

## АНАЛІЗ ЗАВАДОЗАХИЩЕНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ СУЧАСНИХ ВІЙСЬКОВИХ УКХ РАДІОСТАНЦІЙ ТАКТИЧНОЇ ЛАНКИ УПРАВЛІННЯ ТА ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

На даний час в Збройних силах України організовані та функціонують УКХ радіомережі, побудовані в основному з використанням обладнання “Motorola”, “Harris”, “Aselsan”. Основна проблема застосування засобів зв'язку “Motorola” – робота на фіксованих частотах, у достатньо вузькому діапазоні частот (136–174 МГц), що призводить до низької завадозахищеності ліній радіозв'язку. На відміну від обладнання “Motorola”, в радіостанціях “Harris” та “Aselsan” реалізовані сучасні завадозахищені режими роботи, зокрема з псевдовипадковим переналаштуванням робочих частот (ППРЧ).

Досвід бойових дій у зоні проведення операції Об'єднаних сил (ООС) вказує на необхідність підвищення ефективності використання існуючих можливостей УКХ радіостанцій тактичної ланки управління. В умовах активної радіоелектронної протидії противника підвищення завадозахищеності ліній радіозв'язку набуває особливої актуальності і вимагає постійного вдосконалення засобів радіозв'язку на основі досягнень сучасної науки.

У дослідженні, на прикладі УКХ радіостанції тактичної ланки управління “Harris” RF-7850M-НН, проаналізовані наявні на сьогодні завадозахищені режими роботи та розроблені практичні рекомендації щодо їх використання в умовах впливу основних видів навмисних завад.

Викладені у статті практичні рекомендації можуть бути використані при розробці інструкцій щодо забезпечення функціонування УКХ радіостанцій тактичної ланки управління в умовах радіозавад.

**V. Chenchenko, V. Rudenko, L. Bondarenko, M. Zinchenko. Analysis of interference-protected operating modes of modern military VHF radio stations of the tactical link of management and practical recommendations of recommendations.**

*At present, the Armed Forces of Ukraine have organized and operate VHF radio networks, built mainly using equipment “Motorola”, “Harris”, “Aselsan”. The main problem with the use of “Motorola” communications is the operation at fixed frequencies, in a fairly narrow frequency range (136 - 174 MHz), which leads to low noise immunity of radio lines. Unlike Motorola equipment, “Harris” and “Aselsan” radios implement modern noise-tolerant modes, including with frequency hopping spectrum spreading (FHSS).*

*The experience of combat operations in the area of the Operation Joint Forces (OJF) indicates the need to increase the efficiency of the use of the existing VHF capabilities of tactical radio stations. In the conditions of active radio-electronic counteraction of the enemy, the increase of noise protection of radio communication lines becomes especially relevant and requires constant improvement of radio communication means on the basis of the achievements of modern science.*

*The study, on the example of VHF radio tactical control unit “Harris” RF-7850M-НН, analyzed the current noise-protected modes of operation and developed practical recommendations for their use in the face of major types of intentional interference.*

*The practical recommendations set out in the article can be used in the development of instructions for ensuring the operation of VHF radio stations of the tactical management in the conditions of radio interference.*

**Ключові слова:** завадозахищеність, режим роботи з ППРЧ, хопсет, швидкість передачі.

### Постановка завдання в загальному вигляді

Однією з основних характеристик систем радіозв'язку (СРЗ) є завадозахищеність, складовими якої є завадостійкість і скритність [1–4].

Одним з ефективних шляхів забезпечення завадозахищеності сучасних СРЗ в умовах впливу навмисних або ненавмисних завад є застосування сигналів з розширеним спектром: шумоподібних сигналів (ШПС), сигналів з псевдовипадковим переналаштуванням робочих частот (ППРЧ), псевдовипадковим переналаштуванням часу (ППЧ) і їх комбінацій [1–4]. Найбільш широке поширення у військових СРЗ отримали сигнали з ППРЧ.

На сьогоднішній день в тактичній ланці управління Збройних сил (ЗС) України широко використовуються радіостанції виробництва компаній “L3 Harris Technologies” (США) та

“Aselsan A.Ş.” (Туреччина), побудовані на основі технології програмно-забезпеченого радіо (SDR, software-defined radio).

Відповідно до рекомендацій [5], до радіопристроїв з програмованими параметрами (Cognitive Radio System, CRS) відносяться радіопередавач і/або радіоприймач, який використовує технологію, що дозволяє за допомогою програмного забезпечення встановлювати або змінювати робочі радіочастотні параметри, включаючи, зокрема, діапазон частот, тип модуляції або вихідну потужність, за винятком зміни робочих параметрів, що використовуються в ході звичайної, попередньо визначеної роботи з попередніми установками радіопристрою, згідно з тією чи іншою специфікацією або стандартом системи.

Для забезпечення стійкого завадозахищеного зв'язку в умовах активної радіоелектронної протидії противника в радіостанціях “Harris” та “Aselsan” передбачені режими роботи з ППРЧ.

Вибір конкретного режиму роботи з ППРЧ залежить від виду завад, що впливають на роботу СРЗ. Залежно від зміни характеру діючих завад повинні змінюватися і режими роботи з ППРЧ.

