

ВИБІР ПАРАМЕТРІВ АЛГОРИТМУ ВХОДЖЕННЯ В СИНХРОНІЗМ РАДІОЛІНІЇ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ З ПСЕВДОВИПАДКОВИМ ПЕРЕНАЛАШТУВАННЯМ РОБОЧОЇ ЧАСТОТИ

Результати оцінки локальних війн та збройних конфліктів свідчать про зростання ролі безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у вирішенні завдань повітряної розвідки.

В умовах впливу противника спостерігаються різні умови придушення каналу зв'язку. Найсильнішому впливу завади піддається радіоелектронне обладнання літального апарату, оскільки він знаходиться на найменшій відстані від завадопостановника. Постає питання захисту радіолінії управління БПЛА.

У якості способу захисту пропонується використання широкосмугових сигналів з псевдовипадковим переналаштуванням робочої частоти (ППРЧ). Оскільки процес входження в синхронізм є первинним по відношенню до обміну інформації, то завадозахищеність радіолінії з ППРЧ характеризується завадозахищеністю алгоритму входження в синхронізм. Оптимальний вибір параметрів даного алгоритму дозволяє забезпечити баланс між завадозахищеністю системи синхронізації та якістю передачі корисної інформації.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат (БПЛА), псевдовипадкове переналаштування робочої частоти (ППРЧ), алгоритм входження в синхронізм, завадозахищеність.

Вступ. У ході проведення антитерористичної операції Збройні Сили України переконалися у необхідності мати досконалу систему розвідки, яка повинна оперативно (в

реальному масштабі часу) забезпечувати підрозділи необхідною інформацією з максимальною її повнотою, точністю та достовірністю. Виконання даних функцій може бути покладено на безпілотні літальні апарати (БПЛА). Оскільки БПЛА змушені працювати в складній радіоелектронній обстановці, то постає питання створення завадозахищених каналів зв'язку. Розглядаючи вплив противника, найбільшому ураженню піддається ЛА, оскільки знаходиться найближче до засобів радіоелектронного придушення (РЕП) противника. Отже, виникає необхідність захисту радіолінії управління БПЛА. Одним з ефективних методів підвищення завадозахищеності таких радіоліній є використання широкосмугових систем радіозв'язку (СРЗ) з псевдовипадковим переналаштуванням робочої частоти (ППРЧ) [1].

Аналіз публікацій показав, що завадозахищеність радіолінії з ППРЧ на етапі пошуку складного сигналу характеризується завадозахищеністю алгоритму входження в синхронізм такої радіолінії [2].

Метою статті є визначення оптимальних параметрів алгоритму входження в синхронізм радіолінії управління БПЛА з ППРЧ за критерієм максимальної завадозахищеності.

Виклад основного матеріалу. Беручи за основу 5-канальну систему управління БПЛА, яка передбачає передачу команд в контурах управління рулями висоти, крену, тангажу, дроселя та гіроскопа, а також виходячи з необхідності передачі інформації з частотою, близькою до 15 Гц, мінімально необхідна пропускна спроможність радіоканалу повинна становити не менше 5058 біт/с [3]. Для забезпечення 2-3 кратного запасу з можливістю удосконалення моделі управління доцільно мати в розпорядженні більш високу швидкість. У такому разі доцільно орієнтуватися на найближчу стандартну бітову швидкість $R_0 = 19,2$ кбіт/с, яка може бути реалізована на частотах, починаючи з УКХ діапазону.

Загальновідомим способом входження в синхронізм радіоліній з ППРЧ є спосіб з використанням незмінного блоку частот входження. Більшість з відомих алгоритмів схожі за своїм принципом дії:

синхронізація відбувається за рахунок збігу у часі неуразених частот прийому та передачі і подальшого правильного прийому синхрокадру цифрової інформації, що передається на частотах входження в синхронізм (чим більше таких збігів із максимально можливих на етапі входження відбудеться, і чим краща сигнально-завадова обстановка на частотах збігу, тим більша ймовірність входження в синхронізм);

для входження в синхронізм використовуються тільки частина робочих частот радіолінії;

використовується фіксований набір частот входження в синхронізм.

