

Голові спеціалізованої вченої ради
ДФ 26.162.001 Держаної установи
“Науковий центр аерокосмічних
досліджень Землі Інституту геологічних
наук Національної академії наук України”

вул. О. Гончара 55-б, 1, м. Київ, 01054

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук,
професора ФРИЗА СЕРГІЯ ПЕТРОВИЧА на дисертацію
СВІДЕНЮКА МИХАЙЛА ОЛЕГОВИЧА на тему:
“Методика комплексування даних радіолокаційного та оптичного знімання
для визначення фізичних параметрів земної поверхні”,
яку представлено на здобуття наукового ступеня доктора філософії
з галузі знань 17 – “Електроніка та телекомунікації”
за спеціальністю 172 – “Телекомунікації та радіотехніка”

Актуальність теми дисертації

України – космічна держава, яка здатна самостійно розробляти та виготовляти сучасні космічні апарати (КА), ракети-носії та наземні комплекси. Так, у січні 2022 року до 30-річчя незалежності України планується запуск вітчизняного КА дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) «Січ-2-30», який призначений для виконання широко кола важливих завдань. На його борту встановлюється багатоспектральний знімальний пристрій зі смугою захоплення 46,6 км та роздільною здатністю 7,8 м. Для прийому спеціальної інформації від вітчизняних та іноземних КА ДЗЗ у Національному центрі управління та випробувань космічних засобів Державного космічного агентства України (ДКАУ) у місті Дунаївці створені та експлуатуються сучасні наземні станції

ПС-8.2М та УНСП-М. Крім того, на сьогоднішній день вітчизняні вчені мають доступ до багатьох ресурсів іноземних космічних систем ДЗЗ і активно цим користуються.

В цих умовах, як свідчить практичний досвід обробки даних ДЗЗ, досить часто виникають проблеми з отриманням достовірного та інформативного зображення земної поверхні взагалі, або фізичного параметра, що досліджується, зокрема. Причинами цього можуть слугувати особливості розсіювання сигналу електромагнітної хвилі, в залежності від умов середовища підстильної поверхні; природні особливості розпізнавання об'єкта дослідження на аерокосмічному зображенні; додаткові перешкоди або шумові компоненти сигналів каналів передачі даних. Ефективним підходом до підвищення інформативності аерокосмічних зображень, є комплексування інформації різносенсорних даних ДЗЗ. Тим не менш, сенсори систем ДЗЗ працюють в різних ділянках спектра електромагнітних хвиль та проводять спостереження у різний час. Тому важливою задачею є створення такої методики комплексування даних ДЗЗ, яка б враховувала усі розбіжності між аерокосмічними системами. Саме на розв'язок цієї задачі спрямовано дисертаційну роботу М.О. Свіденюка. Основним змістом цього комплексування є проведення багатовимірного регресійного аналізу залежності вологості ґрунту від фізичних параметрів земної поверхні. В дисертаційній роботі, автору вдалося розробити методику, яка суттєво підвищила ефективність обчислення вологості ґрунту, про що свідчить оцінка точності розробленої багатовимірної регресійної моделі. Отже, тематик дисертаційної роботи є *актуальною*.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Результати дисертаційного дослідження спираються на відомі досягнення в галузі цифрової обробки даних ДЗЗ, вони не суперечать фундаментальним науковим закономірностям, відомим фактам та загальноприйнятим уявленням про

іманентні властивості цифрових аерокосмічних зображень і можливості їх обробки.

Сформульовані у роботі наукові положення та рекомендації є науково обґрунтованими, їх перевірено за допомогою чисельного моделювання та експериментально – шляхом відновлення регресійної залежності між вологістю ґрунту та фізичними параметрами земної поверхні.

Достовірність одержаних результатів

Достовірність отриманих результатів забезпечується коректним застосуванням добре апробованого математичного апарату, узгодженістю теоретичних оцінок з експериментально отриманими результатами, несуперечністю з опублікованими результатами інших авторитетних вчених в галузі обчислення фізичних параметрів земної поверхні та комплексування супутникових даних.

Наукова новизна та важливість результатів

У результаті проведених досліджень одержано нові наукові результати:

1. *Вперше* розроблено нову методику комплексування багатоспектральних оптичних та двополяризаційних радарних супутникових даних для обчислення фізичних параметрів земної поверхні, перш за все – вологості ґрунтів. На відміну від існуючих, розроблена методика використовує складну лінеаризовану багатовимірну регресійну модель з мінімізацією абсолютних відхилень, оригінальний підхід до визначення температури ґрунту в разі несинхронного оптичного і радіолокаційного знімання, та додатково враховує геометричні неоднорідності земної поверхні і локальні девіації радіолокаційного відбиття.

