

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.**

Вирішення питання підвищення ефективності телекомунікаційних систем, що працюють на основі технології з багатопозиційною фазовою маніпуляцією вимагає обґрунтування подальших напрямків досліджень щодо удосконалення вказаної технології при умові збереження всіх притаманних їй властивостей в умовах впливу різних завад та збурень. Відомо, що в радіоканалах сучасних радіотехнічних пристроїв поряд із шумовими часто присутні й нефлуктуаційні завади різного походження, що викликані як природними причинами, так і похибками апаратури, порушенням регламентів зв'язку та навмисними діями в радіопросторі. Поява нефлуктуаційних завад в загальному призводить до зниження якості зв'язку. При цьому необхідно врахувати, що кожна з таких найбільш шкідливих нефлуктуаційних завад певним чином впливає на якість передачі інформації в телекомунікаційній мережі, що працює на основі сигналу з багатопозиційною фазовою маніпуляцією.

Дисертаційна робота Мелешко Т.В. спрямована на вирішення актуального науково-технічного завдання по підвищенню завадостійкості прийому дискретних сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією в умовах впливу нефлуктаційних завад.

Визначена автором в поданій роботі науково-технічне завдання розв'язується шляхом розробки методів та на їх основі методики 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 на достатньо високому рівні проаналізовані недоліки та невідповідності функціонування існуючих методів оцінки впливу завад та збурень на якість передачі дискретних сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією. Визначено перелік та особливості формування нефлуктаційних завад та оцінено їх вплив на завадостійкість передачі дискретних сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією.

Обґрунтованість одержаних наукових положень, результатів та висновків підтверджується ретельним багатостороннім системним аналізом процесів що протікають при обробці сигналів в системах з використанням доплерівських методів вимірювачах швидкості. Під час проведення досліджень автор спирається на відомі факти та наукові досягнення в галузі супутникових телекомунікацій

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

Коректне використання методів досліджень та математичного апарату підтверджується результатами аналітичних доведень через математичні перетворення та комп'ютерне моделювання.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у наступному:

– набув подальшого розвитку метод оцінки завадостійкості когерентного прийому дискретного сигналу з багатопозиційною фазовою маніпуляцією, який, на відміну від існуючих, дозволяє оцінити завадостійкість 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 сигналу з багатопозиційною фазовою маніпуляцією в умовах впливу нефлуктаційних завад, який, на відміну від існуючих, дозволяє здійснити оцінку завадостійкості окремо для синфазних та

квадратурних каналів та визначити шляхи її підвищення у мовах впливу нефлуктуаційних завад.

**Повнота викладу основних положень дисертації в опублікованих працях.** Основні наукові положення та результати дисертаційного дослідження опубліковано в 8 наукових працях. У томи числі: в 5 наукових статтях у періодичних виданнях України включених до “Переліку наукових фахових видань України”; в 3 тезах доповідей та матеріалах конференцій.

Публікації в фахових наукових журналах та доповіді на науково-практичних міжнародних конференціях достатньо повно висвітлюють результати дисертаційної роботи.

**Практичне значення результатів дослідження** полягає у наступному:

1. Встановлено, що основними видами нефлуктуаційних завад, які можуть чинити вплив на завадостійкість прийому дискретних сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією є гармонічна завада, хаотична імпульсна завада та мультиплікативна завада.

2. Результати оцінки завадостійкість когерентного прийому сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією при наявності гармонійної нефлуктуаційної завади показали, що із збільшенням позиційності сигналу вплив гармонічної завади для сигналів з позиційністю  $M = 2$  або  $M = 4$  практично не збільшує величину бітової помилки. При великій інтенсивності ( $\mu \geq 0,5$ ) прицільні гармонійні завади практично руйнують прийом всіх видів сигналів БФМ.

3. Результати оцінки завадостійкість когерентного прийому сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією при наявності імпульсної нефлуктуаційної завади показали, що для забезпечення прийнятого рівня ймовірності символної помилки  $P=0.001$  за наявності імпульсної завади з інтенсивністю 1.0 в залежності від відносного значення тактового інтервалу потрібне збільшення ВСШ від 1 до 6 дБ. При малих інтенсивностях, до  $\mu = 0,2$ , імпульсна завада здійснює слабкий вплив на завадостійкість приймача.