Відрізняються алгоритми один від одного своїми кількісними (кількість частот входження в синхронізм у одному підциклі входження, кількість підциклів у одному циклі входження, довжина синхрокадру і т.д.), та часовими (тривалість часу входження в синхронізм, випромінювання підциклу частот входження, переналаштування з однієї частоти на іншу і т.д.) характеристиками. Такі алгоритми можна назвати типовими і аналізувати далі саме типовий алгоритм входження в синхронізм, часова діаграма якого представлена на рис. 1 [2].

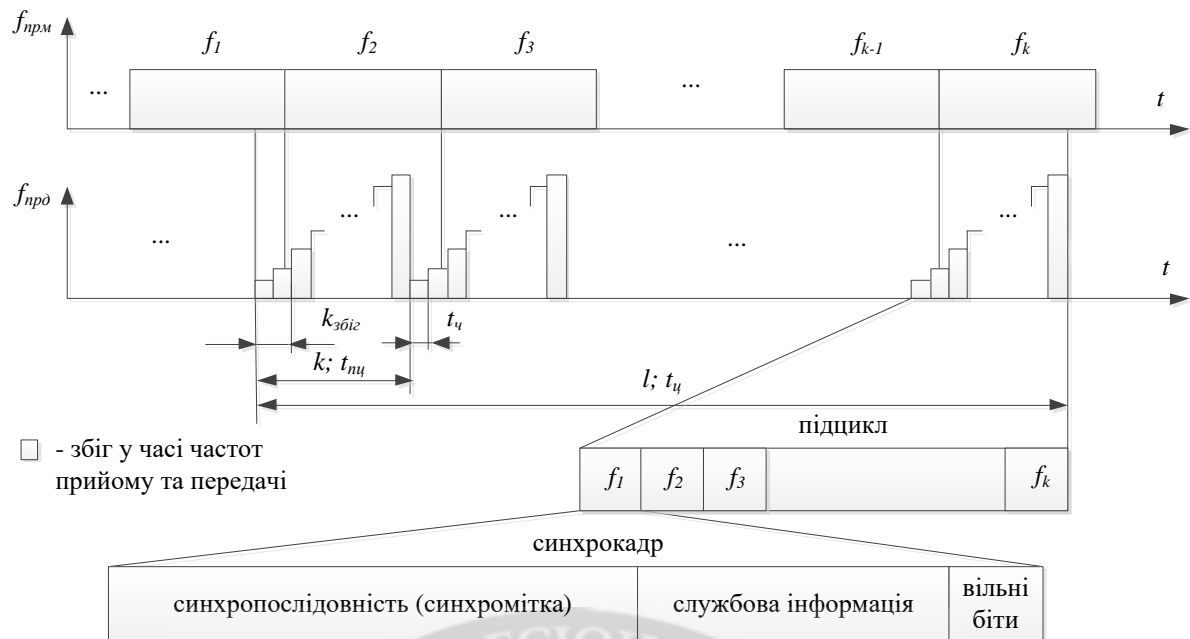


Рис. 1. Типовий алгоритм входження в синхронiзм радіолiнii зв'язку з ППРЧ

На ньому позначено:

k – кiлькiсть частот входження в синхронiзм передавача у одному пiдциклi;

l – кiлькiсть пiдциклiв входження в синхронiзм передавача у одному циклi;

$k_{\text{збіг}}$ – кiлькiсть частот входження в синхронiзм передавача iз загальною кiлькiстю частот k , що збiгаються з усіма частотами входження в синхронiзм приймача за один цикл;

t_{ex} – тривалiсть часу, вiдведеного для входження в синхронiзм;

$t_{\text{ч}}$ – тривалiсть часу випромiнювання однiєї частоти передавачем з урахуванням часу переналаштування;

$t_{\text{нц}}$ – тривалiсть часу випромiнювання передавачем одного пiдциклу частот входження в синхронiзм;

$m_{\text{ск}}$ – довжина синхрокадру, бiт;

$m_{\text{см}}$ – довжина синхромiтки (синхрослiдовностi), бiт;

$m_{\text{сл.инф.}}$ – довжина службової iнформацiї, бiт.

