

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 64.820.01 Українського державного
університету залізничного транспорту

площа Фейербаха, 7, м. Харків, 61050

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук,
доцента ФРИЗА СЕРГІЯ ПЕТРОВИЧА на дисертацію
ШЕФЕРА ОЛЕКСАНДРА ВІТАЛІЙОВИЧА на тему:
“Моделі та методи підвищення якості функціонування бортових
радіолокаційних систем”, яка подана на здобуття наукового
ступеня доктора технічних наук за спеціальністю
05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Актуальність теми дисертації

Україна – це космічна держава, яка має багатий досвід створення та експлуатації космічних апаратів з бортовими радіолокаційними станціями на борту. Так у 1995 році на орбіту був виведений перший український космічний апарат “Січ-1”. Однією з основних його бортових систем був радіолокатор бічного огляду. У 1999 році запущений космічний апарат “Океан”, який мав два таких радіолокатори.

Сьогодні, відповідно до “Концепції реалізації державної політики у сфері космічної діяльності на період до 2032 року” вітчизняними підприємствами космічної галузі проводяться розробки перспективних космічних апаратів з радіолокаційними станціями на борту. При цьому, серед першочергових завдань є покращення показників якості їх функціонування.

Існуючий науково-методичний апарат не дозволяє врахувати всі чинники, що впливають на радіообмін з космічними апаратами, особливо за умов дії засобів радіопридушення. Оскільки протягом останніх років спостерігається стрімкий розвиток засобів радіоелектронної протидії, саме в цих умовах особливо

гостро проявляється проблема зниження показників якості функціонування бортових радіолокаційних систем. Не зважаючи на проведені дослідження та багатий досвід експлуатації зазначених телекомунікаційних систем, проблема забезпечення стійкого радіоприйому в умовах дії навмисних завад залишається невирішеною.

Тому розроблення моделей та методів, направлених на підвищення якості функціонування бортових радіолокаційних систем із урахуванням специфічних умов їх використання, набуває особливої актуальності.

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

Автор добре розуміє специфіку науково-технічної проблеми та коректно формулює її постановку.

Обґрунтування основних результатів та висновків дисертаційної роботи проведено з необхідною повнотою шляхом використання класичної теорії завадостійкості і статистичної радіотехніки, методів теорії сигналів і систем, конкретизацією постановки завдань, застосуванням апробованих методів імітаційного моделювання.

Під час проведення досліджень автор спирається на відомі факти та наукові досягнення у обраній сфері. Відмічаю, що наукові положення та рекомендації, які сформульовані у роботі, науково обґрунтовані, перевірені шляхом математичного моделювання.

Достовірність одержаних результатів

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків та рекомендацій, викладених в дисертаційній роботі, досягаються ретельним багатостороннім системним аналізом реально існуючих процесів у сфері телекомунікацій взагалі та в об'єкті дослідження зокрема. Коректне використання методів досліджень та математичного апарату підтверджується результатами аналітичних доведень через математичні перетворення, результатами імітаційного моделювання, а також практичними результатами, які відображено в актах впровадження.

Достовірність наукових результатів роботи обумовлена застосуванням класичних методів досліджень, відповідністю прийнятих припущень фізичному змісту розв'язуваних задач, адекватністю математичних моделей і обробкою експериментальних даних із застосуванням теорії планування експерименту й методів математичної статистики.

Наукова новизна та важливість результатів

У результаті проведених досліджень отримано наступні наукові результати:

1. Вперше запропоновано аналітичний метод визначення науково обґрунтованих вимог до частотно-залежних параметрів як у цілому, так і окремих каскадів радіоприймальних пристроїв, котрий відрізняється від відомих методів тим, що базується на врахуванні статистичних і спектральних характеристик радіолокаційних сигналів і завад, що дозволяє визначити мажоритарні вимоги до динамічного діапазону каскадів.

2. Отримав подальший розвиток метод аналізу впливу нелінійних процесів у багатокаскадних радіоприймальних пристроях за рахунок адекватного опису радіопристроїв високого порядку з максимально повним урахуванням їх нелінійних і динамічних властивостей, що дозволило провести оцінку показників якості бортових радіолокаційних систем в умовах радіоелектронної протидії.

3. Вперше розроблено метод функціональної залежності показників якості бортових радіолокаційних систем від ширини лінійного динамічного діапазону радіоприймальних пристроїв, який на відміну від існуючих, враховує найбільш імовірні умови їх практичного застосування та дозволяє побудувати адекватну модель нелінійних процесів.

4. Вперше розроблено метод локального зниження щільності іоносферної плазми для підтримки надійності зв'язку та підвищення завадостійкості функціонування радіоприймальних пристроїв бортових радіолокаційних систем, котрий відрізняється від відомих методів високою енергоефективністю.

