

## **ВІДГУК ОФИЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

доктора технічних наук, професора,  
завідувача кафедри морського радіозв'язку  
Національного університету «Одеська морська академія»  
Кошевого Віталія Михайловича

на дисертацію Манакова Сергія Юрійовича

«Підвищення ефективності сигнально-кодових конструкцій з внутрішніми сигналами частотної модуляції з неперервною фазою»

на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю  
05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

### **Актуальність теми**

Сигнали частотної модуляції з неперервною фазою відзначаються такими властивостями, як постійна обвідна та відсутність розривів фази. Усі ці переваги в комбінації з компактністю спектра й малим рівнем позасмугових випромінювань визначають широке застосування сигналів частотної модуляції з неперервною фазою (ЧМНФ) в сучасних системах зв'язку.

В умовах жорсткого обмеження смуг частот для систем наземного чи морського радіозв'язку – дослідження методів підвищення ефективності радіосистем з сигналами з компактним спектром є, безумовно, актуальною задачею.

### **Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, отриманих в дисертації**

Дисертація виконана на достатньо високому теоретичному рівні, з використанням класичних підходів до підвищення ефективності. Поряд з цим, звертає на себе увагу намагання автора «прокласти шляхи» до практичного використання ЧМ-сигналів. Типовий приклад таких намірів – це відмова від когерентного метода демодуляції та використання оптимального некогерентного приймання з використанням розробленого «активного фільтра». Важливо, що для реалізації такого демодулятора автор розроблює також некогерентний метод виділення сигналів тактової синхронізації. Значну увагу автор також приділяє використанню завадостійкого кодування. Тут автор демонструє добре знання теорії згорткових кодів. Досягнути таких результатів допомогли йому навички програмування у пакеті HPVEE, методики якого автор навів у додатку. Висновки та результати, отримані в дисертаційній роботі здатні притягнути увагу фахівців, які розроблюють такі радіосистеми.

ОНАЗ Іж. О. С. Попова  
вх. 01-33-399  
22. 11 2019р

## Стисла характеристика основного змісту дисертації

Дисертація С.Ю. Манакова складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У *вступі* обґрунтовується актуальність дисертаційного дослідження; формулюється мета і основні завдання роботи; провадиться опис підходу який був запропонований автором до вирішення поставлених завдань; характеризується ступінь новизни отриманих результатів та їх апробація. Крім того, надається короткий виклад змісту дисертації.

У *першому розділі* автор розглядає явище завмирань сигналів у каналах радіозв'язку сучасних систем бездротовому доступу та модель дискретних сигналів частотної модуляції з неперервною фазою. У ході огляду результатів досліджень сигналів ЧМНФ у літературі відмічаються широкі можливості систем з ЧМНФ щодо керування параметрами сигналу, його спектральними й енергетичними показниками, що розширює в остаточному підсумку можливості застосування ЧМНФ. Далі, автором розглянуті основні критерії ефективності систем передачі інформації та формулюється завдання оптимізації за цими параметрами сигнально-кодових конструкцій, до складу яких входять сигнали ЧМНФ із завадостійкими кодами.

*Другий розділ* містить опис особливостей аналізу спектру ЧМНФ-сигналів. Автор ставить завдання розробки методики та програмного забезпечення для аналізу енергетичного спектра кодованих сигналів ЧМНФ і оцінки на їх основі ступеню компактності спектра й впливу параметрів згорткових кодів у вигляді породжуючих поліномів та довжини кодуємого регістра на характеристики спектра. Дисертант розроблює алгоритм та програмне забезпечення у середовищі об'єктно-орієнтованого візуального програмування HP VEE де використовує алгоритм швидкого перетворення Фур'є, що забезпечує високу точність обчислень при задовільній швидкодії. По результатам аналізу спектра автор встановлює залежність позасмугової потужності кодованого ЧМ сигналу від довжини кодуємого регістра згорткового коду.

У *третьому розділі* автор проводить поглиблене дослідження властивостей сигналів ЧМНФ з використанням математичного апарату вирахування кінцевих різниць, у результаті якого доводить властивість диференційності методу ЧМНФ і приналежність відповідних диференційних СКК до класу інваріантних. Це надає змогу для пошуку й оптимізації породжуючих поліномів зовнішніх згорткових кодів для СКК, та для моделювання ДСКК для визначення завадостійкості в умовах дії завад і завмирань.

У *четвертому розділі* дисертації виконується поетапна оптимізація структури та характеристик сигнально-кодових конструкцій з внутрішніми сигналами ЧМНФ. На першому етапі розв'язується задача відшукування методу оптимальної некогерентної демодуляції внутрішніх сигналів ЧМНФ СКК і алгоритму роботи та структури демодулятора, що реалізують цей метод. На

другому етапі автор визначає параметри зовнішніх згорткових кодів, що забезпечують підвищення енергетичної ефективності СКК із алгоритмом некогерентної демодуляції на внутрішньому рівні, який був розроблений..

