

АНАЛІЗ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ ПРОЦЕСУ ВХОДЖЕННЯ В СИНХРОНІЗМ РАДІОЛІНІЇ УПРАВЛІННЯ БПЛА З ППРЧ

Василенко С.В.

*Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації
Національний технічний університет України "Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Україна
E-mail: vasylenko.phd@gmail.com*

ANALYSIS OF THE SYNCHRONISM ENTERING PROCESS ROBUSTNESS IN UAV'S RADIO CONTROL LINE WITH FHSS

In the work, on the basis of the developed simulation model of the entering into synchronism process of the unmanned aerial vehicle (UAV) control line with the frequency-hopping spread spectrum (FHSS), a number of experiments and estimation of the entering into the synchronism process noise immunity of the UAV control line with the FHSS under conditions of powerful intentional interference.

Обмежені можливості застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в складних радіоелектронних умовах та невинне зростання питомої ваги завад в умовах обмеженості радіочастотного ресурсу обумовили доцільність застосування в системах управління БПЛА широкосмугових сигналів з псевдовипадковим переналаштуванням робочої частоти (ППРЧ).

Велика кількість робіт присвячена питанню розкриття властивостей методу ППРЧ та методики формування сигналів з ППРЧ в умовах впливу навмисних та ненавмисних завад [1-3]. У даних роботах детально розглядаються переваги та недоліки зазначеного методу, представлені основні математичні моделі системи радіозв'язку з ППРЧ та проводиться аналіз завадозахищеності зазначеного методу. Проте у даних роботах не достатньо уваги приділяють завадозахищеності процесу входження в синхронізм. Аналіз [4] показав, що на етапі пошуку складного сигналу з ППРЧ завадозахищеність радіолінії характеризується завадозахищеністю алгоритму входження в синхронізм.

В роботі на основі відомої методики оцінки завадозахищеності алгоритму входження в синхронізм радіолінії з ППРЧ [5] та синтезованої математичної моделі процесу входження в синхронізм радіолінії управління БПЛА з ППРЧ [6] в середовищі комп'ютерного моделювання Matlab R2017a з пакетом розширення Simulink розроблено імітаційну модель (ІМ) процесу входження в синхронізм радіолінії управління БПЛА з ППРЧ (рис. 1).

У розробленій ІМ на вході передавача формується дві послідовності Касамі, що містять інформацію про номер частоти та номер підциклу передавача (синхромітка), та блок службової інформації, що закодована за допомогою мажоритарного кодування. Сформована синхромітка та блок службової інформації об'єднуються в синхрокадр, який після перемноження зі спільною (завчасно відомою обом користувачам) псевдовипадковою

послідовністю (ПВП), надходить на вхід BPSK-модулятора. Після модуляції сформований синхрокадр передається у AWGN-канал, де піддається впливу навмисної завади противника. Для імітації впливу противника в роботі використовується генератор випадкових двійкових чисел Бернуллі.

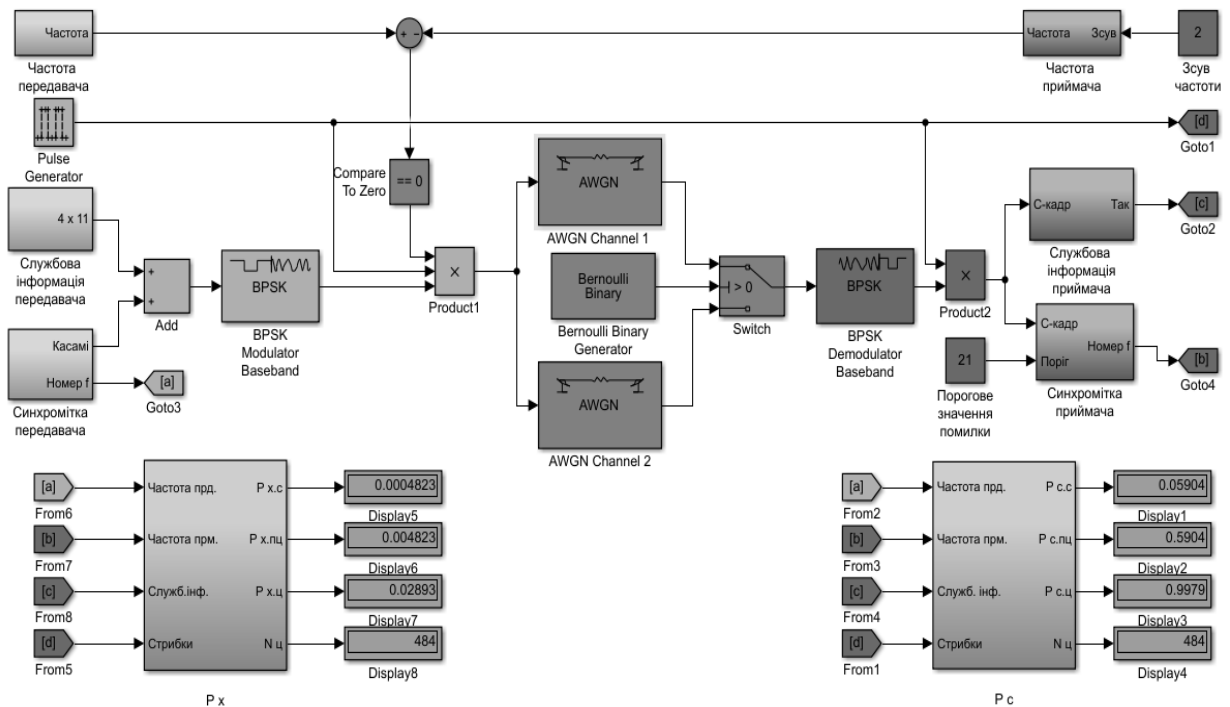


Рис. 1. Структурна схема ІМ.

