

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Артюшенка Михайла Віталійовича
**«Методи фрактального аналізу даних і управління аерокосмічним
гіперспектральним геомоніторингом»**,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.07.12 – дистанційні аерокосмічні дослідження

Актуальність теми. Гіперспектральні технології аерокосмічних досліджень і геомоніторингу розглядаються як один з найбільш перспективних напрямків дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з космічних систем (КС) та повітряних засобів. Аналіз літературних джерел, проведений здобувачем у дисертаційній роботі, показує, що поточний момент характеризується досить малою кількістю супутників та повітряних носіїв, які обладнані гіперспектрометрами з характеристиками, необхідними для розв'язання природоохоронних та ресурсних завдань. Гіперспектральні технології ДЗЗ ще не отримали широкого поширення. Для підвищення інноваційної ефективності гіперспектрального дистанційного зондування (ГДЗ) автор згідно з концепцією системного аналізу виділяє основні фактори, які стримують процес широкого використання інформаційних технологій ГДЗ. До таких факторів можна віднести:

1) відсутність обґрунтованих методів та технологій, орієнтованих на автоматизоване (автоматичне) оброблення та інтерпретацію специфічних просторово-спектральних даних;

2) величезні обсяги отримуваних у результаті гіперспектрального геомоніторингу даних, які необхідно оперативно обробляти та передавати каналами зв'язку до наземних центрів даних;

3) відносно мала ширина смуги захоплення гіперспектральних сенсорів і, як наслідок цього, неможливість розв'язання широкого класу моніторингових завдань з короткими розривами у спостереженнях з КС.

Таким чином, тема і завдання дисертаційного дослідження, які спрямовані на комплексне розроблення та удосконалення методів та

*Михайло
20.09.2015*

інформаційних технологій гіперспектрального дистанційного зондування є актуальними.

Загальна характеристика структури й змісту роботи.

Відповідно до поставленої мети у двох перших розділах дисертації здобувач обґрунтовує і формулює напрямки дослідження, завдання та програму дослідження.

Розділи 3 - 6 дисертації присвячено розробленню статистичних моделей опису структури спектральних даних у термінах масштабних інваріантів розподілів та фрактальних розмірностей спектральних відбиттів, методів оброблення та інтерпретації результатів гіперспектрального геомоніторингу.

При реалізації обчислювальних методів у розділах 4, 5 (і у додатках до них) автор вибирає найбільш швидкодіючі алгоритми, які можуть бути використані для реалізації в бортових комп'ютерах для організації часткової обробки гіперспектральних даних на борту КС, відсіву «фонові» інформації та організації космічного геомоніторингу адаптивного типу.

У розділах 6, 7 розглянуті питання організації раціонального управління геомоніторингом з літальних апаратів (ЛА).

У вступі міститься обґрунтування актуальності теми дисертаційного дослідження, вказано на зв'язок роботи з науковими програмами, темами, визначено мету і завдання роботи, методи дослідження, сформульовано наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, відзначено особистий внесок здобувача, а також вказуються дані про апробацію та публікації результатів дисертації. Серед методів дослідження слід відзначити нове застосування абстрактно-алгебраїчних методів теорії груп Лі для визначення масштабно-інваріантних симетрій розподілу спектрального відбиття світлового потоку.

У першому розділі здійснено аналіз досліджень, виконаних вченими та фахівцями у галузі гіперспектрального зондування та досліджень фрактальних (мультифрактальних) методів сегментації даних ДЗЗ. На основі проведеного аналізу сформульовано математичну постановку задачі сегментації даних ГДЗ у

термінах масштабних інваріантів розподілів та фрактальних розмірностей спектральних відбиттів. Аналіз досліджень з використання джерел візуальної інформації для завдань навігації та високоточного управління аерокосмічними системами дозволяє здобувачеві зробити висновок про те, що на сьогодні перспективним є створення систем адаптивного гіперспектрального геомоніторингу. На основі проведеного аналізу сформульовано завдання подальшого дослідження.

У другому розділі як і належить це робити згідно вимог до оформлення дисертаційної роботи, обґрунтовується вибір напрямку досліджень, викладається загальна методика проведення дисертаційного дослідження, наводяться методи розв'язання задач та їх порівняльні оцінки. Другий розділ присвячено, таким чином, побудові програми дослідження за напрямками.

