

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 26.062.19.

Національного авіаційного
університету

д.т.н., проф. Козловському В.В.
03058, м. Київ, проспект Любомира
Гузара, 1.

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Мелешко Тетяни Вікторівни

«Методика оцінки завадостійкості прийому дискретних сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією в умовах впливу нефлуктаційних завад», яка подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій до спеціалізованої вченої ради Д 26.062.19

Ступінь актуальності обраної теми дослідження.

З метою покращення ефективності функціонування телекомунікаційних систем, які використовують технологію з багатопозиційною фазовою маніпуляцією, необхідно визначити напрямки актуальних досліджень. Це дозволить не лише вдосконалити технологію, але і зберегти її ключові характеристики під впливом різноманітних завад та збурень. Важливість збереження основних властивостей системи в умовах завад є ключовою для забезпечення стабільності та надійності зв'язку. Розробка нових підходів до мінімізації впливу збурень може суттєво збільшити якість та ефективність телекомунікаційних мереж.

Відомо, що у сучасних радіотехнічних системах, крім шуму, зустрічаються нефлуктуаційні завади, що мають як природне, так і техногенне походження, включаючи помилки апаратури, порушення комунікаційних стандартів та навмисні дії. Ці завади знижують якість зв'язку. Отже, критично важливо враховувати, що кожен тип таких завад по-своєму впливає на передачу інформації в мережах, що базуються на технології багатопозиційної фазової маніпуляції.

Дисертаційна робота Мелешко Т.В. спрямована на вирішення актуальної науково-технічної задачі, що полягає у підвищенні завадостійкості прийому дискретних сигналів, модульованих за допомогою багатопозиційної фазової маніпуляції, в умовах дії нефлуктуаційних завад.

Науково-технічне завдання, визначене автором в дослідженні, розв'язується шляхом розробки методів та на їх основі моделей і алгоритмів

оцінки завадостійкості прийому дискретних сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією в умовах впливу нефлуктаційних завад.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Автором роботи детально і на достатньо високому рівні проаналізовано недоліки та неузгодженості існуючих методів оцінки впливу завад та збурень на якість передачі дискретних сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією. В результаті було визначено перелік і особливості формування нефлуктаційних завад, а також оцінено їх вплив на завадостійкість передачі дискретних сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією.

Наукова обґрунтованість отриманих висновків та результатів підтверджується докладним системним аналізом процесів обробки сигналів в системах, що використовують доплерівські методи вимірювання швидкості. Під час проведення досліджень автор оперує відомими фактами та науковими досягненнями у галузі безпроводових телекомунікацій, що дозволяє забезпечити високу достовірність і обґрунтованість результатів.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій. При проведенні досліджень застосовувалися відомі підходи та методи математичного аналізу та синтезу складних технічних систем. Використовувалися сучасні і класичні методи теорії сигналів і систем, методи спектральної теорії, методи математичного та системного аналізу, методи теорії зв'язку, теорії ймовірності і математичної статистики.

Коректність використання методів підтверджується результатами аналітичних розрахунків за допомогою математичних перетворень, а також комп'ютерним моделюванням, що дозволяє перевірити та підтвердити отримані результати в різних умовах і використовувати для подальших практичних застосувань.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

– набув подальшого розвитку метод оцінки завадостійкості когерентного прийому дискретних сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією який відрізняється від існуючих підходів можливістю оцінки завадостійкості когерентного прийому в умовах впливу нефлуктаційних завад;

– удосконалено метод оцінки впливу похибки системи синхронізації на завадостійкість когерентного прийому дискретного сигналу з багатопозиційною фазовою маніпуляцією, який дозволяє встановити похибку системи синхронізації при наявності в каналі прийому даних нефлуктаційних завад та оцінити її вплив на завадостійкість когерентного прийому дискретного сигналу;

– набув подальшого розвитку метод оцінки завадостійкості автокореляційного демодулятора для сигналів із багатопозиційною фазовою маніпуляцією, що піддаються впливу нефлуктаційних завад. Цей метод, на відміну від існуючих, дозволяє окремо аналізувати завадостійкість синфазних

та квадратурних каналів, а також визначати методи підвищення завадостійкості в умовах впливу нефлюктуційних завад.