Багатоваріантність режимів роботи з ППРЧ створює проблему вибору оптимального режиму з врахуванням завадової обстановки у каналі зв'язку та необхідності оперативної зміни вибраного режиму при зміні умов прийому у одного чи декількох абонентів. Чим більший набір можливих режимів роботи запрограмовано у радіостанції, тим важче оператору здійснювати необхідне управління (знаходити правильні рішення). Аналогічна проблема може виникати і перед організаторами мереж радіозв'язку.

Правильний (оптимальний) вибір режиму роботи радіостанції з ППРЧ забезпечить підвищення завадозахищеності СРЗ, що в умовах активної радіоелектронної протидії противника набуває особливої актуальності та вимагає постійного вдосконалення засобів радіозв'язку й ефективного використання їх експлуатаційних характеристик на основі досягнень сучасної науки.

Тому постає актуальною задача аналізу завадозахищених режимів роботи сучасних військових УКХ радіостанцій тактичної ланки управління та розробка практичних рекомендацій щодо їх використання.

**Актуальність викладеного матеріалу** полягає в тому, що в умовах постійного вдосконалення форм і методів ведення бойових дій, високого динамізму зміни станів інформаційно-телекомунікаційних систем тактичної ланки управління, які обумовлені характером бойових дій, а також зміни підходів до планування бойового застосування систем радіозв'язку актуальним залишається питання підвищення завадозахищеності ліній радіозв'язку на основі досягнень сучасної науки.

#### **Аналіз останніх публікацій**

Метод розширення спектру радіосигналів на основі ППРЧ є достатньо вивченим і відображеним в науковій літературі.

В роботах [1; 2] викладені основні принципи і характеристики методу ППРЧ, проведений аналіз можливих способів підвищення завадозахищеності СРЗ з ППРЧ в умовах організованих завад і власних шумів приймальних пристроїв, аналізуються адаптивні алгоритми ППРЧ, описуються алгоритми виявлення сигналів з ППРЧ з метою їх радіоелектронного придушення.

В монографії [2] розглянуто використання ППРЧ для підвищення завадозахищеності СРЗ в умовах радіоелектронного протиборства, наведена загальна характеристика СРЗ з ППРЧ, окремо описані питання завадозахищеності сигналів з ППРЧ.

Разом з тим, наявність таких робіт не знижує на сьогодні актуальність досліджень напрямків підвищення завадозахищеності СРЗ з ППРЧ.

В останніх публікаціях пропонуються нові та покращені методики оптимізації (ускладнення алгоритму) формування сигналу ППРЧ, виходячи з аналізу можливої завадової обстановки в радіоканалі та характеристик методів ППРЧ.

Так, у роботі [6] запропоновано метод автоматичного визначення тривалості частотних елементів радіосигналу з ППРЧ за умов наявності вузькосмугових завад у частотному діапазоні роботи радіозасобів.

У роботі [7] запропоновано методику вибору необхідної ширини хопсету, при якій забезпечується задана якість передачі інформації.

У роботах [8; 9] розроблені методики формування сигналу ППРЧ при передачі голосу (мови). Сутність методики [8] полягає у розсосередженні у часі сусідніх символів інформаційного сигналу, що потрапляють під вплив завади.

Сутність методики [9] полягає у такому розташуванні символів мовних кадрів на інтервалі частотних елементів сигналу з ППРЧ, при якому завада вражає найменш важливі для відтворення мови символи.

У роботі [10] запропоновано удосконалену методику вибору параметрів багатоантенних систем радіозв'язку з ППРЧ залежно від завадової обстановки.

У роботі [11] запропоновані напрямки підвищення завадозахищеності систем радіозв'язку з ППРЧ та розроблена методика вибору робочих частот з урахуванням стратегій застосування засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ) та електромагнітної сумісності (ЕМС) засобів радіозв'язку, що розгортаються в локальних угрупованнях радіозасобів.

У роботі [12] представлений огляд існуючих методів (протоколів) фізичного, каналного, мережевого, транспортного та прикладного рівнів передачі даних мереж радіозв'язку, що самоорганізуються, і визначено напрями їх подальших досліджень.

У роботі [13] проведено аналіз завдань, що виникають при розробці та експлуатації СРЗ з ППРЧ, та запропоновано напрямки їх вирішення.

Наукові розробки щодо підвищення завадозахищеності СРЗ з ППРЧ можуть бути використаними при розробці нових вітчизняних радіозасобів або удосконаленні існуючих.

Разом з тим, викладені в зазначених роботах теоретичні основи прогнозування завадової обстановки в радіоканалі, пропозиції щодо покращення алгоритмів формування сигналів з ППРЧ в умовах радіопротидії противника є корисними і для підвищення ефективності використання радіозасобів з ППРЧ, що перебувають на постачанні ЗС України.

Польові посібники оператора (посібники з експлуатації), зокрема остання редакція такого посібника з експлуатації портативної УКХ радіостанції “Harris” RF-7850M-НН [14], не дають рекомендацій щодо вибору режимів роботи з ППРЧ залежно від умов ведення радіозв'язку.

Останні публікації [1–13] щодо завадозахищеності засобів радіозв'язку з ППРЧ дають змогу проаналізувати існуючі режими роботи з ППРЧ, зокрема на прикладі радіостанції “Harris” RF-7850M-НН, і розробити рекомендації щодо їх вибору та налаштування параметрів при плануванні радіомереж тактичної ланки управління.