5. Удосконалено модель урахування впливу частотно-селективних властивостей трансіоносферного розповсюдження радіохвиль на завадостійкість

радіоприймальних пристроїв, котра відрізняється від існуючих тим, що дає можливість урахувати взаємозв'язок статистичних параметрів передавальних характеристик каналу зв'язку з фізичними параметрами іоносфери та частотними параметрами радіосигналів бортових радіолокаційних систем.

6. Розроблено адаптивний метод компенсації нелінійних спотворень у радіопристроях на основі застосування синтезованих нелінійних адаптивних компенсаторів для розширення лінійного динамічного діапазону радіоприймальних пристроїв, який відрізняється від відомих тим, що не призводить до зниження надійності бортових радіолокаційних систем як в апаратурному, так і в функціональному сенсі, що дозволило підвищити якість функціонування бортових радіолокаційних систем.

Таким чином, проведені наукові дослідження і одержані результати забезпечили вирішення актуальної *науково-технічна проблеми*, яка полягає у теоретичному обґрунтуванні та розробленні методології підвищення якості функціонування бортових радіолокаційних систем на основі удосконалення адаптивних методів компенсації нелінійних спотворень.

Наукова новизна положень, висновків та рекомендації, сформульованих у дисертації, підтверджується відсутністю аналогічних підходів у відкритих джерелах.

Аргументування та критичне оцінювання порівняно з відомими рішеннями запропонованих автором рішень.

Метою роботи є підвищення якості функціонування бортових радіолокаційних систем. Для досягнення поставленої мети у роботі вирішені наступні наукові задачі:

1. Проведено дослідження існуючих та перспективних методів підвищення якості функціонування бортових радіолокаційних систем.

2. Розроблено аналітичний метод визначення науково обґрунтованих вимог до частотно-залежних параметрів як у цілому, так і окремих каскадів радіоприймальних пристроїв.

3. Забезпечено подальший розвиток теоретичних основ функціонального

методу у напрямку розробки методів визначення ядер Вольтерра багатомірних радіопристроїв високого порядку й обернених нелінійних аналітичних операторів.

4. Проведено дослідження функціональної залежності показників якості бортових радіолокаційних систем від ширини лінійного динамічного діапазону.

5. Розроблено метод підвищення завадостійкості функціонування бортових радіолокаційних систем шляхом впливу на іоносферне середовище розповсюдження радіохвиль.

6. Вдосконалено аналітичну модель урахування впливу частотно-селективних властивостей трансіоносферного розповсюдження радіохвиль на завадостійкість радіоприймальних пристроїв.

7. Розроблено адаптивний метод компенсації нелінійних спотворень у радіопристроях для розширення їх лінійного динамічного діапазону.

8. Проведено оцінку ефективності застосування розроблених практичних рекомендацій для підвищення показників якості сучасних і перспективних бортових радіолокаційних систем у найбільш імовірних умовах їх застосування.

Практична значимість та важливість для галузі полягає у тому, що обраний напрям досліджень пов'язаний з “Концепцією реалізації державної політики у сфері космічної діяльності на період до 2032 року” (Постанова Кабінету Міністрів України від 30 березня 2011 р. № 238-р) та “Загальнодержавною цільовою науково-технічною космічною програмою України на 2013-2017 роки” (Постанова Кабінету Міністрів України від 15 лютого 2012 р., № 79).

Результати досліджень впроваджені у науково-дослідних роботах “Впровадження-КС”, “Обґрунтування- КС”, “Спостереження-НУ”, “Інтеграція”, “Перспектива–КА”, “КНК-58250”, “Платан”, “Тясмин”, “Цямрина-10” та “Метр”.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому, відповідність оформлення дисертації вимогам, затвердженим МОН України

Дисертація складається з шести розділів, в яких логічно на високому науково-технічному рівні викладено рішення поставленої задачі дослідження.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи,

сформульовано мету і завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет, методи дослідження, визначено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, представлено загальну характеристику роботи, структуру та обсяг дисертації. Наведено відомості про впровадження результатів роботи, апробацію, особистий внесок автора, а також публікації за темою дисертації.

У *першому* розділі проведено критичний аналіз існуючих технологій, стану теорії і практики управління процесами в телекомунікаційних системах.

Визначено основні показники якості, необхідні для реалізації потенційних можливостей функціонування сучасних та перспективних бортових радіолокаційних систем. На основі проведеного порівняльного аналізу методів підвищення показників якості в телекомунікаційних системах виявлено основні особливості та недоліки існуючих методів. Обґрунтовано необхідність вирішення проблеми розробки методології підвищення якості функціонування бортових радіолокаційних систем у реальних умовах їх функціонування.

