

ВІДГУК

офіційного опонента завідувача кафедри радіотехнічних пристроїв і систем Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" доктора технічних наук, професора Жука Сергія Яковича на дисертаційну роботу Рябухи Вячеслава Петровича "Теорія і техніка захисту РЛС з плоскими ФАР від маскувальних 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

Головною проблемою сучасної теорії і техніки радіолокації є підвищення завадозахищеності радіолокаційних станцій, систем і комплексів, тобто їхньої здатності протистояти дії різного роду завад, зокрема, маскувальних шумових, пасивних і комбінованих завад. При низькій завадозахищеності РЛС суттєво погіршуються й ряд інших тактико-технічних характеристик, наприклад, дальність виявлення цілей і точність вимірювання їхніх координат.

За останній час розв'язанню цієї проблеми присвячена значна кількість публікацій, однак залишилося ще багато питань, особливо з підвищенням ефективності захисту РЛС від комбінованих завад.

Дисертаційна робота спрямована саме на вирішення науково-прикладної проблеми високоефективного й швидкодіючого адаптивного захисту РЛС з плоскими ФАР від маскувальних 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, і тому тема дисертаційної роботи є актуальною. Особливо дослідження здобувача актуальні й важливі для покращення завадозахищеності вітчизняних РЛС.

Про це свідчить у тому числі і той факт, що дисертаційна робота виконувалась в інтересах Державної цільової науково-технічної програми щодо створення державної інтегрованої інформаційної системи забезпечення управління рухомими об'єктами і ряду державних підприємств концерту "Укроборонпром".

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

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, обумовлена коректною постановкою науково-прикладної проблеми і часткових задач досліджень, використанням сучасних апробованих методів їх вирішення: аналітичних, математичного і фізичного моделювання, напівнатурного експерименту та випробуванням створених дослідних зразків систем захисту РЛС від маскувальних шумових, пасивних і комбінованих завад.

Достовірність отриманих наукових результатів забезпечено несуперечністю отриманих у дисертації наукових результатів загальновідомим фізичним і математичним положенням розглянутої теорії, збігом результатів статистичного імітаційного моделювання на ПЕОМ з теоретично досяжними показниками ефективності, збігом окремих отриманих наукових результатів з відомими, практичним впровадженням результатів на державних підприємствах, про що свідчать акти впровадження результатів дисертаційних досліджень. Крім того, саме така ступінь обґрунтованості і достовірності дозволила впровадити результати дисертаційних досліджень у навчальний процес. Прийняті в роботі допущення й обмеження обґрунтовано і відбито в повному обсязі.

3. Новизна одержаних результатів

Найбільш суттєвими результатами проведених досліджень, які мають наукову новизну є наступні:

1. Розвинуто теорію адаптивних решітчастих фільтрів (АРФ):

- синтезовано нові структури АРФ і визначено їхні характеристики і параметри для використання в адаптивних системах захисту РЛС з плоскими ФАР від шумових, пасивних і комбінованих завад;

- синтезовано нові алгоритми настроювання АРФ, що забезпечують високу ефективність і швидкодію адаптивних систем завадозахисту 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 плоскими ФАР від маскувальних шумових завад на основі АРФ 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;

- синтезовано структуру та алгоритм роботи адаптивної системи просторової обробки сигналів на фоні шумових завад на основі паралельного АРФ та обґрунтовано вибір її параметрів;

- 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 високу його ефективність;

- обґрунтовано практичні рекомендації з вибору кількості, структури та місцезрештування 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 потенціальної.

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;

- 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;

та розроблено новий метод контрольного сигналу для вимірювання кутових енергетичних параметрів сигналів, що забезпечує суттєве зменшення систематичних похибок і порівняно низький рівень флуктуаційних похибок.

4. Вперше на основі розвинутої теорії адаптивної решітчастої фільтрації розроблено вискоелективну цифрову адаптивну систему захисту РЛС від маскувальних 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;

- 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;

- створено дослідний зразок такої системи на базі сучасного цифрового сигнального процесору, випробування якого підтвердили високу його ефективність порівняно з неадаптивними системами вітчизняних РЛС.

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, та 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.

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, та 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, некласифікованості навчаючої вибірки шумових і пасивних завад, а також під час 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.

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 технічної її 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.

4. Теоретичне і практичне значення результатів дисертаційної роботи

Теоретичне і практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що вперше побудована теорія і техніка адаптивного захисту РЛС з плоскими ФАР від маскувальних шумових, пасивних і комбінованих завад з використанням адаптивних решітчастих фільтрів. На їх основі розроблено практичні рекомендації, що дозволило впровадити запропоновані високоефективні системи завадозахисту на підприємствах України державного концерну "Укроборонпром": державному підприємстві Науково-дослідний інститут радіолокаційних систем "Квант-Радіолокація", казенному підприємстві "Науково-виробничий комплекс "Іскра", державному підприємстві Науково-дослідний інститут "Квант" та в навчальний процес у Харківському національному університеті радіоелектроніки, про що свідчать відповідні акти впровадження.

5. Підтвердження повноти викладу основних результатів дисертації в наукових фахових виданнях

Здобувач повністю виклав основні результати дисертаційних досліджень в опублікованих працях: на всі 73 наукові праці здобувача в матеріалах дисертації є посилання, а наприкінці кожного розділу, крім того, вказані статті, на які є посилання у матеріалах даного розділу. Слід зазначити високий рівень публікацій.