2. *Вперше* запропоновано нову лінеаризовану багатовимірну регресійну модель з мінімізацією абсолютних відхилень, яка на відміну від існуючих, враховує низку фізичних параметрів, таких як коефіцієнти зворотного розсіювання, діелектрична проникність, шорсткість, температура земної поверхні, параметрів рослинного покриву, та додаткових геометричних параметрів, таких як висота, нахил, експозиція та ортогональна увігнутість рельєфу, локальні

девіацій радіолокаційного сигналу та взаємна орієнтація елемента рельєфу по відношенню до сенсора.

3. *Удосконалено* відомий метод обчислення відносної діелектричної проникності земної поверхні за даними двополяризаційного радіолокаційного знімання на основі калібрування моделі ІЕМ. Метод удосконалено шляхом введення алгоритму автоматизованого обчислення шорсткості ґрунту. Також запропоновано критерії фільтрації двополяризаційних радарних зображень на основі діапазону допустимих значень діелектричної проникності та шорсткості ґрунту, який дозволяє виявляти випадки зриву моделі визначення діелектричної проникності ще до проведення розрахунків.

4. *Набув подальшого розвитку* метод визначення температури земної поверхні з використанням багатоспектральних оптичних супутникових даних знімання у видимому, ближньому та тепловому інфрачервоних діапазонах. Зокрема, застосовано перерахунок температури, одержаної дистанційно, до температури в момент радіолокаційного знімання.

Наукова новизна положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, підтверджується відсутністю аналогічних підходів у доступних до аналізу джерелах.

Аргументування та критичність оцінки запропонованих автором рішень порівняно з відомими

Метою дисертаційної роботи є підвищення точності визначення фізичних параметрів земної поверхні, перш за все – вологості ґрунту шляхом створення нової методики комплексування багатосенсорних радіолокаційних та оптичних супутникових даних.

Об'єкт дослідження – фізичні параметри земної поверхні та їх відображення на матеріалах ДЗЗ.

Автором вдало визначено предмет дослідження – процедури комплексування даних, отриманих за результатами зйомки різними типами систем ДЗЗ.

Для досягнення поставленої мети у роботі розв'язані наступні часткові наукові завдання:

1. Проведено огляд та проаналізовані доступні джерела оптичних, радіолокаційних та необхідних допоміжних даних середньої просторової розрізненості, визначені їх можливості та обмеження, розглянути наявні інформаційні продукти вищих рівнів на їх основі.

2. Проаналізовані сучасні дистанційні методи дослідження фізичних параметрів земної поверхні, а також відомі методи комплексування даних ДЗЗ.

3. Обрано фізичну модель та удосконалено метод визначення фізичних параметрів земної поверхні за радіолокаційними та оптичними дистанційними даними; при цьому особливу увагу приділено моделі та методу визначення об'ємної вологості ґрунту.

4. Розроблено методику комплексування радіолокаційних та оптичних супутникових даних для визначення фізичних параметрів земної поверхні.

5. Експериментально перевірено розроблену методику на підсупутникових завіркових даних в різних фізико-географічних регіонах України та одержано оцінки достовірності та точності визначення вологості ґрунту за її допомогою.

6. Запропоновані рекомендації щодо можливостей та сфер подальшого використання розробленої методики.

Практична значимість та важливість для галузі підтверджують розроблені алгоритми обчислення фізичних параметрів земної поверхні та комплексування матеріалів ДЗЗ. При цьому, описані в роботі методи обчислення фізичних та геометричних параметрів дозволяють отримувати тематичні карти просторового розподілу діелектричної проникності, шорсткості та температури земних покривів, а також карти вологості ґрунту. Розроблена багатовимірна регресійна модель комплексування супутникових даних забезпечує високу точність обчислення вологості ґрунту. Впровадження таких методів особливо ефективно в системах, що складаються з багатопотокової мережі передачі та обробки даних.

Рекомендується подальше впровадження результатів дисертаційних досліджень в підприємствах і установах Державної служби України з питань геодезії, картографії та кадастру та ДКАУ у ході розвитку наземного сегменту комплексування матеріалів ДЗЗ, а також у державних структурах і комерційних компаніях, які займаються обчисленнями великих масивів даних.

Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та восьми додатків, що містять сукупність результатів та наукових положень, мають внутрішню єдність і свідчить про особистий внесок автора у науку.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи вирішення завдань дослідження, представлено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, показано зв'язок роботи з науковими програмами і планами. Наведено дані про впровадження результатів, особистий внесок автора і публікації.

У *першому розділі* розглядаються існуючі супутникові системи та супутникові продукти, що дозволяють вивчати характеристики земної поверхні, моделі розсіювання радіолокаційного сигналу та методи обчислення фізичних параметрів земних покривів, а також здійснюється постановка задачі.

У *другому розділі* теоретично описано методи обчислення фізичних параметрів земної поверхні, розглянуті питання доцільності їх комплексування та оцінювання інформативності головних компонент.

У *третьому розділі* розроблено методику комплексування фізичних параметрів земної поверхні на основі багатовимірного регресійного аналізу, що складається з розроблених алгоритмів обчислення фізичних та геометричних параметрів земної поверхні з використанням супутникових даних.

