

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Добровольської Катерини Володимирівни "Підвищення просторової роздільної здатності мікроболометричної камери для супутника", поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.07 – оптичні прилади та системи

### Актуальність теми дисертаційної роботи

Об'єкти з високими витратами енергії (атомні і теплові електростанції, системи міського та промислового теплозабезпечення, нафтогазові комплекси) та високоенергетичні явища (лісові пожежі, землетруси, вулканічні виверження) становлять потенційну небезпеку як для навколишнього середовища, так і для населення. Всі ці об'єкти та явища характеризуються підвищеною тепловіддачею, а отже і підвищеною інтенсивністю випромінювання в інфрачервоному (ІЧ) діапазоні спектру. При їх моніторингу важливу роль відіграють ІЧ камери дистанційного зондування Землі.

Ефективність аерокосмічної зйомки визначається просторовою та енергетичною роздільною здатністю камери. Просторова роздільна здатність ІЧ знімків часто обмежується розмірами пікселів приймальної матриці, зменшення яких, в свою чергу, обмежено технологічними, економічними та іншими можливостями.

Запропонований автором підхід до підвищення однієї з основних характеристик ІЧ камер дозволяє без зміни приймальної матриці та без введення додаткових пристроїв до конструкції отримати знімки підвищеної роздільної здатності за рахунок власного руху носія апаратури та повороту приймача випромінювання відносно напрямку орбітального руху. Мікросканування дозволяє ефективно підвищити роздільну здатність кадрів, на відміну від інших методів. Таким чином тема дисертаційної роботи Добровольської К.В. є актуальною.

## Ступінь обґрунтованості наукових положень, достовірність і новизна.

Обґрунтованість отриманих у дисертаційній роботі результатів забезпечена коректним використанням математичного апарату, широким застосування комп'ютерного моделювання, а також лабораторними випробуваннями.

Достовірність теоретичних положень, висновків і рекомендацій, наведених у роботі, забезпечена узгодженістю отриманих теоретико-аналітичних та експериментальних результатів.

До нових результатів, отриманих і представлених в дисертації, належать:

1. Математична модель субпіксельної реєстрації зображень, яка враховує параметри зйомки, орбіти, оптичної системи та матричного приймача та методика, що дозволяють розрахувати оптимальні значення параметрів для реалізації субпіксельної зйомки за рахунок власного руху супутника та повороту приймача випромінювання відносно напрямку орбітального руху.

2. Залежності мінімальної роздільної різниці температур, від основного параметру субпіксельної зйомки для різних спектральних діапазонів, які дозволяють узгодити параметри об'єктиву камери, приймача із ступенем підвищення просторової роздільної здатності внаслідок обробки субпіксельно зміщених кадрів.

3. Методика розрахунку впливу підвищення просторової роздільної здатності запропонованим методом на математичну модель мікроболометричної камери, яка дозволяє спрогнозувати значення просторової роздільної здатності камери на етапі її проектування.

### Практичне значення одержаних результатів

1. Запропонований метод підвищення просторової роздільної здатності ІЧ камери космічного базування, який дозволяє отримувати кадри із субпіксельним зміщенням для наступної обробки без введення додаткових пристроїв лише за рахунок власного орбітального руху та повороту приймача

випромінювання на розрахований кут відносно напрямку руху, втілено при розробці дослідного зразка сканера дальнього ІЧ діапазону для Січ-2М.

2. Розроблена методика розрахунку параметрів субпіксельної реєстрації зображень та програмне забезпечення на її основі дозволяють в напівавтоматичному режимі отримати всі необхідні дані для реалізації зйомки підвищеної роздільної здатності з мінімальними похибками.

3. Отримані залежності мінімальної роздільної різниці температур від параметру субпіксельної реєстрації зображень дозволяють обрати кількість субпіксельно зміщених кадрів для обробки з метою забезпечення заданого підвищення роздільної здатності.