У *другому* розділі проведено синтез алгоритму визначення ядер Вольтерра зведеного нелінійного аналітичного оператора з використанням розробленого методу нелінійних вхідних сигналів для визначення нелінійних передавальних функцій широкого класу багатомірних радіопристроїв.

За допомогою комплексного застосування розроблених методів нелінійних вхідних сигналів і модифікованих структурних матриць систем побудовано адекватну модель нелінійних процесів у радіопристроях, що слугує методологічною основою конструктивного аналізу нелінійних спотворень у радіоприймальних пристроях бортових радіолокаційних систем.

Запропоновано аналітичну модель урахування частотної залежності амплітудних характеристик радіоприймальних пристроїв, що дозволило визначити залежність мажоритарних вимог до динамічного діапазону каскадів радіопристроїв від смуги пропускання за їх входом і загальним числом каскадів із необхідною точністю. Отримані результати є основою для оптимізації радіопристроїв за критеріями нелінійності й розроблення методики узгодження багатокаскадних радіоприймальних пристроїв бортових радіолокаційних систем із

вхідними впливами з урахуванням їх статистичних і спектральних властивостей.

У *третьому* розділі запропоновано удосконалений математичний апарат аналізу нелінійних процесів на основі функціональних рядів Вольтерра, що дозволяє аналізувати можливості та розробляти практичні рекомендації щодо підвищення пропускну здатності та завадостійкості радіоприймальних пристроїв. За результатами аналізу одержаних результатів, доведено вплив обмеженості лінійного динамічного діапазону радіоприймальних пристроїв на суттєве зниження пропускну здатності реальних НВЧ бортових радіолокаційних систем унаслідок нелінійностей.

Використання розробленого методу підвищення завадостійкості радіоприймальних пристроїв на основі аналізу нелінійних інерційних процесів, які відбуваються із радіосигналами в зазначених телекомунікаційних системах, дозволило обґрунтувати науково-технічні пропозиції щодо підвищення ефективності та якості функціонування бортових радіолокаційних систем.

У *четвертому* розділі розроблено метод локального зниження щільності іоносферної оболонки навколо антенного відсіку носія бортової радіолокаційної системи за рахунок її взаємодії зі штучно створеною плазмою від'ємного випромінювання високої інтенсивності, що вказує на правильний напрямок досягнення поставленої мети дисертаційної роботи.

У *п'ятому* розділі проведено моделювання та експериментальні дослідження розроблених теоретичних рекомендацій. Моделюючий експеримент з використанням спеціальних програмних комплексів показав, що за допомогою розроблених моделей та методів можна отримати результати прогнозування завадостійкості радіоприймальних пристроїв для різних діапазонів довжин хвиль у різних умовах збурень середовища поширення радіохвиль.

Визначено, що для забезпечення необхідної імовірності помилки необхідно мати енергетичний запас радіоліній, що висуває додаткові умови до підвищення енергетичних характеристик радіопристроїв. Проведено оцінку величини дисперсії фази сигналу та отримано порогове значення, за якого показники якості когерентного і автокореляційного прийому сигналу збігаються,

що дозволило визначитись з умовою вибору виду прийому.

Експериментальна перевірка запропонованого адаптивного прийому НВЧ радіосигналів показала, що використання переваг когерентного й автокореляційного режимів із оперативним аналізом величини дисперсії фази сигналу на трасі поширення радіохвиль, дозволяє застосувати загальну теорію адаптації для удосконалення телекомунікаційних систем.

У шостому розділі проведено синтез адаптивного методу пригнічення нелінійних спотворень у радіопристроях, що дозволяє врахувати можливі удосконалення засобів радіоелектронної протидії на передбачуваний період експлуатації телекомунікаційних систем та забезпечує гнучкий запас за завадостійкістю цих систем. Встановлено, що якісні характеристики адаптивних компенсаторів нелінійних спотворень визначаються рівнем внутрішніх шумів і ступенем неідеальних параметрів реальних елементів. Оскільки внутрішні шуми адаптивних компенсаторів нелінійних спотворень не призводять до додаткового погіршення якості функціонування радіоприймальних пристроїв, гранично досяжний динамічний діапазон таких компенсаторів дорівнює сумі динамічних діапазонів радіопристроїв і власне адаптивних компенсаторів нелінійних спотворень.

Використання адаптивних нелінійних компенсаторів НВЧ і ВВЧ діапазонів дозволяє підвищити стійкість перед завадами радіоліній у $\sim 2,3$ рази.

Експериментально підтверджені висновки теоретичного аналізу завадостійкості нелінійної адаптивної компенсації й основні положення науково-обґрунтованої методики проектування перспективних радіоприймальних пристроїв бортових радіолокаційних систем, що є доказом правильності розробленої методології й наведених теоретичних досліджень.