**Мета статті.** Метою даного дослідження є проведення аналізу завадозахищених режимів роботи сучасних УКХ радіозасобів військового призначення тактичної ланки управління на прикладі радіостанції “Harris” RF-7850M-НН та розробка практичних рекомендацій щодо їх використання.

#### **Виклад основного матеріалу**

##### **Коротка характеристика завад**

Основними видами завад, які реалізуються в системах РЕБ, є (рис. 1) [1; 2]:

шумова загороджувальна завада;

шумова завада в частині смуги;

полігармонійна завада;

завада у відповідь (ретрансльована завада).

Найбільш універсальною і стійкою до різних способів завадостійкості, що застосовуються в СРЗ, є шумова загороджувальна завада (рис. 1, *a*), моделлю якої є обмежений за смугою адитивний білий гаусівський шум зі спектральною щільністю потужності  $G_j$ :

$$G_j = P_j / W_s,$$

де  $P_j$  – потужність завади;  $W_s$  – смуга частот.

Загороджувальна завада повинна перекивати частотний діапазон СРЗ і при відповідній потужності станції завад здатна придушити СРЗ за будь-яких способів переналаштування частоти. Зважаючи на значний частотний діапазон СРЗ з ППРЧ, потужність передавача завад повинна бути достатньо великою.

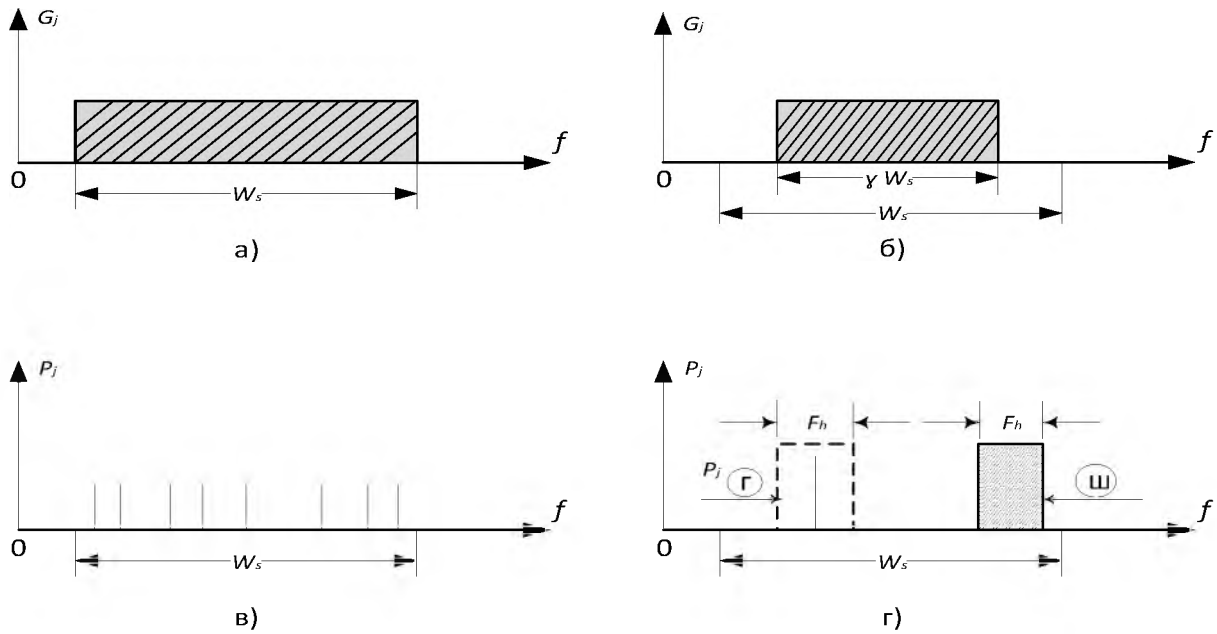


Рис. 1. Основні види завад, що впливають на системи зв'язку з ППРЧ

Потужність шумової завади може бути використана більш ефективно за рахунок зосередження її в обмеженій смузі частот, значно меншій, ніж діапазон частот СРЗ з ППРЧ. Таку заваду прийнято називати шумовою завадою в частині смуги (зосередженою завадою по спектру, завадою з частковим перекриттям спектру сигналів СРЗ) – рисунок 1, б.

Спектральна щільність потужності шумової завади в частині смуги  $G_j$  може бути представлена у вигляді двох рівнів:

$$G_j = \begin{cases} P_j / (\gamma W_s); & \text{в смузі } (\gamma W_s) \\ 0; & W = (1 - \gamma) W_s \end{cases},$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт, що характеризує частину смуги, яку займає завада,  $0 < \gamma < 1$ .

Спектральна щільність потужності шумової завади в частині смуги зростає в  $1/\gamma$  раз порівняно зі спектральною щільністю потужності шумової загороджувальної завади.

Станція шумових завад з рівномірно розподіленою потужністю в межах смуги  $\gamma W_s$  придушує частотні елементи сигналу з ППРЧ з ймовірністю  $\gamma$ . Ймовірність того, що ці ж частотні елементи сигналу з ППРЧ не придушуються завадою, дорівнює  $(1 - \gamma)$ .

Для СРЗ з ППРЧ ефективною завадою за певних умов є полігармонійна завада (багатотональна завада), що є набором з  $l$  немодульованих гармонійних коливань рівної потужності, розподілених по діапазону частот  $W_s$  відповідно до заданої постановником завад стратегії (рис. 1, в).