Відзначено, що моделі, засновані на густині розподілу яскравості та відбиттів за законом Гауса призвели до створення різних варіантів порогових методів сегментації даних ДЗЗ. Однак у спектральних відбиттях рослинних покривів автор виявляє степеневі закони розподілів. Здобувач вказує на принципову відмінність нормального закону розподілу від степеневого, яка полягає у швидкості спадання густини ймовірності із зростанням спектрального відбиття. Зазначає, що степеневі розподіли характеризують складну нелінійну структуру об'єктів, для дослідження яких (сегментації та інтерпретації) не можна обмежуватися розглядом спектральних даних в одному або навіть декількох каналів гіперспектрометра, а потрібно розглядати широкий спектральний діапазон.

Програма дослідження полягає в розробленні трьох базових моделей: неперервно-групової, фрактальної та мультифрактальної. Обчислювальні методи виводяться базуються на структурній і параметричній ідентифікації моделей за експериментальними даними.

У цьому розділі викладені короткі відомості з визначення неперервності груп сіметрії та кратних інваріантів, методи аналізу фрактальних структур з дробовими розмірностями Хаусдорфа та Мінковського.

У третьому розділі проведено аналіз частотних розподілів спектральних відбиттів рослинних покривів на територіях родовищ вуглеводнів та підземного газового сховища. Розглянуто методику визначення функцій розподілу та побудови кривих розподілів спектрів відбиттів. Зроблено висновок про те, що ідентифікації типу розподілів за гістограмами перешкоджає статистичний шум. Для використання статистичних характеристик оптичних властивостей рослинних покривів як інформативних ознак їх стану необхідно провести розробку спеціальних методів структурної та параметричної ідентифікації степеневих розподілів за спектральними даними.

У четвертому розділі виводиться обчислювальний метод для визначення функції густини розподілу спектрального відбиття світлового потоку за даними гіперспектрального зондування. Функція густини розподілу ймовірності визначена тільки для безперервних значень, а експериментальні дані завжди дискретні. Для коректного обчислення функції густини розподілу ймовірності спектральних відбиттів автор вводить до розгляду додаткову функцію - кумулятивну. Метод заснований на обчисленні кумулятивної функції та на її властивостях: 1) функція визначена як для неперервних значень, так і для дискретних; 2) якщо шукана функція густини розподілу має степеневий вигляд, то кумулятивна функція також матиме степеневий вигляд, а показник її степеня на одиницю відрізняється від показника шуканої функції густини розподілу ймовірності.

У цьому розділі методами теорії груп Лі визначається група симетрії розподілів і вказується метод для визначення інваріантів різних порядків. Надалі автор досліджує застосування тільки кратних подвійних інваріантів (КПІ) як індикаторних ознак сегментації і класифікації даних у прикладних задачах гіперспектрального зондування. Результати цього розділу дисертації достатньо математично обґрунтовані, а верифікація методів проведена на великій експериментальній базі польових досліджень, обчислювальні процедури методів наведені в додатках. За результатами цього розділу можна

стверджувати, що здобувачем (вперше) розроблена і обґрунтована теорія сегментації даних на основі масштабних інваріантів степеневих розподілів спектральних відбиттів. Тут можна обґрунтовано підтримати думку автора і більшості фахівців з цифрового оброблення зображень про те, що універсальних методів сегментації зображень не існує, і клас методів, заснованих на масштабних інваріантах степеневих розподілів, вигідно доповнює перелік методів сегментації. Слід також зазначити, що багато природних систем з степеневими частотними розподілами можна віднести до класу таких, що самоорганізуються. Використовуючи метод ідентифікації степеневих розподілів, здобувач вперше встановив степеневий вигляд розподілів спектральних відбиттів листя та листяних покривів, що дозволяє досліджувати процеси самоорганізації рослин під впливом факторів середовища.

У п'ятому розділі Розвиваються методи дистанційних досліджень гіперспектральних відбиттів світлового потоку, засновані на адаптації методів фрактального аналізу. Виводяться обчислювальні методи визначення локальних фрактальних розмірностей гіперспектральних відбиттів, знаходження поля локальних фрактальних розмірностей та середнього поля розмірностей. Демонструється застосування методів для визначення меж покладів природного газу і нафти по властивості гомогенних рослинних покривів змінювати фрактальну розмірність гіперспектральних відбиттів під впливом вуглеводню. Слід зазначити, що фрактальна розмірність є обчислюваним масштабним інваріантом і математична постановка задачі сегментації даних ГДЗ у термінах масштабних інваріантів розподілів спектральних інтенсивностей та фрактальних розмірностей спектрів, що викладена у першому розділі, залишається дієвою.

