

**ВІДГУК**  
**офіційного опонента на дисертаційну роботу**  
**Шедловської Яни Ігорівни**  
**«Дешифрування та аналіз багатовимірних фотограмметричних**  
**зображень високої просторової розрізненості»,**  
**поданої до спеціалізованої вченої ради на здобуття наукового**  
**ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю**  
**05.01.01 – Прикладна геометрія, інженерна графіка**

**Актуальність теми дослідження.** Дисертацію Я.І. Шедловської присвячено розв'язанню науково-прикладної задачі підвищення рівня автоматизації, точності та швидкодії попередньої обробки, аналізу та дешифрування багатоканальних фотограмметричних зображень високої просторової розрізненості, що враховують принципи формування знімків та їх характеристики.

В останні роки особливої значущості набула проблема обробки багатовимірних фотограмметричних зображень земної поверхні, отриманих аерокосмічними апаратами. Багатовимірні зображення високої і надвисокої розрізненості знаходять застосування в різних прикладних областях і дозволяють вирішувати найрізноманітніші завдання дистанційного моніторингу та ідентифікації об'єктів на земній поверхні. Існуючі інструменти та методи обробки багатовимірних фотограмметричних зображень не завжди підходять до форматів сучасних аерокосмічних даних, чийі характеристики постійно змінюються і вдосконалюються.

На актуальність теми дисертації вказує необхідність розробки методів геометричної корекції з урахуванням реальних умов формоутворення багатоканальних даних. Застосування до багатовимірних геопросторових даних високої просторової розрізненості існуючих методів попередньої обробки та дешифрування часто призводить до втрати важливої спектральної інформації та погіршення якості ідентифікації окремих типів об'єктів. Виникає потреба у підвищенні ефективності попередньої обробки зображень з метою зробити їх придатними для розпізнавання різних типів об'єктів. Все це вимагає удосконалення існуючих методів та розробки нових технологій попередньої обробки, дешифрування та аналізу супутникових даних. Тому проблема розробки автоматизованих методів та технологій обробки багатовимірних зображень високої просторової розрізненості дійсно є **актуальною**.

**Обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, трьох додатків. Загальний обсяг дисертації – 180 сторінок, обсяг основної частини – 130 сторінок. Робота проілюстрована 58 рисунками та містить 11 таблиць.

**Характеристика роботи, новизна розроблених наукових положень.**

У вступі автором подано загальну характеристику дисертації, визначено актуальність теми, сформульовано об'єкт, предмет і мету дослідження, окреслено коло наукових та прикладних задач, розв'язання яких забезпечує реалізацію мети роботи, показана наукова новизна та практична цінність роботи. Наведено публікації автора за темою дисертації.

В першому розділі дисертації автором проаналізовано процеси отримання та формоутворення багатовимірних фотограмметричних зображень. Наведено аналітичний огляд сучасного стану розвитку методів та технологій попередньої обробки, аналізу та дешифрування багатовимірних аерокосмічних зображень високої просторової розрізненості. Враховуючи недоліки існуючих методів, автором обґрунтовано необхідність розробки нових технологій та вдосконалення існуючих методів дешифрування, попередньої обробки та аналізу аерокосмічних зображень.

Другий розділ роботи присвячений класифікації та аналізу супутникових зображень високої просторової розрізненості. Серед найбільш вагомих результатів розділу слід відмітити розроблену автором технологію дешифрування аерокосмічних зображень, яка дозволяє проводити класифікацію цілого знімка, ідентифікацію та комплексний аналіз окремих типів об'єктів. Обґрунтовано вибір методу сегментації зображень високої просторової розрізненості. Розроблена технологія базується на об'єктно-орієнтованому підході до аналізу зображень, що дозволяє врахувати властивості, притаманні різним типам об'єктів та поверхонь. Ці об'єкти можуть бути семантично описані, враховуючи їх фізичні характеристики. Наявність мультиспектральних каналів супутникових зображень дає можливість використовувати спектральні індекси, які дозволяють точно ідентифікувати певні типи об'єктів. Автором запропоновано та обґрунтовано вибір властивостей для ідентифікації різних типів земної поверхні.

