

Голові спеціалізованої вченої ради Д 26.062.19
Національного авіаційного університету
доктору технічних наук, професору Козловському В.В.
03058, м. Київ, проспект Любомира Гузара, 1.

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора Заїки Віктора Федоровича на дисертаційну роботу Туровського Олександра Леонідовича «Моделі та методи підвищення точності роботи систем фазової синхронізації супутникових телекомунікацій в режимі стеження за несучою частотою», представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.13 –радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій

Актуальність теми дисертації. Успішне вирішення завдань підвищення ефективності функціонування супутникових телекомунікацій залежить від можливостей часткового підвищення якості роботи систем і пристроїв, що входять до їх складу (зокрема, системи фазової синхронізації вхідного сигналу з складу когерентного демодулятора супутникової телекомунікації).

Аналіз останніх досліджень та реалізованих технічних рішень за цим напрямом свідчить, що існуючі схеми систем фазової синхронізації заритого типу, які реалізовані у теперішній час в когерентних демодуляторах супутникових телекомунікацій вичерпали свої можливості щодо підвищення якості функціонування в умова постійного зростання обсягів передачі даних.

Основними проблемами подальшого підвищення ефективності їх функціонування є відсутність можливості забезпечити одночасне підвищення декількох часткових показників якості в умовах впливу різних збурень та перешкод, а також обмежені можливості щодо підвищення швидкодії на фоні забезпечення високої точності роботи. В свою чергу методи та алгоритми оцінки несучої частоти вхідного сигналу вказаними системами вимагають врахування всіх особливостей та умов передачі і прийому корисних сигналів супутниковими телекомунікаціями. В першу чергу, це торкається різних режимів прийому вхідного сигналу з низкою енергетикою та високою частотною невизначеністю в умовах впливу «сусідніх» каналів при умові високої швидкості та якості обробки вхідного сигналу.

Таким чином, можна стверджувати, що по суті, формується нова науково–прикладна проблема щодо підвищення точності роботи систем фазової синхронізації когерентних демодуляторів супутникових

телекомунікацій в режимі стеження за несучою частотою, вирішенню якої і присвячена дисертаційна робота Туровського О.Л.

Розв'язання вказаної проблеми передбачає розробку моделей та методів підвищення точності роботи систем фазової синхронізації когерентних демодуляторів супутникових телекомунікацій в режимі стеження за несучою частотою, що визначає важливість і актуальність даного дисертаційного дослідження.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Автор добре розуміє специфіку науково-прикладної проблеми та коректно визначає систему припущень та обмежень, за яких проводилися дисертаційні дослідження.

Під час проведення досліджень ним використовувалися відомі підходи та методи математичного аналізу й синтезу складних систем. На достатньо високому рівні були проаналізовані недоліки та невідповідності функціонування існуючих систем фазової синхронізації супутникових телекомунікацій, визначені невідповідності схем їх побудови сучасним вимогам підвищення точності та швидкодії, а також проаналізовані проблеми оцінки несучої частоти сигналу в сучасних супутникових телекомунікаціях та цілком вірно визначені та обґрунтовані напрямки наукових досліджень щодо їх вирішення.

Обґрунтованість одержаних наукових положень, результатів та висновків підтверджується ретельним багатостороннім системним аналізом процесів що протікають при обробці сигналів в когерентних демодуляторах та загалом в супутникових телекомунікаціях. 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 теорії інваріантності, 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, а також практичними результатами, які відображено в актах впровадження.

Наукова новизна та важливість результатів полягає у наступному:

– набув подальшого розвитку метод оцінки можливості систем фазової синхронізації супутникових телекомунікацій до підвищення якості функціонування в сталих та перехідних режимах стеження за несучою

частотою, який, на відміну від відомих, забезпечує більш стійке функціонування систем фазової синхронізації;

– вперше розроблено модель синтезу комбінованої системи фазової синхронізації супутникової телекомунікації, яка забезпечує підвищення порядку астатизму та мінімізацію дисперсії фазової помилки системи синхронізації в ході стеження за несучою частотою;

– вперше розроблено метод побудови комбінованої схеми системи фазової синхронізації супутникової телекомунікації, який дозволяє розробити комбіновану схему системи фазової синхронізації при умові мінімізації дисперсії фазової помилки з врахуванням зовнішніх та внутрішніх чинників впливу на ефективність системи в сталих режимах роботи;