Висновки дисертаційної роботи підкреслюють наукову новизну й практичну цінність досліджень.

Оцінка мови та стилю викладання дисертації і автореферату. Мова та стиль дисертації та автореферату свідчать про вміння автора аргументовано формулювати думки. Всі розділи роботи мають внутрішню єдність та

завершеність. Змістовне наповнення підрозділів роботи відповідає змісту визначених розділів.

Отримані підсумкові результати дисертації повністю співпадають із метою і науковими завданнями, сформульованими у вступі. В цілому дисертаційна робота сприймається як закінчена наукова праця, що містить нові наукові результати.

Підтвердження повноти викладу результатів дисертації в наукових фахових виданнях. Наукова новизна безсумнівна та достатня для дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

Основні результати дисертаційних досліджень опубліковано після захисту кандидатської дисертації викладені у 51 науковій праці, з яких 29 статей у наукових фахових виданнях та виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних. Опубліковано 22 праці апробаційного характеру.

Основні наукові положення й результати роботи доповідалися та схвалені на всеукраїнських та міжнародних конференціях.

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації і дає повне уявлення про отримані автором основні результати дослідження, їх новизну та практичну значимість

Недоліки

1. Перший розділ роботи дуже об'ємний та містить надлишкову інформацію. При цьому, у підрозділі 1.3, при проведенні огляду відомих і перспективних теоретичних методів дослідження нелінійних процесів у радіоприймальних пристроях, не узагальнено переваги й недоліки аналітичних і чисельних методів. Це дозволило б автору розширити розроблену ним класифікацію методів дослідження нелінійних процесів у телекомунікаційних системах.

2. На рисунку 3.1, який називається "Типові характеристики нестабільності частоти кварцових генераторів" різним кольором зображені графіки нестабільності частоти чотирьох бортових кварцових генераторів. При цьому

пояснено, що ці графіки отримані в лабораторних умовах для одного типу генераторів. У тексті роботи та наведеному посиланні відсутні відомості про умови експерименту та відмінність генераторів, що ускладнює процес сприйняття цієї інформації.

3. В роботі у підрозділі 3.2 проведено дослідження особливостей сигналів неконтрольованих випромінювань і розроблено еквівалентну математичну модель ідентифікації нелінійних процесів бортової навігаційної апаратури. На мій погляд, цю модель доцільно формалізувати більш узагальненою функціональною залежністю.

4. Практична цінність матеріалів синтезу алгоритму оптимального оброблення радіосигналів, представлених автором у підрозділі 3.4, була б вищою, якби, використовуючи отримані результати, були б наведені номограми, що полегшують сприйняття розрахункових формул.

5. Для забезпечення співвідношення сигнал/шум на рівні 60 дБ та покращення результатів порівняльної оцінки отриманих теоретичних моделей і методів з експериментальними даними адаптивного оброблення радіосигналів за наявності частотно-селективних завмирань (підрозділ 5.4) та аналізу їх впливу на поширення радіохвиль НВЧ діапазонів, доцільно було б збільшити енергетичний потенціал досліджуваної радіолінії.

6. Для розробки імітаційних моделей у дисертації використано програмні засоби моделювання MATLAB . При цьому відомо, що для розглянутих у роботі моделей доцільно використовувати спеціалізоване середовище імітаційного моделювання GPSS (General Purpose Simulation System) та набір інструментів і методів CASE (Computer-Aided System Engineering), або систему моделювання NS (Network Simulator).

7. У додатках до роботи А та В наведені програмні коди. На мій погляд, їх включення до додатків є недоцільним, оскільки ці коди не представляють собою самостійну цінність. Відсутності у тексті роботи цих кодів не впливає на оцінку наукової новизни або практичної значимості отриманих результатів.

Висновок

Вивчення дисертаційної роботи, автореферату та опублікованих здобувачем наукових праць дозволяє стверджувати, що дисертаційна робота виконана на актуальну тему, представляє собою логічно завершене наукове дослідження, що містить нові обґрунтовані наукові результати, які у сукупності є вирішенням науково-прикладної проблеми, відповідає паспорту спеціальності та вимогам пунктів 9, 10, 12 - 14 “Порядку присудження наукових ступенів” до докторських дисертацій, а здобувач Шефер Олександр Віталійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи і мережі.

Офіційний опонент

начальник кафедри телекомунікацій та радіотехніки

Житомирського військового інституту

ім. С. П. Корольова доктор технічних наук,

доцент



С. П. ФРИЗ

Підпис Фриза С.П. засвідчую.

ТВО начальника відділу персоналу та стройового



В. Ю. КІСЕЛЬОВ