Проведено апробацію та обговорення матеріалів дисертації на 31 наукових міжнародних і вітчизняних конференціях, симпозіумах і форумах, як в Україні, так і за кордоном.

Основні наукові результати за темою дисертації опубліковано у 28 статтях (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 (з них 12 індексовані НМБ "Scopus"), 13 звітах про НДР, 2 звітах про НТР і 4 звітах про ДКР, що задовольняє вимоги Наказу Міністерства освіти і науки України від 23.09.2019 № 1220 за необхідною кількістю публікацій, які розкривають основний зміст дисертаційної роботи.

6. Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому, відповідність встановленим вимогам оформлення дисертації

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 рисунком. Список використаних джерел містить 396 найменувань.

Структурні елементи дисертації оформлені згідно з вимогами, затвердженими Наказом Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017.

У вступі розкрито стан і зміст проблеми, обґрунтовано актуальність теми дослідження, визначено науково-прикладну проблему, мету, об'єкт і предмет досліджень, які відповідають темі дисертації, сформульовано задачі і методи дослідження, наукову новизну й практичне значення отриманих результатів.

У розділах дисертації вичерпно і повно викладено зміст власних досліджень здобувача, проведено синтез і аналіз адаптивних систем завадозахисту на основі АРФ та алгоритмів їхньої роботи, узагальнення результатів досліджень, порівняння з аналогічними результатами вітчизняних і зарубіжних праць, сформульовано практичні рекомендації і в цілому розв'язане протиріччя між теоретичною розробкою вискоелективних систем завадозахисту і можливістю їхньої практичної реалізації.

У загальних висновках підсумовано отримані найбільш важливі наукові та практичні результати дисертації, наголошено на якісних і кількісних показниках здобутих результатів, викладено рекомендації щодо їх використання а також вказано можливий напрям продовження досліджень з адаптивної сумісної просторово-часової обробки сигналів на фоні комбінованих завад за великою кількістю просторових каналів.

Список використаних джерел характеризує високий ступінь вивченості здобувачем проблеми захисту радіолокаторів від маскувальних шумових, пасивних і комбінованих завад; представляє самостійну цінність як довідковий апарат для інших дослідників.

Додатки до роботи є змістовними і необхідними для повноти сприйняття дисертації та містять копії актів впровадження.

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

Дисертацію написано стилістично грамотно на високому науковому рівні. Вона має внутрішню єдність. Застосована в роботі наукова термінологія є загальноновизнаною, стиль викладення теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття та використання.

7. Відповідність змісту автореферату та основних положень дисертації

Зміст автореферату в повній мірі розкриває основні положення наукових результатів і написаний державною мовою. Він характеризує сутність новизни та

практичного значення досліджень, і показує особистий внесок автора у вирішенні наукової проблеми, що поставлена у роботі.

8. Зауваження до дисертаційної роботи

В якості зауважень щодо змісту дисертації можна визначити наступне

1. При розробці моделей шумових завад не враховано результат інтерференції прямої і відбитої від земної або морської поверхні хвиль.
2. В моделях пасивних завад не враховано можливий K -розподіл відбиттів від схвильованої поверхні моря.
3. В дисертації показано, що в умовах неідентичних характеристик приймальних каналів ефективність розробленої адаптивної системи захисту РЛС від шумових завад на основі АРФ практично досягає потенціалу. Варто було б дослідити ще й ефективність градієнтного і квазіньютонівського автокомпенсаторів у цих умовах.
4. При синтезі й аналізі адаптивної системи СРЦ на основі АРФ доцільно було б для бортових авіаційних РЛС дослідити можливість використання просторової кореляції маскувальних пасивних завад.
5. У ході аналізу ефективності розроблених адаптивних систем завадозахисту і порівняння з відомими слід було побудувати характеристики виявлення сигналів.
6. Деякі із напівнатурних експериментів доцільно називати натурними, оскільки під час їхнього проведення використовувалися цифрові записи не тільки реальних завад, але й реальних (а не змодельованих, як у напівнатурних експериментах) сигналів, відбитих від повітряних цілей.

Зазначені зауваження не знижують наукового рівня дисертаційної роботи і не впливають на її позитивну оцінку в цілому.

9. Висновок про дисертацію в цілому

Дисертація Рябухи В.П. є закінченою науковою роботою, що виконана здобувачем особисто на високому науковому рівні, у якій розв'язане протиріччя між теоретичною розробкою високоефективних систем завадозахисту і можливістю їхньої практичної реалізації та вирішено актуальну науково-прикладну проблему високоефективного й швидкодіючого адаптивного захисту РЛС з плоскими ФАР від маскувальних 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.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації В.П. Рябухи є високою; особисто здобувачем в дисертаційній роботі отримано нові наукові результати, які мають практичне значення; основні результати досліджень повністю викладено в опублікованих працях, кількість яких відповідає вимогам; зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації; результати досліджень з розроблення адаптивних систем захисту РЛС з ФАР від маскувальних шумових, пасивних і комбінованих завад на основі АРФ впроваджено на підприємствах державного концерну "Укроборонпром" та в навчальний процес у Харківському національному університеті радіоелектроніки.

Таким чином, дисертаційна робота "Теорія і техніка захисту РЛС з плоскими ФАР від маскувальних шумових, пасивних і комбінованих завад на основі адаптивних решітчастих фільтрів" повністю відповідає вимогам п. 9, 10, 12 "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 присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

Офіційний опонент

завідувач кафедри радіотехнічних пристроїв і систем

Національного технічного університету України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

д.т.н., професор

СМ

