

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію

Пінчука Богдана Юрійовича

«Тепловізійні системи спостереження безпілотних авіаційних та космічних приладів»,

поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

за спеціальністю 05.11.07 – оптичні прилади та системи

Актуальність теми дисертаційної роботи

Тепловізійні системи спостереження (ТСС) сьогодення стають все більш популярнішими і доступнішими оптико-електронними приладами, які встановлюються в різні системи, починаючи від космічних апаратів і закінчуючи мобільними телефонами, що говорить про широкий спектр областей їх застосування, який постійно розширюється. Контроль сільського господарства, виявлення нових сировинних покладів, спостереження за надзвичайними ситуаціями, погодою, кліматом від яких залежатиме безпека населення, картографування місцевості, тощо, є одними із перших областей застосування, які стали основним рушієм в розвитку ТСС і джерелами фінансування та інвестицій в дану тематику.

Економічна доцільність по відношенню до часу експлуатації і ефективність аерокосмічної зйомки вимагають від ТСС збільшення швидкості отримання необхідної інформації, яка може бути критичною у виконанні певних задач. В якості технологічного рішення даної проблеми пропонують реалізацію можливості зміни кутів спостереження ТСС (тангажа, крена і рискання) під час зйомки. При відхиленні візирної осі ТСС від надиру проявляється побічний ефект у вигляді спотворення форми проекції пікселів на земній поверхні, розмиттям зображення під час руху літального апарату (ЛА), ослаблення потоку випромінювання тощо, що впливає на якість отримуваних даних.

Таким чином, оцінка відносної величини погіршення якості зображення під час зйомки ТСС при різних кутах візування і розробка методів покращення

просторового і енергетичного розділення на основі отриманих результатів є важливою і актуальною задачею, вирішення якої висвітлено в даній роботі.

Структура і зміст роботи

Дисертаційна робота Пінчука Б. Ю. складається з анотації, вступу та п'яти розділів, списку посилань та додатків. Загальний обсяг роботи викладений на 241 сторінці, включаючи 93 рисунка, 7 таблиць та список використаних джерел із 105 найменувань. Автореферат викладений на 26 сторінках.

У *вступі* обґрунтовується актуальність теми, розкривається суть та стан наукової проблеми, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів, наведені дані про публікації та апробацію результатів досліджень, показано зв'язок роботи з науковими темами.

В *першому розділі* автором проведено аналіз науково-технічної літератури, областей застосування та призначення ТСС, зроблено висновок про актуальність теми, визначено основні вимоги до ТСС, на основі чого було сформульовано мету та задачі дослідження.

У *другому розділі* проведена формалізація процесів формування зображення динамічною ТСС при відхиленні візирної осі від надиру. Отримані аналітичні вирази стали основою в оцінці величини розмиття і деформації форми проекції пікселів матричного приймача випромінювання (МПВ), що геометрично спотворює зображення. Розв'язання поставлених задач в даному розділі дає можливість для розробки фізико-математичної моделі (ФММ) «об'єкт – ТСС – оператор».

Третій розділ присвячено удосконаленню і доповненню ФММ системи «об'єкт – ТСС – оператор», яка описує процес перетворення інфрачервоного випромінювання при різних умовах зйомки. Розроблена ФММ, в залежності від ТСС і навколишнього середовища дозволяє оцінити ефективність системи, отримати залежності між параметрами і характеристиками та величину їх впливу на результуючу якість зображення. Основна частина розділу сфокусована на максимальному коректному і правильному врахуванні

більшості факторів, які впливають на контраст вихідного зображення, який розраховується за допомогою модуляційних передавальних функцій. Розв'язання поставлених задач сформувало можливі шляхи покращення технічних характеристик основних блоків системи, які беруть участь в формуванні і перетворенні інформації для покращення якісних характеристик ТСС та підвищення її ефективності.

Четвертий розділ присвячено розробці нових та вдосконаленню існуючих методів підвищення просторового розділення ТСС, узгодженню її компонентів і параметрів, аналіз їх ефективності при різних умовах зйомки, використовуючи отримані ФММ в попередніх розділах. Однією із цілей, на якій сфокусований даний розділ і яку можна представити як вимогу, є задача розробки методів підвищення якості зображення, при яких покращення однієї характеристики мало б мінімальний вплив на погіршення інших. Частково зосереджується увага на методах узгодження компонентів і параметрів ТСС, де перший дозволяє узгодити радіус кружка розсіювання об'єктива з геометричними параметрами МПВ, що часто використовується в статичних системах, а другий базується на узгодженні частоти зйомки МПВ зі швидкістю переміщення зображення, що має використовуватися в динамічних системах. Приводяться методи підвищення просторового розділення за рахунок додаткового довороту ТСС, за кутами візування та за рахунок зміни фокусної відстані об'єктива залежно від кутів візування. Оскільки зйомка проводиться при різних кутах візування, то доцільним є приведений вдосконалений аналітичний вираз для врахування розрідженості і неоднорідності атмосфери в залежності від висоти, що доповнює ФММ представлену в попередньому розділі.

У *п'ятому розділі* наведені результати експериментальної перевірки отриманих ФММ шляхом комп'ютерного моделювання у відомих програмних продуктах та за допомогою цифрової камери. Виявлено закономірність під назвою «ефект паралельної лінії», який залежить від конструкції, яка забезпечує відхилення ТСС. Проведено аналіз і приведено підтвердження достовірності отриманих аналітичних виразів і розроблених методик, які

використовуються в ФММ і для оцінки ефективності ТСС. Також важливо, що для аналізу і порівняння результатів приводяться результати розрахунків із власноруч написаному і розширеному програмному забезпеченні, яке має практичне впровадження на КП СПБ «Арсенал», що підтверджується відповідним актом впровадження.

