

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
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 системи

### **Актуальність та важливість проблеми досліджень.**

Дисертація Стрількової Т.О. присвячена створенню оптико-електронних систем (ОЕС), які можуть надійно працювати у широкому динамічному діапазоні вхідних сигналів. Основною проблемою при створенні таких ОЕС є те, що сучасні статистичні методи опису процесу формування та обробки сигналів в ОЕС не дають вірогідних результатів у випадках дуже слабких та дуже потужних сигналів. Це суттєво обмежує можливості виявлення, розпізнавання, оцінювання просторово-часових та енергетичних характеристик корисних сигналів. Тому тема дисертаційної роботи, що пов'язана зі створенням ОЕС, які можуть працювати у широкому динамічному діапазоні з високими показниками виявлення та розпізнавання об'єктів є актуальною.

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеності й оформлення.**

Дисертаційна робота викладена на 343 сторінках та складається з анотації, вступу, шести розділів, висновків, списку посилань та додатків в яких наведені акти впровадження результатів роботи та список роботи автора за темою дисертації. Структура та обсяг дисертації відповідають вимогам МОН України щодо дисертаційних робіт на здобуття ступеня доктора наук.

В **анотації** наведені основні результати роботи, наведений список робіт автора за темою дисертації.

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи; зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами; визначені мета та завдання дисертації, об'єкт, предмет та методи дослідження; наведені наукова новизна та практичне значення одержаних результатів та особистий внесок здобувача.

В **розділі 1** розглянуто основні напрямки підвищення ефективності ОЕС. Окреслені теоретичні, практичні чинники, які впливають на ефективність та потенційні можливості систем. Визначено, що сучасна стохастико-детермінована теорія прийому та обробки сигналів в ОЕС ґрунтується на уяві

процесу взаємодії стохастичного оптичного випромінювання з елементами систем як детермінований параметр. Зроблено висновок про перспективність розвитку шляхів підвищення ефективності та розширення динамічного діапазону ОЕС полягає в вивченні та урахуванні додаткових статистичних властивостей сигналів й перешкод при уточненні математичних моделей вхідних та вихідних сигналів.

В **розділі 2** проведено систематизацію теоретичних методів, на яких ґрунтується опис сигналів ОЕС. Проведено аналіз теоретичних методів опису вхідних сигналів за допомогою хвильової та корпускулярної теорій. Зроблено висновок, що застосування корпускулярного опису сигналів дозволяє врахувати явища поглинання вхідного випромінювання елементами оптико-електронного тракту систем. Аналіз вихідних сигналів показав, що при описі стохастико-детермінованих властивостей сигналів використовують різноманітні математичні моделі, які враховують умови лінійності, інваріантності та фізичної здійсненності. Переваги віддаються статистичним моделям, які базуються на використанні пуасонівського та гаусового розподілів.

В **розділі 3** розглядаються теоретичні та експериментальні дослідження статистичних властивостей вихідних сигналів ОЕС з обмеженим динамічним діапазоном. Дослідження спрямовані на вивчення впливу якості оптичної ланки на просторово-часові та статистичні зміни вихідних сигналів. Експериментально встановлено, що використання нейтральних фільтрів у складі систем змінює ефективність систем за критерієм відношення сигнал/шум. Експериментально доведено, що статистичні характеристики просторово-часового розподілення вихідних сигналів у площині фотоприймача можливо описувати стійкими законами розподілення з важкими хвостами. Встановлена залежність між коефіцієнтами поглинання послабників та асимптотичним поведінням «хвостів» щільності розподілу та граничними законами розподілу.

Отримані результати дозволяють встановити межі застосування різних статистичних моделей вихідних сигналів при спостереженні мало-контрастних та малорозмірних об'єктів.

В **розділі 4** розглядаються статистичні властивості вихідних сигналів з урахуванням взаємодії вхідного випромінювання з середовищем розповсюдження та елементами фотоприймача. При складанні статистичних моделей вихідних сигналів ОЕС враховані процеси взаємодії оптичного випромінювання з фотоприймачем та середовищем розповсюдження. Спираючись на факти, які мають сенс, описані у сучасній літературі та додатково вивчені в експериментальних дослідженнях проведених авторкою, розроблені моделі вихідних сигналів на основі субпуасонівської статистики зі зміненою дисперсією. Використання апарата твірних функцій

дозволило обґрунтувати та розробити методи виявлення сигналів з близькими параметрами, як за часом так і за простором їх виникнення.

