

## ВІДГУК

офіційного опонента  
на дисертацію Стрількової Тетяни Олександрівни  
«РОЗВИТОК СТОХАСТИКО-ДЕТЕРМІНОВАНОЇ ТЕОРІЇ ПРИЙОМУ ТА  
ОБРОБКИ СИГНАЛІВ В ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМАХ»,  
поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук  
за спеціальністю 05.11.07 – оптичні прилади та систем

Дисертація Стрількової Т.О. присвячена розвитку теоретичних та практичних питань просторово-часового опису та дослідження сигналів і завад в оптико-електронних системах, сформованих у різноманітних середовищах та умовах.

**Актуальність теми досліджень.** В оптико-електронних системах опис методів реєстрації, виявлення та обробки сигналів засновано на урахуванні статистичного характеру сигналів, що обумовлено наявністю випадкових завад різного походження. Не дивлячись на різноманітність сучасних оптико-електронних пристроїв та систем їх можна розподілити на кілька класів: інформаційно-вимірні; системи та пристрої виявлення; системи для перетворення зображення. Опис всіх систем повинен включати: перетворення оптичного сигналу у середовищі розповсюдження; в оптичній фокусній системі; перетворення оптичного сигналу в електронний; обробку електронного сигналу в аналоговому та цифровому блоках; перетворення електронного сигналу в оптичний.

Незважаючи на значний прогрес в розвитку оптико-електронних систем, все ще існують серйозні питання, які необхідно вирішувати на шляху підвищення ефективності та розширення їх динамічного діапазону. На сучасному етапі не запропоновано єдину теоретичну модель, яка би пояснювала результати усіх експериментальних даних та з необхідною деталізацією враховувала ефекти, що можуть виникати при зниженні порогів чутливості систем.

В дисертаційній роботі Стрількової Т. О. розроблено теоретичні моделі, які слугують фундаментом проектування оптичних та оптико-електронних систем з підвищеною надійністю, точністю та покращеною функціональністю. Тема роботи актуальна.

### **Оцінка змісту та оформлення.**

Дисертаційна робота Стрількової Т.О. складається з анотації, вступу, шести розділів, списку посилань та додатків. Зміст роботи викладений на 343 сторінках, список використаних джерел включає 249 найменувань і займає 27 сторінок, а також 3 додатки на 11 сторінках.

В анотації представлені основні результати роботи та список робіт автора за темою дисертації.

У вступі обґрунтовується актуальність роботи, показаний зв'язок робо-

ти з науковими програмами, планами, темами, визначені мета і завдання дисертації, об'єкт, предмет та методи дослідження, наведені наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, зазначено особистий внесок здобувача в опублікованих роботах.

В **першому розділі** роботи проведено аналіз стану проблеми підвищення ефективності оптико-електронних систем, проаналізовано показники та критерії ефективності, за якими оцінюється робота систем в залежності від призначення, зазначено методи підвищення їх ефективності. Зусилля автора спрямовані на розробку й розвиток фізико-математичних моделей опису сигналів, сформованих системою.

На підставі проведеного аналізу визначено мету роботи, яка полягає у розробці та розвитку стохастико-детермінованих методів приймання та обробки сигналів, які розширюють можливості оптико-електронних систем.

В **другому розділі** проаналізовано процес формування зображень в оптико-електронних системах. Викладено теоретичні методи аналізу, як вхідних оптичних сигналів так й вихідних сигналів. При описі вхідних сигналів автором пропонується використовувати корпускулярний опис, за допомогою якого враховуються флуктуації сигнальної та завадових складових, положення геометричної оптики, за допомогою якої можна оцінити просторові характеристики сигналів. Також розглянуто процес формування просторового розподілу сигналів у площині фотоприймача із застосуванням хвильової теорії. При описі вихідних сигналів використано теорію випадкових потоків. Аналізуються різні статистичні моделі. Розглянуто статистичну поведінку сигналу в залежності від часу спостереження, тобто часу експозиції.

Основну увагу приділено моделям, в яких вхідні оптичні сигнали в системах представлені у вигляді корпускул, тобто часткових подій. Статистичну поведінку таких випадкових потоків зазвичай характеризують найбільш поширеною пуассоновою моделлю. Зазначено, що при складанні алгоритмів оптимального виявлення сигналів в оптико-електронних системах, користуються пуассоновою та гауссовою моделями.