У шостому розділі здійснено синтез мультифрактальної моделі гіперспектральних відбиттів світлового потоку. Встановлено, що для повного опису складної структури гіперспектральних відбиттів об'єкта, що складається з суміші матеріалів, одного параметра фрактальної розмірності

недостатньо, і використано множину фракталів з різними розмірностями для локального опису. Повний опис структури гіперспектральних відбиттів проводиться з використанням мультифрактальної моделі, яка ідентифікується на даних експерименту.

У ході досліджень виявлено та експериментально підтверджено ефект мультифрактальної структури гіперспектральних відбиттів світлового потоку рослинами. Побудова спектру сингулярностей мультифрактала дозволяє оцінювати стан рослин за варіабельністю значень показника Липшиця-Гельдера. Наведено приклади змін показника варіабельності під впливом покладів нафти.

У сьомому розділі методом статистичного моделювання демонструється можливість розширення переліку розв'язків тематичних задач вибором раціональних параметрів орбіти односупутниковою системою гіперспектрального дистанційного зондування. Важливою характеристикою ефективності моніторингової КС є можливість здійснення спостережень за об'єктами при коротких розривах у тривалості моніторингу.

Здійснена статистична оцінка розривів у спостереженнях за об'єктами, розташованими на території України, оптико-електронною системою (ОЕС) з космічного апарата (КА), який перебуває на сонячно-синхронній орбіті. Дослідження допускають, що система керування платформою КА реалізує режим наведення на об'єкти зйомки. Моделюванням визначено, що середній час розривів у спостереженнях становить 2,3 доби. Зроблено висновок про те, що односупутникова моніторингова КС гіперспектрального ДЗ у режимі перенацілювання буде ефективною для використання в оперативних тематичних природоохоронних і ресурсних задачах.

У восьмому розділі обґрунтовано концепцію та методи організації аерокосмічного моніторингу адаптивного типу для пошукових завдань визначення об'єктів та аномальних процесів; розроблено модель синтезу керуючих впливів для стабілізації руху безпілотних ЛА (БПЛА) гіперспектрального зондування за наземними орієнтирами.

Під адаптивними системами гіперспектрального геомоніторингу здобувач розуміє системи спостереження з ЛА, які для досягнення поставленої мети у залежності від результатів спостережень автоматично змінюють алгоритм свого функціонування: автоматично наводять апаратуру на об'єкти інтересу та здійснюють перемикання на режим детального зондування. Реалізація адаптивного управління системою космічного моніторингу передбачає автоматичну класифікацію об'єктів інтересу на борту КА, визначення їх координат та перенацілювання апаратури зондування на об'єкти інтересу. Передумовою для адаптивного моніторингу є розвинуті здобувачем комп'ютерні реалізації методів класифікації та сучасні методи наведення оптичних систем на об'єкти зйомки шляхом розвороту корпусу КА в напрямку оптичної осі на ціль.

Обґрунтовано, що для проведення гіперспектрального моніторингу протяжних об'єктів, малих за площею територій та в умовах щільної хмарності більш рентабельним, ніж космічний, є гіперспектральний моніторинг з БПЛА. Здобувачем розвинуто основи методів синтезу керуючих впливів для автоматичного управління та стабілізації БПЛА за наземними орієнтирами, проведено синтез алгоритмів керування для систем з візуальними зворотними зв'язками та їх комп'ютерне моделювання.

Висновки є узагальненням основних результатів, отриманих автором в рамках дослідження, які сформульовані досить аргументовано.

У додатках А, Б, В, Д, Е, З наведені приклади оброблення результатів експериментів; реалізація обчислювальних методів у термінах комп'ютерної математики системи MatCad; методика сегментації даних ГДЗ за фрактальними розмірностями і приклади застосування методики для визначення меж покладів вуглеводнів; результати моделювання моніторингу об'єктів на території України з КА; результати моделювання управління рухомими об'єктами за реперними орієнтирами, а також акти впроваджень, використання результатів дисертаційного дослідження та випробувань.

Наукова новизна одержаних результатів у широкому сенсі полягає:

1) у розробленні та розвитку статистичної теорії сегментації, класифікації та

інтерпретації даних гіперспектрального зондування на основі степеневих розподілів і фрактальних структур; 2) у розробленні та розвитку методів управління гіперспектральним геомоніторингом.

Проведені дослідження дозволили отримати такі основні наукові результати.

