

Відділ діловодства	
Вихідний №	37-06/2152
" 17 "	09 2020р.

ВІДГУК

офіційного опонента проректора з науково-педагогічної роботи та питань перспектив розвитку університету, директора інституту інформатики та радіоелектроніки Національного університету "Запорізька політехніка" доктора технічних наук, професора Пізи Дмитра Макаровича на дисертаційну роботу **Рябухи Вячеслава Петровича** "Теорія і техніка захисту РЛС з плоскими ФАР від маскуючих шумових, пасивних і комбінованих завад на основі адаптивних решітчастих фільтрів", подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

1. Актуальність теми дисертації

Радіотехнічні, зокрема, радіолокаційні системи мають розв'язувати інформаційні задачі з високою якістю. Однак, цьому перешкоджають завади різного фізичного походження. Проблема боротьби із завадами є центральною проблемою побудови радіотехнічних систем.

На практиці радіотехнічні системи функціонують в умовах апріорної невизначеності статистичних характеристик завад. Ефективний шлях подолання такої невизначеності є використання адаптивних систем завадозахисту, які добувають необхідну інформацію про параметри й характеристики завад безпосередньо із вхідних сигналів. Такі системи відслідковують зміни цих характеристик і оперативно змінюють свої параметри (а за необхідності – і структуру) за результатами відповідної обробки вибірок прийнятих завад.

Незважаючи на суттєвий розвиток теорії адаптивної обробки сигналів на фоні завад за досить тривалий період, досягнення теорії реалізовані далеко не повністю. Це пов'язано з тим, що не розв'язане існуюче протиріччя між теоретичною розробкою ефективних систем завадозахисту і можливістю їхньої практичної реалізації.

Дисертаційна робота спрямована на розв'язання цього протиріччя і присвячена вирішенню науково-прикладної проблеми високоефективного й швидкодіючого адаптивного захисту РЛС з плоскими ФАР від маскуючих шумових, пасивних і комбінованих завад на основі адаптивних решітчастих фільтрів. Це забезпечує практичну реалізованість розроблених алгоритмів і

ХНУРЕ	
Вхідний №	01/27-1040
" 22 "	09 2020р.

структур в РЛС різного призначення та діапазонів хвиль на сучасній цифровій елементній базі і тому обрана тема дисертації є актуальною.

Висновок щодо актуальності роботи підтверджується тим, що вона виконана у рамках Державної цільової науково-технічної програми щодо створення державної інтегрованої інформаційної системи забезпечення управління рухомими об'єктами (зв'язок, навігація, спостереження), та її зв'язком з тематикою наукових досліджень Державного підприємства Науково-дослідний інститут радіолокаційних систем "Квант-Радіолокація", Харківського національного університету радіоелектроніки, Казенного підприємства науково-виробничий комплекс "Іскра", Державного підприємства Науково-дослідний інститут "Квант".

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

Аналіз змісту дисертаційної роботи, автореферату, наукових статей у фахових вітчизняних та зарубіжних виданнях дозволяє стверджувати, що ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації В.П. Рябухи, є високим. Це підтверджується обраними методами дослідження, використанням апробованих методів побудови складних радіолокаційних систем і їх адаптації до завод різної фізичної природи, коректним використанням математичного апарату, порівнянням отриманих результатів з результатами інших дослідників, в тому числі, реалізованими в сучасних вітчизняних РЛС, опрацюванням значної кількості зарубіжних та вітчизняних наукових джерел за проблемою, що розв'язується.

3. Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Достовірність забезпечується коректною постановкою науково-прикладної проблеми та задач дисертаційних досліджень, які розв'язуються логічно, послідовно та аргументовано. Вона базуються на багаточисельних математичних і напівнатурних (за цифровими записами реальних завод) експериментах, які продемонстрували збігання теоретичних і практичних результатів та підтвердили переваги розроблених адаптивних систем

завадозахисту порівняно з відомими, а також на успішній апробації результатів досліджень на 31-ій міжнародній конференції.