**Третій розділ** містить аналіз процесів, які виникають при взаємодії світла з елементами оптичної ланки при дії сигналів, що знаходяться на межі динамічного діапазону системи. При дослідженні статистичних характеристик просторово-часових сигналів було виявлено аномальні флуктуації, які не відповідають прийнятим статистичним моделям. Висунуто припущення, що ці сплески можуть бути обумовлені додатковими факторами, наприклад квантовою структурою оптичного випромінювання та власними шумами елементів системи.

В розділі проведено аналіз перетворення стохастичних сигналів оптичною системою. Зазначено, що вихідні сигнали апроксимуються законами розподілу, які характеризуються несиметричністю. Просторово-часовий розподіл сигналу в площині фотоприймача не відповідає принципу лінійної суперпозиції. Запропоновано модель взаємодії оптичного випромінювання з оптичною ланкою системи, як процес проріджування випадкових пуассонових потоків. Розрахунки показали задовільний збіг запропонованої моделі для си-

гналів з невеликим діапазоном інтенсивностей (до 4 СКВ). Базуючись на стійких законах розподілу, запропоновано модель взаємодії оптичного випромінювання з оптичною ланкою системи як процес аномальної дифузії. За допомогою цього математичного апарату стає можливим пояснити відхилення у лінійному перетворенні оптичного випромінювання оптичною ланкою з різними коефіцієнтами послаблення.

Отримано новий науковий результат – математичну модель вихідного сигналу для оптико-електронних систем з обмеженим динамічним діапазоном на основі стійких законів розподілу флуктуацій вихідного сигналу.

При оцінці потенційних можливостей оптико-електронних систем запропоновано для більш точного розрахунку ймовірностей помилок виявлення визначати виконання умов узагальнених граничних теорем при аналізі вихідних сигналів кожної оптичної ланки системи.

У **четвертому розділі** проведено аналіз формування стохастичного процесу – сигналу у площині фотоприймача оптико-електронних систем, на основі умовно-пуасонових потоків, які характеризуються можливістю наявності групувань при реєстрації поодиноких подій. На прикладі оптико-електронної системи реєстрації надслабкого випромінювання та системи, що входить до складу акустооптичного аналізатора спектру, проведено опис перетворення сигналів. Враховано впливи додаткових процесів, що виникають у цих системах при виявленні сигналів, що знаходяться на межах динамічного діапазону. Складено модель, яка дозволяє розробити та дослідити метод реєстрації надслабкого випромінювання та враховує виникнення парнокорельованих сигналів. Розвинуто модель взаємодії оптичного випромінювання з елементами оптико-електронної системи, що включені до складу акустооптичних аналізаторів спектру.

У **п'ятому розділі** проведено розрахунки ефективності оптико-електронних систем, синтезованих за критерієм максимуму відношення правдоподібності. Розраховано робочі характеристики систем для розроблених статистичних моделей вихідних сигналів. З метою покращення характеристик виявлення малорозмірних та малоконтрасних об'єктів запропоновано застосовувати методи міжкадрового та внутрішньокadroвого накопичення. Проаналізовано вплив часу накопичення на результати виявлення сигналів для обраних статистичних моделей. Проведено розрахунки методу виявлення сигнальної складової на тлі завад за правилами перевищення порогу. Встановлено, що алгоритми виявлення, синтезовані на основі пуасонової та гаусової моделей, дозволяють розширити динамічний діапазон систем у десятки разів. Однак, якщо статистичні властивості вихідних сигналів систем не задовольняють цим моделям, а підпорядковуються стійким законам, при збільшенні часу накопичення неможливо досягти задовільних результатів. Зроблено висновок про те, що подальший розвиток систем у напрямку розширення динамічного діапазону потребує застосування додаткових алгоритмів фільтрації завадових складових в залежності від якості оптичної ланки системи та розроблених на основі стійких законів моделей.

У **шостому розділі** запропоновано методи, які спрямовані на збіль-

шення ефективності оптико-електронних систем завдяки врахуванню ефектів взаємодії прийнятого оптичного випромінювання з елементами оптико-електронної системи. На основі підходу, що передбачає спільне використання хвильового і корпускулярного опису сигналів, розроблені методи просторово-часового міжкадрового і внутрішньокадрового оброблення сигналів. Покращена якість зображень рухомих і близькорозміщених малорозмірних, малокоонтрастних об'єктів. Досліджено вплив методів компресії на мікроструктуру і статистичні характеристики зображень.