В **розділі 5** розглянуто методи виявлення з урахуванням розроблених статистичних моделей. Обговорюють методи виявлення на основі пуассонівської та гаусової статистичних моделей з урахуванням часу експозиції. Експериментально доведено, що не можливо використовувати сучасні алгоритми виявлення, які засновані на порогових методах для систем, вихідні сигнали яких описуються статистичними законами з характеристичним коефіцієнтом. Отримані вирази для розрахунків ефективності ОЕС за критерієм умовних ймовірностей виявлення. Проведені розрахунки робочих характеристик систем з обмеженим динамічним діапазоном показали, що при виявленні малорозмірних та малорозмірних об'єктів на межі динамічного діапазону необхідно врахувати граничні розподіли, яким підпорядковуються флуктуації вихідних сигналів систем.

У **розділі 6** розроблені методи міжкадрової та внутрікадрової обробки, які дозволяють збільшити ефективність ОЕС за рахунок додатково врахованих стохастичних характеристик та статистичних моделей сигналів. Проблемні питання, що обговорюються у розділі сьогодні не мають однозначного розв'язання. Запропоновані методи, що засновані на сумісному використанні корпускулярних, хвильових та статистичних методів дозволили виявляти малоконтрастні малорозмірні об'єкти.

У **додатках** наводять акти запровадження результатів дисертаційної роботи у Відкритому акціонерному товаристві «Спеціальне конструкторське бюро радіотехнічних приладів» - дочірньому підприємстві Державної акціонерної холдингової компанії «Топаз» Міністерства промислової політики, м. Донецьк та у навчальному процесі Української інженерно-педагогічної академії Міністерства освіти та науки, м. Харків. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.

### **Основні результати досліджень.**

Набула подальшого розвитку теорія стохастико-детермінованої обробки сигналів в ОЕС, а саме:

1. При описі процесу перетворення стохастичних сигналів оптичною системою розроблено нову математичну модель вихідного сигналу в ОЕС з обмеженим динамічним діапазоном при формуванні просторово-часового розподілу оптичного випромінювання у площині фотоприймача на основі корпускулярної теорії світла і статистичної теорії потоків. Відмінністю є те, що модель враховує залежність граничних законів розподілу флуктуації

вихідного сигналу від коефіцієнта ослаблення нейтрального фільтра, включеного до складу оптичної ланки системи.

2. При описі перетворення сигналів приймачем випромінювання розроблено нову математичну модель вихідного сигналу в ОЕС при реєстрації надслабкого випромінювання. Відмінністю є те, що модель враховує природу виникнення парнокорельованих сигналів і дозволяє розробити та дослідити метод реєстрації надслабкого випромінювання, що визначає ступінь узгодження просторових та енергетичних характеристик випромінювання з властивостями виявлення ОЕС.

3. При описі процесу виявлення сигналів удосконалено метод виявлення сигналів на основі критерію узгодження просторових та енергетичних характеристик об'єктів з властивостями виявлення ОЕС. Критерій ураховує розмір та контраст об'єктів і визначає взаємодію цих характеристик зображення з частотно-контрастною чутливістю системи. Розраховані характеристики виявлення малорозмірних та мало-контрастних об'єктів для спеціалізованих зображень.

4. Набула подальшого розвитку математична модель взаємодії оптичного випромінювання з елементами оптико-електронної системи, що включено до складу акустооптичних аналізаторів спектру, яка враховує стохастико-детермінований характер оптичних сигналів і завад різноманітних просторово-частотних та енергетичних параметрів.

5. Вдосконалено метод збільшення ефективності ОЕС, який відрізняється від відомих тим, що вибір параметрів внутрикадрового та міжкадрового накопичення враховує ефекти взаємодії оптичного випромінювання з елементами системи.

**Достовірність наукових результатів і висновків**, сформульованих у дисертації підтверджується коректним використанням методів теорії побудови ОЕС.