У *додатках* представлені уточнюючі математичні викладки, які підтверджуються самостійність виконання роботи і дозволяють перевірити правильність отриманих аналітичних виразів; список публікацій здобувача за темою дисертації, в яких можна знайти більш розширені дослідження у вирішенні згаданих в даній роботі проблем; акт впровадження результатів досліджень.

Наукова новизна отриманих результатів

При вирішенні важливої науково-технічної проблеми – підвищення якості зображення та ефективності безпілотних, авіаційних та космічних ТСС, було отримано наступні нові наукові результати:

1. Розроблений новий метод оцінки просторового розділення ТСС, який базується на врахуванні впливу відхилення за кутами візування на геометричну деформацію проекції пікселів на земній поверхні, що надає можливість точніше визначити лінійне розділення на місцевості.
2. Розширена та вдосконалена ФММ «об'єкт – ТСС – оператор» за рахунок врахування впливу динаміки системи при відхиленні візирної осі від надиру, що дозволяє точніше оцінити величину спотворення отриманого зображення.
3. Запропоновано нові методи покращення просторового і енергетичного розділення, що ґрунтуються на додатковому довороті конструкцією ТСС за кутами візування і зміні фокусної відстані об'єктива, які обираються залежно від кутів візування, висоти і швидкості переміщення літального апарата.

Практичне значення отриманих результатів

Результати роботи представляють інтерес і можуть найти широке впровадження на підприємствах космічної галузі України і за кордоном.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Викладені в дисертаційній роботі положення та отримані автором теоретичні і практичні результати роботи мають належний ступінь обґрунтованості. Достовірність результатів, отриманих аналітичним шляхом, підтверджена результатами експериментальних досліджень та математичних і комп'ютерних моделювань. Теоретичні положення роботи в повній мірі представлені на науково-практичних конференціях.

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертаційної роботи.

Повнота викладу основних результатів у наукових виданнях та апробація

Основні результати дисертаційної роботи відображені у 21 науковій праці (8 статей, опублікованих у фахових наукових виданнях, серед яких 2 із яких опубліковані у виданні України категорії «А», які включено до міжнародної наукометричної бази даних Web of Science і 13 тез доповідей на конференціях). Опубліковані матеріали в достатній мірі висвітлюють основні положення дисертаційної роботи.

Відповідність дисертаційної роботи спеціальності

Зміст дисертаційної роботи, структура, послідовність та повнота розв'язаних задач цілком відповідають темі роботи та паспорту спеціальності 05.11.07 – оптичні прилади та системи. Матеріал дисертації наданий досить логічно і обґрунтовано. Кожен з розділів має свою специфіку, котра у сукупності свідчить про цілісність та завершеність дисертаційної роботи.

Недоліки та зауваження до роботи

1. В першому розділі деяка частина матеріалу відведена під загальний опис радіометричного і геометричного корегування, що є цифровою пост-обробкою отриманих даних після зйомки, яку можна було б узагальнити і зменшити її об'єм, оскільки, з неї взяті лише головні тези проблем,

- які опосередковано враховуються в даній роботі, а не повноцінно направлені на вирішення проблем, пов'язаних з ними.
2. В четвертому розділі не детально розписано про функцію, яка визначає відносний сумарний сигнал, що сприймає піксель за час інтегрування з врахуванням руху зображення і що, в свою чергу, вимагає звернення до опублікованої автором по цій тематиці науковій статті.
 3. В дисертації наведено велику кількість формул, але недостатньо розглянуто їх практичне застосування, що знижує цінність отриманих результатів дослідження.
 4. В роботі приведена вдосконалена формула для розрахунку пропускання атмосфери для нахилених трас із врахуванням щільності та неоднорідності. Результати приведених досліджень показують значимість впливу даного фактору на якість зображення при відхиленні від надиру, але це приведено лише для декількох географічних координат. Також, значний інтерес в даному випадку представили б дослідження, які б показали залежність коефіцієнта пропускання атмосфери від часу доби і пори року, та в залежності від земних координат зйомки.
 5. Основна тема даної дисертації зосереджена в основному на тепловізійних системах спостереження, хоча отриманні результати можна застосовувати і для телевізійних систем спостереження, що неодноразово було підкреслено в опублікованих наукових працях.

Зазначені зауваження не знижують загальну позитивну оцінку дисертації Пінчука Б. Ю. і її науково-практичної значимості.

Загальний висновок

В цілому дисертаційна робота Пінчука Богдана Юрійовича «Тепловізійні системи спостереження безпілотних авіаційних та космічних приладів» є завершеною науковою працею, в якій розв'язана важлива науково-практична проблема. Висновки роботи відповідають її змісту, обґрунтовані і експериментально підтверджені. Робота виконана на високому науковому рівні,

матеріали викладені діловою мовою у чіткій логічній послідовності, системно правильно побудовані.

За змістом і формою дисертаційна робота повністю відповідає вимогам п. 9, 11 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, щодо кандидатських дисертацій, а її автор Пінчук Богдан Юрійович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.07 – оптичні прилади та системи.

Офіційний опонент

професор кафедри технології та
обладнання машинобудівних виробництв
Черкаського державного технологічного
університету Міністерства освіти і науки України,
доктор технічних наук

В. І. Гордієнко

Гордієнко
15.12.2021

Підпис Гордієнка В.І. засвідчую

*Членом кафедри технології та
обладнання машинобудівних виробництв
Черкаського державного технологічного
університету*
к.т.н., доцент



*Григор
Шерокець*