

## **В І Д Г У К**

офіційного опонента доктора технічних наук, професора  
**Краснобаєва Віктора Анатолійовича** на дисертаційну  
роботу Шефера Олександра Віталійовича за темою “Моделі та  
методи підвищення якості функціонування бортових  
радіолокаційних систем”, подану на здобуття наукового  
ступеня доктора технічних наук за спеціальністю  
05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

### **Актуальність теми дисертаційної роботи**

Загальнонаціональною проблемою у вирішенні комплексу державних завдань із побудови перспективних телекомунікаційних систем та мереж є диспропорція між науково-технічним потенціалом галузі та рівнем впровадження і використання сучасних засобів, технологій та інформації в інтересах вирішення нагальних проблем національної безпеки й оборони, розвитку освіти та науки, громадянського суспільства, ефективного управління та високотехнологічного розвитку економіки України.

Виконану дисертаційну роботу можна віднести до наукових праць, які підштовхують і стимулюють розвиток сучасних перспективних телекомунікаційних систем.

Побудова перспективних телекомунікаційних систем та шляхи удосконалення існуючих свідчать, що найбільш ефективним є покращення якості функціонування бортових радіолокаційних систем.

Істотне зниження показників якості бортових радіолокаційних систем простежується в умовах впливу організованих і несанкціонованих завад на вхід їх радіоприймальних пристроїв.

Покращити значення показників якості бортових радіолокаційних систем у реальних умовах їх використання можливо на основі більш повної реалізації потенційних можливостей телекомунікаційних систем.

Необхідно зазначити, що космічний простір, як зовнішнє середовище поширення сигналів, потребує спеціальних заходів для забезпечення високої надійності, живучості й завадостійкості радіосигналів бортових радіолокаційних систем.

Можливості підвищення показників якості зазначених систем на основі синтезу нелінійних адаптивних компенсаторів можуть бути успішно реалізовані лише на основі адекватного уявлення й точного аналізу нелінійних процесів у радіоприймальних пристроях.

Дотепер була відсутня реальна можливість інтегральної оцінки впливу нелінійних процесів у радіопристроях на показники якості бортових радіолокаційних систем, однак такий вплив завад унаслідок неминучої нелінійності амплітудної характеристики радіоприймальних пристроїв значною мірою знижує показники якості телекомунікаційної системи в цілому.

Крім того, у сучасних умовах існує принципове протиріччя між штатними можливостями телекомунікаційних систем і нештатними потребами замовників оперативної інформації.

Метою дисертаційної роботи є підвищення якості функціонування бортових радіолокаційних систем.

Вищезазначене дозволяє стверджувати, що в дисертаційній роботі розглядається дуже важлива й **актуальна науково-технічна проблема**, що полягає в теоретичному обґрунтуванні та розробленні методології підвищення якості функціонування бортових радіолокаційних систем на основі удосконалення адаптивних методів компенсації нелінійних спотворень.

Для досягнення мети дисертації в роботі коректно сформульовано та вирішено 8 окремих наукових завдань науково-технічної проблеми дослідження.

### **Загальна характеристика роботи**

Дисертація складається із вступу, шести розділів, у яких логічно й послідовно, з вичерпаною повнотою, на високому науково-технічному рівні

викладено рішення поставленої проблеми дослідження, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У вступі подано загальну характеристику дисертаційної роботи, обґрунтовано актуальність досліджень, показано зв'язок роботи з науковими програмами та планами, визначено мету та завдання роботи. Викладено зміст наукової новизни й практичне значення отриманих результатів. Відзначено особистий внесок здобувача, наведено публікації за темою дисертації, апробацію результатів досліджень та відомості про впровадження основних положень роботи.

У першому розділі розв'язано наукову задачу проблеми дисертаційних досліджень, а саме проведено дослідження існуючих та перспективних методів підвищення якості функціонування бортових радіолокаційних систем із урахуванням їх основних особливостей і реальних умов застосування.

