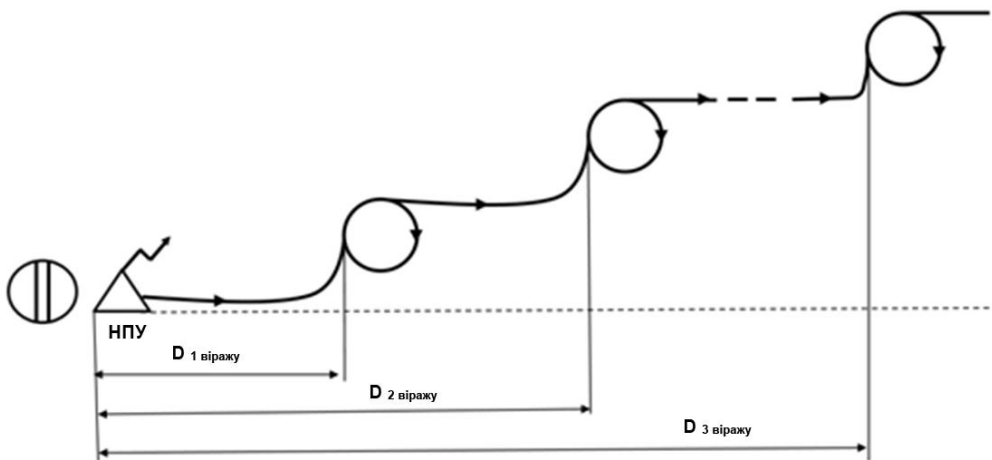


Рис. 1 – Варіант схеми маршруту БпЛА (горизонтальна площина) для перевірки дальності дії передачі відео та телеметрії в режимі реального часу БпЛАК

Визначивши координати БпЛА та НПУ, шляхом рішення оберненої геодезичної задачі, обчислюється значення дальності дії радіоканалів.

Обчислення прирощення координат:

$$\Delta X = X_B - X_A;$$

$$\Delta Y = Y_B - Y_A,$$

де X_A, Y_A – координати антенного комплексу НПУ,

X_B, Y_B – координати БпЛА.

Визначення горизонтальної дальності дії радіоканалу:

$$d = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}.$$

Відстань БпЛА від НПУ в момент відмови радіоканалу також фіксується оператором за даними телеметрії, що розраховуються автоматично за даними навігаційної системи GPS, отримуються з БпЛА та відображаються на моніторі зовнішнього пілота НПУ.

За наявності засобів обчислювальної техніки, значення дальності дії радіоканалу може бути розрахована програмно.

Радіозв'язок каналом телеметрії вважається стійким та якісним, якщо при одноразовій передачі команди управління з НПУ забезпечується відповідна реакція БпЛА на передану команду. Ознакою відмови радіолінії телеметрії є неможливість впливу оператора на систему управління БпЛА (неможливість зміни напрямку руху БпЛА, відсутність управління корисним навантаженням, “зависання” телеметричної інформації на НПУ тощо), або перехід БпЛА в режим для виконання запрограмованої дії в разі відсутності зв'язку в системі радіолінії телеметрії (режим RTH) [2].

Оцінка алгоритму функціонування БпЛА в разі відмови або придушення каналу радіозв'язку

Після виходу БпЛА на точку, дати команду про ухід БпЛА на друге коло з повторним уходом на маршрут в автоматичному режимі. На відстані від точки старту 5-15 км дати команду оператору на примусове відключення каналу телеметрії (відключення або знеструмлення антенного комплексу НПУ (телеметричний канал) або знеструмлення наземної станції управління в цілому). При цьому оцінюються можливості повернення БпЛА до точки посадки (RTH), або продовження виконання польотного завдання при втраті радіозв'язку в залежності від налаштувань автопілота [3].

Додатково визначити, які випадки (втрата зв'язку з пультом радіо керування, втрата сигналу GPS, розрядка батарей нижче заданого значення вольтажу, тощо) є сигналом для включення режиму автоматичного повернення додому [4].

Оцінка параметрів випромінювання радіоканалу

Оцінка діапазону частот радіоліній здійснюється в ході випробувань шляхом інструментального контролю з наступним проведенням аналізу спектрограм сигналів відповідних каналів зв'язку БпЛА для отримання наступних характеристик:

- несуча частота випромінювання передавача, яка знаходиться в межах частотного діапазону, заявленого виробником;
- наявність реалізованих в каналі алгоритмів завадозахищеності (псевдовипадкове перелаштування робочої частоти, тощо);
- граничні частоти в межах каналної смуги частот;
- можливість перелаштування в межах смуги частот з визначеним кроком;
- ширина смуги частот випромінювання каналів зв'язку на заданих рівнях.

Приклад спектрограм, отриманих в ході випробувань, наведений на рисунках 2 та 3.

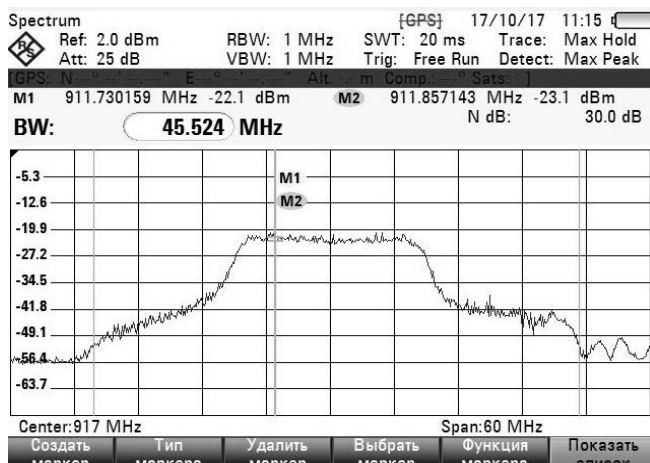


Рис. 2 – Спектрограма сигналу каналу прийому-передачі телеметричного сигналу та прийому відеосигналу (на рівні мінус 30 dBm)

