

**ВІДГУК**  
офіційного опонента, доктора технічних наук, професора  
Бутенко Ольги Станіславівни  
на дисертацію Артюшенка Михайла Віталійовича

«Методи фрактального аналізу даних і управління аерокосмічним гіперспектральним геомоніторингом», поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.07.12 – дистанційні аерокосмічні дослідження

**Актуальність теми дисертації.** У сучасному світі для вирішення широкого кола природоохоронних та ресурсних задач все частіше використовуються високоточні дані дистанційних аерокосмічних досліджень. При аналізі і обробленні таких даних виникають деякі труднощі, що пов'язані зі збільшенням часу їхньої обробки, та як наслідок, необхідністю оперативного відсіву надлишкових даних при проведенні експрес-діагностики на борту літального апарату, управлінням процесу моніторингу аналізованих ділянок земної поверхні та ін.

Перш за все, це пов'язано з обробленням даних, які були отримані з аero- та космічних носіїв, обладнаних гіперспектрометрами. Аналіз спектральних даних, що були сформовані в сотнях каналів гіперспектрометрів в результаті дистанційного зондування, пов'язаний з цілим рядом труднощів, обумовлених з одного боку значними обсягами гіперспектральних даних, які представлені у вигляді гіперспектральних зображень (ГСЗ) земної поверхні та мають бути оброблені, а з другого боку, пошуком оптимальних методів організації великої кількості інформації (яка часто є дубльованою і потребує первинної класифікації і відсіву надлишкових даних) та ефективного управління пошукового і гіперспектрального моніторингу.

У результаті виникає протиріччя між необхідністю оброблення й інтерпретації великої кількості інформації для проведення якісної тематичної обробки та складністю, пов'язаною зі специфікою її формування, передачі і зберігання для прийняття оперативних рішень та ефективного визначення зони спостережень і відповідних реперних точок безпосередньо на борту літального апарату при управлінні гіперспектральним моніторингом.

Для вирішення даного протиріччя існує значна кількість методів, які були розроблені як вітчизняними, так і закордонними вченими. Однак, більшість з цих методів направлені на чітке розділення на вирішення задач, які пов'язані з обробкою і аналізом даних на наземних спецкомплексах, та окремо на задачі, що пов'язані з управлінням моніторингом і на задачі експрес-оброблення на борту літального апарату.

Наріцайл  
30.09.2015  


Таким чином, дисертаційна робота Артюшенка М.В., що направлена на підвищення ефективності застосування гіперспектральних технологій при вирішенні природоохоронних та ресурсних задач за рахунок комплексного підходу до розроблення статистичних моделей для опису структури спектральних даних, методів оброблення та інтерпретації результатів аерокосмічного гіперспектрального геомоніторингу та методів управління моніторингом, є актуальною.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень.** Дисертант Артюшенко М.В. в своїй роботі представив сукупність методів оброблення та інтерпретації гіперспектральних даних при розв'язанні природоресурсних та природоохоронних завдань. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, наведених у дисертації, обумовлена:

- верифікацією даних гіперспектрального зондування на тестових полігонах;
- даними чисельних експериментів з обробки модельних та реальних даних і результатами експериментальних досліджень;
- результатами статистичного аналізу отриманих даних;
- результатами впроваджень результатів дисертаційної роботи.

**Вірогідність** виконаних автором досліджень підтверджена адекватністю використаних у роботі й розроблених автором математичних моделей та використанням сучасних засобів і методик проведення досліджень. Положення теорії ґрунтуються на відомих досягненнях фундаментальних і прикладних наукових дисциплін. У дисертаційній роботі автор грамотно використовує математичний апарат та сучасні методи обробки даних дистанційних аерокосмічних досліджень. Робота виконана у відповідності з планами наукових досліджень Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України, Інституту космічних досліджень НАН України та ДКА України. Результати досліджень використано й впроваджено, що підтверджено відповідними актами реалізації.

**Достовірність та новизна отриманих результатів.** Особливістю даної роботи є те, що в роботі застосовано комплексний підхід до аналізу інформаційних технологій гіперспектрального геомоніторингу, як єдиного процесу оброблення даних на борту ЛА та автоматичного управління режимами зондування. Крім того, автором роботи виявлено та експериментально підтверджено ефект мультифрактальної структури

гіперспектральних відбиттів світлового потоку рослинами.

Наукова новизна розглянутої дисертаційної роботи полягає в здійснені постановки та формалізації задачі сегментації і класифікації даних гіперспектрального зондування природних об'єктів за інваріантами фрактальної структури спектрів і степеневих розподілів. Слід зазначити, що для задач тематичної обробки гіперспектральних даних це було здійснено вперше.

На мій погляд, найбільш цікавий підхід автор використовує в 4-му науковому положенні, що на основі апарату теорії груп Лі розроблено неперервно-групову модель симетрії степеневих розподілів спектральних відбиттів і методи ідентифікації розподілів, а саме: розроблено новий метод кратного подвійного інваріанта (КП) симетрії розподілів з обґрунтуванням його застосування як індикаторної ознаки для автоматизованої сегментації та класифікації даних; на основі побудови кумулятивної функції розподілу та ранг-частотного методу розвинений метод ідентифікації степеневих розподілів та метод, застосований для обчислень КП за даними гіперспектрального зондування.

Розроблення, верифікація на тестових полігонах і застосування методів теорії фракталів для аналізу та інтерпретації даних гіперспектрального зондування представлені в 5-му науковому положенні, а саме: набули подальшого розвитку клітинний метод обчислень фрактальної розмірності та розмірності Мінковського для визначення локальної структури спектрів, побудова полів фрактальних розмірностей спектральних відбиттів територій і сегментації даних ГДЗ за критерієм локальної розмірності поля; розроблено метод оцінок фрактальних розмірностей спектрів для проведення експрес-оброблення даних у процесі зондування.