Обмеження до системи синхронiзацiї. Головною вимогою до системи входження в синхронiзм є необхіднiсть гарантованого входження в синхронiзм ($P_{\text{ex}} \geq 0,99$) за вiдведений час (t_{ex}). Для розрахункiв використовується модель радіоканалу, максимально подiбна до реальної, тобто коли $P_{\text{ураж.}} \in [0; 0,4]$, $P_{\text{ном}} \in [0; 0,2]$. Для аналізу скористаємося методикою [4], де у якостi показника оцiнки завадозахищеностi обрано ймовiрнiсть входження в синхронiзм за один цикл $P(A)$.

На вибiр кiлькостi частот (k) впливає ймовiрнiсть ураження противником частот входження в синхронiзм та тривалiсть перебування передавача в однiй частотнiй позицiї. Остання також визначає i припустиму кiлькiсть пiдциклiв входження в синхронiзм (l) виконуючи вимогу, що входження в синхронiзм повинно вiдбутися за нормативно вiдведений час. Наприклад, якщо стоїть вимога входження в синхронiзм за 1 с (1000 мс), то при перебуванні передавача в однiй частотнiй позицiї протягом 10 мс ми можемо реалiзувати $l = 1000/10k$ пiдциклiв.

Обмежуючись вимогами поставленими до системи синхронізації та швидкості передачі інформації в УКХ діапазоні, обираємо $k = 10$, $l = 6$. Кількість сумісних комбінацій частот та підциклів у цьому випадку складає 60, що потребує для кодування комбінацій 6 біт.

Відомо, що за умови можливості технічної реалізації час переналаштування передавача з ППРЧ в УКХ діапазоні має порядок одиниць мілісекунд. Для нашого випадку час стрибка передавача при входженні в синхронізм обираємо з 10-кратним запасом, тобто 10 мс. Оскільки пауза між випромінюванням на сусідніх частотах складає близько 10% від часу одноразового використання частоти, то прийmemo $t_{\delta\epsilon.i\delta\ddot{a}.} = 1$ мс, а $t_u = 9$ мс. Тривалість одного підциклу входження для даного випадку буде складати:

$$t_{i\delta} = k(t_{\delta\epsilon.i\delta\ddot{a}.} + t_u) = 100 \text{ мс.} \quad (1)$$

Загальна тривалість циклу входження в синхронізм буде дорівнювати:

$$t_u = lt_{ny} = 600 \text{ мс.} \quad (2)$$

Швидкість стрибків передавача на етапі входження в синхронізм для даного випадку становить:

$$N = 1/(t_u + t_{npl.npd.}) = 100 \text{ стр/с.} \quad (3)$$

При цьому на кожній з частот входження в синхронізм передавач здійснює передачу спеціальних кодових комбінацій (синхрокадрів) довжиною до:

$$m_{ck} = [R_{\delta} t_u] = 172 \text{ біт,} \quad (4)$$

де $[]$ – ціла частина.

Кожен синхрокадр (рис. 1) складається з синхромітки, яка містить інформацію про номер частоти та номер підциклу входження, та блоку службової інформації (за необхідністю).

Існує багато методів захисту інформації, що передається у широкосмугових СРЗ, від помилок. Дані методи відрізняються один від одного способами реалізації, часовими параметрами та завадозахищеністю. Деякі методи базуються на використанні бінарних псевдовипадкових послідовностей (ПВП), наприклад послідовності Голда, Касамі, М-послідовності, бент-функцій та інші.

У статті для кодування вмісту синхромітки пропонується використання кодів Касамі, які характеризуються досить низьким рівнем бічних пелюсток автокореляційної функції. Дані коди реалізуються за допомогою генераторів М-послідовностей з різними зворотними зв'язками. Довжина такої М-послідовності визначається ємністю n регістру зсуву (у бітах) і складає $N = 2^n - 1$ біт. Ємність регістру зсуву визначає кількість біт, які можуть бути закодовані однією Касамі.

При прийомі синхросигналу приймач спочатку оцінює синхромітку і за отриманими даними (номер частоти, номер підциклу в циклі) визначає момент часу передачі інформації на частотах входження. Після цього відбувається синхронний запуск генераторів ПВП обох абонентів за робочою програмою з циклом формування кодів ПВП, що дорівнює часу знаходження передавача в одній частотній позиції.

У блоці службової інформації можуть передаватися дані про режим роботи радіостанції, номер абонента, що викликається (у випадку радіомережі), швидкість кодування даних (оскільки канали передачі даних мають різну якість) і т.д. Проблема забезпечення завадозахищеності та завадостійкості цих даних має дуже важливе значення. Це пояснюється тим, що при передачі даних навіть одна помилка (спотворення одного біта) може серйозно вплинути на правильність прийому повідомлення.

