

Голові спеціалізованої вченої ради  
Д.26.062.19 в Національному авіаційному  
університеті

-----  
03680, м. Київ, пр. Любомира Гузара, 1.

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію **Шестопада Євгена Олександровича** на тему **«Методи покращення енергетичної ефективності та скритності цифрових радіорелейних систем передачі»**, представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – «телекомунікаційні системи та мережі»

**Актуальність роботи.** Цифрові радіорелейні системи передачі (ЦРСП) почали свій розвиток з перших багатоканальних радіорелейних систем передачі. На історичному шляху їх розвитку відпрацьовані принципи побудови сучасних безпроводових телекомунікаційних систем. ЦРСП широко використовуються в регіонах, де кабельні лінії прокласти неможливо: в гірській місцевості, на території з озерами і болотами, при створенні систем мобільного зв'язку, для організації оперативного польового зв'язку під час воєнних дій у військових структурах. Велика кількість працюючих ЦРСП, окрім виконання свого функціонального призначення, негативно впливають на навколишнє середовище: електромагнітне випромінювання передавачів шкодить здоров'ю людей, що знаходяться поблизу, погіршує електромагнітну сумісність з поряд працюючими радіоелектронними засобами. Важливими вимогами до сучасних ЦРСП є мінімальна потужність передавачів, достатня для одержання необхідної ймовірності помилки приймання сигналу, та скритність передачі інформації. Вирішення даних задач саме присвячується представлена дисертація, що підкреслює актуальність теми роботи.

### **Структура та зміст роботи.**

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі дослідження. Вказана наукова новизна та практична цінність отриманих результатів. Наведено відомості щодо апробації роботи, особистого внеску здобувача та публікацій. Зазначено зв'язок роботи з науковими програмами та темами.

В **першому** розділі з використанням літературних джерел здійснюється огляд систем радіорелейного зв'язку, які практично використовуються. Показуються особливості створення систем, прокладання радіорелейних ліній, енергетичного розрахунку систем. Важливою вимогою для радіорелейних

станцій є мінімальна потужність електроживлення. Для цього доцільно використовувати підсилювачі потужності на основі нітрид-галієвих транзисторів, які мають в 1.5-2 рази кращий коефіцієнт корисної дії в порівнянні з арсенід-галієвими транзисторами. Наводяться технічні характеристики низькошвидкісних та високошвидкісних ЦРСП.

**Другий розділ** містить результати досліджень впливу видів маніпуляції на енергетику телекомунікаційної системи. Ведено коефіцієнт енергетичної ефективності системи, як добуток смуги пропускання каналу та відношення сигнал/шум, які знаходяться в складній взаємній залежності. Наведена кількісна оцінка енергетики системи. Показано, що найкращу ефективність системи надає використання чотирьохпозиційного фазоманіпульованого сигналу ФМ-4.

Враховуючи, що єдиним способом підвищення частотної ефективності телекомунікаційної системи при незмінній смузі пропускання каналу є використання амплітудно-маніпульованого сигналу, запропонований метод підвищення рівнів сигналу та їх кількості шляхом автоматичного забезпечення максимального рівня напруги підсилювача з використання тестового імпульсу.

В **третьому розділі** проведені дослідження щодо створення систем автоматичного регулювання потужності передавачів ЦРСП. Насамперед визначається сигнал помилки. Для цього розроблено метод вимірювання потужності шуму, сумарної потужності сигналу та шуму, та розрахункового визначення сигналу, відношення сигнал/шум, а також окремо сигналу помилки для передачі каналом зворотного зв'язку до передавача з метою корекції потужності. Здійснено розрахунок залишкової помилки потужності передавача в замкнутій системі автоматичного регулювання.

Оскільки система автоматичного регулювання не критична до швидкодії, до контура вводиться корегуючий інтегральний фільтр з заздальгідь великою сталою часу, що гарантовано забезпечує стійкість системи автоматичного регулювання.