Повнота викладу основних положень дисертації в опублікованих працях. Основні наукові положення та результати дисертаційного дослідження опубліковано в 5 наукових статтях у періодичних виданнях України включених до «Переліку наукових фахових видань України» та в 3 тезах доповідей та матеріалах конференцій.

Публікації в фахових наукових журналах та доповіді на науково-практичних міжнародних конференціях достатньо повно висвітлюють наукові результати, отримані в дисертаційній роботі.

Практичне значення результатів дослідження полягає у наступному:

1. Систематизовано класифікацію основних видів нефлюктуційних завад, що впливають на завадостійкість прийому дискретних сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією.

2. В результаті застосування розробленого методу оцінки завадостійкості когерентного прийому сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією в умовах гармонійної нефлюктуційної завади обґрунтовано, що зі зростанням числа позицій сигналу вплив гармонійної завади на бітову помилку для сигналів з позиційністю $M=2$ або $M=4$ є мінімальним. Однак, при високій інтенсивності завад ($\mu \geq 0,5$) сприйняття сигналів значно погіршується.

3. Доведено, що при когерентному прийомі сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією при наявності імпульсної нефлюктуційної завади для забезпечення прийняттого рівня ймовірності символної помилки $P=0,001$ потрібно збільшити відношення сигнал/шум на 1 до 6 дБ, залежно від інтенсивності завади, яка досягає 1. При меншому рівні інтенсивності завад, тобто до $\mu=0,2$, імпульсна завада має мінімальний вплив на завадостійкість приймача.

4. Отримано та обґрунтовано результати оцінки завадостійкості когерентного прийому сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією при наявності мультиплікативної нефлюктуційної завади. Завада з відносним середнім значенням інтенсивності $\mu = 0,1$, дисперсією амплітуди 0,01 та дисперсією фази 0,01 рад² при ймовірності бітової помилки 0,001 дає погіршення співвідношення сигнал/шум в діапазоні з 0,3 до 1 дБ для сигналів з позиційністю 2-ФМ та 4-ФМ. Для сигналів з позиційністю 8-ФМ та 16-ФМ погіршення може досягати від 2,5 до 5 дБ відповідно.

5. Експериментально отримано результати оцінки імовірнісних характеристик появи бітової помилки при багатопозиційній фазовій модуляції при наявності фазової помилки когерентного демодулятора, які підтверджують, що навіть незначна помилка в оцінці фази, в межах від $\pi/180$ до $\pi/90$, при великих співвідношеннях сигнал-шум може суттєво збільшити імовірність бітових помилок. Зокрема, при випадкових флюктуаціях фази для сигналів з $M \geq 4$ і зміні дисперсії помилки від 0 до 0,01, імовірність помилки може зрости на один-два порядки. За допомогою наукових результатів доведено, що допустиме значення похибки оцінки фази несучої варіюється від $\pi/36$ до $\pi/72$ для сигналів з позиційністю 2-ФМ і доходить до $\pi/180$ для сигналів з позиційністю 32-ФМ.

6. За допомогою оцінки завадостійкості автокореляційного демодулятора сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією при наявності нефлюктуаційних завад доведено, що нефлюктуаційна завада з малою інтенсивністю в діапазоні від $\mu = 0,1$ до $0,3$ майже не впливає на завадостійкість демодулятора, тоді як основний вплив на неї мають релеєвські замирання. Якщо інтенсивність завади зростає до значень більше $\mu = 0,5$, то для загальної ймовірності символної помилки на рівні $0,01$ додаткові енергетичні втрати через нефлюктуаційну заваду досягають приблизно 3 дБ порівняно з випадком відсутності такої завади.

