КІБЕРБЕЗПЕКА: освіта, наука, техніка
CYBERSECURITY: EDUCATION, SCIENCE, TECHNIQUE
№ 1 (1), 2018
ISSN 2663 - 4023

УДК629.735.33-519

Михацький Олексій Юрійович
Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Національний авіаційний університет, Київ, Україна
OrcID: 0000-0002-8421-3796
mykhatskyi.o@gmail.com

ИНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА РАДІОКАНАЛІВ БЕЗПІЛОТНИХ АВИАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

Анотація. В роботі виконаний аналіз навігаційних та командно-телеметричних радіоканалів, які використовуються при експлуатації безпілотних авіаційних комплексів. Класифікація уразливості радіоканалів прив'язана до режимів керування безпілотних літальних апаратів та ключових умов їх безпечної експлуатації. Сформульовані критерії здійснимості польотних завдань і критерії застосовності різних режимів керування при порушеннях передачі даних по радіоканалах. Ознаками виконання польотного завдання розглядаються повернення та посадка літального аппарата у задану точку, відсутність відхилень траєкторії польоту від заданої, штатне функціонування корисного навантаження літального аппарата. Кожний з цих критеріїв може бути порушеним при наявності завад у радіоканалах керування. Склад та призначення радіоканалів керування безпілотними літальними аппаратами залежить від обраного режима керування. В роботі відокремлено ручне керування з землі у зоні візуального контролю, ручне керування за зворотнім відеоканалом, автоматичне керування літальним апаратом за допомогою бортового обчислювача-автопілота за наявністю постійно діючого двонапрямленого радіоканала телеметрії, та автоматичне керування у командному режимі без постійного телеметричного контролювання. Перші два режими передбачають постійну участь дистанційного пілота в контурі керування і завдяки цьому не залежать від стану супутникового навігаційного каналу. Заглушення радіоканалів керування у цих режимах, як правило, призводить до аварійного завершення польота. Завади та приглушення радіоканалів при автоматичному керуванні можуть привести до відхилення траєкторії від заданої або незадовольній роботі корисного навантаження. Висновки містять пропозиції щодо подальшого забезпечення захищеності радіоканалів безпілотних авіаційних комплексів. У режимах ручного візуального керування імовірність зовнішнього втручання може бути знижена застосуванням напрямлених антенн. Для підвищення захищеності автоматичних режимів запропоновано використовувати аналізатор достовірності навігаційних даних супутникового радіоканала.

Ключові слова: безпілотні літальні авіаційні комплекси, режими керування, польотне завдання, корисне навантаження, супутникова навігація, пропорційне радіокерування, автоматичне керування, телеметричний радіоканал, зворотній відео канал, пригнічення радіоканалу.

1. ВСТУП

Сучасний технологічний розвиток безпілотних авіаційних комплексів (БПАК) як інформаційних або транспортних систем пов'язано з використанням двох загальних ресурсів - повітряного простору і радіочастотного спектру [1]. Безаварійна експлуатація БПАК значною мірою залежить від надійної роботи радіотехнічних каналів зв'язку між літальним апаратом і станціями наземного керування, а також радіотехнічними навігаційними системами. Структура взаємозв'язків між наземною і повітряною складовими БПАК і взаємодія наземної інфраструктури з процедурами забезпечення польоту безпілотних літальних апаратів, передбачають наявність декількох

© О. Ю. Михацький 2018.

інформаційних радіоканалів з різним призначенням, залежно від завдань, що вирішуються при експлуатації БПАК.

До теперішнього часу спеціальних досліджень по регламентації використання радіочастотних ресурсів при постійній комерційній експлуатації БПАК не проводилося. Раціональний розподіл перелічених вище ресурсів є актуальним завданням, безпосередньо пов'язаним з безпекою польотів безпілотних літальних апаратів. У наявній роботі приведена класифікація інформаційних радіоканалів БПАК залежно від рівня експлуатаційних завдань, та сформульовані критерії застосовності різних режимів керування при порушеннях передачі даних по навігаційних та командно-телеметричних радіоканалах безпілотних авіаційних комплексів.

2. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Успішне виконання польотного завдання безпілотними літальними апаратами (БПЛА) розглядатимемо як результат виконання наступних умов:

- безаварійне повернення БПЛА в попередньо задану точку посадки;
- відхилення траєкторії польоту БПЛА від заданої не перевищують типових похибок системи керування конкретного апарату;
- цільова функція корисного навантаження БПЛА (відеоспостереження, фото-відеофиксация, доставка вантажів) завершена в повному обсязі.

