

## Відгук

офіційного опонента – завідувача кафедрою морського радіозв'язку Національного університету “Одеська морська академія” Міністерства освіти і науки України, доктора технічних наук професора Кошевого Віталія Михайловича на дисертацію Семеняки Андрія Вікторовича “Комбіновані адаптивні системи міжперіодної обробки сигналів в імпульсних оглядових РЛС”, подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 — радіотехнічні та телевізійні системи.

### Актуальність теми дисертації

В реальних умовах обмеженого апіорного знання та динамічній зміні за часом та простором статистичних характеристик відбиттів найважливішу роль відіграють адаптивні системи селекції рухомих цілей та спектрального оцінювання, спроможні змінювати свої параметри у відповідності із оцінками цих характеристик, отриманих по навчаючим вибіркам скінченного об'єму. В найбільш поширеному випадку гаусових відбиттів адаптація базується на використанні випадкових оцінок їх кореляційних матриць або тих чи інших функцій відповідних оцінок. Отримання цих оцінок є найскладніший етап адаптації як систем селекції рухомих цілей, так і систем спектрального оцінювання, тому найбільш доцільним є побудова комбінованих адаптивних систем міжперіодної обробки, за рахунок використання спільної для систем селекції і спектрального оцінювання матриці оцінок. Такі уніфіковані комбіновані адаптивні системи можуть бути використані в імпульсних оглядових РЛС різного призначення, які вирішують важливі задачі інформаційного забезпечення широкого кола споживачів – систем управління повітряним рухом, виявлення та виміру параметрів об'єктів різного фізичного походження, розпізнаванню, класифікації та прогнозуванню метеорологічних явищ.

Таким чином, тема дисертаційних досліджень, направлених на розробку раціональних шляхів побудови комбінованих адаптивних систем міжперіодної обробки, їх теоретичним та експериментальним дослідженням, обґрунтуванням рекомендацій з практичної реалізації на сучасній цифровій елементній базі є актуальною.

### Структура дисертації

У вступі обґрунтована актуальність теми, визначено мету дисертаційної роботи та задачі, що вирішуються. Зазначено наукову новизну, практичну цінність, показано зв'язок роботи з науковими темами, програмами удосконалення радіолокаційної техніки, наведено відомості про апробацію, публікації та впровадження результатів, особистий внесок здобувача у їх отримання. Сформульовані наукові положення, які виносяться на захист.

У першому розділі наведено огляд предметної області досліджень – сучасних алгоритмів відтворення спектрів відбиттів в імпульсних РЛС на базі узагальнених аналізаторів спектру двох типів. Структурі першого відповідають відомі класичні (непараметричні) методи спектрального оцінювання (періодограмні, корелограмні і їх різновиди). Структура узагальненого аналізатора другого типу відповідає параметричним методам спектрального оцінювання, алгоритми обробки в яких, на відміну від непараметричних, залежать від кореляційної матриці відбиттів.

Для процесів авторегресії порядку  $p < M/2$  показано, що спектральні функції більшості відомих параметричних методів спектрального оцінювання являють собою комбінацію  $M$ -вимірних векторів – результатів перетворення вектора комплексної гармоніки в  $M$ -каналних фільтрах з відповідними матричними імпульсними характеристиками.

Проведено короткий порівняльний якісний аналіз можливостей відомих методів спектрального оцінювання, їх недоліків та переваг, за результатами якого зроблено припущення про доцільність використання групи нових проміжних (*intermediate*) алгоритмів.

У **другому розділі** проведено кількісне порівняння розглянутих непараметричних та параметричних алгоритмів спектрального оцінювання в задачах розділення-відтворення неперервних енергетичних спектрів міжперіодної обробки. Для порівняння використовувались два інтегральні критерії з декілька різним рівнем реагування на близькість спектральної функції обраного методу спектрального оцінювання до точного спектру на низькому та на високому рівнях спектральної функції.

Проведено розрахунок та порівняння граничних (в гіпотетичних умовах відомої кореляційної матриці відбиттів) та адаптивних (в типових умовах апріорної невизначеності) показників розділення-відтворення відомих та запропонованих алгоритмів спектрального оцінювання. Показано що переваги надрозділяючих параметричних методів у порівнянні з класичними непараметричними методами на основі перетворення Фур'є в гіпотетичній ситуації відомої кореляційної матриці не гарантують їх переваг в реальній адаптивній ситуації апріорі невідомих параметрів, що визначають кореляційну матрицю, і заміни її тими чи іншими оцінками, що формуються по вибірках скінченого об'єму. Практично важливі в цих умовах швидкодіючі параметричні методи спектрального оцінювання, для яких потрібний мінімальний обсяг вибірки, за рахунок коректного використання апріорної інформації, яка зменшує розмірність вектору параметрів, який оцінюється на етапі адаптації.