Для створення ефективною полігармонійної завади потрібне досить точне наведення вузькосмугових завад на центральні частоти каналів СРЗ з ППРЧ, а також забезпечення на вході  $i$ -го каналу приймача СРЗ певного співвідношення потужності завади  $P_i$  і потужності сигналу  $P_s$ :

$$\frac{P_i}{l} = \frac{P_s}{\alpha},$$

де  $\alpha$  – деяке позитивне число (параметр розподілу потужності), яке вибирається постановником завад відповідно до заданої стратегії так, щоб оптимізувати ефективність завади.

При цьому, ефективність гармонійної завади, що діє в тому ж каналі, в якому знаходиться і сигнал, залежить від різниці фаз між завадою і сигналом.

При несприятливих фазових співвідношеннях і рівності  $P_j = P_s$  завада може повністю придушити корисний сигнал.

Найявну потужність станції завад найбільш раціонально можна використовувати при створенні завад у відповідь (ретрансльованих завад).

Потужність передавача завад в цьому випадку концентрується лише в смузі частот СРЗ, що придушується, і лише під час її роботи.

У якості завади у відповідь можуть застосовуватися шумова і вузькосмугова (гармонійна) завада (рис. 1, з), а також комбінація шумової і вузькосмугової завад.

Завади у відповідь певною мірою є копією частотних елементів сигналу СРЗ, що придушується, і з погляду енергетичних можливостей є одними з найбільш ефективних.

Проте створення завад у відповідь для СРЗ з ППРЧ за порівняно короткий час передачі частотних елементів сигналу (стрибків частоти) нашоухується на технічні й організаційні труднощі.

Серйозною проблемою, з якою стикаються при створенні завад у відповідь, є інтенсивна робота декількох радіоліній з однаковими параметрами налаштувань.

### **Аналіз завадозахищених режимів роботи УКХ радіостанції “Harris” RF-7850M-НН**

Передбачені в радіостанції “Harris” RF-7850M-НН режими роботи з ППРЧ та їх параметри наведені в таблиці 1.

### **Практичні рекомендації щодо використання режимів роботи з ППРЧ УКХ радіостанції “Harris” RF-7850M-НН в умовах впливу навмисних завад**

#### **Загальні підходи до вибору режимів роботи**

Радіостанція “Harris” RF-7850M-НН може бути запрограмована для роботи у 25-ти мережах, як у режимі з фіксованою частотою, так і режимах з ППРЧ. 13 мереж можна призначити на відповідні положення поворотного перемикача радіостанції у верхній частині корпусу. Такі можливості радіостанції дозволяють на етапі планування радіомереж передбачати різні варіанти роботи в одних і тих же мережах залежно від прогнозованої завадової обстановки в каналі зв'язку.

При цьому, необхідно враховувати необхідність:

- ускладнення для противника можливостей по виявленню факту роботи радіостанції в мережі (виявлення сигналу);
- максимальної протидії (за можливості затримки в часі) визначення противником структури виявленого сигналу та його основних параметрів;
- оперативного реагування (зміни режиму роботи) при проявах роботи засобів РЕП противника (при виявленні факту постановки противником навмисних завад);
- забезпечення ЕМС своїх радіоелектронних засобів (РЕЗ).

Зазначені дії є складовою радіоелектронного захисту, який організується і здійснюється для захисту своїх радіоелектронних засобів від радіоелектронної розвідки, вогневого і радіоелектронного впливу противника та від взаємних завад.

Таблиця 1

## Режими роботи УКХ радіостанції «Harris» RF-7850M-НН з ППРЧ

№ з/п	Параметр	Quicklook 1A (QL1A)	Quicklook 2 (QL2)	Quicklook 3 (QL3)					Quicklook Wide (QLW)	TNW	
				FCS	Slow	Medium	Fast	Auto		TNW-25	TNW-75
1	Тип трафіку	голос, дані	голос					голос, дані			
2	Синхронізація часу	не потребують		потребують синхронізації часу TOD (Time-of-day, час дня) вручну (в межах $\pm 1$ хв по всій мережі) або за допомогою системи Global Positioning System (GPS)					потребують синхронізації часу TOD вручну (в межах $\pm 1,5$ хв) або за допомогою GPS		
3	Хопсет (Hopset)	передача та прийом на одному чи на різних хопсетах					передача та прийом на одному хопсеті				
4	Ширина каналу (Bandwidth)	25 кГц						75 кГц	25 кГц	75 кГц	
5	Доступ до каналу (Channel Access)	NONE (ніякого, без організації доступу) або MACA, MACA2	NONE (ніякого, без організації доступу)					MACA2	TNW		
6	Швидкість стрибків (Hop Rate)	більше ніж 100 за секунду	більше ніж 300 за секунду	Автоматичний пошук вільного каналу	більше ніж 100 за секунду	більше ніж 300 за секунду	більше ніж 1000 за секунду	автоматичний вибір підрежимів FCS або ППРЧ зі швидкістю стрибків, вказаною оператором (Slow, Medium, Fast)	більше ніж 100 (або 300) за секунду	більше ніж 100 за секунду	більше ніж 300 за секунду
7	Вузькосмутовий ключ TRANSEC (NB TRANSEC Key)	не застосовується		застосовується							