У додатках наведено документи про результати практичного впровадження дисертаційної роботи.

Автореферат відповідає змісту дисертації й достатньо повно відображає основні наукові результати, отримані здобувачем. Результати наукових досліджень, за якими здобувач захистив кандидатську дисертацію, не виносяться на захист докторської дисертації.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в тому, що теорія стохастико-детермінованого оброблення сигналів в оптико-електронних системах набула подальшого розвитку:

1. Для опису перетворення стохастичних сигналів оптичною системою розроблена нова математична модель вихідного сигналу в оптико-електронних системах з обмеженим динамічним діапазоном при формуванні просторово-часового розподілу оптичного випромінювання в площині фотоприймача на основі корпускулярної теорії світла і статистичної теорії потоків. Відмінністю є те, що модель враховує залежність граничних законів розподілу флуктуацій вихідного сигналу від коефіцієнта послаблення нейтрального фільтра, включеного до складу оптичної ланки системи.

2. Для опису перетворення сигналів приймачем випромінювання розроблена нова математична модель вихідного сигналу в оптико-електронних системах при реєстрації надслабкого випромінювання. Відмінним є те, що модель враховує природу виникнення парнокорельованих сигналів і дозволяє розробити і дослідити метод реєстрації та аналізу надслабкого випромінювання, що визначає ступінь узгодження просторових і енергетичних характеристик випромінювання об'єктів із виявленими властивостями оптико-електронної системи.

3. Опис процесу виявлення сигналів уможливив удосконалення методу виявлення на основі критерію узгодження просторових і енергетичних характеристик об'єктів із властивостями оптико-електронної системи. Критерій враховує розмір і контраст об'єктів і відображує взаємозв'язок цих характеристик зображення з частотно-контрастною чутливістю системи. Обчислено характеристики виявлення малорозмірних і малокоонтрастних об'єктів на спеціалізованих зображеннях.

4. Набула подальшого розвитку математична модель взаємодії оптичного випромінювання з елементами оптико-електронної системи, що включені до складу акустооптичних аналізаторів спектру, яка враховує стохастико-

детермінований характер оптичних сигналів, завад і різноманітних просторово-частотних та енергетичних параметрів.

5. Удосконалено метод підвищення ефективності оптико-електронних систем, який відрізняється від відомих тим, що вибір параметрів внутрішньо-кадрового і міжкадрового накопичення враховує ефекти взаємодії оптичного випромінювання з елементами системи.

**Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.** Викладені в дисертаційній роботі положення, а також отримані автором теоретичні і практичні результати роботи мають належний ступінь обґрунтованості. Достовірність викладених в дисертації основних наукових положень висновків і результатів, отриманих здобувачем, забезпечується коректними постановками задач, методами розв'язку та експериментальною перевіркою розроблених моделей та алгоритмів обробки сигналів а також даними, отриманими при впровадженні результатів дисертаційної роботи, достатньою апробацією на науково-практичних конференціях.

**Практичне значення наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.** Оскільки ключовими елементами оптико-електронної системи є оптична система та фотоприймальний пристрій, який реєструє оптичний сигнал, якість цих елементів є найголовнішим для всієї галузі оптоелектроніки. Підвищення ефективності систем цілком залежить від врахування процесів взаємодії світла з об'єктом спостереження, елементами оптичного тракту, перетворення оптичного випромінювання фоточутливими елементами. Врахування стохастико-детермінованого характеру оптичних сигналів та завад, різноманітних просторово-часових й енергетичних параметрів дозволило збільшити спектральний діапазон систем на 30 % та збільшити динамічний діапазон систем на 40 %. Встановленні межі застосування основних граничних теорем при статистичному аналізі вихідних сигналів оптико-електронних систем дозволять зменшити ймовірності помилок при виявленні сигналів при низькому відношенні сигнал/шум.