Довжина синхромітки типового алгоритму входження в синхронізм СРЗ з ППРЧ УКХ діапазону становить $m_{см} = 63$ біт (тобто $N = m_{см} = 63$ біт). Об'єм (кількість) таких вибірок з M -послідовності дорівнює $V = 2^{n/2} = 8$. Кількість інформаційних біт, що будуть використані для передачі корисної інформації буде складати $C = \log_2 8 = 3$ біт. Оскільки кількість комбінацій, що треба закодувати складає 60, то виникає необхідність у включенні до синхромітки ще однієї послідовності Касамі ($63 \times 2 = 126$ біт). У цьому випадку кількість можливих комбінацій збільшується до $8 \times 8 = 64$, що буде достатньо для передачі 6 біт коду ($2^6 = 64 > 6 \times 10 = 60$).

Як відомо, при передачі сигнал піддається впливу завад, що призводить до ураження та втрати деякої кількості інформаційних біт синхромітки. При цьому допускається прийняти невірно (втратити) певну кількість біт ($m_{пор}$). Величина $m_{пор}$ обмежується вимогами до ймовірності входження в синхронізм та якості каналу зв'язку (рис. 2).

З рис. 2 видно, що для забезпечення поставлених вимог щодо входження в синхронізм максимально допустиме значення біт, що можуть бути прийняті невірно становить $m_{пор} = 21$ біт. При подальшому збільшенні значення $m_{пор}$ ймовірність $P(A)$ зменшується, що є не допустимим для даного каналу зв'язку.

Як було зазначено вище, до складу синхрокадру, крім синхромітки, може входити блок службової інформації. У даному блоці може міститися інформація про режим роботи радіостанцій, швидкість кодування та інші службові дані.

Як відомо, для вдалого прийому синхрокадру необхідно, щоб завадозахищеність вищенаведених компонентів синхромітки по можливості була однаковою (або близькою до однакової). У зв'язку з цим виникає необхідність кодування блоку службової інформації. У даній статті для кодування службової інформації пропонується використання N -кратного мажоритарного коду, що є найбільш зручним при використанні в каналі з ймовірністю помилкового прийому елемента сигналу $P_{ном} > 0,065$ [5]. Суть даного кодування полягає в передачі повідомлення з обмеженою довжиною m -разів. Передані повідомлення зберігаються в пам'яті приймача, де здійснюється їх порозрядне порівняння. Висновок про правильність прийому інформації виноситься за збігом більшості прийнятих повідомлень. Вибір кратності кодування залежить від обсягу інформації, що буде передаватися у блоці службової інформації та вимог до радіолінії (для нашого випадку $m_{сл.інф.} = m_{ск} - 2m_{см} = 46$ біт).

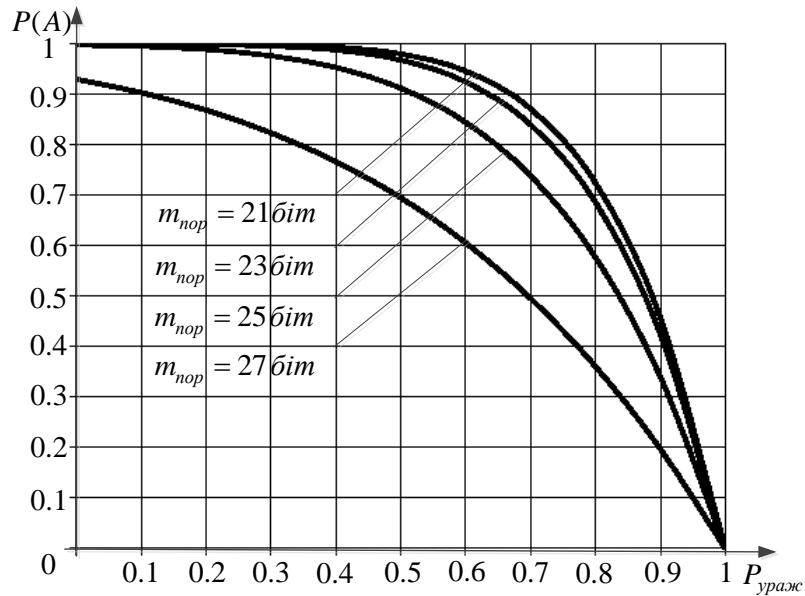


Рис. 2. Графіки залежності $P(A)$ від $P_{ураж}$ для різних значень $m_{нор}$

На рис. 3 представлений графік залежності $P(A)$ від $P_{ураж}$ для різних значень кратності мажоритарного кодування m .