№ з/п	Параметр	Quicklook 1A (QL1A)	Quicklook 2 (QL2)	Quicklook 3 (QL3)					Quicklook Wide (QLW)	TNW	
				FCS	Slow	Medium	Fast	Auto		TNW-25	TNW-75
8	Криптографічний алгоритм безпеки зв'язку COMSEC Crypto Algorithm)	Citadel-128, Citadel-256, AES-128, AES-256								AES-256	
9	Ідентифікатор радіостанції (Radio ID)	використовується, якщо Channel Access – MACA або MACA2	не використовується					використовується			
10	Ідентифікатор мережі (Network ID)	не використовується		використовується					використовується		
11	Модуляція (Modulation)	Hopping FSK (стрибокподібна частотна маніпуляція)									
12	Швидкість передачі (Baud Rate)	1,6 кбіт/с, 2,7 кбіт/с, 8 кбіт/с, 16 кбіт/с	16 кбіт/с	16 кбіт/с	16 кбіт/с	12 кбіт/с	2,4 кбіт/с	2,4 кбіт/с, 12 кбіт/с, 16 кбіт/с	при 100 стрибках (64 кбіт/с)  при 300 стрибках (4,8 кбіт/с, 8 кбіт/с, 24 кбіт/с, 48 кбіт/с)	2,4 кбіт/с	14 кбіт/с на мережу
13	Вокодер, голосовий режим (Vocoder, Voice Mode)	MELP, CVSD					MELP	MELP, CVSD		MELP	

Загалом, радіоелектронний захист – це комплекс організаційно-технічних заходів і дій, спрямованих на забезпечення стійкої роботи своїх систем управління військами (силами) і зброєю [15].

Організаційні заходи полягають у виборі доцільних способів бойового застосування і розміщення радіоелектронних об'єктів і засобів на місцевості в угрупованнях військ, регламентуванні роботи РЕЗ по території, частотах, режимах і часу, а також у виявленні джерел ненавмисних (взаємних) завад і вжитті заходів щодо виключення їх впливу.

Технічні заходи полягають у застосуванні спеціальних пристроїв, схем захисту і режимів роботи РЕЗ.

Вибір оптимальних режимів роботи радіостанції та параметрів їх налаштування дозволяє підвищити завадозахищеність радіомережі в умовах впливу навмисних завад та зменшити рівень взаємних завад з іншими радіоелектронними засобами та системами.

Оператор радіостанції повинен володіти інформацією щодо запрограмованих режимів роботи та знати їх основні параметри. Бажано на організаційному рівні завчасно підготувати відповідні пам'ятки операторам радіостанцій, що дозволить в складних умовах бойового застосування приймати відповідні рішення.

На етапі входження в зв'язок необхідно забезпечити обмін інформацією зі всіма радіостанціями мережі, у тому числі з найбільш віддаленими, з забезпеченням вимог щодо якості зв'язку. При цьому, максимальна прихованість СРЗ буде забезпечуватися при роботі з мінімальною потужністю передавача та виборі режиму роботи з ППРЧ з мінімальною швидкістю переналаштування (зі зростанням швидкості ППРЧ дальність зв'язку знижується) та мінімальною швидкістю передачі інформації (зі зростанням швидкості передачі даних якість зв'язку знижується). Вибраний режим роботи з ППРЧ не повинен вимагати додаткових дій щодо синхронізації радіоканалу (початкова синхронізація виконується при першому включенні радіостанції).

Аналіз можливих на сьогодні варіантів режимів роботи УКХ радіостанції “Harris” RF-7850M-НН з ППРЧ показує (табл. 1), що всі режими роботи забезпечують передачу голосового трафіку і лише окремі – передачу даних. Відповідно, на етапі планування необхідно враховувати прогнозовану інтенсивність та види трафіку, що передаються в радіомережах.

Слід зазначити, що УКХ радіостанція “Harris” RF-7850M-НН відноситься до серії радіостанцій “Falcon III”. Радіостанції серії “Falcon III” переважають за своїми характеристиками радіостанції попередньої серії “Falcon II” (RF-5800), мають додаткові режими роботи. При цьому, забезпечується сумісність зазначених серій радіостанцій, в тому числі і при роботі з ППРЧ.

Зокрема, зустрічна робота УКХ радіостанцій “Harris” серії “Falcon III” (RF-7850V, M) з УКХ радіостанціями “Harris” серії “Falcon II” (RF-5800V, M) з ППРЧ можлива в режимах “Quicklook 1A” та “Quicklook 2”.

На постачанні ЗС України перебувають УКХ радіостанції “Harris” переважно серії “Falcon III”, тому, зважаючи на універсальність режиму роботи з ППРЧ “Quicklook 3”, планування роботи радіостанцій “Harris” RF-7850M-НН в режимі “Quicklook 2” видається недоцільним.

В режимі “Quicklook 1A” забезпечується передача голосового трафіку і даних. За швидкістю ППРЧ (100 стрибків частоти за секунду) режим “Quicklook 1A” відповідає підрежиму “Slow” (низька швидкість) режиму “Quicklook 3”. При цьому, підрежим “Slow” режиму “Quicklook 3” є більш захищеним порівняно з “Quicklook 1A” за рахунок шифрування службового трафіку між радіостанціями в радіомережі (застосовується ключ TRANSEC). Крім того, в режимі “Quicklook 3” оператору з передньої панелі радіостанції доступний вибір підрежимів роботи (Slow, Medium, Fast – низький, середній, швидкий). Синхронізація радіостанцій при роботі в режимі “Quicklook 3” особливих труднощів не викликає і здійснюється або вручну (в межах  $\pm 1$  хв по всій мережі) або за допомогою системи Global Positioning System (GPS). Відповідно, використання режиму “Quicklook 1A” доцільно розглядати лише для забезпечення передачі даних.