– вперше розроблено метод підвищення ефективності роботи комбінованої схеми системи фазової синхронізації супутникової телекомунікації в перехідних режимах роботи, який дозволяє зменшити перехідну складову фазової помилки та час перехідного процесу в комбінованій системі синхронізації в ході стеження за несучою частотою;

– удосконалено метод підвищення ефективності оцінки несучої частоти в супутникових телекомунікаціях, який, на відміну від існуючих, забезпечує дисперсію оцінки, близьку до теоретичних границь та враховує особливості прийому та обробки сигналу системами синхронізації когерентних демодуляторів супутникових телекомунікацій;

– удосконалено метод розрахунку нижньої границі дисперсії оцінки несучої частоти (границі Крамер-Рао), який, на відміну від відомих, забезпечує отримання критерію, призначеного для порівняльної оцінки теоретичної границі та отриманого значення дисперсії оцінки несучої частоти когерентним демодулятором супутникової телекомунікації;

– вперше розроблено методи оцінки несучої частоти для когерентних демодуляторів супутникових телекомунікацій, які дозволяють отримати значення мінімально граничних дисперсій оцінки, близьких до теоретичних границь для безперервного та пакетного режимів прийому сигналу супутниковими телекомунікаціями.

Повнота викладення основних положень дисертації в опублікованих працях. Основні наукові положення та здобутки дисертаційного дослідження викладено в 35 наукових працях. У томи числі: в 3 наукових статтях у періодичних наукових виданнях іноземних держав, які індексуються наукометричною базою Scopus; в 1 науковій статті у періодичному науковому виданні держави, яка входить до Організації економічного співробітництва та розвитку та/або Європейського Союзу; в 20 наукових статтях у періодичних виданнях України включених до “Переліку наукових фахових видань України” (з яких 10 опубліковані одноосібно); в 11 тезах доповідей та матеріалах конференцій (з них 3 індексуються міжнародною наукометричною базою Scopus).

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:

– розроблено модель синтезу комбінованої системи фазової синхронізації когерентних демодуляторів, яка дозволяє синтезувати комбіновані системи синхронізації з підвищенням до другого та вище порядком астатизму;

– побудовано схему системи синхронізації когерентного демодулятора супутникової телекомунікації, яка, при зменшенні до 80% значення дисперсії фазової помилки несучої частоти дозволяє до 2.5 і більше раз збільшити швидкодію системи в сталому режимі роботи, до 2-3 раз зменшити час перехідного процесу та до 18-20% знизити перехідну складову фазової помилки в порівнянні з існуючими системами синхронізації замкнутого типу.

– уточнено метод визначення теоретично можливої нижньої границі дисперсії оцінки несучої частоти для когерентних демодуляторів супутникових телекомунікацій який надає змогу встановити кількісні характеристики мінімальної дисперсії оцінки при наявності інформації про всі параметри сигналу;

– розроблено метод двоетапної оцінки несучої частоти когерентними демодуляторами в безперервному режимі прийому сигналу супутниковими телекомунікаціями, який враховує вплив «сусідніх» каналів прийому вхідних сигналів та забезпечує оцінку несучої частоти з дисперсіями, що на один – три порядки менше значення дисперсій, отриманих за допомогою існуючих алгоритмів оцінки в інтервалі відношення сигнал/шум від 1 до 6 дБ;

– розроблено метод двоетапної оцінки несучої частоти для когерентних демодуляторів в пакетному режимі прийому сигналу супутниковими телекомунікаціями, який має просту процедуру обрахування та забезпечує дисперсію оцінки несучої частоти сигналу, максимально наближену до теоретично можливої нижньої границі дисперсії оцінки.

Робота виконувалась згідно напрямків наукових досліджень кафедри засобів захисту інформації Національного авіаційного університету в межах однієї науково дослідної роботи та реалізована в навчальному процесі Національного авіаційного університету. Результати роботи також впроваджені в діяльність АТ «Мотор Січ», (акт впровадження від 12.02.2021 р.), та Центрального НДІ озброєння і військової техніки ЗСУ (акт реалізації від 12.01 2021), а також реалізовані при виконанні трьох науково-дослідних робіт та впроваджені в навчальний процес Державного університету телекомунікацій (акт реалізації від 12.11.2020).