7. Обґрунтовано, що нефлюктуаційні завади суттєво знижують завадостійкість автокореляційного демодулятора сигналів БФМ у каналі без релеєвських замирань, особливо при збільшенні позиційності сигналів. Зі зростанням інтенсивності завади до 50% і при відношеннях сигнал/шум до 10 дБ, ймовірність символної помилки може збільшитись на два порядки.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності та відповідності встановленим вимогам. Дисертаційне дослідження автора є самостійним, оригінальним, завершеним науковим дослідженням, у якому вирішено актуальне наукове завдання.

Дисертаційна робота складається з анотації, змісту, переліку умовних скорочень вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків і має 114 сторінок основного тексту, 37 рисунків та 13 таблиць, 2 сторінки додатків. Список використаних джерел містить 98 найменувань і займає 12 сторінок. Загальний обсяг дисертаційної роботи – 143 сторінки.

Дисертаційне дослідження проведено в межах науково-дослідних робіт:

1. Національного авіаційного університету «Інформаційна та авіаційна безпека об'єктів критичної інфраструктури» (номер державної реєстрації ДР №0119U102297).

2. Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій «Дослідження надійності телекомунікаційних мереж» (РК № 0114U000404)

3. Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій «Методика розробки безпроводової мережі високої щільності на базі технології Aruba Instans» (РК № 0118U004553).

У вступі наведена загальна характеристика роботи, сформована наукова задача, вирішенню якої присвячене дослідження, обґрунтовано актуальність теми досліджень, сформульована мета та задачі досліджень, розкритий зв'язок роботи з науковими планами та програмами, показана наукова новизна та практична цінність отриманих результатів, відзначений особистий внесок автора, наведені дані про апробацію та практичне впровадження, публікації та структуру роботи.

У першому розділі, на основі опрацьованих літературних джерел проведено аналіз сигналів, які використовують багатопозиційну фазову маніпуляцію (БФМ), зокрема, їх енергетичні та спектральні характеристики, а також розглянуто стійкість цих сигналів до впливу різноманітних зовнішніх

завад та збурень. Цей аналіз дозволив ідентифікувати ключові переваги використання таких сигналів у сучасних телекомунікаційних системах, підкресливши їх ефективність у покращенні якості передачі даних. Окрім того, було розглянуто оптимальні методи генерації та прийому сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією, які базуються на критерії максимальної правдоподібності, що забезпечує високу надійність каналів зв'язку при наявності завад.

У другому розділі було визначено та систематизовано перелік нефлюктуаційних завад, які можуть виникати внаслідок специфічних умов та факторів, характерних для роботи телекомунікаційної мережі, що використовує сигнали з багатопозиційною фазовою маніпуляцією. Аналізуючи типову поведінку завад, були ідентифіковані та описані моделі головних завад, що мають змогу інтегруватися з корисним сигналом. Для кожної з цих завад були розроблені математичні моделі. На основі цих моделей розроблено алгоритм для ефективного виявлення імпульсних завад, який використовує метод лінійного прогнозування сигналу та двовагову функцію оцінки рівня помилки, що значно покращує точність виявлення та аналізу завад у телекомунікаційних системах.

У третьому розділі було розроблено моделі та на їх основі метод оцінки завадостійкості кореляційного когерентного приймача сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією у присутності нефлюктуаційних завад. Запропоновані моделі забезпечують можливість аналізу ймовірності бітових та символних помилок для дискретних сигналів. Аналіз базується на співвідношенні сигнал/шум для трьох типів завад: імпульсних, гармонійних та мультиплікативних, при цьому враховуються різні параметри механізмів формування цих завад. Це дозволяє з значною точністю визначити вплив різних типів завад на ефективність прийому сигналів, сприяючи підвищенню завадостійкості телекомунікаційних систем.