**Практичні рекомендації щодо використання режимів роботи з ППРЧ при передачі голосового трафіку**

Враховуючи перераховане вище, входження в зв'язок з метою передачі голосового трафіку в умовах впливу навмисних завад пропонується здійснювати у підрежимі “Slow” (низька швидкість, більше ніж 100 стрибків частоти на секунду) режиму “Quicklook 3”. Із можливих величин потужності передавача (Low, Med, High, High+, 1 Вт, 2 Вт, 5 Вт, 10 Вт) спершу вибирається Low, потім Med і т. д. Тобто, забезпечується робота з мінімально необхідною потужністю випромінювання, достатньою для забезпечення заданої якості зв'язку.

Для постановника завад закон переналаштування частоти в СРЗ з ППРЧ невідомий. Фундаментальний принцип псевдовипадковості сигналів перешкоджає системі РЕП противника добиватися ефективного впливу організованих завад на СРЗ з ППРЧ. Це змушує систему РЕП з обмеженою потужністю передавача розподіляти відповідним чином спектральну щільність потужності завади по частотному діапазону радіостанції. УКХ радіостанція “Harris” RF-7850M-НН працює в діапазоні частот 30–512 МГц.

На постановку противником шумової загороджувальної завади, або що більш імовірно, зважаючи на зазначене вище, шумової завади в частині смуги і, як наслідок, падіння якості зв'язку нижче порогового рівня, оператору простіше всього відреагувати збільшенням потужності передавача. Однак, збільшення потужності передавача хоч і збільшує завадостійкість, проте є неефективним і неприпустимим з погляду забезпечення прихованості та ЕМС в СРЗ. Роботу передавача з максимальною потужністю можна розглядати як вимушений і тимчасовий режим (протягом нетривалого часу).

Іншим способом, є перехід на інше налаштування режиму “Quicklook 3” (без зміни підрежиму “Slow”), а саме з використанням хопсетів у інших ділянках робочого діапазону частот, а також хопсетів з більшою шириною. При цьому, потрібно мати на увазі, що зі збільшенням ширини хопсету погіршується якість зв'язку [1; 2], що обумовлено наступними основними чинниками:

закони поширення радіохвиль відрізняються для різних частотних елементів, і ця різниця тим більше, чим далі вони рознесені по частотній осі;

чим більша ширина хопсету, тим більше у його межах відрізняються електричні характеристики антени.

Крім цього, більші значення ширини хопсету призводять до зростання ймовірності виникнення взаємних завад з іншими радіоелектронними засобами.

Якщо вибір інших хопсетів в межах режиму “Quicklook 3” не дає бажаного результату, то можливо зробити висновок, що противник застосував заваду у відповідь (ретрансльовану заваду). Ефективний вплив завади у відповідь на СРЗ з ППРЧ може бути досягнутим лише за умови знання постановником завад відповідних параметрів сигналів радіостанції, зокрема, центральних частот каналів, швидкості стрибків частоти, ширини хопсету, потужності сигналу й завади в точці прийому.

Боротися з такою завадою можливо за рахунок збільшення швидкості ППРЧ або шляхом застосування режиму роботи TNW (TDMA Networking Waveform, мережева форма сигналу з множинним розподілом доступу за часом).

Оператор УКХ радіостанції “Harris” RF-7850M-НН може перейти на роботу в підрежимі “Medium” режиму “Quicklook 3” (середня швидкість, 300 стрибків частоти за секунду). Знову ж, за аналогією роботи в підрежимі “Slow” можна випробувати варіанти роботи на різних хопсетах, в тому числі з організацією прийому та передачі інформації на різних хопсетах.

Підрежим “Fast” (швидкий) забезпечує більше ніж 1000 стрибків частоти за секунду. При цьому, завадозахищеність радіостанції максимальна, а дальність зв'язку відповідно мінімальна порівняно з іншими режимами.

Для забезпечення роботи СРЗ в складних умовах завадової обстановки в каналі зв'язку, що постійно змінюється, в УКХ радіостанції “Harris” RF-7850M-НН передбачені адаптивні підрежими роботи “Quicklook 3”:

- режим пошуку вільного каналу (Free Channel Search, FCS);
- змішаний режим (Auto, автоматичний).

Режим пошуку вільного каналу є симбіозом режиму роботи на фіксованій частоті (Fixed Frequency, FF) і ППРЧ. В межах вибраного хопсету здійснюється сканування частотних каналів з метою пошуку вільної (не зайнятої, з найменшим рівнем шумів) частоти. На вибраній фіксованій частоті здійснюється робота, доки якість зв'язку відповідає встановленим вимогам. У разі зростання рівня шумів понад граничний рівень, радіостанція автоматично переналаштовується на іншу вільну частоту.

Змішаний режим – це ще більш складний адаптивний режим роботи. Залежно від заводої обстановки радіостанція автоматично вибирає, чи використовувати режим пошуку вільного каналу (FCS), чи роботу з ППРЧ зі швидкістю, яку задав оператор (Slow, Medium, Fast).