Уперше:

1. Розвинуто теорію сегментації та класифікації даних гіперспектрального дистанційного зондування, засновану на інваріантах степеневих розподілів і фрактальних властивостях спектрів відбиттів.

2. Розроблено на основі апарату теорії груп Лі неперервно-групову модель симетрії степеневих розподілів спектральних відбиттів, а також методи обчислення інваріантів, зокрема метод кратного подвійного інваріанта (КПІ) симетрії розподілів, обґрунтовано його застосування як індикаторної ознаки для автоматизованої сегментації та класифікації даних.

3. Для аналізу та інтерпретації даних гіперспектрального зондування застосовано методи фрактального аналізу.

3. Виявлено та експериментально підтверджено ефект мультифрактальної структури гіперспектральних відбиттів світлового потоку рослинами.

4. Розроблено мультифрактальну модель гіперспектральних відбиттів рослинних покривів і досліджено фітоіндикаційний зв'язок варіабельності показника Ліпшиця-Гельдера з природними та техногенними аномаліями, викликаними покладами природного газу та нафти.

5. Розроблено статистичні моделі для опису структури гіперспектральних даних та методи управління моніторингом для підвищення ефективності застосування гіперспектральних технологій при розв'язанні природоохоронних та ресурсних задач.

Удосконалено та адаптовано для гіперспектрального зондування:

1. Метод ідентифікації степеневих розподілів спектральних відбиттів на основі побудови кумулятивної функції розподілу та ранг-частотного методу.

2. Клітинний метод обчислень фрактальної розмірності та розмірності Мінковського для визначень локальної структури спектрів, процедура побудови полів фрактальних розмірностей спектральних відбиттів територій і сегментації даних.

3. Мультифрактальний аналіз для гіперспектральних відбиттів, метод обчислень функції фрактальних розмірностей від показника сингулярностей Ліпшиця-Гельдера.

Отримали подальший розвиток методи оброблення гіперспектральної інформації на борту КА та ідентифікації об'єктів для організації адаптивного управління гіперспектральним моніторингом, а також методи стабілізації повітряних зондувальних засобів за реперними орієнтирами.

Обґрунтованість нових наукових результатів визначається їх відповідністю основним принципам та коректному використанню таких методів: 1) статистичні методи (для опису розподілів гіперспектральних даних) 2) методи теорії груп Лі (для ідентифікації симетрій та інваріантів спектральних відбиттів); 3) фрактальний і мультифрактальний аналіз (для визначення структури спектральних відбиттів і формування індикаторних ознак стану природних об'єктів); 4) методи синтезу керуючих впливів рухливими об'єктами за відхиленням і метод функцій Ляпунова (для управління та стабілізації режимами ГДЗ).

Теоретичні результати підтверджено математичним моделюванням, перевіркою одержаних результатів при їх верифікації. Автор дисертації проявив ґрунтовне знання проблеми, опрацював великий обсяг наукової літератури, виконав ряд теоретичних досліджень, зробив обґрунтовані висновки у кожному розділі.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробленні нових методик, які можуть бути використані для автоматизації процесів збору, оброблення та інтерпретації гіперспектральних даних; у підвищенні

ефективності застосування гіперспектральних технологій аерокосмічного геомоніторингу при розв'язанні природоохоронних та природоресурсних завдань. Зокрема, для дослідження антропогенних змін територій, автоматизованої класифікації урболандшафтів, визначення аномалій природного та техногенного походження та визначення ймовірних меж покладів нафти або газу за фітоіндикаційними властивостями рослин.

Повнота викладення результатів в опублікованих працях. Усі наукові положення та результати, що подано до захисту, опубліковані у необхідному обсязі у виданнях, що задовольняють вимогам Департаменту атестації кадрів МОН України до опублікування результатів дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук та пройшли апробацію.

Результати опубліковано в 37 роботах, з яких 23 основні наукові праці, що задовольняють вимогам Департаменту атестації кадрів МОН України (11 - виконано одноосібно, 1 - патент, 22 - у наукових періодичних виданнях України до травня 1997 року та у фахових виданнях з яких: 12 - перевидано у періодичних виданнях США, 12 - включено у наукометричну базу Scopus); 2 публікації - в інших виданнях України; 12 - у збірниках матеріалів і тез доповідей вітчизняних, закордонних конференцій та симпозіуму.