У дисертації застосовані теоретичні й експериментальні методи, а саме: для опису процедур перетворення вхідних оптичних сигналів в ОЕС їхніх енергетичних, просторово-часових характеристик використані основні положення хвильової і корпускулярної теорії світла; для опису статистичних характеристик вихідних сигналів систем використані положення теорії ймовірності та теорії випадкових потоків; для синтезу і розв'язання проблем виявлення використані методи статистичного синтезу й основні положення теорії прийняття рішень; для підтвердження адекватності результатів теоретичних досліджень і перевірки дієвості розроблених методів проведені

досліди з використанням методів оптимального планування експерименту і математичної статистики.

**Важливість результатів дисертаційної роботи для науки.** Дисертаційна робота Стрількової Т.О. є закінченим дослідженням, включає важливі наукові та практичні результати, які свідчать про внесок автора у розвиток теорії побудови ОЕС. У дисертаційній роботі ОЕС характеризуються як самостійний клас пристроїв, який поєднує елементи статистичної радіотехніки, статистичної теорії виявлення, питання формування та виявлення сигналів оптичного діапазону. Використання теоретичного підходу щодо опису сигналів систем у вигляді стохастичних потоків дозволило розглянути моделі перетворення оптичного випромінювання як стохастичного параметра та пояснити розбіжності теоретичних та експериментальних результатів. Такий теоретичний підхід дозволить комплексно вирішувати питання підвищення ефективності ОЕС.

#### **Рекомендації щодо впровадження результатів дисертації.**

Теоретичні і практичні результати роботи можуть бути рекомендовані для використання на підприємствах, які розробляють і використовують оптичну й оптико-електронну техніку.

*Основні результати роботи можуть знайти застосування як у розвитку теоретичних питань:*

- Теорія стохастических систем. Асимптотичний аналіз стохастичних моделей, керівник – академік НАНУ О. К. Закусило, Київський державний університет ім. Т. Шевченко;

*так і на підприємствах, які розробляють і використовують оптичну й оптико-електронну техніку:*

- Головна астрономічна обсерваторія НАН України.
- ДП «Ізюмський приладобудівний завод».
- ДП НВК «Фотоприлад».
- Казенне підприємство спеціального приладобудування «Арсенал»
- ДП «Державне Київське конструкторське бюро «Луч».
- Акціонерне товариство «Науково-дослідний інститут радіотехнічних вимірювань».

#### **Повнота викладу основних результатів у наукових виданнях та апробація.**

Основні результати дисертаційної роботи відображені у 45 наукових працях, серед яких 2 монографії та 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, Google Scholar, SCOPUS, Index Copernicus, Directory Indexing of International Research Journals.

Опубліковані в авторефераті положення співпадають з основними положеннями дисертаційної роботи. Зміст та структура автореферату відповідають вимогам щодо підготовки та оформлення авторефератів.

### **Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами.**

Дисертаційна робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки. Тематика роботи відповідає Закону України від 09.09.2010 № 2519-VI «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки» та Закону України від 08.09.2011 № 3715-VI «Про пріоритетні напрямки інноваційної діяльності в Україні». Дослідження пов'язані із планом науково-дослідних робіт університету, спрямованих на розробку систем локації в різних середовищах та оптоелектронних систем подвійного призначення, які виконувались в період 2001-2010 років при участі автора: НДР «Розробка принципів побудови пристрою виявлення пачок коротких оптичних сигналів блоку Ч-1» (№ ДР 0104U0902072, 2001 - 2005 р.); НДР «Розробка методів підвищення роздільної здатності, збільшення динамічного діапазону акустооптичного аналізатора спектра» (№ ДР 0105U007073, 2005-2008 р.); НДР «Методи підвищення динамічного діапазону блоку Ч1 та розробка пропозицій з їх реалізації» (№ ДР 0109U008535, 2009-2010 р.).

### **Відповідність дисертаційної роботи спеціальності.**

Зміст дисертаційної роботи відповідає паспорту спеціальності 05.11.07 – оптичні прилади та систем 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. Проблема дослідження сформульована у не зовсім коректній формі. «Підвищення ефективності ОЕС завдяки розвитку математичних моделей і стохастико-детермінованих методів приймання та оброблення сигналів ... » скоріше є метою дослідження у достатньо абстрактній формі, ніж конкретним визначенням проблеми. Кращий варіант – наукова проблема полягає у тому, що від сучасних ОЕС вимагають надійної роботи у широкому динамічному діапазоні. Але сучасні статистичні методи опису процесу формування та

обробки сигналів в ОЕС не дають вірогідних результатів у випадках дуже слабких та дуже потужних сигналів.