В умовах заводої обстановки, яка ускладнює передачу інформації в режимі “Quicklook 3”, видається доцільним організувати роботу радіомережі в режимах TNW (“TNW-25”, “TNW-75”).

TNW – розроблений вид сигналу для організації мереж у відносно вузькій смузі частот (25 кГц або 75 кГц). TDMA – це загальний протокол зв'язку, згідно з яким кожна радіостанція, що стає на передачу, отримує доступ до каналу у визначений для неї часовий проміжок. TDMA дозволяє радіостанціям сумісно використовувати один і той же канал передачі, розділяючи сигнали на різні часові інтервали. Мережа TNW використовує форму самоорганізованої децентралізованої мережі та забезпечує контроль як синхронізації часу між радіостанціями, так і розподілу слотів для передачі. Більше того, вона може дуже швидко адаптуватися до змін в топології для гарантування безперервної роботи. Мережа TNW підтримує від 4 до 64 користувачів. TNW використовує ППРЧ з доступом до каналу TDMA і шириною смуги каналу 25 кГц (“TNW-25”) або 75 кГц (“TNW-75”). В режимі “TNW-25” швидкість ППРЧ складає не менше 100 стрибків частоти за секунду, а в режимі “TNW-75” – не менше 300 стрибків частоти за секунду. Для роботи мережі TNW необхідна синхронізація між радіостанціями. TNW автоматично визначає станцію для використання як “ведучої”. Для початку роботи мережі необхідно мати радіостанції з синхронізованим часом, що забезпечується або через GPS, або введенням операторами значення часу з похибкою  $\pm 1,5$  хв.

Поєднання в мережах TNW методу часового розподілу доступу радіостанції до каналу з алгоритмом ППРЧ є ефективним методом боротьби з радіопротиваєм противника.

Основними перевагами режиму “TNW-75” над режимом “TNW-25” крім більшої швидкості ППРЧ є:

- повна підтримка IP-протоколу;
- можливість пересилати IP-дані додатковим стрибком (хопом);
- більша пропускна здатність;
- можливість перепризначення слотів для даних.

#### **Практичні рекомендації щодо використання режимів роботи з ППРЧ при передачі даних**

Для передавання даних в радіомережах, побудованих на радіостанціях “Harris” RF-7850M-НН, використовуються режими роботи “Quicklook Wide”, “Quicklook 1A” та “TNW-75” (в режимі “TNW-25” забезпечується передача голосового трафіку та даних звітів GPS).

При цьому, якщо за критерій оцінки вибрати швидкість передачі даних, то основним режимом роботи радіостанції “Harris” RF-7850M-НН для передачі даних видається режим роботи “Quicklook Wide”, який потребує широкосмугового радіоканалу (75 кГц).

Найвища заявлена швидкість передачі даних в мережах, побудованих на радіостанціях “Harris” RF-7850M-НН при роботі в режимі “Quicklook Wide”, – до 64 кбіт/с при 100 стрибках частоти за секунду, до 48 кбіт/с при 300 стрибках частоти за секунду. В режимі “Quicklook 1A” швидкість передачі даних до 16 кбіт/с (100 стрибків частоти за секунду). В режимі “TNW-75” (300 стрибків частоти за секунду) IP-дані передаються радіоканалом з максимальною сумарною швидкістю до 14 кбіт/с в межах мережі. Кожному користувачеві визначається швидкість передачі даних на основі кількості запрограмованих учасників мережі. Тобто, сумарна швидкість розподіляється рівномірно за кількістю учасників мережі. Для прикладу, при 10

учасниках мережі TNW для кожної окремої станції виділяється слот з ресурсом швидкості до 1,4 кбіт/с. Якщо ж з'являються додаткові слоти, вони можуть бути перепризначені певним користувачам для додаткових можливостей передачі даних. Для прикладу, мережа запрограмована для роботи 10 учасників, реально працюють 6 учасників. В такому випадку 4 слоти для передачі можуть бути перепризначені для реально працюючих користувачів.

Таким чином, при організації радіомереж з пріоритетною передачею даних по відношенню до голосового трафіку доцільним видається використання режиму “Quicklook Wide”.

### **Висновки**

Спираючись на проведеній в матеріалах дослідження аналіз, стає можливим зробити наступні висновки:

1) забезпечення стійкого радіозв'язку в умовах складної радіоелектронної обстановки, яка постійно змінюється, можливо за рахунок вибору режимів роботи СРЗ із заздалегідь налаштованими параметрами;

2) рішення щодо вибору режимів роботи в радіолінії повинні прийматися на основі аналізу стану каналу зв'язку;

3) в умовах застосування противником засобів радіоелектронного придушення, режими роботи радіостанцій повинні узгоджуватися з видами завад і мінімізувати помилки сигналів, що приймаються;

4) вибір оптимальних режимів роботи в радіолінії напряму залежить від можливостей, в тому числі і технічних, щодо ідентифікації завадової обстановки в каналі зв'язку. Критично важлива інформаційна взаємодія з підрозділами радіоелектронної розвідки з метою отримання відомостей щодо засобів РЕБ противника та характеру випромінюваних ними сигналів;

5) у випадку відсутності впливу навмисних і випадкових завад, крім шумового фону, необхідність роботи в режимах з ППРЧ відпадає. Більш того, не виправдане включення цих режимів погіршує якість радіозв'язку через додаткові втрати і затримки при складних перетвореннях сигналів;

6) прийняття оператором оптимальних рішень щодо вибору завадозахищених режимів роботи СРЗ можна досягнути шляхом автоматизації процесу моніторингу стану каналу зв'язку і підготовки пропозицій щодо режимів роботи радіостанції залежно від завадової обстановки. Це можливо за рахунок удосконалення як апаратної частини радіостанцій так і програмного забезпечення.