Забезпечення наведених умов пов'язано з функціонуванням радіоканалів безпілотних авіаційних комплексів відповідно таблиці.1.

Таблиця 1

Склад та призначення радіоканалів безпілотних авіаційних комплексів*

№ п/п	Назва радіоканалу	Призначення радіоканалу
1	Радіоканал супутникової навігації	Визначення координат БПЛА шляхом прийому радіосигналів супутникових навігаційних систем
2	Радіоканал ручного дистанційного керування	Передача зі станції наземного керування на борт БПЛА даних про положення важелів органів керування на ручному пульті дистанційного керування
3	Зворотній відеоканал	А) Передача з борту БПЛА на станцію наземного керування відеозображення курсової відеокамери, що забезпечує дистанційному пілотові можливість ручного керування. Б) Передача з борту БПЛА відеозображення азимутально-кутомістної відеокамери для видаленого відеоспостереження в реальному масштабі часу.
4	Радіоканал телеметрії	Двосторонній радіоканал для передачі з борту на землю даних про польотні параметри БПЛА і про стан бортових систем, а також для передачі на борт разових команд, у тому числі на зміну режимів керування.
5	Командна радіолінія	Односторонній радіоканал для передачі на борт разових команд, не пов'язаних з телеметрією, - наприклад,

		управління корисним навантаженням або включення відеопередавача.

*БПАК з автономним самонаведенням в наявній роботі не розглядаються

Залежно від технічного рівня і складу виконуваних завдань, розрізняють декілька режимів управління БПЛА згідно таблиці.2.

При ручному керуванні БПЛА в зоні візуального контролю (в межах видимості із землі) використовується один радіоканал – ручного пропорційного управління (рис.1). Реальна дальність роботи в зоні візуального контролю не перевищує 0,4..0,7 км, залежно від розмірів літального апарата. Для багатоканального (8..16 каналів) пропорціонального керування застосовуються широкосмугові цифрові радіоканали із модуляцією типу FSK та перестройкою частоти (FASST або DSM2) з шириною спектру 200..500 кГц в діапазоні 2,4 ГГц. Затримка при управлінні не допускається, тому ідентифікація каналу забезпечується адресним кодуванням пакетів.

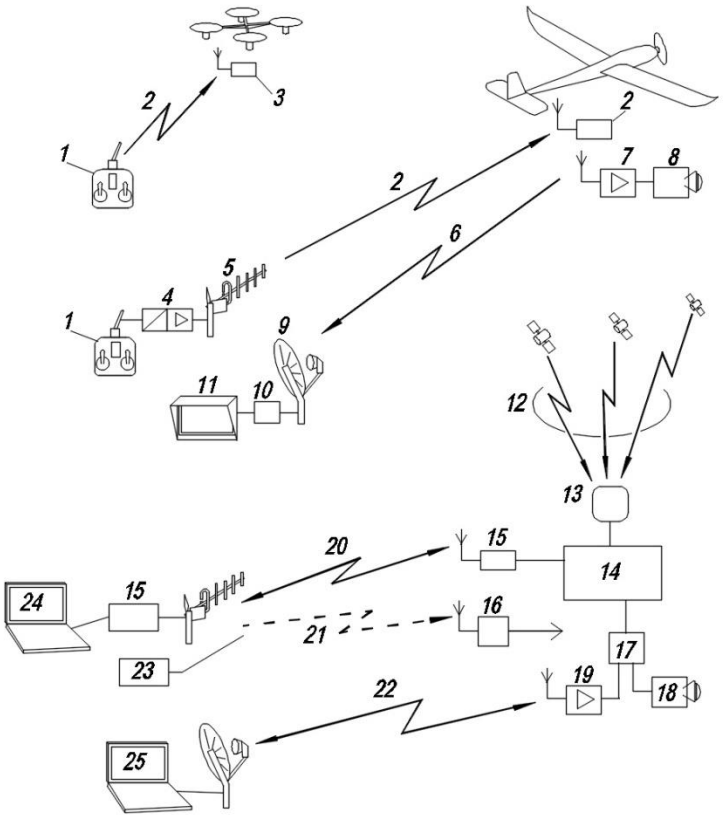

Рис. 1. Радіоканалибезпілотнихавіаційнихкомплексів

Ручне візуальне керування: 1 – пульт ручного керування, 2 – однонаправлений радіоканал ручного керування, 3 – приймач потоку даних пропорціонального керування;