Проведені дослідження в цілому дозволили зробити висновок, що серед розглянутої досить великої кількості методів розділення-відтворення неперервних енергетичних спектрів для використання у складі комбінованих адаптивних систем міжперіодної обробки найбільш доцільні запропоновані проміжні методи спектрального оцінювання з регульованими значеннями коефіцієнту використання розміру пачки.

У **третьому розділі** проведено дослідження особливостей квазіоптимальних компенсаційно-фільтрових систем селекції рухомих цілей на тлі суміші гаусових пасивних завад та власного шуму в реальних умовах використання на виході компенсаторокогерентних накопичувачів імпульсів (із згладженими імпульсними характеристиками) прямокутної пачки корисних сигналів.

Головна увага приділена ефектам, пов'язаним зі згладжуванням імпульсних характеристик когерентних накопичувачів імпульсів пачки на виході фільтру компенсації пасивної завади. Воно широко застосовується на практиці, оскільки покращує розділення в імпульсному об'ємі РЛС цілей з різними ефективними поверхнями розсіяння та радіальними швидкостями і є також необхідним для рішення задач швидкісної селекції цілей в широкому класі фільтрових систем селекції рухомих цілей.

Всі системи селекції рухомих цілей, що розглядаються, представлені на базі узагальненої схеми. Ця схема реалізує як добре відому оптимальну обробку, так і велику кількість її квазіоптимальних різновидів. Розраховані значення втрат ефективності різних систем селекції рухомих цілей по відношенню к оптимальній обробці в залежності від доплерівського зсуву частоти корисного сигналу, який відраховується від доплерівського зсуву пасивної завади при різних параметрах завади. Енергетичні втрати квазіоптимальних схем істотно залежать від частоти настроювання когерентного накопичувача ( яка вважається співпадаючою з відносною доплерівською частотою очікуваного корисного сигналу).

Результати розділу в цілому дозволили обґрунтувати доцільність використання комбінованої адаптивної системи міжперіодної обробки імпульсних оглядових РЛС адаптивних аналогів схеми на основі квазівідбілюючого фільтру компенсації пасивної завади з трикутною стрічковою матричною імпульсною характеристикою з керованою шириною стрічки.

**В четвертому розділі** приведені результати розробки та напівнатурних досліджень комбінованої адаптивної системи міжперіодної обробки, в якій на єдиній структурно-алгоритмічній основі вирішуються задачі розділення-відтворення неперервних енергетичних спектрів міжперіодних флуктуацій відбиттів та селекції рухомих цілей на їх тлі. Перша з них передбачає формування спектральної функції проміжних методів спектрального оцінювання, друга – обробку на основі спільного квазівідбілюючого фільтру зі стрічковою трикутною матричною імпульсною характеристикою з керованою шириною стрічки.

Проведено порівняльний аналіз фільтрів з відповідними матричними імпульсними характеристиками. Показані переваги використання з цією метою адаптивних решітчастих фільтрів, які пов'язані з однорідністю структури утворюючих їх елементарних решітчастих фільтрів, простотою та ефективністю урахування можливої апріорної інформації про специфіку структури кореляційної матриці, простотою керування шириною стрічки трикутної матричної імпульсної характеристики (вибором кількості ступенів).

Розроблені комбіновані адаптивні системи міжперіодної обробки на основі єдиного адаптивного решітчастого фільтру практично реалізовані на сучасній елементній базі.

Проведені напівнатурні дослідження комбінованих адаптивних систем міжперіодної обробки підтвердили теоретично обґрунтовані можливість, високу ефективність, та доцільність втілення запропонованих технічних рішень в існуючі та перспективні оглядові РЛС.

У **висновках** наведено основні результати роботи та надано рекомендації з практичного застосування теоретичних наробіток.

У **додатках** до роботи наведено деякі теоретичні та практичні результати допоміжного характеру. Зокрема, огляд і порівняльний аналіз методів оцінювання кореляційних матриць пасивних завад в імпульсних РЛС, а також документи, які підтверджують впровадження результатів роботи.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень.** Результати дисертації наведено у вигляді математичних моделей, алгоритмів, структурних схем, в порівняльному аналізі ефективності «граничних» адаптивних показників розділення-відтворення відомих та запропонованих алгоритмів спектрального оцінювання та селекції цілей.

