

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**

Спектр застосування інфрачервоних (ІЧ) знімків поверхні Землі досить широкий – військова справа, задачі контролю стану навколишнього середовища тощо.

Ключовою характеристикою, яка визначає якість отримуваних ІЧ знімків, а отже і ефективність мікроболометричної камери є її просторова роздільна здатність.

Вважаю, що тема дисертаційної роботи Добровольської К.В., яка присвячена підвищенню просторової роздільної здатності мікроболометричної камери за рахунок власного руху супутника та повороту приймача випромінювання, є актуальною.

### **Структура і зміст роботи**

Дисертаційна робота Добровольської К.В. складається з анотації, вступу та чотирьох розділів, списку посилань та додатків. Загальний обсяг роботи викладений на 238 сторінках, включаючи 54 рисунки, список використаних джерел з 85 найменувань.

У **вступі** розкрито суть та стан наукової проблеми.

В **першому розділі** автором проведено аналіз науково-технічної літератури по тематиці, областей застосування та технічних параметрів існуючих мікроболометричних камер, на основі якого зроблено висновок про

актуальність теми та сформульовано мету та задачі дослідження.

Дослідженню математичної моделі мікроболометричної камери присвячено **другий розділ**.

На основі математичного моделювання оцінено просторову та енергетичну роздільну здатність камери, обрано критерії для оцінки. В результаті порівняння розрахованих характеристик із необхідними для вирішення задач дистанційного зондування Землі значеннями обґрунтовано необхідність покращення просторової роздільної здатності камери.

На основі аналізу математичної моделі отримані шляхи покращення просторової та енергетичної роздільної здатності.

**У третьому розділі** наведено результати теоретичних досліджень підвищення просторової роздільної здатності камери шляхом повороту приймача випромінювання відносно напрямку руху супутника без конструктивних ускладнень.

На основі побудованої математичної моделі автором розроблено методику розрахунку параметрів зйомки із субпіксельною реєстрацією зображень. Внаслідок дослідження впливу обертання Землі на зйомку із субпіксельною реєстрацією зображень створено алгоритм розрахунку параметрів зйомки за різних умов.

Проаналізовано похибки субпіксельної реєстрації зображень та показано вплив зміни висоти польоту супутника під час зйомки.

Показано покращення просторової роздільної здатності камери внаслідок застосування запропонованого методу. Встановлено залежності просторової роздільної здатності камери від параметру зйомки із субпіксельною реєстрацією зображень, які дозволяють спрогнозувати роздільну здатність отримуваних знімків ще на етапі проектування камери.

У четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень впливу запропонованого методу підвищення просторової роздільної здатності на характеристики камери.

Стендове обладнання та запропонована методика вимірювання мінімальної роздільної різниці температур дозволили створити фізичну модель мікроболометричної камери із застосуванням реєстрації субпіксельно зміщених зображень та показати підвищення просторової роздільної здатності камери.

На основі аналізу результатів експериментальних досліджень в різних спектральних діапазонах показано різний ступінь підвищення просторової роздільної здатності на низьких та високих просторових частотах, що підтвердило результати теоретичних досліджень. Розраховано та приведено крок точок зображення, який досягається за рахунок обробки субпіксельно зміщених зображень. Отримана внаслідок теоретичних та експериментальних досліджень роздільна здатність дозволяє вирішувати задачі дистанційного зондування Землі.

### **Наукова новизна отриманих результатів**

При вирішенні важливої науково-технічної проблеми – покращення просторової роздільної здатності мікроболометричної камери, було отримано наступні нові наукові результати.

1. Запропоновано спосіб підвищення просторової роздільної здатності камери космічного базування шляхом обробки субпіксельно зміщених за рахунок власного руху супутника і повороту матричного приймача випромінювання відносно напрямку руху знімків. запропонований спосіб не вимагає введення до камери додаткових пристроїв для отримання субпіксельних зміщень кадрів.

2. Розроблена та досліджена математична модель отримання субпіксельно зміщених кадрів за рахунок власного руху супутника та

повороту фотоприймальної матриці на розрахований кут. Встановлено залежності між параметрами зйомки, які дозволяють отримувати мінімальні похибки субпіксельних зміщень між кадрами. Розроблена математична модель враховує вплив обертання Землі, тип ділянки орбіти, параметри фотоприймальної матриці.

3. Встановлено залежності мінімальної роздільної різниці температур, яка пов'язує просторову та енергетичну роздільну здатність камери, 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.

### **Практичне значення отриманих результатів**

Результати роботи представляють інтерес і можуть знайти 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 моделювань. Теоретичні положення роботи достатньою апробовані 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 32 наукових працях, серед яких 1 монографія, 7 статей, опублікованих у збірниках

наукових праць, що входять до переліку видань, дозволених МОН України для публікацій результатів досліджень з технічних наук, з них 1 стаття у іноземному виданні, 1 стаття у виданні України, що включено до міжнародної науково-метричної бази; 1 патент України на винахід, 24 доповідей та тез доповідей.

### **Відповідність дисертаційної роботи спеціальності**

Зміст дисертаційної роботи відповідає паспорту спеціальності 05.11.07 – оптичні прилади та системи, та напрямку досліджень: системні дослідження технологій в оптичному приладобудуванні.

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

1. Перший розділ охоплює аналіз великої кількості літератури за різними темами, що не дає можливості читачу зосередитись на поставленій науковій задачі. Робота тільки б виграла від скорочення цього розділу та його більшої зосередженості на темі підвищення просторової роздільної здатності камери.

2. Наведена в п.2.4 та п. 2.5 надмірно детальна інформація про вплив геометричного шуму на якість зображення та цифрові методи зменшення похибок дискретизації не є актуальною в рамках вирішення поставленої наукової задачі.

3. Деякі розділи важко читати без звернень до публікацій автора.

4. В роботі зусилля направлені на розробку та оптимізацію методики розрахунку початкового повороту приймача випромінювання. Було б доцільно навести оцінку застосування програмного повороту приймача при змінній траєкторії руху.

5. В четвертому розділі приведено результати експериментального вимірювання мінімальної роздільної різниці температур та мінімальної

виявлювальної різниці температур. Результатам дослідження мінімальної виявлювальної різниці температур приділено недостатньо уваги.

6. В матеріалах дисертації доцільно було б розглянути варіант конструкції мікроболометричних камер наземного базування, які могли б знайти широке застосування у військовій техніці, охоронних системах на державному кордоні, складах боєприпасів та ін..

Зазначені зауваження не знижують загальну позитивну оцінку дисертації Добровольської К.В. і її науково-практичну значимість.

### **Загальний висновок**

В цілому дисертаційна робота Добровольської Катерини Володимирівни "Підвищення просторової роздільної здатності мікроболометричної камери для супутника" 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 Добровольська Катерина Володимирівна заслуговує присудження їй наукового ступня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.07 – оптичні прилади та системи.

Офіційний опонент

заступник генерального директора  
з науки – головний конструктор  
доктор технічних наук



В. І. Гордієнко