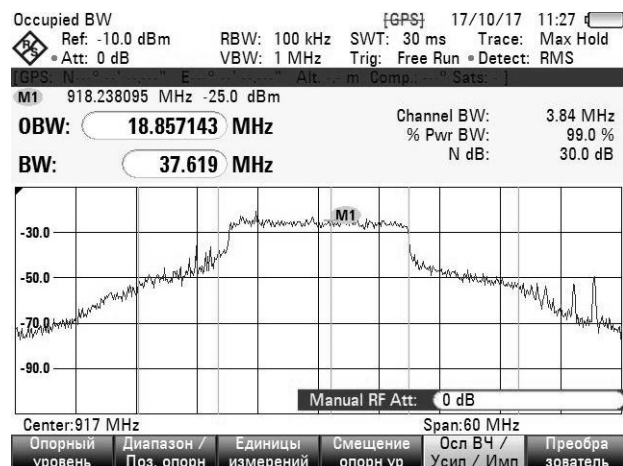


Рис. 3 – Спектрограма сигналу каналу прийому-передачі телеметричного сигналу та прийому відеосигналу (на рівні 99% спектральної потужності сигналу)

На основі здобутого практичного досвіду, отриманого під час проведення різних видів випробувань БпАК в Державному науково-дослідному інституті випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки було узагальнено їх результати та сформульовані методичні підходи до оцінки якісних та кількісних показників каналів зв'язку БпАК.

Висновок. Розроблені в статті методи та способи оцінки якісних та кількісних показників радіоканалів БпАК I та II класів дозволяють осучаснити підходи до аналізу структури побудови та показників системи зв'язку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ляшенко В.А. Методика оцінки ефективності захисту кабельних ліній і радіоелектронних засобів стаціонарних пунктів управління від зовнішнього електромагнітного впливу [Текст] / В.А. Ляшенко // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки / ДНДІ ВС ОВТ. – Чернігів : ФОП Брагинець О.В., 2019. – Вип. № 1. – С. 111-115.

2. Пащук Ю.М. Тактичні безпілотні авіаційні комплекси: можливості та обмеження у застосуванні / Ю.М. Пащук, Ю.П. Сальник // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 1(18). – С. 23-28.

3. Чепурний В.А. Аналіз тенденцій розвитку та застосування розвідувальних безпілотних літальних апаратів в сучасних мережецентричних та гібридних війнах / В.А. Чепурний, М.В. Бардаков, Г.В. Худов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 4(21). – С. 24-28.

4. Жарик О.М. Досвід Створення і застосування ударних БпЛА багаторазового використання: сучасний стан та перспективи подальшого розвитку, визначення потреби Повітряних Сил // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2013. – С. 154-155.

Ільєнко Володимир

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

<https://orcid.org/0000-0003-2854-1012+38093-531-25-45>

Ісаченко Олександр

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

<https://orcid.org/0000-0001-5620-6639> +38063-849-21-40

Лось Андрій

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

<https://orcid.org/0000-0002-0076-1745>
+38063-728-57-35

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>
+38093-531-25-45

Oleksandr Isachenko

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

<https://orcid.org/0000-0001-5620-6639>
+38063-849-21-40

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>
+38063-728-57-35

Геращенко Максим

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

<https://orcid.org/0000-0001-6587-0355>
+38063-119-65-79

Рудніченко Сергій

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

<https://orcid.org/0000-0002-1810-142X>
+38099-368-05-68

Maksym Gerashchenko

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

<https://orcid.org/0000-0001-6587-0355>
+38063-119-65-79

Rudnichenko Serhii

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

<https://orcid.org/0000-0002-1810-142X>
+38099-368-05-68

**SPECIAL ASPECTS OF THE PARAMETERS ASSESSMENT OF COMMUNICATION CHANNELS
OF UNMANNED AERIAL SYSTEMS CLASS I AND II**

V. Plienko, O. Isachenko, A. Los, M. Gerashchenko, S. Rudnichenko

Considering the lack of standard test methods for communication channels of modern unmanned aerial systems (UAS) class I and II, according to the UAS classification of the Armed Forces of Ukraine, it was decided to work out the basic approaches for determining indicators, conditions and procedure for conducting tests in this direction. The suggested methodological recommendations will improve the quality of the parameters and characteristics assessment for communication channels of UAS I and II classes.

One of the distinctive trends in the development of modern forms and methods of conducting armed combat at all stages of the armed conflict is the widespread use of the UASs by opposing parties. UASs are capable of significant increasing the effectiveness of accomplishing aerial reconnaissance tasks, organizing electronic warfare, and providing real-time delivery of target pinpointing to fire means for the destruction of enemy's manpower and material.

A distinctive feature of UAS is that its external crew, as a rule, accomplish its mission at a considerable distance from the objects of attack. This fact significantly reduces the security risks and threats associated with performing combat missions under conditions of active enemy counteraction. Due to this feature, considerable attention is paid to the development of a reliable communication system that would be able to ensure task accomplishment at the maximum distance from command and control site.

During the tests of UAS Class I and II, the specialists of the State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification used testing methods of radio channels assessment, which will allow to improve the quality of UAS research of this type and give the manufacturers recommendations for increasing their capabilities.

Keywords: *unmanned aerial vehicle, unmanned aerial systems, UAS testing methods, UAS communication channel, UAS tests.*