2. У дисертації недостатньо повно виконаний порівняльний аналіз існуючих методів опису процесів формування та обробки стохастичних сигналів. Наводяться роботи переважно авторів колишнього Радянського Союзу та України. Не згадуються та розглядаються роботи K.Stelzer, J. Fletcher (фотона теорія формування зображень), G. Holst, N.Koreika, R. Driggers, R. Fiete (сучасна теорія формування сигналів у ОЕС), Л. А. Міхеєнка (енергетична модель цифрових камер) та інші. Не розглядаються сучасні роботи присвячені дослідженню біологічних систем зору, які можуть працювати у широкому динамічному діапазоні.

3. При дослідженні процесів формування сигналів розрахунок статичних характеристик фотонів (розподіл щільності імовірності) треба завжди доповнювати розрахунками усіх елементів тракту ОЕС, включаючи крім оптичної системи та атмосфери фотоприймач, цифровий фільтр, блок відновлення, як просторових фільтрів.

4. Дослідження ступеню стиснення даних після застосування запропонованої процедури обробки зображень (с. 288) не завжди є доцільними. Відомо, що ступінь стиснення залежить від просторової структури зображення та статистичних характеристик шумової складової у ньому. Не треба зв'язувати ступінь стиснення з конкретними процедурами отримання «покращених» зображень.

5. Експериментальна частина дисертації викладена не достатньо повно:

- не наведена повна інформація про детальні технічні характеристики ОЕС (поле зору, числова апертура чи діаметр зірничі, лінійне чи кутове збільшення, тип та параметри фотоприймача, параметри попереднього підсилувача, параметри аналого-цифрового перетворювача, тип та характеристики попередньої обробки сигналів, формат даних та інше). Бажано було доповнити структурну схему функціональною схемою та навести фотографії цих ОЕС;
- не наведений детальний розрахунок похибок вимірювання, який доводить, що корисна інформація вилучена з вихідних сигналів є достовірною та не спотворена елементами оптико-електронного тракту;
- треба зауважити, що у оптичній цифровій мікроскопії існує можливість зміни освітленості зразка. Це дозволяє змістити слабкий сигнал у вузький динамічний діапазон підбравши комбінацію апертури освітлювального каналу та напругу живлення джерела випромінювання.

Проблема надійної роботи у широкому динамічному діапазоні є більш актуальною для пасивних ОЕС;

- не достатньо детально описана процедура порівняння ефективності запропонованих методів обробки сигналів ОЕС з відомими методами обробки сигналів. По-перше, у якості відомих методів треба було вибрати найкращий аналог – адаптивна фільтрація, оптимальна чи підоптимальна фільтрація, фільтр Вінера та інший фільтр. По-друге, треба було забезпечити еквівалентність параметрів фільтрів, таких як розмір вікна, розрядність даних і т.п., особливо тоді, коли мова йде про підвищення ефективності ОЕС за критерієм сигнал/шум у 5 – 10 разів (с. 233, 279).

б. У дисертації є певні порушення логічної структури викладення матеріалу, невдалі назви розділів, лексичні помилки та інше:

- дисертація містить загально відому інформацію про оптичне випромінювання (с. 97 - 99, 107 - 109, 125), що є більш доцільним у підручниках, ніж у дисертації;

- дисертація містить узагальнення та навіть філософські положення, які не пов'язані безпосередньо з темою дисертації (с. 66, 171) ;

- формула з багатьма параметрами (1.1) (с. 50) наводиться, але ніде далі не використовується для математичних перетворень, розрахунків, чи оптимізації;

- функція розсіювання оптичної системи (ОС) у на початку дисертації описується формулами для дифракційно-обмеженої ОС с круглою апертурою, потім – формулами для дифракційно-обмеженої ОС с прямокутною апертурою, а ще потім – двовимірною функцією Гауса;

- табличні дані наводяться для матричних фотоприймачів з переносом зарядів (с. 53), а експериментальні дослідження виконуються з цифровими камерами, що мають або електронно-променеу трубку з катодом чи КМОП матричним фотоприймачем;