У п. 2.4 автором проведено порівняльний аналіз ефективності існуючих методів сегментації, що застосовуються при обробці багатовимірних фотограмметричних зображень, щоб визначити який з методів найкраще підходить для застосування у розробленій технології

дешифрування. Досліджено: сегментацію методом зсуву середнього, багатомасштабну сегментацію, сегментацію на основі кластеризації K-середніх. У результаті порівняльного аналізу автором було з'ясовано, що при дешифруванні багатовимірних супутникових зображень високої просторової розрізненості, найбільш ефективним є метод багатомасштабної сегментації.

Суттєвим результатом розділу є запропонована автором у п. 2.6 модель класифікації зображень, що базується на нечіткому логічному виведенні. Правила сформовані з врахуванням фізичних властивостей кожного класу. Вхідною інформацією для систем нечіткого виведення є вектори властивостей сегментів. Ефективність обробки зображень за допомогою розробленої технології підтверджено розрахунком оцінок точності класифікації.

Третій розділ роботи присвячено розробці технології ідентифікації та компенсації тіней. Компенсація тіні відноситься до методів попередньої обробки зображень, вона дозволяє покращити якість зображення та зробити його більш зручним для подальшого дешифрування та ідентифікації окремих об'єктів.

У п. 3.3 автором досліджено ефективність сучасних методів ідентифікації тіні, з метою визначення, який метод ідентифікації тіні найкраще підходить до застосування на знімках високої просторової розрізненості. Для ідентифікації тіні в роботі використовуються індекси та компоненти зображення у інваріантних кольорових просторах  $L$ ,  $NSVDI$ ,  $SDI$ ,  $SDI_2$ ,  $r(x)$ ,  $r(x)_2$ ,  $V$ . Для знаходження пікселів зображення, що відповідають тіні виконується бінаризація перерахованих індексів та компонент за пороговим значенням. Знаходження оптимального порогу бінаризації автоматизовано шляхом застосування методу Оцу.

З важливих результатів розділу слід також відмітити розроблений здобувачем метод компенсації тіні, що базується на моделі утворення тіні. Розроблену реалізацію методу успішно застосовано до багатовимірних зображень високої просторової розрізненості. Розроблений метод компенсації тіні покращено за рахунок додавання пошуку ділянок, що належать до одного типу поверхонь, та обробки границь тіньових ділянок. Це дозволило автору підвищити якість результату роботи методу. Для оцінки якості роботи технології ідентифікації та компенсації тіні в роботі використано оцінки якості зображень  $RMSE$ ,  $PSNR$ ,  $RASE$ . Розрахунок оцінок показав високу ефективність запропонованої технології.

У четвертому розділі роботи Я.І. Шедловською вдосконалено метод геометричної корекції спотворень, що виникають при отриманні аерокосмічних сканерних зображень високої просторової розрізненості, отриманих поздовжніми ПЗЗ-сканерами. У вдосконаленому в роботі методі для геометричної корекції ефекту зсуву сканованих ліній, викликаного

нахилом космічного апарату, використовуються наземні контрольні точки (НКТ) та лінійні об'єкти. Вхідними даними у реалізованому методі є набір координат НКТ та лінійні елементи, виділені на некоректованому та еталонному зображеннях. Реалізовано автоматизовану ідентифікацію лінійних об'єктів зображення. Для ідентифікації лінійних об'єктів до еталонного та некоректованого зображень здобувачем застосовується технологія дешифрування зображень, розроблена у 2 розділі дисертаційної роботи. Для геометричної корекції зображення виконується масштабування зображення уздовж та поперек напряму руху космічного апарату та зсув сканованих ліній.

У додатках наведено список опублікованих праць автора за темою роботи, документи впровадження результатів дисертації та фрагменти коду програмної реалізації розроблених технологій.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій.** Дослідження, проведені у роботі, базуються на останніх досягненнях у галузі геометричного моделювання та багатовимірної геометрії з використанням сучасних уявлень про фізичні механізми формування сканерних зображень високого просторового розрізнення. Основні теоретичні положення дисертації одержані автором на основі апробованих методів та технологій попередньої обробки, дешифрування та аналізу багатовимірних супутникових зображень. Достовірність, точність та коректність отриманих результатів підтверджені відомими методами до оцінки результатів обробки; комп'ютерною реалізацією розроблених технологій дешифрування та попередньої обробки багатовимірних цифрових зображень; достатньою кількістю публікацій у фахових виданнях України.