### **Повнота викладу основних результатів у наукових виданнях та оцінка змісту роботи**

Матеріали дисертаційних досліджень викладено у чотирьох розділах та додатках.

У першому розділі, розглянувши сучасний стан досліджень у галузях розробки ІЧ камер, досконально проаналізувавши досягнення в цій сфері, автор визначив мету дисертаційних досліджень та задачі, що необхідно розв'язати для досягнення цієї мети. Ретельно проаналізувавши наукові літературні джерела дисертант показав основні недоліки більшості існуючих методів підвищення просторової роздільної здатності.

В другому розділі в результаті дослідження математичної моделі мікроболометричної камери розраховано основні параметри, які дозволяють оцінити просторову та енергетичну роздільну здатність. Показано, що отримані значення не задовольняють сучасним вимогам до ІЧ камер.

В третьому розділі автором представлено розроблену математичну модель субпіксельної реєстрації зображень та результати дослідження впливу підвищення просторової роздільної здатності на мінімальну роздільну різницю температур камери.

В четвертому розділі здобувачем приведено опис стенду для вимірювання характеристик камери, методику вимірювань, результати експериментальних досліджень та їх аналіз.

Зображення, отримані при проведенні експериментальних досліджень і наведені в додатку, підтверджують ефективність і практичну цінність запропонованих рішень.

Теоретичні дослідження автора досить повно відображені у 32 наукових працях, серед яких 7 статей, опублікованих у збірниках наукових праць, з них 1 стаття у іноземному виданні, 1 стаття у виданні України, що включено до міжнародної наукометричної бази; 1 патент України на винахід, 24 доповідей та тез доповідей.

Автореферат передає основні ідеї, положення і результати дисертації.

#### **Недоліки та зауваження до роботи**

1. Наведена в п. 1.2 детальна інформація про методи цифрової обробки даних дистанційного зондування Землі для даної дисертації не є актуальною.

2. Було б доцільно в дисертації надати більш розширену інформацію про об'єкти, який використовується в розглянутій камері.

3. Підпункт 3.1.1 є результатом аналізу науково-технічної літератури, тому його краще було б розташувати в першому розділі.

4. В другому розділі наведено класичну формулу (2.22) для розрахунку мінімальної роздільної різниці температур (МРРТ), за якою здійснюється розрахунок. В третьому розділі використовується формула (3.30), яка дозволяє отримати значення МРРТ сучасних ІЧ камер без врахування особливостей зорової системи оператора. При цьому не досить чітко аргументовано переваги її використання. В четвертому розділі було б доцільно підкреслити, що формула (3.30) була підтверджена результатами експериментів.

5. Термінологія, яка застосовується в тексті дисертації, не завжди відповідає рекомендаціям діючих Державних стандартів України в галузі ДЗЗ, зокрема, ДСТУ 4220-2003, ДСТУ 2686-94.

Зазначені зауваження принципово не впливають на ступінь наукової новизни та практичної значущості отриманих в дисертації результатів.

### **Загальна оцінка дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота Добровольської Катерини Володимирівни "Підвищення просторової роздільної здатності мікроболометричної камери для супутника" є завершеним дослідженням, в якому отримані нові науково обгрунтовані результати, які є вирішенням актуальної задачі підвищення просторової роздільної здатності мікроболометричної камери для супутника. Висновки роботи відповідають її змісту, обгрунтовані і експериментально підтверджені.

### **Висновок**

За змістом і формою дисертаційна робота 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 Добровольська Катерина Володимирівна заслуговує на присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.07 – оптичні прилади та системи.

Офіційний опонент

В.о. завідувача відділу атмосферної оптики та приладобудування,  
Головної астрономічної обсерваторії  
НАН України  
кандидат технічних наук

 І. І. Сіявський

Підпис Сіявського І.І. засвідчую  
Начальник відділу кадрів  
Головної астрономічної обсерваторії  
НАН України



 Панченко Л.В.