4. Результати оцінки завадостійкість когерентного прийому сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією при наявності мультиплікативної нефлуктуаційної завади показали, що завада з відносним середнім значенням інтенсивності  $\mu = 0.1$ , дисперсією амплітуди 0,01 та дисперсією фази 0,01 рад<sup>2</sup> при ймовірності бітової помилки 0,001, для сигналів з позиційністю 2-ФМ та 4-ФМ дає погіршення співвідношення сигнал/шум від 0,3 до 1 дБ. Для сигналів з позиційністю 8-ФМ та 16-ФМ це погіршення може становити від 2,5 до 5 дБ, відповідно.

5. Результати оцінки ймовірнісних характеристиках появи бітової помилки сигналу з багатопозиційною фазовою модуляцією при наявності фазової помилки когерентного демодулятора показали, що при великих співвідношеннях сигнал-шум незначна помилка оцінювання фази, від  $\pi/180$  до  $\pi/90$ , приводить до значного

збільшення імовірності бітових помилок. При випадкових флуктуаціях фази для сигналів з  $M \geq 4$ , коли дисперсія помилки змінюється від 0 до 0,01, ймовірність помилки може зрости на один-два порядки.

Отримані результати дозволяють прийти до висновку, що під час прийому сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією допустиме значення похибки оцінки фази несучої залежить від позиційності  $M$  і змінюється від  $\pi/36 - \pi/72$  для сигналів з позиційністю 2-ФМ до  $\pi/180$  для 32-ФМ.

6. Оцінки завадостійкості автокореляційного демодулятора сигналу з багатопозиційною фазовою маніпуляцією при наявності нефлуктаційних завад показала, що нефлуктаційна завада з малою інтенсивністю  $\mu = 0,1$  до 0,3 практично не позначається на завадостійкості демодулятора, а домінуючий вплив здійснюють релеївські замирання. Якщо інтенсивність завади зростає до значень більш  $\mu = 0,5$  то для сумарної ймовірності символної помилки в значенні 0,01 додаткові енергетичні втрати за рахунок нефлуктаційної завади становлять вже близько 3 дБ в порівняно з випадком, коли відсутня така завада.

7. Нефлуктаційна завада може досить сильно погіршувати завадостійкість автокореляційного демодулятора сигналів БФМ в каналі без релеївських замирань, особливо при зі збільшенням позиційності сигналів. Зі збільшенням інтенсивності завади до значення на 50 відсотків при значеннях ВСШ до 10 дБ ймовірність символної помилки може погіршитись 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.

**Вступ** включає в себе загальну характеристику роботи, обґрунтовану актуальність теми дисертації, сформульовану мету та задачі дослідження. В ньому визначено об'єкт, предмет дослідження, пояснено зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами досліджень Національного авіаційного університету. Вступ містить наукову новизну та практичну значимість отриманих результатів, публікації, особистий внесок здобувача, відомості про апробацію та практичне впровадження результатів.

**В першому розділі** проведено аналіз основних характеристик сигналів з багатофазовою маніпуляцією та особливості завадостійкості їх прийому в умовах дії різних завад та збурень. Показано, що одним із видів завад, які



впливають на ефективність передачі даних телекомунікаційними мережами, є нефлюктуаційні завади. Вплив яких проявляється в зниженні рівня завадостійкості прийому сигналів з БФМ. Визначено перелік нефлюктуаційних завад, що можуть сформуватись під дією умов і факторів, в яких функціонує телекомунікаційна мережа передачі даних на базі сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією. Подано математичні залежності розрахунку їх характеристик. Визначено, що вирішення завдання підвищення ефективності функціонування телекомунікаційної мережі на базі сигналу з багатозазовою маніпуляцією потребує вирішення ряду часткових завдань, до яких віднесено встановлення всього спектру нефлюктуаційних завад та розробка часткових методик оцінки нефлюктуаційних завад на завадостійкість прийому дискретних сигналів з БФМ.