Четвертий розділ присвячено проведенню дослідження завадостійкості автокореляційного демодулятора сигналів БФМ при наявності нефлюктуаційних завад. Для забезпечення стабільної роботи системи синхронізації автокореляційного демодулятора сигналів БФМ при наявності нефлюктуаційних завад в роботі проведено дослідження впливу фазової помилки системи синхронізації на ймовірності бітової помилки сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією. Подано модель оцінки впливу фазової помилки системи синхронізації когерентного демодулятора на ймовірності бітової помилки сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією. Визначено, що за наявності похибки роботи системи ФАПЧ по фазі несучої частоти, опорні сигнали у схемі когерентного прийому БФМ матимуть деяке фазове зміщення щодо номінальних значень.

Подано удосконалений метод оцінки завадостійкості автокореляційного демодулятора сигналу з багатопозиційною фазовою маніпуляцією при наявності нефлюктуаційних завад. Проведено дослідження завадостійкості автокореляційного демодулятора сигналів з багатопозиційною фазовою

маніпуляцією для радіоканалу з релеєвськими завмираннями та сумарною нефлуктаційною завадою та без релеєвського замирання.

Висновки дисертаційної роботи обґрунтовують наукову новизну роботи та практичну значимість отриманих наукових результатів.

Робота достатньо проілюстрована графіками й рисунками, а стиль викладу матеріалів досліджень, наукових положень, висновків забезпечує доступність їх сприйняття.

Автореферат та основні положення дисертації за змістом є ідентичними.

Дисертація є завершеною науковою працею.

Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації.

1. У першому розділі не акцентовано увагу, для яких саме систем передачі переважно застосовуються сигнали з багатопозиційною фазовою маніпуляцією, та чим характеризується середовище їх передачі з точки зору появи нефлуктаційних завад та їх впливу на завадостійкість прийому сигналів.

2. У першому розділі недостатньо чітко висвітлено обґрунтування наукових результатів, отриманих особисто автором для розвитку власного методу, у порівнянні з існуючими розробками в галузі оцінки впливу завад на телекомунікаційні системи, що ускладнює розуміння авторського внеску у розвиток цієї сфери.

3. В третьому розділі роботи не акцентовано увагу, чи дозволяє запропонований метод оцінки впливу нефлуктаційних завад на завадостійкість прийому дискретних сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією бути застосованим при оцінці впливу прицільних нефлуктаційних завад.

4. В заключній частині роботи та в висновках по роботі не узагальнено та не структуровано найбільш перспективні методи та рекомендації, направлені на зменшення впливу нефлуктаційних завад на завадостійкість прийому сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією.

Визначені зауваження не знижують позитивної оцінки наукового дослідження, яке в межах визначених автором мети та завдань є цілісним, ґрунтовним, завершеним дослідженням актуальної тематики підвищення завадостійкості прийому дискретних сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією та може бути темою для подальшого дослідження процесів підвищення завадостійкості прийому дискретних сигналів сучасних телекомунікаційних систем.

Загальні висновки. Дисертаційна робота Мелешко Т.В. присвячена розв'язанню важливого науково - технічного завдання по підвищенню завадостійкості прийому дискретних сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією в умовах впливу нефлуктаційних завад. Результати наукових досліджень, отримані в дисертаційній роботі, підкріплені апробацією та відповідними публікаціям. Дисертація є завершеною науковою працею на актуальну тему, містить науково обґрунтовані теоретичні та практичні результати, що свідчить про особистий внесок здобувача в науку.

Дисертаційна робота Мелешко Т.В. відповідає паспорту спеціальності 05.12.13 – «Радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій», вимогам

пункту 9, 11-13 Постанови КМУ від 27.07.2016 р. №567 «Про затвердження порядку присудження наукових ступенів», які висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, а її автор, Мелешко Тетяна Вікторівна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за науковою спеціальністю 05.12.13 – «Радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій».

Офіційний опонент

провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу (бойового застосування та експлуатації АСУ авіацією та ППО Повітряних Сил) науково-дослідного управління (розвитку і застосування Повітряних Сил) наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

доктор технічних наук, професор

Володимир ЛИСЕЧКО

“ ____ ” _____ 2024 р.

Підпис Лисечка В.П. засвідчую.

Вчений секретар
Харківського національного університету Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба.

доцент



Людмила ПЕТРОВА