У *п'ятому розділі* дисертант виконує розробку програмного забезпечення для експериментальних досліджень СКК. Автор розроблює простий у реалізації некогерентний метод формування сигналів тактової синхронізації для демодуляції сигналів ЧМНФ. Також, розроблюється програма, яка встановлює частотно-селективні властивості некогерентного демодулятора, що разом з відзначеними в автором властивостями ортогональності сигналів ЧМНФ допускають їх застосування в сучасних телекомунікаційних системах з методами передачі багаточастотними ортогональними сигналами. Наприкінці розділу пропонується і досліджується новий клас так званих «композитних послідовностей Уолша-Баркера» і намічаються шляхи їх застосування для підвищення ефективності перспективних системах передачі.

### **Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження**

До найбільш важливих результатів дисертаційної роботи, що мають наукову новизну, слід віднести наступні:

1. Автором запропоновано використання математичних методів обчислення кінцевих різниць для синтезу диференціальних алгоритмів модуляції/демодуляції сигналів ЧМНФ, що дає змогу для підвищення енергетичної ефективності СКК шляхом пошуку оптимальних завадостійких кодів.

2. Розроблений новий спосіб оптимальної некогерентної демодуляції сигналів ЧМНФ і розроблено структуру некогерентного демодулятора, який придатний для використання у квазістаціонарних каналах. Такий демодулятор є нечутливим до постійних фазових зсувів у каналі, наслідком чого є підвищення завадостійкості системи передачі. На цей спосіб автором отриманий патент на корисну модель.

3. Удосконалено методику переборного пошуку згорткових кодів, у якої на підставі властивості математичного очікування випадкових величин, пропонується використовувати математичне очікування як верхню границю величини шуканої вільної відстані. Це дозволяє скоротити час переборного пошуку.

### **Практична цінність результатів дисертації**

Практичну значимість результатів дисертаційного дослідження автора становлять такі результати:

1. Реалізовано удосконалений метод переборного пошуку недвійкових згорткових кодів для каналів з ЧМНФ за критерієм максимуму вільної відстані.

Це дозволяє за заданими параметрами відшукувати породжуючі поліноми оптимальних недвійкових кодів з відстанями, близькими до верхньої границі.

2. Реалізовано некогерентний алгоритм виділення сигналів тактової синхронізації ЧМНФ, який не потребує використання попередніх відомостей про частоту та фазу сигналу.

3. Реалізовано новий альтернативний метод підвищення питомої швидкості з використанням композитних послідовностей Уолша-Баркера, який дозволяє передавати на одній несучій одночасно декілька композитних сигналів, модульованих інформаційними символами.

4. Показано, що програмний пакет HPVEE є зручним інструментом для задач моделювання та дослідження характеристик сигнально-кодових конструкцій.

### **Зауваження по роботі**

1. В роботі приділяється увага закону зміни фази сигналу ЧМНФ. Але, не наведено приклад типової форми обраного сигналу.

2. В роботі досліджуються сигнали ЧМНФ повного відгуку. Було б цікавим, також, розглянути застосування відповідних сигналів парціального відгуку.

3. В дисертації та авторефераті не наводяться графічне відображення взаємної залежності показників частотної та енергетичної ефективності.

4. В дисертації розглядається новий альтернативний метод підвищення питомої швидкості з використанням так званих «композитних послідовностей Уолша-Баркера». На жаль, не проаналізовано використання його сумісно з дослідженими сигнально-кодовими конструкціями.

5. Сигнали ЧМНФ, які розглядаються у дисертації, відрізняються малим рівнем позасмугових випромінювань у разі їх використання, тому варто було провести їх порівняння по цьому показнику з сигналами кінцевої тривалості, які мають максимальну частку енергії у визначеному діапазоні частот (наприклад, «Радіотехніка і електроніка» Т. 1, N3, 1956, ст. 313).

### **Висновок**

Не зважаючи на вказані зауваження, представлена до захисту дисертаційна робота Манакова С.Ю. відповідає спеціальності 05.12.02 і являє собою завершену науково-кваліфікаційну роботу, в якій міститься рішення важливої наукової задачі підвищення ефективності систем передачі інформації з сигналами частотної модуляції з неперервною фазою. Всі поставлені завдання дослідження вирішені, мета дисертаційного дослідження досягнута. Особистий внесок автора в роботу не викликає сумнівів.

Автореферат повністю відображає зміст дисертації і містить в стислому вигляді всю необхідну інформацію по дисертаційній роботі.

Результати досліджень досить переконливо апробовані на міжнародних і національних конференціях. За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 18 друкованих праць, в тому числі 12 наукових статей (9 у фахових виданнях; 3 у виданнях, які включені до наукометричної бази Index Copernicus, у тому числі, одна стаття у закордонному виданні). Автором одержано патент України на корисну модель.

Таким чином, представлена дисертаційна робота Манакова Сергія Юрійовича «Підвищення ефективності сигнально-кодових конструкцій з внутрішніми сигналами частотної модуляції з неперервною фазою» є високорівневим науковим дослідженням, що за змістом на обсягом відповідає вимогам Міністерства освіти та науки України до кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – «Телекомунікаційні системи та мережі».

Офіційний опонент  
доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедрою морського радіозв'язку  
Національного університету  
«Одеська морська академія»

«      » листопада 2019 р.

В.М. Кошевий

Національний університет  
«Одеська морська академія»,  
вул. Дідріхсона, 8, м. Одеса, 65029  
Телефон: +380675186989  
Email: vmkoshevyu@gmail.com