Пропонуються схеми створення симплексних та дуплексних ЦРСП з автоматичним регулюванням потужності. Зазначається необхідність введення до складу радіорелейних станцій додаткових пристроїв для створення контуру автоматичного регулювання.

**Четвертий розділ** присвячений створення енергоефективної ЦРСП з широкосмуговим сигналом. Показані безперечні переваги телекомунікаційних систем з широкосмуговим сигналом. Встановлено, що незалежно від конкретної смуги спектру завади відношення сигнал/завада на виході корелятора поводитьься так, якби потужність завад була рівномірно розподілена в смузі частот сигналу, додаючи до власного шуму додатковий шум.

Широкосмуговий сигнал зазвичай формується з використанням ряду відомих моделюючих ПВП методом прямого розширення спектру. Для цього використовуються різні ПВП: m-послідовність, послідовність Касамі, Голда і ін., а також код Уолша.

Такі системи не можна вважати захищеними від несанкціонованого доступу.

Використання явища динамічного хаосу забезпечує можливість створення нового класу ПВП, структуру яких практично неможливо відтворити, тому їх використання забезпечує підвищену скритність передачі інформації на відміну від вказаних вище відомих ПВП, структуру яких можна підібрати.

Для створення ПВП може бути використаний хаотичний сигнал за логістичним, квадратичним та кубічним відображеннями.

Дослідження показали, що найкращі характеристики мають ПВП, одержані при використанні хаотичних сигналів за логістичним відображенням.

При створенні ПВП на основі хаосу використовуються три закритих секретних ключі шифрування: наприклад, для логістичного відображення це початкове значення, параметр рівняння і початок відліку послідовності.

Для підвищення скритності передачі інформації в телекомунікаційних системах запропоновано створення ПВП на основі 2-х хаотичних сигналів (за логістичним та квадратичним відображеннями) з використанням їх закритих ключів, що забезпечує збільшення секретних ключів від трьох до шести.

В роботі запропонована схема ЦРСП з широкосмуговим сигналом, сформованим з використанням ПВП із 2-х ПВП на основі хаосу. Така система актуальна для підвищення скритності передачі інформації в урядових службах, військових формуваннях, спеціальних сервісних службах.

Автором запропонована і досліджена ЦРСП з широкосмуговим сигналом, що передається в 2-х окремих антенних каналах. В системі здійснюється кодове розділення сигналів каналів з використанням модифікованої ПВП Голда і оптимальна обробка сигналів в приймачі за допомогою RARE-приймачів.

В системі здійснюється комплексна оптимізація системи за критерієм енергетичної ефективності в 3 етапи:

1. Зменшення смуги пропускання радіоканалу шляхом зменшення в 2 рази швидкості передачі сигналу;

2. Подальше зменшення смуги пропускання радіоканалу в 2 рази шляхом використання чотирьохпозиційного фазоманіпульованого сигналу ФМ-4;

3. Оптимальна обробка сигналів в RAKE-приймачах.

Передумовою розробки схеми телекомунікаційної ЦРСП є передача широкосмугового сигналу в радіоканалі з мінімальною смугою пропускання з огляду на дефіцит частотного ресурсу та зменшення потужності зовнішніх завад, що надходять до радіоканалу із навколишнього середовища.

Для цього з початку швидкість сигналу зменшена в 2 рази, тобто тривалість імпульсу інформаційного сигналу збільшена в 2 рази, що забезпечує використання радіоканалу із зменшеною в 2 рази смугою пропускання.

Для подальшого зменшення смуги пропускання радіоканалу в 2 рази слід використано фазоманіпульований сигнал ФМ -4 із збільшеною в 2 рази тривалістю імпульсу .

Сигнали надходять до RAKE-приймачів, де автоматично формуються промені сигналів з визначенням величини їх запізнення та з використанням опорних ФМ- 4 сигналів від генераторів здійснюється кореляційна обробка сигналів.