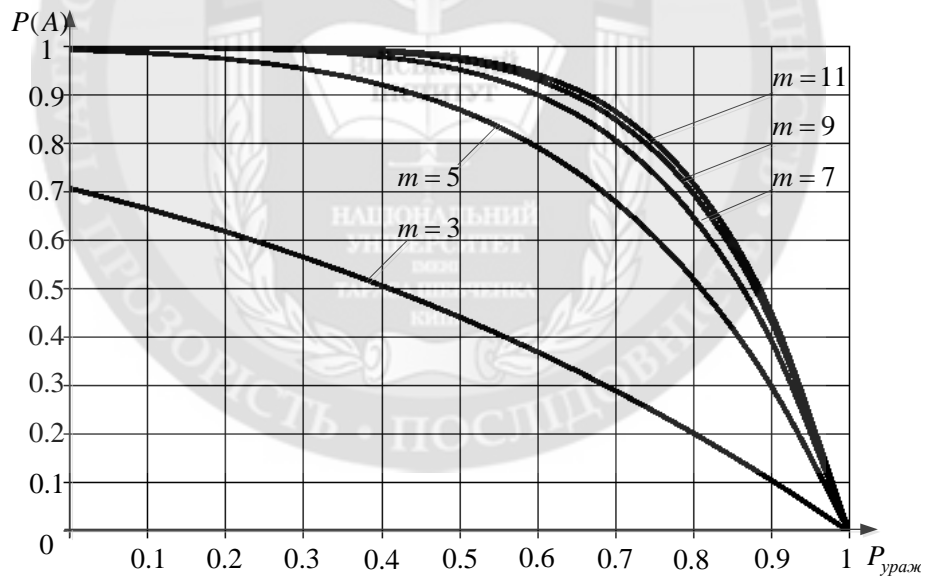


Рис.3. Графіки залежності $P(A)$ від $P_{ураж}$ для різних значень m

З графіка видно, що для того, щоб ймовірність прийому службової інформації приблизно відповідала ймовірності прийому синхромітки необхідно забезпечити не менше як семикратне мажоритарне кодування.

Висновки. У статті проведено вибір оптимальних параметрів алгоритму входження в синхронізм радіолінії управління БПЛА з ППРЧ за критерієм максимальної завадозахищеності в умовах впливу навмисних завад. Наведені параметри дозволяють

забезпечити синхронізацію УКХ-радіолінії управління БПЛА в межах нормативно відведеного часу з ймовірністю близькою до 1. Дане положення зберігається до тих пір, поки значення ймовірності ураження частоти входження в синхронізм буде близьке до прийнятого в методиці [4].

Нажаль в сучасних умовах досить легко виявити постійні частоти входження в синхронізм і організувати на цих частотах навмисну постійну заваду. Тому для подальших досліджень актуальним є напрямок розробки алгоритмів формування змінних наборів частот входження, наприклад за принципом плинної зміни.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Борисов В.И., Зинчук В.М., Лимарев А.Е., Мухин Н.П., Шестопапов В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты. – М.: Радио и связь, 2000. –384 с.

2. Міщенко В.Г., Єрохін В.Ф. Аналіз завадозахищеності типових алгоритмів входження в синхронізм радіолінії з псевдовипадковим перелаштуванням радіочастоти // Матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції “АВІА-2001”, 24-26 квітня 2001р., м.Київ // Компакт-диск “III Міжнародна науково-технічна конференція АВІА-2001”. – К.: КМУЦА. – 2001.

3. Рома О.М., Василенко С.В. Основи побудови завадозахищеної радіолінії управління безпілотним літальним апаратом // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2015. – Вип. №49. – С. 97-104.

4. Міщенко В.Г., Єрохін В.Ф. Методика оцінки завадозахищеності алгоритмів входження в синхронізм радіолінії з псевдовипадковим перелаштуванням радіочастоти/ Захист інформації, 2001. – № 2. – С. 32-59.