Зауваження щодо змісту та оформлення дисертаційної роботи та автореферату такі:

1. У Вступі до дисертації на стор. 11 та у Загальній характеристиці роботи на стор. 1 в авторефераті при обґрунтуванні актуальності теми здобувач обмежується наведенням прізвищ **тільки трьох вчених** – лідерів відповідних наукових шкіл за тематикою дисертаційного дослідження: директора інституту, де виконана дисертаційна робота; завідувача відділу, де працює здобувач, та одного з офіційних опонентів, - **що виглядає досить тенденційно**, не говорячи вже про відсутність на тлі цього згадки про інших

українських та зарубіжних вчених та відповідні наукові школи за тематикою дисертації.

2. Ставлячи за мету дисертаційного дослідження розроблення нових методів та математичних моделей обробки результатів **детального аерокосмічного гіперспектрального супутникового геомоніторингу**, у підрозділі 4.7 дисертації здобувач обмежується (на основі даних гіперспектральних зображень **тільки одного знімка від 14.09.2002 р**, отриманого за допомогою гіперспектрального сенсора «Hiperion» КС EO-1 **не детального, а середнього просторового (30 м) та спектрального (10 нм) розрізнення**, - зрозуміло через доступність гіперспектральних знімків вищого розрізнення на комерційній основі), **верифікацією тільки одного розробленого у дисертації методу** на основі кратного подвійного інваріанта (КПІ) симетрії розподілів спектрів відбиття у формі розробленої здобувачем на основі КПІ процедури автоматизованої сегментації та класифікації об'єктів урболандшафту м. Києва.

3. У підрозділі 4.6 при верифікації неперевно-групової моделі та методу КПІ для задачі пошуку вуглеводнів на стор. 155 сказано, що гіперспектральна дистанційна зйомка пшениці була проведена спекторадіометром ASD FieldSpec® 3FR у діапазоні електромагнітного випромінювання 350-2500 нм зі спектральним розрізненням 1 нм, проекція пікселя на поверхню зйомки склала 0,15 м. Однак насправді цей процес не можна назвати гіперспектральною зйомкою, це просто наземна польова спектрометрія, хай і з високим спектральним розрізненням, але спекторадіометр ASD FieldSpec® 3FR дає спектрограми у точках вимірювання, а не спектрограми пікселів гіперспектрального зображення. **Таким чином, з проведенням такої польової спектрометрії реалізувалось тільки наближене наземне моделювання виконання схеми супутникового гіперспектрального зондування.** До того ж, кожен піксель модельованого гіперспектрального

зображення формувалася на основі вимірювань у 4-ох близьких точках в околі кожної з 16 областей віддалених приблизно на 100 м одна від однієї, розміщених вздовж одного 1,5 км маршруту спектрометра по прямій. Будувалася спектрометрична матриця, що моделювала кадр, а гіперспектральний куб не формувалася. До того ж, вимірювання у кожній з 16 областей виконувалися у різний час і не могли бути синхронізованими.

4. У підрозділі 4.6.2 на графіках на рис. 4.15 – 4.19 мітки вздовж осей абсцис і ординат (де як) мають незрозумілу назву «Intensive – інтенсивний», а мали б називатися «**Reflectance – відбивна здатність, коефіцієнт відбиття**».

Взагалі, здобувачеві не доцільно було б вживати термін «(спектральна) інтенсивність відбиття», починаючи з формулювання мети і задач дослідження і далі – десятки разів у тексті дисертації, завжди розуміючи під ним (як зауважує сам здобувач) терміни: «**коефіцієнт спектральної яскравості (КСЯ)**», «**коефіцієнт спектрального відбиття (КСВ (КСО – рос.))**». Це пояснюється тим, що величини КСЯ та КСВ, значення яких належать інтервалу $[0, 1]$, характеризують не спектральну інтенсивність, а спектральне альbedo. Доцільно було б використати загальноприйнятні терміни: «**спектральне відбиття**» («**спектральное отражение**» - рос.) або «**спектральна відбивна здатність**» («**спектральная отражательная способность**» - рос.)

У підрозділі 6.1 на стор. 209 здобувач зауважує: «Учитывая то, что термин “спектр”, в данном разделе диссертации “перегружен”, применительно к спектру электромагнитных волн светового потока применяется термин “гиперспектр”.» Таким чином, тим не менш, здобувач запроваджує ще один ексклюзивний термін «гіперспектр», який не є загальноприйнятним.

5. У підрозділі 4.7 при проведенні автоматизованої класифікації об'єктів (як вказано у зауваженні 2, **тільки за одним знімком**) за методом КПІ на прикладі урболаншафту м. Києва за даними гіперспектрального сенсора

«Hiperion» КС ЕО-1 не здійснене порівняння результатів класифікації методом КПІ з даними наземних спостережень, принаймні, за підрахунком площ отриманих класів урболандшафту у районі Національного виставкового центру.