В системі використовується кадрова синхронізація з формуванням в передавачі маркерного сигналу.

Подача на вхід RAKE - приймачів збільшеного в 4 рази відношення сигнал/шум у порівнянні з вхідним значенням дозволяє одержати підвищене відношення сигнал/шум на виході системи

З використанням відомого алгоритму обробки сигналів в RAKE - приймачах при об'єднанні сигналів променів за принципом максимального відношення сигнал/шум зважуються їх відношення сигнал/шум і потім складаються.. Складання з максимальним відношенням сигнал/шум дає середнє значення сигнал/шум на виході кожного RAKE- приймача, що дорівнює сумі окремих відношень сигнал/шум.

В пристроях приймача здійснюється відновлення початкової тривалості імпульсу та знаходяться за розробленим методом, захищеним патентом України, значення потужності сигналу, потужності шуму, їх складання та визначається відношення сигнал/шум на виході системи.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, трьох додатків, списку використаних джерел із 64 найменувань і містить 131 сторінку, у тому числі 58 рисунків, 23 таблиці, 3 сторінки додатків. рекомендацій.

**Обґрунтованість та достовірність результатів роботи.** Наукові положення, висновки дисертаційної роботи обґрунтовані використанням загальної теорія електровз'язку, теорії інформації, теорії випадкових процесів, теорії ймовірності, теорії хаосу, теорії автоматичного регулювання, програмного забезпечення МАТЛАБ.

Достовірність результатів досліджень забезпечена коректністю постановки задач, одержанням запланованих рішень цих задач та відповідність результатів загальним теоретичним положенням телекомунікацій , а також схваленням результатів досліджень на міжнародних науково-технічних конференціях.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Слід погодитись з визначеною автором науковою новизною роботи:

1. Одержали подальшого розвитку методи підвищення енергетичної ефективності ЦРСП шляхом використання багатопозиційних фазоманіпульованого та амплітудно-маніпульованого сигналів, що надало



змогу досягти мінімальної потужності передавачів з виграшем від 2,7 дБ в порівнянні з іншими видами маніпуляції.

2. Одержав подальшого розвитку метод визначення відношення сигнал/шум та окремо сигналу помилки, які використані для створення адаптивних систем автоматичного регулювання потужності передавачів ЦРСП, що надало змогу при наявності опадів зменшити до 15 дБ на частоті 10 ГГц мінімальну потужність передавачів, необхідну для заданої ймовірності помилки приймання сигналу.

3. Одержав подальшого розвитку метод підвищення скритності передачі інформації в ЦРСП з широкосмуговим сигналом шляхом використання ПВП на основі хаосу, що надало змогу підвищити скритність передачі інформації до 3дБ.

4. Удосконалено ЦРСП з кодовим розділенням сигналів в 2-х антенних каналах, в яких передається широкосмуговий сигнал, створений з використанням модифікованої ПВП Голда, що дало змогу забезпечити збільшення на 6 дБ відношення сигнал/шум на вході демодуляторів.

Отримані результати вважаю обґрунтованими, достовірними та новими.

#### **Практичне значення одержаних результатів.**

Одержані в дисертації результати доведені до можливості їх прикладного інженерного використання при розробці конкретних ЦРСП з заданими параметрами.

Дослідження впливу видів маніпуляції сигналу на енергетику телекомунікаційних систем показали найкращі результати використання сигналу ФМ-4.

Запропонований метод покращення ефективності приймання багатопозиційного амплітудно-маніпульованого сигналу дозволяє чітко визначити рівні сигналу та збільшити кількість позицій сигналу при даній заваді.

Розроблений метод визначення відношення сигнал/шум та окремо рівня сигналу дозволяє визначити рівень сигналу помилки для систем адаптивного автоматичного регулювання потужності передавачів ЦРСП.

При проектуванні ЦРСП з максимальною скритністю передачі сигналу пропонується створювати широкосмуговий сигнал з використанням ПВП, складених за модулем «2» із 2-х ПВП на основі хаосу.