Показано місце і вагу комбінованих адаптивних систем міжперіодної обробки при розробці та побудові сучасних оглядових РЛС.

Для підтвердження теоретичних результатів наведені приклади розрахунків та оцінок ефективності обробки, з використанням даних реальних вимірювань. Приведені порівняльні характеристики запропонованих автором рішень з рішеннями інших авторів з цієї тематики досліджень. Показано, що важливою перевагою розробленого методу розділення-відтворення є універсальність його застосування для будь-яких оглядових РЛС. Також слід зазначити розширені можливості модифікованої бази даних аналізу ефективності різних систем обробки, що дозволяють виконати необхідну структурування значного об'єму оброблених даних для подальшого аналізу.

### **Достовірність та новизна**

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, отриманих у дисертації, на наш погляд, обумовлена такими міркуваннями:

- математичний апарат, що використаний у дисертаційних дослідженнях, застосований на достатньо високому рівні строгості та коректності;
- нові наукові результати узагальнювального характеру, зокрема, параметри властивостей спектрального оцінювання та селекції цілей, характеристики і поведінка складових системи розділення-відтворення, які отримані в дисертації, при відповідних спрощеннях і припущеннях

можуть бути приведені до добре відомих, багаторазово перевірених теоретично і експериментально частковим результатам, отриманих раніше іншими авторами;

- математичні моделі та одержані наукові результати співпадають з нашими інтуїтивними уявленнями про реальні фізичні процеси, які протікають в системах обробки сучасних РЛС, що досліджувалися.

**Новизна наукових положень, висновків і рекомендацій** виходить із того, що в роботі:

- вперше висунута ідея побудови комбінованої адаптивної системи міжперіодної обробки, в якій задачі адаптивного розділення-відтворення неперервних енергетичних спектрів міжперіодних флуктуацій радіолокаційних відбиттів та селекції рухомих цілей на їх тлі вирішується на спільній структурно-алгоритмічній основі адаптивних решітчастих фільтрів.

- розроблена теорія узагальнених аналізаторів неперервних енергетичних спектрів дискретних гаусових авто регресійних випадкових процесів, яка з єдиних позицій пояснює походження великої кількості класичних та сучасних параметричних методів спектрального оцінювання і дозволяє запропонувати їх нові різновиди з практично корисними властивостями.

- введено додатковий критерій якості спектрального оцінювання, що у сукупності з відомим більш повно характеризує якість розділення-відтворення неперервних енергетичних спектрів відбиттів.

- побудовані теоретичні засади залежності енергетичних втрат різних систем селекції рухомих цілей від доплерівського зсуву частоти корисного сигналу при використанні когерентних накопичувачів із згладженими імпульсними характеристиками, розроблені спрощені адаптивні системи селекції рухомих цілей для цих умов.

### **Наукове та практичне значення роботи**

Наукове значення роботи полягає у пропозиції нового класу комбінованих адаптивних систем міжперіодної обробки на уніфікованій основі адаптивних решітчастих фільтрів, обґрунтуванні їх складових підсистем, методик кількісних розрахунків по різним критеріям та в різних умовах, поширених напівнатурних дослідженнях, доведенні можливостей їх практичної реалізації.

Практичне значення роботи полягає у теоретичному та експериментальному дослідженні якості розділення-відтворення великої кількості класичних та сучасних надрозділяючих алгоритмів спектрального оцінювання, характеристик виявлення корисних сигналів, точкових цілей на тлі пасивних завад різними адаптивними системами селекції рухомих цілей на основі адаптивних решітчастих фільтрів, обґрунтуванні рекомендацій з побудови комбінованих адаптивних систем міжперіодної обробки на їх основі, використанні головних результатів підприємствами, що розробляють радіолокаційну техніку.

### **Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях**

Основні результати дисертації достатньо повно викладені в друкованих працях у фахових виданнях: у 17-ти статтях, 7-м з яких – закордонних виданнях або міжнародних наукометричних базах даних та 10 - у фахових виданнях, які затверджені атестаційною колегією МОН України; 13-ти публікаціях матеріалів міжнародних конференцій.