На рис. 4.29 на стор. 171 дисертації і на рис. 11 на стор 19 в авторефераті видно тільки результат класифікації урболандшафту на 4 еталонні класи, а те, як контури отриманих класів накладаються на контури реальних об'єктів урболандшафту, доцільно було б показати, використавши 2 векторних шари: підстильний – шар реальних об'єктів урболандшафту та контрольний шар класів урболандшафту, отриманих за процедурою на основі методу КПІ.

Не порівняно результати класифікації, отримані методом на основі КПІ з результатами класифікації існуючими методами порогової сегментації.

Не оцінена точність методу класифікації об'єктів урболандшафту на основі запропонованої процедури КПІ, наприклад, найпростішим методом, сформувавши на відомому еталоні дві вибірки: навчальну – для навчання процедури, та тестову - для оцінки точності класифікації.

6. У виразі у підрозділі 4.7 на стор. 167-168: «Поэтому возникает необходимость проведения автоматизированного спектрального анализа, основными методами которого являются классификация и обнаружение объектов интереса.» -

під тим, що здобувач називає терміном «спектральний аналіз», слід, очевидно, розуміти оброблення гіперспектральних даних відбиттів (КСЯ чи КСВ) – те, що здобувач реально багато робить у дисертаційній роботі.

Справа у тому, що поняття «спектральний аналіз» закріплене за процесами отримання спектрів випромінювання чи відбиття світлового потоку за допомогою спеціальних приладів – спектрометрів (спектрорадіометрів, аналізаторів спектру) або вживається стосовно програмно-алгоритмічної реалізації деякого функціонального перетворення над часовими процесами і часовими та іншого типу рядами даних (наприклад:

перетворення Фур'є, перетворення вейвлет і, відповідно, Фур'є- та вейвлет-спектри).

7. На жаль, розділ 7 дисертації не містить алгоритмів визначення оптимальних параметрів орбіт КС ДЗЗ, а у ньому є тільки посилання на відповідні публікації автора і реалізацію алгоритмів на кластерній обчислювальній структурі в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України.

Вказані зауваження не впливають на високу загальну позитивну оцінку роботи, яка виконана на достатньо високому науковому рівні та має практичні застосування.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота М.В. Артюшенка є завершеним науковим дослідженням, у ході якого комплексно вирішена важлива наукова проблема оброблення та інтерпретації даних детального аерокосмічного гіперспектрального геомоніторингу і управління моніторингом шляхом розроблення статистичних моделей структури гіперспектральних даних, методів сегментації та класифікації спектральних відбиттів на основі степеневих розподілів та фрактальних структур, методів синтезу адаптивних керуючих впливів для автоматичного управління та стабілізації аерокосмічного носія за наземними орієнтирами.

Реалізація розроблених моделей та методів дозволяє забезпечити підвищення ефективності технологій гіперспектрального дистанційного зондування при розв'язанні природоохоронних та ресурсних задач.

Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.07.12 – дистанційні аерокосмічні дослідження (технічні науки), оскільки задовольняє формулі спеціальності та стосується, принаймні, шести напрямків наукових досліджень, визначених у паспорті.

Дисертаційна робота оформлена у відповідності з вимогами до докторських дисертацій. Автореферат та опубліковані праці здобувача за темою дисертації з достатньою повнотою відбивають її зміст.

Вважаю, що за актуальністю теми, науковою новизною, ступенем обґрунтованості наукових результатів, практичним значенням, повнотою викладення матеріалу у працях здобувача, оформленням дисертаційна робота М.В. Артюшенка «Методи фрактального аналізу даних і управління аерокосмічним гіперспектральним геомоніторингом» повністю відповідає чинним вимогам п.п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» (Постанова Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 р.) щодо докторських дисертацій, а здобувач, Артюшенко Михайло Віталійович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.07.12 – дистанційні аерокосмічні дослідження.

Офіційний опонент:

Головний науковий співробітник
Інституту космічних досліджень
Національної академії наук України та
Державного космічного агентства України
доктор технічних наук
старший науковий співробітник

Я.І. Зелик

Підпис Зелика Яреми Ігоровича засвідчую:
Вчений секретар Інституту космічних досліджень
НАН України та ДКА України, к.т.н.



О.О. Ніжніченко