Керування за зворотнім радіоканалом: 4 – транлятор потоку даних пропорціонального керування з підсилювачем потужності, 5 – спрямована антенна, 6 – однонаправлений радіоканал зворотного відеозв'язку, 7 – відеопередавач, 8 – курсова відеокамера; 9 - спрямована антенна зворотного відеозв'язку, 10 – відеоприймач, 11 – монітор бортового відеозображення;

Керування у автоматичних режимах: 12 – радіоканал супутникової навігації, 13 – супутниковий навігаційний приймач, 14 – бортовий обчислювач-автопілот, 15 – радіомодем телеметричного зв'язку, 16 – приймач командної радіолінії, 17 – синхронізатор трафіку телеметрії та бортового відео, 18 – відеокамера корисного навантаження, 19 – бортова точка доступу відеоканалу корисного навантаження, 20 – двонаправлений радіоканал телеметрії. 21 – однонаправлений командний радіоканал керування бортовим обладнанням, 22 – двонаправлений цифровий радіоканал корисного навантаження, 23 – передавач командної радіолінії, 24 –комп'ютер керування польотом, 25 – комп'ютер керування корисним навантаженням (відеоустаткуванням).

Таблиця 2

Режими керуваннябеспілотнимилітальними апаратами

№ п/п	Назва режиму керування	Характеристика режиму керування та вимоги до екіпажу
1	Ручне керування БПЛА в зоні візуального контролю	Потрібно радіоканал пропорційного управління, дальність польоту обмежена зоною візуального контролю (300..700 м). Дистанційний пілот повинен мати навички ручного керування із землі. Не залежить від стану каналу супутникової навігації.
2	Ручне керування БПЛА за зворотним відеоканалом	Окрім радіоканалу пропорційного управління використовується широкосмуговий зворотний (борт-земля) відеоканал. Дальність дії обмежується параметрами відеоканалу (40..60 км). Дистанційний пілот повинен мати навички ручного керування по зворотним відеоканалу. У разі знання пілотом місцевості і хорошої видимості від стану радіоканалу супутникової навігації не залежить.
3	Автоматичне керування польотом БПЛА за разовими командами з наземної станції керування	Для керування досить вузькосмугового радіоканалу передачі разових команд. Контроль літального апарату – по телеметричній радіолінії. Навички ручного дистанційного пілотування не потрібно. Дальність польоту на висоті 1 км обмежена прямою радіовидимістю (реально до 80..110 км) у разі постійного контролю за бортом. Висока уразливість по каналу супутникової навігації.
4	Автоматичне керування польотом БПЛА за заздалегідь загруженної на борт послідованості маршрутних точок та разових команд	Дальність польоту радіозв'язком не обмежена. У разі потреби постійного контролю за параметрами літального апарата дальність обмежується наземною ретрансляційною інфраструктурою. Навички ручного дистанційного пілотування не потрібно. Висока уразливість по каналу супутникової навігації.

Оскільки усі серійні пульти ручного керування використовують стандартні модулі формування пакетів, завжди існує можливість простим перебором адрес перехопити керування з метою припинення польоту БПЛА. Постановка шумової загороджувальної завади не завжди призводить до припинення польоту, оскільки сучасні бортові приймачі сигналів радіокерування, як правило, автоматично діагностують відсутність зв'язку і переводять виконавчі механізми в заздалегідь встановлений (запрограмований) стан, відводячи БПЛА із зони перешкод.

Одним з ефективних способів захисту радіолінії ручного керування БПЛА є використання спрямованої антени на пульті керування. Внаслідок незначної

ISSN 2663 - 4023

горизонтальної дальності між оператором та апаратом, кут місця останнього досягає 30 і більше градусів, рівень сигналу в зоні потенційного постановника перешкод значно знижується і достовірний наземний аналіз командних пакетів утруднюється або перестає бути оперативним.

Слід зазначити вигідну особливість систем з візуальним керуванням – повна незалежність від стану каналів прийому супутникових навігаційних сигналів. Ця ж особливість властива ручному керуванню БПЛА по зворотному відеоканалу – дистанційний пілот оперує зображенням, яке безперервно транслюється з борту (рис. 1). Дальність дії таких схем збільшується за рахунок наявності на борту курсової відеокамери з потужним відеопередавачем (4-10 Вт в діапазоні 1,2 ГГц) та підсилювача-ретранслятора сигналів пропорційного ручного радіокерування в діапазоні 433 МГц (наприклад, RMILEC T4047NB20) потужністю 2-5 Вт. Пункт наземного керування також забезпечується спрямованими антенами з посиленням 12.18 дБ. В результаті типова дальність ручного керування БПЛА складає 60 км при чутливостях наземного приймача відеосигналів мінус 85..92 дБм, а бортового приймача команд керування – мінус 105..110 дБм.