Аналіз тенденцій розвитку телекомунікаційних систем та досвіду їх експлуатації показав, що неминуче існують певні протиріччя між зростаючими потребами замовників цільової інформації та обмеженими інформаційними та технічними можливостями засобів телекомунікаційних систем. На основі цього проведено постановку науково-технічної проблеми досліджень.

У другому розділі проведено розробку методу формалізації процесів у бортових радіолокаційних системах, як основи для подальшого моделювання. Виконано синтез алгоритму визначення ядер Вольтерра зведеного нелінійного аналітичного оператора для визначення нелінійної передавальної функції широкого класу багатомірних радіопристроїв.

Розроблено метод функціональної залежності показників якості бортових радіолокаційних систем від ширини лінійного динамічного діапазону радіоприймальних пристроїв, який дозволяє побудувати адекватну модель нелінійних процесів.

У третьому розділі дисертації синтезовано функціональний метод аналізу нелінійних інерційних процесів у радіопристроях та досліджено їх вплив на завадостійкість бортових радіолокаційних систем. Отримані при цьому математичні моделі є зручним інструментарієм для ідентифікації процесів бортової навігаційної апаратури телекомунікаційних систем.

Запропоновано метод оцінки пропускну здатності та завадостійкості

радіоприймальних пристроїв із використанням мажоранти рядів Вольтерра, котрий доводить необхідність урахування нелінійного характеру інерційних динамічних процесів у широкій області можливих значень. Отримані результати спростовують існуючі відомості про лінеаризацію характеристик телекомунікаційних систем.

У четвертому розділі вирішено наукову задачу розробки методу підвищення завадостійкості функціонування бортових радіолокаційних систем шляхом впливу на іоносферне середовище розповсюдження радіохвиль, котрий відрізняється від відомих методів високою енергоефективністю без істотного підвищення масогабаритних показників та погіршення аеродинаміки носія бортової радіолокаційної системи. Розроблена методика є комплексним вирішенням задачі забезпечення завадостійкості радіозв'язку в телекомунікаційних системах.

У п'ятому розділі удосконалено аналітичну модель урахування впливу частотно-селективних властивостей трансіоносферного розповсюдження радіохвиль на завадостійкість радіоприймальних пристроїв. Математичний апарат запропонованої моделі придатний для практичного використання й оцінювання отриманих результатів, а також для моделювання відповідних процесів у телекомунікаційних системах. Він 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.

Застосування запропонованого науково-методичного апарату дозволяє прогнозувати стійкість бортових радіолокаційних систем, а також розробляти науково-обґрунтовані вимоги до енергетичних і частотних параметрів засобів телекомунікацій.

У шостому розділі запропоновано адаптивний метод компенсації нелінійних спотворень у радіопристроях на основі застосування синтезованих нелінійних адаптивних компенсаторів для розширення лінійного динамічного діапазону радіоприймальних пристроїв.

Проведено комплексну оцінку ефективності застосування розроблених практичних рекомендацій для підвищення показників якості сучасних перспективних бортових радіолокаційних систем в умовах впливу на вхід їх

радіоприймальних пристроїв організованих і несанкціонованих завод.

Висновки та рекомендації дисертаційної роботи достатньо обґрунтовані та підкреслюють наукову новизну й практичну цінність досліджень отриманих на основі якісних і кількісних показників.

Список використаних джерел та посилання на них у тексті дисертації вказують на те, що під час роботи проведений глибокий аналіз сучасних результатів наукових досліджень провідних вчених світу.

Додатки містять допоміжний матеріал досліджень та акти реалізації результатів роботи.

### **Наукова новизна результатів дисертаційної роботи**

Новизна отриманих результатів полягає в розвитку теорії й методології побудови телекомунікаційних систем, на основі удосконалення адаптивних методів компенсації нелінійних спотворень та синтезу нелінійних адаптивних компенсаторів, з метою підвищення показників якості їх функціонування. Надана сукупність математичних моделей та методів, які складають теоретичні й методологічні основи функціональної побудови телекомунікаційних систем із покращеними показниками якості.