Мова і стиль дисертації та автореферату в цілому задовільні і відповідають вимогам стандартів оформлення науково-дослідних робіт. Зміст автореферату відповідає змістові дисертації та об'єктивно відображає основні результати роботи. Використання чужих наукових результатів без посилань на авторів у дисертації не виявлено.

Обсяг і структура дисертації відповідають вимогам та рекомендаціям атестаційного органу України.

## Загальна характеристика роботи

Перед тим, як давати загальну оцінку дисертаційній роботі, зупинимося на деяких недоліках.

1. Не розглянуті системи обробки на основі максимально правдоподібної оцінки комплексної кореляційної матриці гаусового авторегресійного випадкового процесу першого порядку та пов'язані з такою оцінкою, оцінки кореляційних матриць процесів авторегресії довідного порядку, які близькі до оптимальних. Вказані оцінки використовують статистики, які враховують статистичну інформацію за всією довжиною пачок відбиттів.
2. При розгляданні фільтрових систем обробки вважалось, що частота настройки когерентного накопичувача, співпадала з відносною доплерівською частотою очікуваного сигналу. Такий підхід може привести до появи методичних помилок при аналізі ефективності таких систем, з урахуванням того що на виході кожного із  $M$  доплерівських каналів когерентних накопичувачів (із гладженими імпульсними характеристиками) стоять відповідні системи нормування сигналів по рівню завад. Для того щоб уникнути появи таких помилок, необхідно для кожного значення частоти корисного сигналу проводити розрахунок відношення сигнал/завада+шум для усіх  $M$  доплерівських каналів накопичувачів і вибрати максимальне значення вказаного відношення.
3. Не розглянуті питання спектрального оцінювання і селекції рухомих цілей для метеоутворень типу «ангелів», які відрізняються суттєвою просторовою неоднорідністю і характеристиками відбиттів близьким до відбиттів від корисних цілей.
4. На мій погляд в першому розділі при обговоренні фізичного сенсу рядків відповідних трикутних матриць додатково треба було би розглянути фізичний сенс рядків для не стрічкових матриць ( у випадку  $M \leq p$  ).

**Треба відмітити**, що наведені зауваження та недоліки не є принциповими і не впливають на кінцеві результати дисертаційної роботи. Більшість з них обумовлена новизною задачі, що розглядається, необхідністю розробки нових підходів, проведення великого обсягу міждисциплінарних досліджень та розгляду широкого кола питань, не всі з яких досить тісно пов'язані одне з одним.

Дисертація представляє собою одноособово написану завершену кваліфікаційну наукову працю, яка містить нові наукові результати, має внутрішню єдність та логіку, свідчить про особистий внесок автора у науку. Автор роботи глибоко вник в суть задачі, що вирішується, виявив добру обізнаність з предметом дослідження, коректно та за потрібним призначенням застосував математичний апарат. Одержані наукові результати, особливо наведені приклади практичних розрахунків та розроблених пристроїв, лишають дуже хороше враження від дисертаційної роботи.

## Висновки

За результатами розглядання дисертаційної роботи можна зробити такі висновки.

1. Дисертаційна робота в цілому є самостійно виконаним завершеним науковим дослідженням на актуальну тему. Вона містить нове рішення задачі по розробці та дослідженню комбінованих адаптивних систем міжперіодної обробки, зокрема на основі єдиного адаптивного реплічного фільтру з практичною реалізацією на сучасній елементній базі. В цілому наведені результати дозволяють вважати досягнутою мету роботи, що має важливе теоретичне та практичне значення для удосконалення вітчизняної радіолокаційної техніки різного призначення.

2. Дисертація відповідає спеціальності 05.12.17 — радіотехнічні та телевізійні системи. Основні наукові положення дисертації досить повно та об'єктивно викладені в авторефераті та публікаціях.

3. За своїм змістом та науковим рівнем дисертаційна робота задовольняє вимогам до робіт, що висуваються на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (згідно Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння наукового звання старшого наукового співробітника від 07 березня 2007 року, постанова № 423, пункти 11, 12), а автор – Семеняка Андрій Вікторович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук.

Вважаю, що отримані результати можуть використовуватися в проектуванні, удосконаленні та поточній експлуатації сучасних оглядових РЛС, а також при підготовці фахівців для відповідних галузей.

Офіційний опонент,  
Завідувач кафедри морського радіозв'язку  
Національний університет «Одеська морська академія»  
Міністерство освіти і науки України,  
Д.т.н., професор

В.М. Кошевий

Підпис професора Кошевого В.М. засвідчує



*М. Семеняка*

*20.01.2017р.*