Оскільки методика [5] передбачає, що не всі частоти входження в синхронізм уражені навмисною завадою, для імітації середовища розповсюдження використовується два AWGN-канали. У випадку, коли частота не уражена, сигнал проходить через канал зі значним рівнем шуму (AWGN Channel 1). Якщо ж ураження частоти навмисною завадою відбулося, то за допомогою ключа (Switch) здійснюється переключення на іншу лінію (AWGN Channel 2), де потужність сигналу значно перевищує потужність шуму.

Прийнятий сигнал передавача, за допомогою BPSK-демодулятора, демодулюється та перемножується на спільну ПВП. Після цього відбувається виділення з синхрокадру синхронітки та блоку службової інформації.

Рішення про правильність прийому синхрокадру, а отже і входження в синхронізм, на приймальній стороні приймається на основі порівняння отриманих послідовностей Касамі з власними.

Для проведення оцінки статистичних даних в ІМ використовуються блок оцінки ймовірності вірного (P_c) та хибного (P_x) входження в синхронізм, що дозволяють проводити аналіз ймовірностей входження в синхронізм за одну частотну позицію (стрибок), підцикл та цикл передачі.

За допомогою розробленої ІМ проведено аналіз залежності ймовірності вірного ($P_{c,u}$) та хибного ($P_{x,u}$) входження в синхронізм за один цикл передачі радіолінії управління БПЛА з ППРЧ для різних значень відношення потужності

сигнал/шум на уражених (SNR_+) та неуражених (SNR_-) частотах від значень, що характеризують завадову обстановку ($P_{ураж}$). Значення SNR_+ , SNR_- та $P_{ураж}$ задаються на початку експерименту.

Проведений аналіз результатів моделювання показав, що при значеннях $SNR_+ = -10$ дБ, $SNR_- = -5$ дБ та $P_{ураж} = 0,4$ ймовірність вірного входження в синхронізм наближається до 1 ($P_{с.ц} = 0,996$). При погіршені завадової обстановки до $P_{ураж} = 0,6$ та зменшенні значення SNR_- до -10 дБ ймовірність входження в синхронізм знижується і складає $P_{с.ц} = 0,7$.

Значення ймовірності хибної синхронізації, для вище розглянутих випадків, є незначними та знаходиться в межах $P_{х.ц.} = [0,0195; 0,0245]$.

Розроблена ІМ процесу входження в синхронізм радіолінії управління БПЛА з ППРЧ дозволяє:

- перевірити працездатність синтезованої математичної моделі процесу входження в синхронізм радіолінії управління БПЛА з ППРЧ;
- провести низку експериментів для різних значень завадової обстановки в якій змушений працювати БПЛА;
- оцінити завадозахищеність процесу входження в синхронізм радіолінії управління БПЛА з ППРЧ.

ІМ також дозволяє проводити вибір необхідних параметрів алгоритму входження в синхронізм для досягнення максимального рівня завадозахищеності процесу входження в синхронізм радіолінії з ППРЧ.

Розроблена ІМ є уніфікованою та може бути використана при розробці нових чи модернізації відомих засобів радіозв'язку з ППРЧ.

Література

1. Чуднов А. М. Об адаптивных алгоритмах псевдослучайного переключения рабочих частот радиолиний в условиях случайных и преднамеренных помех. *Журнал радиоэлектроник*. 2015. № 4.
2. Fernández de Gorostiza E., Berzosa J., Mabe J., Cortiñas R. A Method for Dynamically Selecting the Best Frequency Hopping Technique in Industrial Wireless Sensor Network Applications. *Sensors*. 2018. Vol. 18, Issue 2. P. 657. doi: <https://doi.org/10.3390/s18020657>.
3. Гурський Т. Г., Кривенко О. В. Методика формування сигналу в радіозасобах з ППРЧ при передачі мови в умовах впливу завад у відповідь. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2017. № 2. С. 179 – 184.
4. Березюк М. В. Завадозахищеність синхронізації радіолінії з ППРЧ та фіксованим набором частот входження. *Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення* : зб. мат. IV наук.-практ. семін. Київ : ВІТІ НТУУ “КПІ”, 2007. С. 58.
5. 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.
6. Рома О. М., Василенко С. В. Вибір параметрів алгоритму входження в синхронізм радіолінії управління безпілотним літальним апаратом з псевдовипадковим перелаштуванням робочої частоти. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2016. № 54. С. 71 – 78.