Найбільш цінними, з точки зору наукової новизни, є такі результати:

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

- 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;

- уперше 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;

- уперше одержано метод локального зниження щільності іоносферної плазми для підтримання надійності зв'язку та підвищення завадостійкості функціонування радіоприймальних пристроїв бортових радіолокаційних систем, котрий відрізняється від відомих методів високою енергоефективністю;

- 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;

- розроблено адаптивний метод компенсації нелінійних спотворень у радіопристроях на основі застосування синтезованих нелінійних адаптивних компенсаторів для розширення лінійного динамічного діапазону радіоприймальних пристроїв, котрий 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.

### **Практична значимість отриманих результатів**

Наукові результати дисертаційної роботи забезпечують:

- використання удосконаленого адаптивного методу компенсації нелінійних спотворень у радіопристроях дозволяє підвищити якість функціонування бортових радіолокаційних систем в умовах радіоелектронної протидії у (1,82-2,03) рази, порівняно з існуючими методами, що забезпечує достовірність та якість прийому й оброблення радіосигналів у реальних умовах;

- розроблені рекурентні алгоритми та методика знаходження ядер Вольтерра багатомірних радіотехнічних систем високого порядку й обернених нелінійних аналітичних операторів дозволяють покращити точність оцінювання реальних показників якості бортових радіолокаційних систем на (5-7)% у заданих умовах їх функціонування;

- розроблений науково-методичний апарат враховує вплив властивостей трансіоносферного тракту й забезпечує компенсацію негативних чинників (поглинання, відбиття та розсіювання радіосигналу) та дозволяє підвищити завадостійкість функціонування радіообладнання носія бортової радіолокаційної системи в середньому на 23%;

- розроблений метод системного аналізу впливу нелінійних процесів у багатокаскадних радіоприймальних пристроях бортових радіолокаційних систем в умовах радіоелектронної протидії дозволяє визначати оптимальні значення параметрів і способи підключення пристроїв, призначених для пригнічення нелінійних спотворень у радіоприймальних пристроях та проектувати нелінійні адаптивні компенсатори для розширення їх лінійного динамічного діапазону з урахуванням специфіки функціонування бортових радіолокаційних систем;

- використання розробленої методології дозволить забезпечити запас завадостійкістю бортових радіолокаційних систем до (8-10)%, що враховує можливі перспективи розвитку засобів радіоелектронної протидії на передбачуваний період експлуатації даних телекомунікаційних систем. Очікуваний вииграш у величині відносного імовірного показника якості бортових радіолокаційних систем розроблених науково-обґрунтованих рекомендацій становить (0,06-0,26) за відсутності завад, (0,61-0,69) в умовах радіоелектронної протидії (порівняно з бортовою радіолокаційною системою із типовими радіоприймальним пристроєм, ширина лінійного діапазону котрого не перевищує (40-50) дБ.

Застосування нелінійних адаптивних компенсаторів дозволяє отримати необхідні значення параметрів і способи підключення радіопристроїв, призначених для пригнічення нелінійних спотворень у РПП, що дозволить на (6-12)% підвищити надійність функціонування БРЛС.

Практична значимість отриманих результатів роботи підтверджується актами впровадження наведеними в додатках дисертації.

**Використання в дисертації матеріалів і висновків кандидатської дисертації здобувача**

Наукові положення, що отримані у кандидатській дисертації не використовувались в даній докторській дисертаційній роботі.

## **Методи досліджень, використані в дисертаційній роботі**

Для вирішення поставлених у дисертаційній роботі задач використано методи виявлення й адаптивного оброблення сигналів у нелінійних пристроях, методи теорії сигналів і систем, теорії оптимального оцінювання параметрів і станів, а також методи імітаційного моделювання, обчислювальної математики та прийняття рішень. Крім того, використані методи аналізу, синтезу, моделювання, експертних оцінок і проведення експериментів.

## **Обґрунтованість і достовірність наукових результатів**

Достовірність й обґрунтованість наукових результатів, отриманих здобувачем, забезпечується коректною постановкою задач досліджень, обґрунтованим вибором припущень й обмежень, використанням відомих методів досліджень, а також збіжністю результатів, отриманих аналітично із даними математичного моделювання та експериментальної перевірки.