Отримані наукові результати є достовірними, забезпечуються коректним використанням математичного апарату та сучасних методів обробки геопросторових даних, а також шляхом оцінки отриманих результатів на незалежних тестових даних. Матеріали дисертації неодноразово обговорювалися на всеукраїнських та міжнародних конференціях.

Все це свідчить про високий ступінь достовірності та обґрунтованості результатів дисертації.

**Цінність дисертації для науки.** В дисертаційному дослідженні розв'язано важливу науково-прикладну задачу підвищення рівня автоматизації, точності та швидкодії попередньої обробки, аналізу та дешифрування багатовимірних фотограмметричних зображень високої просторової розрізненості. Автором вперше розроблено нову технологію дешифрування супутникових зображень високої просторової розрізненості на основі об'єктно-орієнтованого підходу, розроблено нову технологію

ідентифікації та компенсації тіней, яка базується на фізичних принципах виникнення тіні на фотограмметричних зображеннях, що дозволяє якісно компенсувати тіньові ділянки та підвищити достовірність подальшого розпізнавання об'єктів земної поверхні. Також автором запропоновано та обґрунтовано підхід до вибору методу сегментації для обробки аерокосмічних зображень високої просторової розрізненості, що дозволило підвищити достовірність подальшого розпізнавання об'єктів земної поверхні. Набули подальшого розвитку підхід до аналізу супутникових знімків на основі розрахунку властивостей об'єктів та спосіб виділення лінійних елементів при геометричній корекції аерокосмічних зображень, отриманих поздовжніми ПЗЗ-сканерами. Здобувачем удосконалено: метод ідентифікації тіней шляхом автоматизації вибору оптимального порогу бінаризації, що дозволяє аналізувати різночасові зображення, отримані за різних умов зйомки; метод геометричної корекції фотограмметричних сканерних зображень на основі проєктивного й афінного подання складних законів обробки з автоматизацією виділення лінійних об'єктів; процес сегментації супутникових знімків шляхом застосування процедури покращення результатів сегментації, що дозволяє запобігти надмірної сегментації та мінімізувати кількість розривів границь сегментів; метод компенсації тіней шляхом пошуку ділянок, що відносяться до одного типу поверхонь.

Тематика виконання наукових досліджень відповідає паспорту спеціальності 05.01.01 — «Прикладна геометрія, інженерна графіка» за пунктами:

- теорія зображень і практичні методи її реалізації;
- багатовимірна прикладна геометрія як метод геометричного моделювання багатопараметричних процесів та явищ;
- розроблення технології та методів комп'ютерної графіки;
- розроблення алгоритмів і методів візуалізації двовірних і тривірних комп'ютерних моделей;
- розроблення інструментальних засобів для створення та підтримки систем комп'ютерної графіки.

**Прикладна цінність дисертації.** Запропоновані автором методи та інформаційні технології являють собою систему обробки та дешифрування багатовірних супутникових зображень високого просторової розрізненості, що є інструментарієм вирішення прикладних задач дистанційного моніторингу поверхні Землі. Розроблені технології дозволили підвищити точність та достовірність дешифрування різних типів об'єктів, що присутні на знімках.

Практичне значення дисертації підтверджується впровадженнями результатів роботи у ТОВ «ЕОС ДАТА АНАЛІТИКС УКРАЇНА» (м. Дніпро) та «Дніпрокосмос» філії Національного центру управління та випробувань космічних засобів ДКАУ при обробці багатоспектральних супутникових зображень високої просторової розрізненості, зокрема одержаних з космічних апаратів «Worldview».

**Рекомендації щодо впровадження результатів дисертації.** На мій погляд, основні результати дисертації Шедловської Яни Ігорівни можуть бути використані також при геометричній корекції цифрових зображень, наприклад, у геоінформаційних технологіях, в системах технічного зору, технічної діагностики за даними відеоконтролю та ін.

**Зв'язок роботи з науковими програмами.** Робота відповідає тематиці досліджень, які виконуються в Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара з ідентифікації та аналізу зображень. Робота виконана на кафедрі комп'ютерних наук та інформаційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара в межах НДР 0116U001297 «Методи та інформаційні технології цифрової обробки багатоканальних даних» (2016–2018р.) і НДР №0119U101205 «Алгоритмічне та програмне забезпечення інформаційних технологій» (2019–2021 рр.).