5. Золотарев В.В. Простые методы исправления ошибок в каналах с большим уровнем шума // Радиотехника, 1991. – №10. – С.79-82.

REFERENCES:

1. Borisov, V.I., Zinchuk, V.M., Limarev, A.E., Mukhin, N.P., Shestopalov, V.I. (2000). Interference immunity of radio systems with spread spectrum by frequency hopping spread spectrum. Moscow: Radio i svyaz' [Radio and Communications], p. 384 (In Russian).

2. Mishhenko, V.Gh., Jerokhin, V.F. (2001). Analysis noise immunity algorithm acquisition radio lines with the frequency hopping spread spectrum. Materialy III Mizhnarodnoji naukovo-tekhnichnoji konferenciji “AVIA-2001”, 24-26 kvitnja 2001, Kiev. CD “III Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferencija AVIA-2001”, Kiev.: KMUCA.

3. Roma, O.M., Vasylenko, S.V. (2015). Fundamentals of noise immunity radio control unmanned aerial vehicle. Kiev: Zbirnyk naukovykh pracj Vijsjkovogho instytutu Kyjivsjkogho nacionaljnogho univrsytetu imeni Tarasa Shevchenka. – К.: VIKNU, №49. pp. 97-104.

4. Mishhenko, V.Gh., Jerokhin, V.F. (2001). Method of estimation algorithms by noise immunity radio lines with the frequency hopping spread spectrum. Zakhyst informaciji [Information Security], № 2, pp. 32-59.

5. Zolotarev V.V. (1991). Prostyie metody ispravleniya oshibok v kanalakh c bol'shim urovnem shuma. Radiotekhnika [Radio Engineering], №10, pp.79-82.

Рецензент: д.т.н., проф. Сбітнев А.І., провідний науковий співробітник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

д.т.н., с.н.с. Рома А.Н., Василенко С.В.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ АЛГОРИТМА ВХОЖДЕНИЯ В СИНХРОНИЗМ РАДИОЛИНИИ УПРАВЛЕНИЕ БПЛА С ППРЧ

Результаты оценки локальных войн и вооруженных конфликтов свидетельствуют о росте роли беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в решении задач воздушной разведки.

Рассматривая влияние злоумышленника, мы сталкиваемся с различными условиями подавления канала связи. Сильнейшему влиянию помехи подвергается радиоэлектронное

оборудование летательного аппарата, поскольку он находится на наименьшем расстоянии от помехопостановщика. Следовательно, возникает вопрос защиты радиолинии управления БПЛА.

В качестве способа защиты предлагается использование широкополосных сигналов с псевдослучайной перенастройкой рабочей частоты (ППРЧ). Поскольку процесс вхождения в синхронизм является первичным по отношению к обмену информации, то помехозащищенность радиолинии с ППРЧ характеризуется помехозащищенностью алгоритма вхождения в синхронизм. Оптимальный выбор параметров данного алгоритма позволяет обеспечить баланс между помехозащищенностью системы синхронизации и качеством передачи полезной информации.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат (БПЛА), псевдослучайная перестройка рабочей частоты (ППРЧ), алгоритм вхождения в синхронизм, помехозащищенность.

Dr. Roma A.N., Vasylenko S.V.

SETTING ALGORITHM ACQUISITION ENTRY INTO RADIOLINE CONTROL UAV WITH FHSS

The evaluation of local wars and armed conflicts indicate an increase in the role of unmanned aerial vehicles (UAVs) in the solution of aerial reconnaissance tasks.

Considering the impact of the attacker, we are confronted with different channel conditions due suppression. Radioelectronic equipment aircraft is exposed to the strongest influence of noise, because it is the closest to the jammer. In such way the issue of UAV radio control protection becomes topical.

In this article using of broadband signals with frequency hopping spread spectrum (FHSS) is suggested as the security method. Since the process of acquisition is primary in relation to the exchange of information, immunity from FHSS radio is characterized by noise immunity algorithm acquisition. The optimal choice of the parameters of the algorithm allows to provide the balance between noise immunity systems of synchronization and the quality of the useful information transmission.

Keywords: unmanned aerial vehicle (UAV), frequency hopping spread spectrum (FHSS), acquisition algorithm, noise immunity.