**Повнота викладення основних результатів дисертації в опублікованих працях.** Наукова новизна безсумнівна та вагома і відповідає науковому рівню докторської дисертації. Основні наукові та практичні результати, що отримані в ході дисертаційного дослідження, опубліковані з необхідною повнотою змісту в 29 статтях наукових фахових видань, рекомендованих МОН України, з яких 11 статей у наукових виданнях, зареєстрованих у міжнародних наукометричних базах даних, у тому числі 17 статей одноосібні.

Апробація нових наукових результатів достатня та представлена виступами й 22 публікаціями на наукових, науково-практичних і науково-технічних конференціях (семінарах) різного рівня, з яких 16 на міжнародних конференціях.

## **Автореферат дисертації**

Автореферат дисертації за своїм змістом відповідає основним науковим і практичним результатам і висновкам докторської дисертації.

## **Основні недоліки та зауваження по роботі**

1. У першому розділі дисертації під час дослідження шляхів удосконалення показників якості бортових радіолокаційних систем у реальних умовах їх застосування представлено посилання на засоби радіоелектронної протидії та засоби радіопридушення. Однак, не наведено їх



тактико-технічних характеристик. Більш детальний аналіз зазначених засобів та їх вплив на електромагнітну частину спектра інформаційного середовища сприяв би поглибленій оцінці інформаційної безпеки, завадозахищеності та пропускній спроможності бортових радіолокаційних систем.

2. У матеріалах першого розділу дисертаційних досліджень здобувач запропонував використати формулу Саха (1.46) стор. 92 для визначення концентрації електронів термодинамічного іоносферного середовища поширення радіохвиль. Однак, у п'ятому розділі, де безпосередньо відбувається імітаційне моделювання й прогнозування завадостійкості радіоприймальних пристроїв бортових радіолокаційних систем в умовах неоднорідності іоносферного середовища, використання формули не наведено. Відповідно, виникають сумніви щодо доцільності її використання.

3. У дисертаційній роботі наведено аналіз підвищення пропускної здатності та завадостійкості радіоприймальних пристроїв бортових радіолокаційних систем із нелінійними інерційними спотвореннями інформаційних сигналів у радіоприймальних трактах, що свідчить про необхідність узгодження динамічного діапазону вхідних пристроїв із динамічним діапазоном вхідних впливів. Дослідження впливу обмеженості лінійного динамічного діапазону радіоприймальних пристроїв вказало на суттєве зниження пропускної здатності реальних бортових радіолокаційних систем унаслідок нелінійностей. Разом із тим було б доцільно відокремлено показати вплив завад на показники якості функціонування радіоприймальних пристроїв бортових радіолокаційних систем під час визначення інтегральних вимог до ширини динамічного діапазону за перехресними та інтермодуляційними спотвореннями. Це дало б змогу сформулювати механізм захисту поточних інформаційно-керуючих параметрів, у першу чергу від можливих несанкціонованих впливів.

4. У роботі (в розділі 3) «Синтез функціонального методу аналізу нелінійних інерційних процесів у радіопристроях...» удосконалено математичний апарат аналізу нелінійних процесів на основі функціональних рядів Вольтерра, що дозволяє аналізувати можливості та розробляти практичні рекомендації щодо підвищення пропускної спроможності та завадостійкості радіоприймальних пристроїв бортових радіолокаційних систем. Однак, одночасна оптимізація показників якості телекомунікаційної

системи, наприклад, перешкодостійкість і перешкодозахищеність може виявитись достатньо суперечливою. Виникає потреба в знаходженні компромісного рішення щодо комплексного підвищення показників якості бортових радіолокаційних систем (жорсткі умови підтримання одних показників із одночасним несуттєвим зниженням інших). Доцільно було б показати зазначене компромісне рішення на етапах проведення синтезу.