Оцінка змісту дисертації, її завершеності та відповідності встановленим вимогам. Дисертаційне дослідження автора є самостійним, оригінальним, завершеним науковим дослідженням, у якому вирішено актуальну науково-прикладну проблему.

Дисертаційна робота складається з анотації, змісту, переліку умовних скорочень вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків і має 291 сторінку основного тексту, 56 рисунків та таблиць, 10 сторінок додатків. Список використаних джерел містить 191 найменування і займає 20 сторінок. Загальний обсяг дисертаційної роботи – 321 сторінка.

Вступ включає в себе загальну характеристику роботи, обґрунтовану актуальність теми дисертації, сформульовану мету, наукову проблему та часткові 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 дисертаційної роботи проведено аналіз особливостей роботи систем фазової синхронізації когерентного демодулятора супутникових телекомунікацій в режимі стеження за несучою частотою, особливостей оцінки несучої частоти когерентними демодуляторами, та визначено основні завдання, які необхідно вирішити для розроблення методології і, на її основі, моделей та методів підвищення точності роботи систем фазової синхронізації когерентних демодуляторів супутникових телекомунікацій в режимі стеження за несучою частотою.

Другий розділ присвячений дослідженням, спрямованим на розробку моделі системи синхронізації комбінованого типу з підвищеним порядком астатизму при роботі в сталих режимах обробки вхідного сигналу.

В розділі проведено синтез та отримано модель комбінованої системи синхронізації з розімкнутим зв'язком при умові підвищення порядку астатизму. На основі синтезованої моделі розроблено метод побудови схеми системи синхронізації з простим та складним розімкнутим зв'язком при умові мінімізації дисперсії фазової помилки на фоні впливу адитивного гаусівського шуму. Вказаний метод забезпечує мінімум дисперсії фазової помилки в процесі синхронізації вхідного сигналу та дає змогу врахувати вплив фазової нестабільності опорних генераторів, обмеження по параметрам вхідного сигналу та по параметрам ланок розімкнутого та замкнутого каналів прийому вхідного каналу.

На основі розробленого методу та часткових методик проведено аналіз процесу впливу розімкнутого зв'язку на мінімізації дисперсії фазової помилки та швидкодію та розроблено практичні рекомендації по його втіленню в схему комбінованої системи синхронізації.

Третій розділ присвячено синтезу моделі системи синхронізації комбінованого типу з підвищеним порядком астатизму при роботі в перехідних режимах стеження за несучою частотою.

В розділі синтезовано систему синхронізації з розімкнутим зв'язком при умові зменшення перехідної складової фазової помилки, розроблено методику визначення фазової помилки в перехідному режимі роботи системи

фазової синхронізації та обґрунтовано вибір моделі ланки розімкнутого зв'язку при умові мінімізації фазової помилки в перехідному режимі оцінки несучої частоти та зменшені часу перехідного процесу.

Проведені дослідження надали можливість встановити зв'язок параметрів синтезованої ланки розімкнутого зв'язку з коефіцієнтами характеристичного рівняння перехідної фазової помилки в системі синхронізації та оцінити їх вплив на фазову помилку в перехідному режимі стеження за несучою частотою та на час перехідного процесу.

Четвертий розділ присвячено розробці методів оцінки несучої частоти сигналу системами фазової синхронізації когерентних демодуляторів супутникових телекомунікацій в режимі стеження за несучою частотою.

В розділі розроблено метод визначення нижнього кордону дисперсії оцінки несучої частоти системами фазової синхронізації, призначений для отримання теоретично можливого значення дисперсії оцінки і порівняння отриманих результатів відносно вказаного значення. Для оцінки несучої частоти вхідного сигналу який приймається супутниковою телекомунікацією в безперервному та пакетному режимі вхідного сигналу в розділі запропоновані відповідні двохетапні методики оцінки.