**Другий розділ** присвячено дослідженню впливу нефлюктуаційних завад, що діють у каналах зв'язку на завадостійкість прийому сигналів з багатопозиційною фазовою модуляцією. До числа найбільш розповсюджених нефлюктуаційних завад в розділі віднесено сигналоробідні, у тому числі вузькосмугові, гармонійні, а також імпульсні завади. Прийнято умову, що вказані нефлюктуаційні завади можуть мати різний частотний розлад, а рівні таких завад звичайно менші або співмірні з рівнем корисного сигналу. Сформовано моделі і обмеження для основних типів діючих завад.

У **третьому розділі** розроблено та подано моделі та на їх основі методику оцінки завадостійкості кореляційного когерентного приймача сигналів з багатопозиційною фазовою модуляцією при наявності нефлюктуаційних завад. В розділі розглянута робота класичного кореляційного когерентного приймача по прийому сигналу з врахуванням впливу білого шуму. Для аналізу завадостійкості в розділі визначено три найбільш розповсюджені види нефлюктуаційних завад та подані їх математичні моделі. Прийнята в розділі методика розрахунку ймовірності помилки при прийомі канального символу з врахуванням векторного представлення сигналу та нормально розподілених випадкових процесів на виходах кореляторів, заснована на розрахунку статистичних ймовірнісних характеристик. Результати досліджень завадостійкості кореляційного когерентного приймача сигналів з багатозазовою маніпуляцією за наявності нефлюктуаційних завад, що одержані з використанням запропонованого методу при умові розрахунку значень величин подано в вигляді функціональної залежності безумовної ймовірності помилки прийому канального символу і бітової помилки від співвідношення сигнал/шум.

У **четвертому розділі** проведено дослідження завадостійкості автокореляційного демодулятора сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією при наявності нефлюктуаційних завад. Подано модель оцінки

впливу фазової помилки системи синхронізації когерентного демодулятора на ймовірності бітової помилки сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією. В розділі розглянуто автокореляційний алгоритм прийому сигналів з багатофазовою маніпуляцією, що є менш ефективний з погляду завадостійкості, але простіший за схемною реалізацією. Подано удосконалений метод оцінки завадостійкості автокореляційного демодулятора сигналу з багатопозиційною фазовою маніпуляцією при наявності нефлуктаційних завад. Проведено дослідження завадостійкості автокореляційного демодулятора сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією для радіоканалу з релеївськими замираннями та сумарною нефлуктаційною завадою та без релеївського замирання.

**Висновки** дисертаційної роботи підкреслюють наукову новизну роботи та практичну значимість проведених досліджень.

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. В другому розділі роботи доцільно було б окремо розглянути питання зміни амплітуди дискретного сигналу з багатопозиційної фазовою маніпуляцією та появи в каналах прийому сигналу інших типів нефлуктаційних завад, які будуть в даних обставинах співвимірними з корисним сигналом.

2. При розробці та апробації поданих в третьому розділі роботи методів оцінки впливу нефлуктаційних завад на дискретні сигнали з багатопозиційної фазовою маніпуляцією в роботі не зазначено, чи можуть подані методи бути застосованими при оцінці впливу вказаних завад на дискретні сигнали інших видів модуляції та маніпуляції.

3. В четвертому розділі роботи поданий метод оцінки впливу фазової помилки системи синхронізації когерентного демодулятора на ймовірність бітової помилки сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією в умовах впливу нефлуктаційних завад. Доцільно було б визначити, до якого саме типу системи синхронізації може бути застосованим цей метод.

Зазначені зауваження мають в основному рекомендаційний характер і не знижують загальної високої 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 Проведені наукові дослідження, що містяться в дисертаційній роботі, підкріплені апробацією та відповідними публікаціям. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею на актуальну тему, містить науково обґрунтовані теоретичні результати і положення, 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 та 12 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

професор кафедри телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій  
Хмельницького національного університету  
доктор технічних наук, професор

“04” 06

2024

Підпис дійсний \_\_\_\_\_

Засвідчую \_\_\_\_\_

І. С. Мартинюк

І. С. Мартинюк



Юлій БОЙКО