Головним недоліком керування по зворотному відеоканалу (йдеться про технології, реально доступні на Україні) є потужний сигнал бортової всенаправленої антени - явний демаскуючий чинник, який посилюється аналоговим стандартом відеопередачі (PAL). Постановка будь-якої перешкоди, що перериває відеопередачу на десять і більше секунд, призводить до втрати керування. Перешкоди по каналу «земля-борт» впливають аналогічно схемі з візуальним контролем, з тією лише різницею, що зона можливої установки аналізатора-постановника перешкод і час для завершення перехоплення управління значно більше у порівнянні з короткочасними польотами на невеликі відстані.

Таким чином, з точки зору захищеності каналів зв’язку, управління по зворотному відеоканалу є найуразливішим варіантом – потужні безперервно випромінюючі передавачі на борту і на землі легко виявляються і блокуються відносно простими і малопотужними засобами. Для поліпшення захищеності слід відмовлятися від аналогової відеотрансляції на користь цифрових систем однонапрямленого відеозв’язку, наприклад, DWBT.

Набагато вища захищеність по радіоканалах забезпечується при автоматичному управлінні БПЛА польотним контролером-автопілотом (рис. 1), що знаходиться на борту. Система автоматичного керування з інерціальним блоком на основі мікромеханічних датчиків лінійних прискорень і кутових швидкостей, інтегрованих зі супутниковою навігаційною системою, баровисотоміром, магнітометром і системою повітряних сигналів, забезпечує слідкуючі контури керування БПЛА необхідною інформацією для польоту через задані маршрутні точки, або утримання БПЛА в околиці однієї або декількох опорних точок.

Бортові системи автоматичного керування дозволяють позбавитись від радіоканалу ручного керування і не вимагають реального масштабу часу при трансляції відеопотоку. Для контролю використовується двонаправлений радіоканал телеметрії, що дозволяє відображати на станції наземного керування координати і параметри БПЛА та змінювати режим польоту при поданні разових команд. Вузькосмуговий захищений радіоканал телеметрії (менше 10 кБ/с) припускає затримки при шифруванні-дешифруванні повідомлень. Бортовий передавач телеметричного радіомодему або захищеного цифрового радіоканалу (наприклад, на базі WiFi точок доступу с захистом 802.11b) може бути активований або деактивований по односторонній командній радіолінії реального масштабу часу 21 (рис. 1) без перешкод для автоматично

виконуваного польоту або спотворення заданої траєкторії польоту. Сучасні радіомодеми для телеметрії БПЛА є комбінацією мікросхем трансивера і процесора, що керує трансивером. За наявності відповідних потужностей процесора шифрування передаваних в ефір повідомлень може бути забезпечене будь-яким способом за рахунок відповідного програмного забезпечення, гарантуючи захист від перехоплення керування під час польоту.

При автоматичному керуванні БПЛА уразливість процесу керування зберігається по радіоканалу супутникової навігації. Відсутність даних супутникового навігаційного приймача, залежно від типу використовуваного автопілота і його конфігураційних налаштувань, призводить або до аварійного переривання польоту, або до накопичення помилок позиціонування в інерціальній частині системи управління. Особливу небезпеку представляють т.з. «інтелектуальні перешкоди» по супутниковому радіоканалу, що призводять до видачі в систему керування спотворених координат. Відсутність ознак відмови супутникового навігаційного каналу не лише призводить до непрогнозованого відхилення літального апарату від заданої траєкторії, але може змінити положення приводів наземних спрямованих антен, якщо вони позиціонуються по координатах БПЛА, а не по рівню сигналу, що приймається.

3. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Найбільш надійним способом протидії перешкодам по каналу супутникової навігації автор вважає комбінацію методів визначення координат БПЛА за зчисленням за допомогою магнітометра і вимірника повітряної швидкості [2] з попереднім аналізом напряму і швидкості вітру, та аналізатора достовірності свідчень супутникового навігаційного приймача шляхом постійного порівняння зчислених і супутникових координат. В цьому випадку при дії перешкоди і виникненні зсуву по координатах, результати зчислення і супутникові координати перестають співпадати, і для подальшого управління слід брати до уваги тільки координати зчислення.