**Повнота викладу основних результатів у наукових виданнях та апробація.** Основні результати дисертаційної роботи відображені у 2 монографіях та 45 наукових працях, серед яких 29 статей, опублікованих у збірниках наукових праць, що входять до переліку видань, дозволених МОН України для публікацій результатів досліджень з технічних наук, у тому числі 4 опубліковані одноосібно, 24 опубліковані у виданнях, що цитуються у міжнародних наукометричних базах: Україніка Наукова, SCOPUS, Academic OneFile, AGRICOLA, CSA/Proquest, EMBiology, EMCare, Gale, Google Scholar, INIS Atomindex, Inspec, OCLC, Summon by Serial Solutions, Index Copernicus, Biele-

feld Academic Search Engine, Directory Indexing of International Research Journals, РИНЦ, Directory Indexing of International Research Journals.

**Відповідність дисертаційної роботи спеціальності.** Зміст дисертаційної роботи відповідає паспорту спеціальності 05.11.07 – оптичні прилади та системи, напрямкам досліджень за пунктами:

- Дослідження проблем створення та функціонування оптичних та оптично-електронних приладів і систем та їх складових частин.
- Дослідження нових методів та розробка приладів для прийому, обробки та реєстрації оптичної інформації
- Дослідження оптичних методів обробки зображення.
- Розробка засобів та приладів для дослідження космічних об'єктів.

### **Зауваження до роботи.**

1. При складанні статистичної моделі взаємодії оптичних полів з оптичною ланкою на основі  $\alpha$  – стійких законів розподілу вказано, що елементарні відхилення, які впливають на суму незалежних випадкових величин, мають ієрархічну структуру. Однак у роботі, при описі флуктуацій сигналів, що приймаються, не наведено дані про ієрархію факторів, що впливають на статистичні характеристики вихідних сигналів.

2. При проведенні аналізу робочих характеристик оптико-електронних систем з різними характеристиками оптичного ланцюга не обговорено статистичну поведінку сигнальної складової.

3. В п. 5.2, наведено розрахунки імовірності хибної тривоги для оптико-електронних систем для випадку, коли статистичні характеристики вихідних сигналів підпорядковуються  $\alpha$ -стійким законам. Оскільки зазначені закони розподілу характеризуються нескінченною дисперсією, слід було б навести методичку розрахунків умовних характеристик виявлення або вказати обмеження, що дозволяють здійснити розрахунки.

4. При обговоренні алгоритмів виявлення сигналів в п. п. 5.6, 5.7 та 6.2, 6.3 не наведено розрахункові дані, що характеризують граничні можливості запропонованих алгоритмів.

5. Запропоновані автором моделі сигналів дозволяють отримати нові стійкі алгоритми їх обробки. Проте синтез алгоритмів виявлення сигналів для  $\alpha$  – стійких законів розподілу не проведено.

6. Є неточності в записах формул (24 і (25) автореферату і (5.23) дисертації.

7. В авторефераті і дисертації застосовано однакове позначення для різних інтегралів:  $\Phi_0(x) = 1/\sqrt{2\pi} \int_{-\infty}^x e^{-t^2/2} dt$  в авторефераті (с.21) і

$\Phi_0(x) = 1/\sqrt{2\pi} \int_0^x e^{-t^2/2} dt$  - в тексті дисертації (с.216).

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

**Відповідність дисертації встановленим вимогам і загальні висновки.** На підставі вивчення дисертації, автореферату та наукових праць здобувача, що опубліковані за темою дисертації, наукові результати та висновки, що отримані автором можна вважати вірними та оцінити позитивно.

Дисертаційна робота Стрілкової Т. О. є ґрунтовним науковим дослідженням, в якому вирішується важлива науково-технічна проблема підвищення ефективності оптико-електронних систем телевізійного типу.

Зміст роботи відповідає спеціальності 05.11.07 – оптичні прилади та систем.

Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертаційної роботи.

Вважаю, що дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів п. 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, щодо до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, а її автор Стрілкова Тетяна Олександрівна заслуговує присудження їй наукового ступня доктора технічних наук за спеціальністю 05.11.07 – оптичні прилади та систем.

Професор кафедри авіаційних радіоелектронних комплексів  
Національного авіаційного університету МОН України  
доктор технічних наук, професор,



І.Г. Прокопенко

Підпис проф.. І.Г. Прокопенко

Засвідчую

Вчений секретар НАУ



Підпис гр. Т. Т. Прокопенка  
з а с в і д ч у ю  
Вчений секретар  
Національного авіаційного університету

Т. Євчева  
18 вересня 2017 р.