4. Наукова новизна отриманих результатів досліджень

В дисертаційній роботі особисто здобувачем отримано такі нові важливі наукові результати:

1. Розвинуто теорію адаптивних решітчастих фільтрів (АРФ), а саме:

- синтезовано нові структури АРФ і визначено їх характеристики і параметри для використання в адаптивних системах захисту РЛС з плоскими ФАР від шумових, пасивних і комбінованих завад (с. 134–138, 143–145, 155, 156, 237–239, 362–375, 377–381);

- синтезовано нові алгоритми настроювання АРФ, що забезпечують високу ефективність і швидкодію адаптивних систем завадозахисту (с. 145–148, 157–159, 242–246)

та розширено можливості АРФ як єдиної структурно-алгоритмічної основи адаптивних систем захисту РЛС з плоскими ФАР від шумових, пасивних і комбінованих завад підвищеної ефективності для їхньої практичної реалізації у вітчизняні перспективні РЛС та РЛС, що модернізуються.

2. Вперше на основі розвинутої теорії адаптивної решітчастої фільтрації розроблено і досліджено цифрову адаптивну систему захисту РЛС з одночасним захистом декількох основних інформаційних каналів РЛС від дії декількох постановників завад з використанням єдиного паралельного АРФ з підвищеною ефективністю і чисельною стійкістю порівняно з відомими адаптивними системами, у тому числі, реалізованими у вітчизняних РЛС, а саме:

- створено математичні моделі шумових завад і системи просторової обробки сигналів на фоні шумових завад у РЛС з плоскою ФАР (с. 84–113);

- синтезовано структуру та алгоритм роботи адаптивної системи просторової обробки сигналів на фоні шумових завад на основі паралельного АРФ та обґрунтовано вибір її параметрів (с. 152–159);

- створено дослідний зразок цифрової системи захисту РЛС з ФАР від шумових завад на основі АРФ на базі сучасної цифрової програмованої логічної інтегральної схеми, випробування якого підтвердили його високу ефективність (с. 159–163);

- обґрунтовано практичні рекомендації з вибору кількості, структури та місцезосташування модулів плоскої ФАР спільної системи компенсаційних каналів з ідентичними та неідентичними характеристиками, виконання яких дозволить забезпечити ефективність захисту сукупності основних каналів РЛС від шумових завад, близькою до потенційної (с. 169–197).

3. Досліджено особливості вимірювання кутових енергетичних параметрів прийнятих сигналів від нешумливої цілі, яка маскується зовнішніми шумовими завадами, а саме:

- визначено статистики й умови, за якими можуть поряд із флуктуаційними виникати й систематичні похибки вимірювання (с. 201–208);

- з використанням розробленої математичної моделі вимірювача оцінено величини флуктуаційних, систематичних й повних похибок вимірювання і надані практичні рекомендації по ситуаціях, коли доцільно і недоцільно вимірювати кутові координати цілей (с. 207–217);

- розроблено новий метод формування контрольного сигналу для вимірювання кутових енергетичних параметрів сигналів, що забезпечує суттєве зменшення систематичних похибок і порівняно низький рівень флуктуаційних похибок (с. 218–222).

4. Вперше на основі розвинутої теорії адаптивної решітчастої фільтрації розроблено вискоефективну цифрову адаптивну систему захисту РЛС від маскуючих пасивних завад на основі послідовного АРФ, що забезпечує високу швидкодію завадозахисту в умовах навчаючої вибірки малого об'єму, а саме:

- синтезовано структуру адаптивної системи міжперіодної обробки (МПО) сигналів на фоні пасивних завад на основі АРФ (с. 227–229, 240–242);

- в алгоритм роботи синтезованої адаптивної системи МПО сигналів для підвищення швидкодії адаптації в умовах навчаючої вибірки малого об'єму введено стрічково-діагональну регуляризацію оцінки максимальної правдоподібності кореляційної матриці завад та обґрунтовано вибір її параметрів, а також запропоновано налаштовувати АРФ за спеціальними алгоритмами (с. 233–240, 242–265);

- створено дослідний зразок такої системи на базі сучасного цифрового сигнального процесора, випробування якого підтвердили його високу ефективність порівняно з неадаптивними системами вітчизняних РЛС (с. 265–274).