Іншою перспективною можливістю підвищення завадостійкої навігаційної системи БПЛА є застосування бортових відеопроцесорів, що виконують ту ж операцію, що і наземний пілот по наземних орієнтирах. Для подальшого підвищення завадостійкої радіоканалів ручного управління і телеметрії також представляє інтерес технологія LoRa – сучасного цифрового еквіваленту передачі даних із застосуванням погодженої фільтрації сигналів з лінійною частотною модуляцією [3].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] А. Г. Корченко і О. С. Ильяш, «Обобщённая классификация беспилотных летательных аппаратов», *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*, №4 (33), сс. 27–36, 2012.

[2] С. О. Пономаренко і Ф. М. Захарін, «Спосіб комплексної обробки навігаційної інформації від датчиків курсо-швидкісної навігаційної системи і супутникової навігаційної системи літального апарата», Патент України UA 70281U від 11.06.2012.

[3] A. Dongare, C. Hesling, K. Bhatia, A. Balanuta, R. L. Pereira, B. Iannucci and A. Rowe, “OpenChirp: A Low-Power Wide-Area Networking Architecture,” in *IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)*, Kona, HI, USA, pp. 569–574, Mar. 2017.

КІБЕРБЕЗПЕКА: освіта, наука, техніка
CYBERSECURITY: EDUCATION, SCIENCE, TECHNIQUE
№1 (1), 2018
ISSN 2663 - 4023

UDC 629.735.33-519

Mykhatskyi Oleksii
Ph. D., senior staff scientist
National Aviation University, Kyiv, Ukraine
OrcID: 0000-0002-8421-3796
mykhatskyi.o@gmail.com

INFORMATIVE SAFETY OF UNMANNED AVIATION SYSTEMS RADIO COMMUNICATION CHANNELS

Abstract. An analysis of navigation and command-telemetric radio channels is used for exploitation of unmanned aviation systems are proceeds. The classification of radio channels vulnerability is tied to the modes of unmanned aerial vehicles control and their safe exploitation key terms. The criteria of flight mission feasibility and applicability of the different control modes are set in the conditions of violation at the radio channels data communication. The signs of successful flight task processing are the aircraft returning and landing to the set point, absence of distortions or rejections of preset flight trajectory, regular payload functioning. Each of these criteria can be broken when hindrances and interferences in the radio channels are present. Composition and setting functions of unmanned aerial vehicles control radio channels depend on the control mode. In-process distinguished manual control mode from earth in the zone of visual control, manual control mode via the feedback video channel, automatic control mode by an aircraft by on-board autopilot with constantly operating bilateral radio channel of telemetry and automatic control mode by the commands without permanent telemetric control. The first two modes envisage the permanent participating of the controlled from ground pilot in the control loop and due to it does not depend on suppression of satellite navigation radio channel. Suppression of radio management channels for these modes usually ends with abnormal finishing the flight. Hindrances and suppression of radio channels at automatic control modes can result in deviation of trajectory from the preset one or unsatisfactory work of the payload. Conclusions contain newest further suggestion on the unmanned aerial systems radio channels security. In the modes of visual hand control the probability of extraneous interference can be diminished by directed antennas. To increase the security at the automatic flight modes it offers to use the satellite navigation data authenticity analyzer with permanent comparison between the satellite data and calculated navigation data.

Keywords: unmanned aviation systems, control modes, flight mission, payload, satellite navigation, proportional radio control, automatic control, telemetric radio channel, feedback video channel, radio channel suppression

REFERENCES

[1] A. G. Korchenko and O. S. Il'yash, “Obobshchennaya klassifikatsiya bespilotnykh letatel'nykh apparatov [A generalized classification of unmanned aerial vehicles],” *Zbirnyk naukovykh prats' Kharkivs'koho natsional'noho universytetu Povitryanykh Syl*, no. 4 (33), pp. 27–36, 2012. (In Russian).

[2] S. O. Ponomarenko and F. M. Zakharin, “Sposib kompleksnoyi obrobky navihatsiynoyi informatsiyi vid datchykiv kurso-shvydkisnoyi navihatsiynoyi systemy i suputnykovoyi navihatsiynoyi systemy lital'noho aparata [The method of complex processing of navigation information from the sensors of the exchange-rate navigation system and satellite navigation system of the aircraft],” pat. no. UA 70281U, Jun. 2012. (In Ukrainian).

[3] A. Dongare, C. Hesling, K. Bhatia, A. Balanuta, R. L. Pereira, B. Iannucci and A. Rowe, “OpenChirp: A Low-Power Wide-Area Networking Architecture,” in *IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)*, Kona, HI, USA, pp. 569–574, Mar. 2017.