- дисертація містить надзвичайно довгі назви розділів – більше ніж 20 слів, надзвичайно довгі висновки до розділів розміром до 4 сторінок замість стисненого викладення основних наукових результатів, деякі речення містять більше ніж 35 – 40 слів та займають 5 – 7 строк тексту (с. 3, 35 та інші);

- кількість (12 шт.) та обсяг висновків до дисертації (с. 303) дуже великі при тому, що кількість наукових задач дорівнює лише 7;

- у дисертації використовуються не дуже розповсюдженні та невдалі терміни та фразеологічні обороти такі як «оптична ланка» (с. 102, краще – оптична система), «інтенсивність» (с. 95 – у даному випадку краще – освітленість (у площині фотоприймача), «елемент розрізнення», «елемент розрізнення фотоприймача» (краще – фоточутливий елемент чи відлік



сигналу в залежності від змісту) , «дерево проблем» (с. 176), «дифракція світла на звуці в кристалах» ( с. 198) та інші;

- речень, що містять загальні фрази типу « ... уможливує збільшення можливостей ... » (с. 112), « ... необхідно постійно шукати нове ...» (с. 135), краще уникати у текстах дисертацій;

- на окремих аркушах дисертації погане форматування – назви підрозділі наприкінці сторінок, різний інтервал між строками та інше.

7. Дисертація містить положення, з якими не можна погодитися. Їх можна віднести до механічних помилок:

- «...визначення параметрів спостережуваних об'єктів при співвідношенні менше ніж 5 не проводиться ...» (с. 33). Сучасні ОЕС можуть працювати при співвідношеннях сигнал/шум менше 5;

- від Сонця на поверхню Землі попадає «20 000 фотонів у секунду на 1 см<sup>2</sup>» (с. 46). Автореферат (с. 8) містить інше пояснення «Оптико-електронні системи реєструють оптичне випромінювання, яке характеризується різноманітними енергетичними параметрами, наприклад, від 1 фотона за секунду до 20 000 фотонів за секунду на 1 см<sup>2</sup>». Реальні ОЕС можуть реєструвати набагато більшу кількість фотонів. Так матричні фотоприймачі можуть накопичувати більше ніж 10<sup>6</sup> носіїв заряду за час 0.02 – 0.1 сек. при площі фоточутливого елемента у декілька квадратних мікрометрів.

- «Світло – це лише наше уявлення, фантазія, витвір думки. Цю фантазію ми будемо не довільно, а на основі показань приладів .... » (с. 66) – ці погляди на світло філософів-ідеалістів є розповсюдженими, але більшість дослідників вважають, що світло це об'єктивна (незалежна від нас) реальність.

### **Відповідність дисертації встановленим вимогам і загальні висновки.**

Наведені зауваження не змінюють загальну оцінку дисертації як завершеної роботи, в якій наведено розв'язання **науково-технічної проблеми** – створенню ОЕС, які можуть надійно працювати у широкому динамічному діапазоні вхідних сигналів. Для цього запропоновані нові стохастико-детерміновані методи опису процесів формування, реєстрації та обробки сигналів, що базуються на сумісному використанні корпускулярного, хвильового і статистичного представлення оптичних сигналів в ОЕС.

Дисертація Стрілкової Тетяни Олександрівни є структурованою, цілісною, завершеною науково-дослідною роботою, а отримані в ній результати вирішують задачу покращення характеристик виявлення малорозмірних та малоконтрасних об'єктів в ОЕС з широким динамічним

діапазоном. Оформлення дисертації і автореферату відповідає наказу Міністерства освіти і науки «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (наказ від 03 січня 2017 р. № 40). Перелік посилань наведено згідно міжнародним стилям цитування та посилання в наукових роботах. Стиль посилань – IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) style. Представлена дисертаційна робота відповідає вимогам, що висуваються до докторських дисертацій згідно з п.п. 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567, а її автор, Стрількова Тетяна Олександрівна, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.11.07 – оптичні прилади та системи.



В. М. Боровицький

професор кафедри оптичних та оптико-електронних приладів  
Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
доктор технічних наук, доцент

Підпис завіряю

Вчений секретар КПІ ім. Ігоря Сікорського А. А. Мельниченко