5. У дисертаційній роботі на основі удосконаленого автором функціонального методу проведено аналіз нелінійних інерційних процесів у радіопристроях та проведені дослідження їх впливу на перешкодозахищеність бортових радіолокаційних систем. Однак, поява у процесі нестабільності частоти гетеродинів приймального тракту складових гармонійного типу, котрі виникають під час дії, наприклад, збурювальних впливів, не дозволяє вирішити задачу прогнозування за допомогою параболічної апроксимації, тому автором достатньо ґрунтовно розроблена динамічна модель ідентифікації процесів бортової навігаційної апаратури. Проте, у матеріалах дисертаційних досліджень не наведена апаратна реалізація пристроїв, що практично реалізують відповідний алгоритм розробленого автором методу.

6. У роботі в процесі проведення аналізу особливостей сигналів неконтрольованих випромінювань й обґрунтування математичних моделей ідентифікації процесів бортової навігаційної апаратури; у якості джерела збудження динамічної моделі використано нормальний гаусівський розподіл із одиничною спектральною щільністю. Це є виправданим, коли використовується амплітудно-фазова конверсія радіосигналу та допускається апроксимація впливу завад рівномірною на всіх частотах спектральною щільністю потужності та нормально розподіленими часовими значеннями й адитивним способом впливу. Проте, можливі випадки, коли якість прийому радіосигналів ускладнена та залежить не лише від відношення корисної потужності сигналу, а й потужності впливу завад. Зазначені випадки не знайшли поглибленого розгляду та оцінки в ході дисертаційних досліджень.

7. Відсутні елементи техніко-економічного обґрунтування розроблених автором методів, наприклад, витрати на реалізацію розроблених методів підвищення показників якості функціонування бортових радіолокаційних систем на основі синтезу адаптивних компенсаторів. Із цим пов'язана й

відсутність згадки в тексті дисертації про можливі експлуатаційні витрати. Тому, інформація стосовно отриманого практичного виграшу виглядає неповною.

8. Текст рукопису дисертації, на жаль, має окремі неточності, орфографічні та синтаксичні помилки, на що було вказано дисертанту. Наприклад, невдалим слід вважати позначення  $\delta_{\text{пр}}$  – площа зони придушення бортової радіолокаційної системи з лінійним радіоприймальним пристроєм (підрозділ 1.1, стор. 50), оскільки це позначення співпадає з позначенням  $\delta_e$  – еквівалентною товщиною іоносфери (підрозділ 1.4.2, стор. 81). У тексті дисертації та автореферату надається специфічне трактування загальновідомих термінів, наприклад, «пригнічення» нелінійних спотворень (стор. 33), хоча слід використовувати «придушення».

Проте, наведені недоліки суттєво не впливають на якість представленої дисертаційної роботи та на наукову цінність і практичну значимість отриманих дисертантом основних результатів досліджень.

## ВИСНОВОК

1. Дисертаційна робота Шефера Олександра Віталійовича на тему «Моделі та методи підвищення якості функціонування бортових радіолокаційних систем» є завершеною самостійною кваліфікаційною науковою працею, що об'єднує всі необхідні елементи: обґрунтовану та коректну постановку мети й завдань досліджень, містить нові наукові результати та важливі практичні рекомендації й висновки, що в сукупності дозволяє вирішити важливу й актуальну науково-технічну проблему підвищення якості функціонування існуючих та перспективних телекомунікаційних систем.

2. Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

3. Автореферат об'єктивно і з необхідною повнотою відображає зміст і основні положення дисертації.

4. Кандидатська дисертація Шефера Олександра Віталійовича була захищена у 2004 році на тему «Діагностика стану і параметрів автоматизованої системи управління виробництвом кварцових трубок» за

спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. Наукові положення і результати, що отримані у кандидатській дисертації, не містяться у даній докторської дисертації.

5. Розроблені моделі та методи складають основу методології підвищення якості функціонування бортових радіолокаційних систем, що визначено метою дисертаційного дослідження.

6. За науковим рівнем, практичною цінністю, апробацією та публікаціями, дисертаційна робота відповідає пунктам 9, 10, пп. 12-14 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567, що ставляться до докторських дисертацій, а її автор Шефер Олександр Віталійович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

#### Офіційний опонент:

професор кафедри електроніки та управляючих систем  
Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна,  
Почесний радист, Заслужений винахідник України,  
доктор технічних наук, професор



В. А. Краснобаєв

“27” серпня 2018р.