**Загальна оцінка дисертаційної роботи.** Дисертація являє собою завершену наукову працю, виконану на високому науковому рівні. Робота добре оформлена та ілюстрована, викладена ясною мовою, відзначається точними формулюваннями. Для дисертації характерний тісний логічний зв'язок окремих питань дослідження. Зміст та результати досліджень викладено лаконічно та аргументовано. Усі основні наукові положення та результати, що подано до захисту, опубліковані у необхідному обсязі у фахових виданнях та пройшли апробацію.

Робота достатньо апробована. За темою дисертації опубліковано 22 наукові праці: 7 праць у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних (у тому числі 6 праць входять до наукометричної бази SCOPUS), 5 статей у наукових фахових виданнях України, одна стаття у закордонному періодичному виданні, а також опубліковано 10 тез доповідей на конференціях.

Автореферат із достатньою повнотою розкриває зміст дисертації.

### **Зауваження по роботі:**

1. З п. 2.4.3 не зрозуміло, яким чином метод кластеризації К-середніх застосовано для сегментації зображень. Слід було більш докладніше описати алгоритм сегментації цим методом.

2. Представлена автором у третьому розділі технологія компенсації тіні розроблено для застосування до зображень, що подані трьома каналами (червоний, зелений та синій), але в дисертаційній роботі досліджуються також багатовимірні зображення, що мають 8 мультиспектральних каналів та 1 панхроматичний канал. Не зрозуміло, яким чином розроблена технологія може бути застосована до зазначених багатовимірних даних.

3. У підрозділі 4.4 при геометричній корекції аерокосмічних сканерних зображень високої просторової розрізненості не наводиться кількісних оцінок результатів роботи вдосконаленого методу. Для оцінки якості зображення, отриманого внаслідок геометричного трансформування, слід було використати такі оцінки якості зображень як PSNR та індекс структурної схожості SSIM.

4. Можливості запропонованого автором у четвертому розділі методу геометричної корекції цифрових зображень на наш погляд розкриті автором не повністю, оскільки, не досліджено вплив на точність результатів кількості та розташування наземних контрольних точок.

5. Поза увагою залишені питання числової стійкості розроблених методів при їхній обчислювальній реалізації.

6. У тексті дисертації зустрічаються деякі термінологічні некоректності та стилістичні огріхи.

Однак, наведені зауваження мають окремий, а інколи й дискусійний характер, не знижують високий науковий рівень дисертаційної роботи і не впливають на її загальну позитивну оцінку.

**Висновок про відповідність дисертації вимогам Департаменту атестації кадрів та ліцензування України.** Розглянувши дисертаційну роботу Шедловської Яни Ігорівни «Дешифрування та аналіз багатовимірних фотограмметричних зображень високої просторової розрізненості», автореферат, опубліковані наукові праці та додаткові матеріали, можна зробити такі висновки:

- дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.01.01 — Прикладна геометрія, інженерна графіка;
- тематична спрямованість роботи є актуальною й перспективною у плані продовження розпочатих досліджень;
- дисертація є цілісною, завершеною, оригінальною, самостійною кваліфікаційною науковою працею.

Вважаю, що за актуальністю та змістом, характером фактичного матеріалу, ступенем його якісного і кількісного аналізу, рівнем новизни, теоретичної і практичної значущості результатів дослідження для науки і практики, загальним обсягом і якістю оформлення, реалізацією поставлених завдань, обґрунтованістю висновків та повнотою викладу одержаних результатів у публікаціях, дисертація Я.І. Шедловської «Дешифрування та аналіз багатовимірних фотограмметричних зображень високої просторової розрізненості», відповідає існуючим вимогам, які висуваються до кандидатських дисертацій, а Шедловська Яна Ігорівна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.01 — Прикладна геометрія, інженерна графіка.

**Офіційний опонент:**

**доцент кафедри технічної механіки**

**та комп'ютерного проектування**

**імені професора В.М. Найдиша**

**Таврійського державного агротехнологічного**

**університету імені Дмитра Моторного,**

**м. Мелітополь**

**кандидат технічних наук, доцент**

**В. М. Щербина**

**Підпис доц. Щербини В.М. засвідчую**

**Вчений секретар**

**Таврійського державного агротехнологічного**

**університету імені Дмитра Моторного**



**С.М. Розуменко**