Використання запропонованої ЦРСП з широкосмуговим сигналом, що передається в 2-х окремих антенних каналах та здійснюється кодове розділення каналів з використанням модифікованої ПВП Голда, дозволяє здійснити оптимальну обробку сигналу в приймачі з одержанням підвищеного відношення сигнал/шум, що забезпечує мінімальну потужність передавачів, достатню для допустимої ймовірності помилки приймання сигналу.

Теоретичні і практичні результати дисертації одержали використання в лекційних матеріалах для викладання студентам фахових дисциплін, при

розробці методичних посібників практичних та лабораторних робіт, при виконанні курсових та дипломних робіт.

**Публікація та апробація результатів дисертації.** За результатами дисертаційної роботи здійснено 11 публікацій - 2-Scopus, 6-фахові видання України, в т.ч.1 Index Copernicus, 3-тези міжнародних науково-технічних конференцій, 1 стаття в зарубіжному періодичному виданні, одержано 1 патент України на корисну модель.

Основні наукові результати дисертаційної роботи доповідалися особисто автором на 3-х міжнародних науково-технічних конференціях з публікацією тез доповідей.

Рівень та кількість публікацій відповідають вимогам до кандидатських дисертацій МОН України.

#### **Зауваження до роботи .**

- 1.Перевищено обсяг оглядового матеріалу в розділі 1.
2. Результати дослідження впливу видів модуляції на енергетику телекомунікаційної системи містять зайві дані, щодо ймовірності помилка приймання інформації  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ , яка практично не використовується.
- 3.Не надані рекомендації щодо доцільної для використання кількості рівнів амплітудно-маніпульованого сигналу.
- 4.В дисертації і авторефераті не достатньо показані недоліки ЦРСП міліметрового діапазону.
5. В роботі не наведено обґрунтування доцільної для використання величини бази широкосмугового сигналу.
6. В переліку джерел інформації деякі посилання наведені з порушенням стандарту (№ 19,28,30 та ін.)

Висловлені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

#### **Оцінка дисертації в цілому і висновки.**

В результаті вивчення представленої дисертації, автореферату і наукових робіт можна зробити наступні висновки:

1. Дисертація **Шестопала Євгена Олександровича** на тему «**Методи покращення енергетичної ефективності та скритності цифрових радіорелейних систем передачі**» є завершеною науковою працею в якій вирішено важливі наукові задачі підвищення енергоефективності та скритності передачі сигналу в ЦРСП. Результати роботи слід вважати важливими для розвитку інфокомунікаційних технологій.
2. Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає актуальність, мету та задачі, основні наукові положення, практичну значущість, апробацію дисертації, її зміст та висновки.
3. У тексті дисертації та автореферату використано сучасну науково-технічну термінологію, а сам текст відрізняється цілісністю та логічним

зв'язком його елементів. Мова і стиль викладення матеріалу доступні для його сприйняття. Дисертація та автореферат оформлені відповідно до вимог МОН України.

4. Тематика та зміст дисертації повністю відповідають паспорту спеціальності 05.12.02 – «Телекомунікаційні системи та мережі», за якою вона подана до захисту, і профілю спеціалізованої вченої ради Д 26.062.19.
5. За актуальністю розглянутих питань, обсягом виконаних досліджень, теоретичною і практичною цінністю одержаних результатів, ступенем апробації та впровадженням дисертація відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567 (зі змінами, внесеними згідно з постановами КМ № 656 від 19.08.2015 року, № 1159 від 30.12.2015 року, № 567 від 27.07.2016 року) та вимогам МОН України до кандидатських дисертацій і авторефератів.
6. Таким чином, **Шестопад Євген Олександрович** заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – «Телекомунікаційні системи та мережі».

## ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ

професор кафедри прикладних інформаційних систем

факультету інформаційних технологій

Київського національного університету

імені Тараса Шевченка

доктор технічних наук, професор



Володимир САЙКО