В п'ятому розділі здійснено аналіз ефективності оцінок несучої частоти системами фазової синхронізації когерентних демодуляторів супутникових телекомунікацій в режимі стеження за несучою частотою

Проведено оцінку несучої частоти системами фазової синхронізації когерентних демодуляторів в безперервному режимі прийому сигналу та проаналізовано її результати. Оцінено вплив «сусідніх» каналів та здійснено корегування запропонованої методики оцінки несучої частоти. Проведено оцінку несучої частоти системами фазової синхронізації когерентних демодуляторів в пакетному режимі прийому сигналу та проаналізовано її результати. Показано, що отримані результати оцінки несучої частоти сигналів забезпечують дисперсію оцінки, яка на два-три порядки менше дисперсії, отриманої за допомогою існуючих методик та максимально наближена до теоретично можливої дисперсії оцінки несучої частоти.

Проведено апаратну апробацію запропонованих методів та методик та розроблені пропозиції що до їх втілення.

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

Оцінка мови та стилю викладання дисертації та автореферату. Мова та стиль викладення матеріалів досліджень, наукових положень та висновків свідчать про вміння автора аргументовано формулювати свої думки, що забезпечує доступність їх сприйняття. Змістовне наповнення підрозділів роботи відповідає змісту визначених розділів, які мають єдність та завершеність.

Робота достатньо проілюстрована графіками та рисунками, що суттєво сприяють усвідомленню викладеного матеріалу. Отримані підсумкові

результати дисертаційного дослідження повністю співпадають з метою та частковими завданнями дослідження, які сформульовано у вступі.

У цілому дисертаційна робота сприймається як завершена наукова праця, що характеризується єдністю змісту та містить нові наукові результати.

Зміст автореферату повністю відповідає основним положенням дисертації та дає повне уявлення про отримані автором основні результати досліджень, їх новизну та практичну цінність.

Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації.

1. В першому розділі в межах аналізу системи відновлення несучої частоти багато уваги приділено питанням завадостійкості систем, хоча в подальшому вказані питання в роботі не розглядаються.

2. Вважалось б доцільним в другому розділі роботи більше уваги приділити висвітленню можливостей запропонованої синтезованої моделі комбінованої системи фазової синхронізації до подальшого підвищення астатизму вище третього порядку.

3. При обґрунтування моделі ланки розімкнутого зв'язку при умові мінімізації фазової помилки в перехідному режимі, що проведена в третьому розділі, не уточнено, який саме вид розімкнутого зв'язку розглянуто.

4. Наведену в четвертому розділі роботи аргументацію щодо застосування правила максимальної подібності не можна визнати достатньо повною, хоча висновок про доцільність застосування даного правила зроблено цілком вірний.

5. В п'ятому розділі роботи аналіз ефективності оцінок несучої частоти системами фазової синхронізації проведено по отриманим розрахунковим даним для діапазонів співвідношення сигнал/шум, пов'язаних з типами фазової модуляції. Подані результати цілком показові і їх достатньо для обґрунтування отриманих висновків. Водночас, становлять певний інтерес і результати оцінки несучої частоти для більш широкого діапазону вказаного співвідношення (особливо при дослідженні можливостей перспективних систем супутникових телекомунікацій). Нажаль, необхідні для цього розрахункові дані та залежності в розділі не наведені.

Разом з тим, 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 в сфері супутникових телекомунікацій та може бути темою для подальшого дослідження процесів підвищення точності роботи систем синхронізації супутникових телекомунікацій в режимі стеження за несучою частотою.

Загальні висновки. Вивчення дисертаційної роботи, автореферату та опублікованих здобувачем наукових праць дає підстави стверджувати, що дисертаційна робота Туровського О.Л. є логічно завершеною науковою працею, яка виконана на актуальну тему та містить нові науково обґрунтовані

результати і положення, які в сукупності вирішують важливу науково-прикладну проблему щодо підвищення точності роботи систем фазової синхронізації когерентних демодуляторів супутникових телекомунікацій в режимі стеження за несучою частотою.

Дисертаційна робота Туровського О.Л. відповідає паспорту спеціальності 05.12.13 – «Радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій» та вимогам пунктів 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів» до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук, а її автор, Туровський Олександр Леонідович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за науковою спеціальністю 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій.

Офіційний опонент

Завідувач кафедри телекомунікаційних систем та мереж
Державного університету телекомунікацій
доктор технічних наук, професор

“29” квітня 2021 р.



В.Ф. Заїка

Підпис професора Заїки В.Ф. засвідчую

Заступник начальника відділу кадрів
Державного університету телекомунікацій



Л.Л. Смаль