5. Вперше проведено порівняльну оцінку ефективності міжперіодної обробки когерентної пачки радіоімпульсів на фоні пасивних завад в імпульсно-доплерівських і когерентно-імпульсних РЛС з урахуванням можливості накладання шарів пасивних завад з різних ділянок дальності у відповідних умовах в імпульсно-доплерівських РЛС. На основі результатів оцінки надано практичні рекомендації розробникам РЛС контролю повітряного простору та управління повітряним рухом з вибору частоти зондування в умовах дії пасивних завад, виконання яких дозволить забезпечити високу ефективність завадозахисту (с. 277–297).

6. Проведено теоретико-експериментальну оцінку граничних можливостей систем сумісної, роздільної (послідовної) і комбінованої (на основі послідовних) просторово-часової обробки сигналів на фоні комбінованих завад та реальних можливостей адаптивних роздільних систем у РЛС програмного й кругового огляду. Визначено потенційні втрати неоптимальної роздільної обробки порівняно з оптимальною сумісною обробкою сигналів і реальні втрати адаптивних роздільних систем в умовах флуктуацій оцінки просторового вагового вектора послідовної обробки. Також визначено втрати при фіксації просторового вагового вектора в ході компенсації шумових завад на час міжперіодної компенсації пасивних завад для виключення її небажаної міжперіодної декореляції. Створено і випробувано дослідний зразок цифрової адаптивної системи послідовної просторово-часової обробки сигналів на фоні комбінованих завад на основі АРФ для РЛС програмного огляду (с. 301–361).

7. Вперше, на основі розвинутої теорії адаптивної решітчастої фільтрації, розроблено і досліджено цифрову адаптивну систему сумісної просторово-часової обробки сигналів на фоні комбінованих завад на основі двовимірного АРФ для РЛС програмного і кругового огляду, що забезпечує ефективність завадозахисту, близьку до потенційної, істотне зменшення кількості операцій комплексного множення для спрощення її технічної реалізації та усунення суттєвих недоліків роздільних адаптивних систем за рахунок використання тієї обставини, що вхідна вибірка комбінованих завад є й навчаючою, і відпадає необхідність пошуку класифікованих вибірок шумових і пасивних завад та фіксації оцінки вагового вектора просторової обробки сигналів (с. 361–381).

5. Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення і цінність отриманих результатів обумовлена тим, що вперше розроблена теорія і техніка адаптивного захисту РЛС з плоскими ФАР від маскуючих шумових, пасивних і комбінованих завад на основі адаптивних решітчастих фільтрів, що дозволяє реалізувати запропоновані високоефективні системи завадозахисту у вітчизняні РЛС.

В роботі здобувачем отримано такі нові практичні результати:

- обґрунтовано практичні рекомендації з вибору кількості, структури та місцезрештування модулів плоскої ФАР спільної системи компенсаційних каналів з ідентичними та неідентичними характеристиками під час їх розташування поза й усередині основного полотна антени в умовах дії постановників шумових завад як по боковим пелюсткам діаграми спрямованості, так і в ході додаткової дії постановника по головній пелюстці;
- надані практичні рекомендації з вибору статичного і динамічного параметрів діагональної регуляризації цифрової адаптивної системи захисту РЛС з плоскими ФАР від маскуючих шумових завад на основі АРФ;
- створено й випробувано дослідний зразок системи адаптивного захисту радіолокаторів від шумових завад на базі паралельного АРФ із використанням сучасної цифрової елементної бази, що дозволяє забезпечити ефективний захист РЛС від дії 1–12 постановників шумових завад;
- сформульовано практичні рекомендації з побудови вимірювача кутових енергетичних параметрів прийнятих сигналів від нешумливої цілі, яка маскується зовнішніми шумовими завадами;
- обґрунтовано практичні рекомендації з вибору параметрів комбінованої стрічково-діагональної регуляризації цифрової адаптивної системи захисту РЛС від маскуючих пасивних завад на основі АРФ;
- створено й випробувано дослідний зразок системи адаптивного захисту радіолокаторів від пасивних завад на базі послідовного АРФ із використанням сучасної цифрової елементної бази;
- надані практичні рекомендації розробникам РЛС контролю повітряного простору та управління повітряним рухом з вибору частоти зондування, тобто використання імпульсно-доплерівського або когерентно-імпульсного режимів в умовах дії пасивних завад;