Програмне забезпечення УКХ радіостанцій “Harris” RF-7850M-НН постачається виробником, компанією “L3 Harris Technologies” (США). Можливо допустити, що в наступних версіях мікропрограм (актуальна версія 4.7.0) можуть з'явитися додаткові опції [16], в тому числі і щодо автоматизації вибору запрограмованих режимів роботи залежно від стану каналу зв'язку (змішаний режим “Quicklook 3” тому свідчення).

Напрямом перспективних досліджень є:

1) дослідження в галузі розробки окремого дистанційного пристрою з відповідним програмним забезпеченням, який буде підключатися до радіостанції (через боковий роз'єм) і забезпечувати автоматичну ідентифікацію завадової обстановки і автоматичний (або автоматизований, на рівні видачі варіантів для прийняття рішення) вибір оптимального режиму роботи радіостанції;

2) впровадження технологій когнітивного радіо (CR, Cognitive Radio), які дозволять автоматично проводити аналіз завадової обстановки і відповідний вибір частотного піддіапазону, підстроювання частотних, часових й енергетичних параметрів, режимів роботи та форм сигналів радіостанцій, що налаштовуються програмно;

3) проведення натурних випробувань із залученням сучасних засобів РЕБ для визначення ефективності (завадозахищеності) роботи радіомереж у різних режимах та розробка інструкцій щодо забезпечення функціонування СРЗ в умовах впливу радіозавад.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Борисов В. И., Зинчук В. М., Лимарев А. Е. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты: под ред. В. И. Борисова. Изд. 2-е, перераб. и доп. Москва: Радио Софт, 2008. 512 с.
2. Макаренко С. И., Иванов М. С., Попов С. А. Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты: монография. Санкт-Петербург: Свое издательство, 2013. 166 с.
3. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. Москва: Радио и связь, 1985. 384 с.
4. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Тузов Г. И. и др.; под ред. Г. И. Тузова. Москва: Радио и связь, 1985. 264 с.
5. Definitions of Software Defined Radio (SDR) and Cognitive Radio System (CRS): отчет МСЭ-Р SM.2152: вебсайт. URL: <https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2152-2009> (дата звернення 24.03.2022).
6. Нагорнюк О. А. Метод автоматичного визначення часових параметрів радіосигналів із псевдовипадковим перестроюванням робочої частоти на фоні вузькосмугових перешкод. *Збірник наукових праць ЖВІ*. 2018. Вип. 15. С. 53–64.
7. Кривенко О. В. Методика формування сигналу в радіозасобах з ППРЧ в умовах впливу навмисних шумових завад. *Системи озброєння і військова техніка*. 2017. № 1 (49). С. 132–135.
8. Гурський Т. Г. Підвищення заводо захищеності радіоліній з ППРЧ в умовах завад у відповідь. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. 2014. Вип. 3 (40). С. 58–63.
9. 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. Вип. 2 (42). С. 179–184.
10. Шишацький А. В., Кувшинов О. В., Петрунчук С. П. Методика вибору раціональних значень параметрів багатоантенних систем військового радіозв'язку з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти. *Системи озброєння і військова техніка*. 2017. № 2 (50). С. 151–155.
11. Кувшинов О. В., Шишацький А. В., Жук О. Г., Беляков Р. О., Прокопенко Є. М., Леонтьев О. Б., Животовський Р. М., Дробаха Г. А., Романенко І. О., Петрук С. М. Розробка методики підвищення заводо захищеності засобів радіозв'язку з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2019. Том 2, № 9 (98): Інформаційно-керуючі системи. С. 74–84.
12. Романюк В. А., Степаненко Є. О., Панченко І. В., Восколович О. І. Літаючі самоорганізуючі радіомережі. *Збірник наукових праць ВІПІ*. 2017. Вип. 1. С. 104–114.
13. Гурський Т. Г., Жук О. Г., Кривенко О. В., Шишацький А. В. Напрямки вдосконалення засобів радіозв'язку з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти. *Збірник наукових праць ВІПІ*. 2016. Вип. 1. С. 25–34.
14. RF-7850M-NN. Багатодіапазонна портативна радіостанція: посібник з експлуатації: ТОВ “Радіо Сатком Груп”, 03067, м. Київ, вул. Машинобудівна, 37, оф. 115. 210 с., перекладено українською мовою з видання Harris Corporation Communication Systems, 1680 University Avenue Rochester, New York 14610-1887 USA Publication Number: 10515-0461-4204 June 2018 Rev. H.
15. ВСТ 01.004.007-2017 (1) Воєнна політика, безпека та стратегічне планування. Система стратегічних комунікацій держави у воєнній сфері. Терміни та визначення: вебсайт. URL: <http://stratcom.nuou.org.ua> (дата звернення: 07.06.2022).
16. Калашніков І. А. Актуальність оновлення програмного забезпечення радіостанцій L3 HARRIS / *Збірник матеріалів XIII науково-практичної конференції ВІПІ*. Київ, 2020. С. 140.