Розроблено мультифрактальну модель гіперспектральних відбиттів рослинних покривів і дослідження фітоіндикаційного зв'язку варіабельності показника Ліпшиця-Гельдера з природними та техногенними аномаліями, викликаними концентрацією природного газу та нафти. Також, новий підхід до розроблення мультифрактальних методів досліджень природних об'єктів за спектрами відбиттів за рахунок подальшого розвитку методу обчислень розмірностей Ренеї за гіперспектральними характеристиками об'єктів зондування та адаптації методу обчислень функції фрактальних розмірностей в залежності від показника сингулярностей Ліпшиця-Гельдера для проведення мультифрактального аналізу гіперспектральних відбиттів, розглянуто в 6-му та 7-му положеннях про наукову новизну відповідно.

Крім того, не менш цікавими є результати використання автором дисертації апарату теорії груп Лі та мультифракталів для визначення

фрактальної розмірності для локалізації зон досліджень з основним пріоритетом (при визначенні реперних точок) на відміну від класичних статистичних методів обробки даних аерокосмічного моніторингу.

Додатково хотілось би зазначити позитивний результат від використання і подальшого розвитку відомих методів для їх адаптації до аналізу і оброблення гіперспектральних зображень при моделюванні та вирішенні тематичних задач.

Наукова новизна останнього наукового положення – набули подальшого розвитку методи оброблення спектральної інформації на борту КА та ідентифікації об'єктів для організації адаптивного управління гіперспектральним моніторингом, а також методи стабілізації повітряних засобів ГДЗ за реперними орієнтирами – є в тому, що на відміну від існуючих методів експрес-оброблення даних на борту літального апарату, запропонований підхід дозволяє оптимізувати процес вибору пріоритетних зон досліджень для детального зондування локальних територій та підвищити ефективність використання гіперспектральних технологій.

**Практична значимість** отриманих результатів полягає в розробленні методів, які є основою для автоматизації процесів збору, аналізу й оброблення та інтерпретації даних гіперспектральних зображень при розв'язанні природоресурсних та природоохоронних завдань, тобто процедури автоматизованої сегментації та класифікації різноманітних об'єктів, автоматизації процесу визначення комплексної оцінки антропогенних змін територій, фрактальної спектрометричної фітоіндикації виявлення аномалій та ін.

Використання представлених в роботі методів і моделей дозволяє підвищити ефективність, тобто, підвищити оперативність та точність тематичної обробки і забезпечити зниження вимог до інформаційних ресурсів при використанні гіперспектральних технологій аерокосмічного геомоніторингу за рахунок експрес-оброблення на борту ЛА (для оптимізації процесу моніторингу та відсіву надлишкових даних).

**Дисертація написана зрозумілою мовою, з використанням прийнятої термінології, оформлення дисертації зауважень не викликає.**

**Зміст дисертації** достатньою мірою відбитий у публікаціях автора, публікувався й обговорювався неодноразово на наукових конференціях та отримав схвалення провідних спеціалістів.

Основні результати опубліковано в 37 роботах, з яких 23 наукові праці,

що задовільняють вимогам Департаменту атестації кадрів МОН України до опублікування результатів дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук (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.

**Однак, до змісту дисертації є наступні зауваження:**

1. Адекватність розроблених автором методів і моделей були оцінені за допомогою якісних характеристик, однак в роботі відсутні їх кількісні оцінки.
2. В роботі введені такі поняття, як “комплексне підвищення ефективності...” та “ефективність ГСЗ”, однак не вказані критерії їх оцінювання.
3. На рис. 8.2 в дисертаційній роботі наведено схему “Структурная схема реализации принципа визуальной обратной связи при управлении БПЛА гиперспектрального зондирования”, однак на ній не показано, яке місце займають методи, розроблені автором і представлені в 4, 5, 6 розділах роботи.
4. В тексті дисертації не чітко описано порядок визначення реперних орієнтирів і сама методика проведення експрес-оброблення для даних ГДЗ на борту ЛА.
5. В роботі не вказано час визначення кратного подвійного інваріанті симетрії розподілів та час, необхідний для обчислення фрактальної розмірності за рахунок використання методик, запропонованих автором.

Наведені зауваження в цілому не змінюють загального позитивного враження про дисертаційну роботу, що виконана на актуальну тему, має наукову новизну, практичну цінність, є самостійною та закінченою науково-дослідною роботою.

Таким чином, мета, яка була поставлена в дисертації досягнута, а наукові задачі виконані.

Робота виконана на високому науковому рівні, характеризується теоретичною й практичною значимістю, відповідає паспорту спеціальності 05.07.12 – дистанційні аерокосмічні дослідження. За змістом, обсягом,

апробаціями, публікаціями та іншими показниками дисертація відповідає чинним вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» (Постанова Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 р.) щодо докторських дисертацій. Автореферат дисертації за змістом відповідає дисертації.

Вважаю, що автор роботи, АРТЮШЕНКО М.В., заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.07.12 – дистанційні аерокосмічні дослідження.

### Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри виробництва радіо-  
електронних систем літальних апаратів  
Національного аерокосмічного університету  
ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»

Бутенко О.С.

«22» 09 2015 р.

Підпис Бутенко О.С. засвідчує,  
вчений секретар Національного  
аерокосмічного університету  
ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»  
кандидат технічних наук, професор

Цепляєва Т.П.