У *четвертому розділі* перевірено результати обчислення вологості ґрунту на основі розробленої методики комплексування супутникових даних, з використання результатів наземних вимірювань фізичних параметрів земної поверхні. Здійснено

оцінку точності багатовимірної регресійної моделі та проведено аналіз факторних навантажень головних компонент моделі.

У *висновках* стисло сформульовано основні результати дисертаційного дослідження та наведено досягнуті значення кількісних показників оцінювання точності обчислення вологості ґрунту на основі комплексування супутникових даних.

В тексті дисертаційної роботи та публікаціях здобувача відсутні порушення академічної доброчесності.

Оцінка мови та стилю дисертації

Мова та стиль дисертації свідчать про вміння автора аргументовано формулювати думки. Всі розділи роботи мають внутрішню єдність та завершеність. Змістовне наповнення підрозділів роботи відповідає змісту визначених розділів.

Отримані підсумкові результати дисертації повністю співпадають із метою і науковими завданнями, сформульованими у вступі. В цілому дисертаційна робота сприймається як закінчена наукова праця, що містить нові наукові результати.

Підтвердження повноти викладу результатів дисертації в наукових фахових виданнях

Наукова новизна безсумнівна та достатня для дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Основні наукові результати дисертації викладено у 21 науковій праці, серед яких 5 статей у фахових науково-технічних виданнях, 2 статті у закордонних наукових виданнях держав-членів Європейського Союзу, 1 з них індексується у наукометричних базах Scopus та Web of Science Core Collection.

Результати дисертаційних досліджень доповідалися на 11 всеукраїнських і міжнародних конференціях і форумах, в тому числі 2 закордонних – Гельсінки (Фінляндія, 2018 р.) та Тбілісі, (Грузія, 2019 р.).

Дискусійні положення та зауваження щодо дисертаційного дослідження

1. Не зрозуміло потребу застосування автором при проведенні досліджень теплових супутникових даних низької розрізненості, які формуються бортовими пристроями MODIS, при доступності теплових супутникових даних середньої розрізненості, які формуються КА системи Landsat.

2. У другому розділі роботи пропонується враховувати вплив локальних девіацій радіолокаційного відбиття параметром g , що характеризує неоднорідність підстильної поверхні при зніманні в горизонтальній та вертикальній поляризації під кутом візування, спроектованого на елемент рельєфу. Цей параметр визначається виразом (2.28), при цьому не наведені опис всіх величин, що входять до цього виразу.

3. У другому розділі роботи пропонується використовувати метод одержання топографічних особливостей рельєфу на основі розділення абсолютної висоти рельєфу на кластери. При цьому не обґрунтовано, чому саме цей метод було обрано автором.

4. У третьому розділі роботи запропоновано алгоритм обчислення діелектричної проникності земних покривів, при цьому автором не обґрунтовано введення обмеження на величину діелектричної проникності ґрунту $2 \leq \epsilon \leq 45$.

5. Отримана автором у ході досліджень багатовимірною лінеаризована регресійна модель (3.2) занадто громіздка та переускладнена, але спроб з боку автора щодо її спрощення у роботі не зроблено.

6. На одержаних в підрозділі 4.4 картах вологості ґрунтів, на жаль, не нанесено точки експериментальних вимірювань та не позначено місця з найбільшими розходженнями обчисленої та експериментально визначеної вологості.

7. Автор часто вживає терміни “горизонтальна поляризація” та “вертикальна поляризація”, але при радіолокаційному зніманні враховуються обидва напрямки поляризації – як випроміненого, так і прийнятого сигналу, тобто правильно буде “горизонтально-горизонтальна поляризація”, “вертикально-горизонтальна поляризація” тощо.

Висновки

За результатами вивчення дисертації М.О. Свіденюка та опублікованих ним наукових праць за темою дисертації, можна стверджувати, що робота є завершеним кваліфікаційним науковим дослідженням. Наукові результати в повному обсязі розкривають шляхи вирішення наукової задачі комплексування даних радіолокаційного та оптичного знімання для визначення фізичних параметрів земної поверхні.

За своїм змістом та одержаними результатами, робота, незважаючи на зауваження, задовольняє вимогам пунктів 9-12 “Тимчасового порядку присудження ступеня доктора філософії” щодо дисертаційної роботи доктора філософії, а її автор – М.О. Свіденюк, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії у галузі знань 17 “Електроніка та телекомунікації” за спеціальністю 172 – “Телекомунікації та радіотехніка”.

Офіційний опонент
начальник кафедри телекомунікацій та радіотехніки
Житомирського військового інституту
ім. С. П. Корольова доктор технічних наук,
професор

С. ФРИЗ

Підпис Фриза С. засвідчую.
Начальник відділу персоналу та стройового



О. КОВАЛЬЧУК