- визначено верхні межі ефективності системи просторово-часової обробки сигналів на фоні комбінованих завад в реальних умовах апріорної невизначеності параметрів сигналів і завад;

- визначено потенційні втрати неоптимальної роздільної просторово-часової обробки сигналів порівняно з оптимальною сумісною обробкою сигналів;

- визначено реальні втрати адаптивних роздільних систем просторово-часової обробки сигналів в умовах флуктуацій оцінки просторового вагового вектора від періоду до періоду зондування, некласифікованості навчаючої вибірки шумових і пасивних завад, а також під час фіксації просторового вагового вектора в ході компенсації шумових завад;

- створено і випробувано дослідний зразок цифрової адаптивної системи послідовної просторово-часової обробки сигналів на фоні комбінованих завад на основі АРФ для РЛС програмного огляду;

- сформульовано практичні рекомендації розробникам РЛС програмного і кругового огляду з вибору параметрів цифрової адаптивної системи сумісної просторово-часової обробки сигналів на фоні комбінованих завад на основі двовимірного АРФ.

Основні результати роботи впроваджуються на провідних підприємствах України з виробництва радіолокаційної техніки Державного концерну "Укроборонпром": Державному підприємстві Науково-дослідний інститут радіолокаційних систем "Квант-Радіолокація" (м. Київ), Казенному підприємстві "Науково-виробничий комплекс "Іскра" (м. Запоріжжя), Державному підприємстві Науково-дослідний інститут "Квант" (м. Київ) та в навчальний процес у Харківському національному університеті радіоелектроніки, на що є відповідні акти впровадження.

Впровадження результатів досліджень дозволить суттєво покращити ТТХ вітчизняних РЛС різного призначення та діапазонів хвиль в умовах дії завад, зокрема, завадозахищеність, дальність дії і точність вимірювання координат цілей вітчизняних РЛС, а також покращити зміст навчальної дисципліни "Радіоелектронні системи".

6. Повнота викладу результатів досліджень в опублікованих працях

Основні результати досліджень повністю викладені здобувачем в опублікованих працях, про що, зокрема, свідчать посилання на всі 73 наукові праці здобувача в матеріалах дисертації. Вони пройшли досить суттєву апробацію на 31-ій науковій конференції.

За темою дисертації з викладенням основних їх наукових результатів опубліковано розділ монографії, 28 статей (з них 24 – у науково-технічних журналах, включених до переліку Атестаційної колегії Міністерства освіти і науки, 4 – у зарубіжних науково-технічних журналах, які індексовані наукометричною базою "Scopus"), патенті на корисну модель, а також у 43 доповідях і тезах доповідей у збірниках наукових праць наукових конференцій (12 індексовані НМБ "Scopus"), 13 звітах про НДР, 2 звітах про НТР і 4 звітах про ДКР.

Це задовольняє вимоги Наказу Міністерства освіти і науки України від 23.09.2019 № 1220 за необхідною кількістю публікацій, які розкривають основний зміст дисертаційної роботи.

7. Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота викладена на 606 сторінках машинописного тексту, складається із вступу, 7 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 9 додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 311 сторінок друкованого тексту. Робота ілюстрована 21 таблицями та 271 рисунками. Список використаних джерел містить 396 найменувань.

Усі потрібні основні структурні елементи дисертації оформлені згідно з вимогами, затвердженими Наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 № 40.

У вступі подана загальна характеристика дисертації. Визначені науково-прикладна проблема, мета, завдання, об'єкт і предмет дослідження відповідають заявленій темі.

У розділах дисертації вичерпно і повно викладено зміст власних досліджень здобувача.

Суттєвою перевагою дисертаційної роботи є те, що вона містить не тільки нові наукові результати теоретичних досліджень, але й має практичну спрямованість на технічну реалізацію розроблених адаптивних систем

завадозахисту на основі АРФ. Дуже важливо, що їх ефективність підтверджена проведеними багаточисельними експериментальними дослідженнями методом математичного експерименту і напівнатурного експерименту за цифровими записами реальних завад, а також випробуванням розроблених дослідних зразків з порівнянням їх ефективності з ефективністю відомих, у тому числі, штатних систем діючих РЛС. Саме створення дослідних зразків розроблених адаптивних систем захисту РЛС від завад доказало можливість їх технічної реалізації на сучасній цифровій елементній базі. При цьому у роботі сформульовано велика кількість практичних рекомендацій з побудови цифрових адаптивних систем завадозахисту, що пропонуються.

Висновки по роботі повністю висвітлюють отримані найбільш важливі наукові та практичні результати, а також можливий напрям продовження досліджень за пошуком шляхів збільшення швидкодії адаптивної сумісної просторово-часової обробки сигналів на фоні комбінованих завад з великою кількістю просторових каналів.

Список використаних джерел є інформативним, достатньо повно охоплює предметну галузь та відображає опрацювання здобувачем значної кількості вітчизняних та іноземних джерел.

Додатки до роботи є змістовними і необхідними для повноти сприйняття дисертації.

Дисертація за змістом та отриманими результатами відповідає паспорту спеціальності 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

8. Відповідність змісту автореферату та основних положень дисертації

Зміст автореферату В.П. Рябухи цілком відповідає основним положенням та висновкам, наведеним у дисертації.

9. Зауваження

1. В роботі використана авторегресійна модель пасивних завад, проте не розглянуті інші описані в літературі моделі відбиттів від джерел, що також існують.

2. Варто було б провести порівняльну оцінку потенційної ефективності міжперіодної обробки когерентної пачки радіоімпульсів на фоні пасивних

завад когерентно-імпульсних РЛС з низькою частотою зондування та імпульсно-доплерівських РЛС, не тільки із середньою, але й з високою частотою зондування.

3. При роздільній просторово-часовій обробці сигналів доцільно було б проаналізувати не тільки метод формування класифікованих вибірок в умовах дії комбінованих завад, заснований на відмінності ширини спектру сигналу і шумової завади, але й інші відомі методи, зокрема, кореляційний і спектрально-кореляційний.

Однак зазначені зауваження не є принциповими і не знижують наукову і практичну цінність дисертаційної роботи.

10. Висновки

Дисертаційна робота Рябухи В.П. є закінченою науковою роботою, виконаною здобувачем особисто, що характеризується єдністю змісту, у якій містяться науково обгрунтовані і достовірні теоретичні та експериментальні результати, наукові положення, створені дослідні зразки розроблених цифрових адаптивних систем завадозахисту та вирішено актуальну науково-прикладну проблему високоефективного й швидкодіючого адаптивного захисту РЛС з плоскими ФАР від маскуючих шумових, пасивних і комбінованих завад на основі адаптивних решітчастих фільтрів, що забезпечує практичну реалізованість розроблених алгоритмів і структур в РЛС різного призначення та діапазонів хвиль на сучасній цифровій елементній базі.

Практична значимість роботи підтверджена впровадженням науково-прикладних результатів досліджень на провідних підприємствах України з виробництва радіолокаційної техніки та в навчальний процес у Харківському національному університеті радіоелектроніки, на що є відповідні акти впровадження.

Вважаю, що дисертаційна робота "Теорія і техніка захисту РЛС з плоскими ФАР від маскуючих шумових, пасивних і комбінованих завад на основі адаптивних решітчастих фільтрів" повністю відповідає вимогам "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567, які пред'являються до докторських дисертацій, а її автор Рябуха Вячеслав Петрович заслуговує

присвоєння наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю
05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

Офіційний опонент

д.т.н., професор, проректор з науково-педагогічної роботи
та питань перспектив розвитку університету, директор інституту
інформатики та радіоелектроніки

Національного університету

"Запорізька політехніка"



Д.М. Піза

Підпис професора Пізи Д.М. засвідчує

Учений секретар НУ «Запорізька політехніка»



В.В. Кузьмін