

## РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, д.т.н., професорки Гавриленко Світлани Юріївни

на дисертаційну роботу Яловеги Владислава Анатолійовича

**«Методи обробки мультиспектральних зображень в комп'ютеризованій**

**системі на основі нейронних мереж глибокого навчання»**

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 123 – Комп'ютерна інженерія

### **1. Актуальність теми**

Однією з основних задач при проведенні дистанційного зондування Землі є надання класифікації визначеним типам географічної місцевості. Завдяки бурхливому розвитку глибоких нейронних мереж, можливості періодичного отримання та обробки великих об'ємів супутникових даних, підвищуються вимоги до якості класифікації отриманої інформації, а особливо на місцевостях, де спостереження безпосередньо спеціалістом ускладнене або неможливе. Саме тому дисертаційна робота Яловеги Владислава Анатолійовича, "Методи обробки мультиспектральних зображень в комп'ютеризованій системі на основі нейронних мереж глибокого навчання", є актуальною, особливо в умовах повномасштабного російського вторгнення. Робота спрямована на вирішення завдання підвищення якості класифікації оперативної інформації за рахунок розробки нових та удосконалення існуючих методів з використанням технології глибокого навчання.

### **2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дисертація виконувалась відповідно до наукової програми 123 «Комп'ютерна інженерія» та була впроваджена на кафедрі комп'ютерної інженерії та програмування, навчально-науковому інституту комп'ютерних наук та інформаційних технологій, НТУ «ХПІ».

Здобувач брав участь у науково-дослідній роботі «Моделі і методи обробки та захисту інформації в комп'ютерних системах» (ДР №0122U200526) в якості виконавця окремих підрозділів.

### 3. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Робота Яловеги В.А. є завершеною науковою роботою, містить дві анотації (українською та англійською мовами), вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел і додатки, які підтверджують достовірність отриманих результатів та доповнюють дисертаційну роботу.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі, пов'язаної з розробкою та подальшим удосконалення методів обробки мультиспектральних зображень на основі нейронних мереж глибокого навчання в комп'ютеризованій системі.

У вступі обґрунтовано актуальність дослідження, вказано зв'язок роботи з актуальними науковими програмами і темами, відзначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, надано інформацію про особистий внесок автора та перелік публікацій за темою дисертації.

У першому розділі досліджено проблеми обробки даних дистанційного зондування земної поверхні та методи обробки мультиспектральних зображень на основі машинного навчання, сформульовано мету та завдання досліджень.

У другому розділі наведено формальну постановку задачі багатокласової класифікації мультиспектральних зображень, запропоновано модель згорткової нейронної мережі, розраховано спектральні індекси, що подаються в якості додаткових каналів у нейронну мережу. Друга частина розділу присвячена розробці методу класифікації мультиспектральних супутникових зображень у комп'ютерній системі для підвищення якості класифікації супутникових даних при проведенні дистанційного зондування.

У третьому розділі досліджено методи оптимізації глибоких нейронних мереж (методи оптимізації чорної скриньки та сучасні багаторівневі методи оптимізації). Удосконалено метод оптимізації для задачі багатокласової класифікації за рахунок запропонованої процедури структурного та параметричного налаштування, враховано наявні обчислювальні ресурси.



У четвертому розділі розглянуто 5 різних типів навчених згорткових нейронних мереж, сформовано новий мультиспектральний набір даних високої роздільної здатності, удосконалено метод класифікації супутникових зображень на основі трансферного навчання. Проведено валідацію запропонованого набору даних EuroPlanet, виконано порівняльний аналіз та показано практичне застосування на території України.

У висновках наведено основні результати та вирішені наукові задачі дослідження.

#### **4. Наукова новизна одержаних результатів**

Дисертація містить наукову новизну, з найбільш суттєвих доробок роботи можна назвати:

- вперше запропоновано метод багатокласової класифікації мультиспектральних супутникових зображень земного покриву, який відрізняється від відомих процедурою пошуку оптимального набору спектральних індексів на основі вперше запропонованої архітектури згорткової нейронної мережі в комп'ютеризованій системі, що дозволило підвищити точність класифікації об'єктів земної поверхні;

- отримав подальший розвиток метод оптимізації згорткових нейронних мереж для задачі багатокласової класифікації супутникових зображень земного покриву за рахунок запропонованої процедури проведення оптимізації етапами структурного та параметричного налаштування при заданих бюджетних обмеженнях, що з одного боку дозволило підвищити результуючі метрики оцінки якості класифікації супутникових зображень згортковою нейронною мережею, а з іншого – врахувати наявні ресурсні обмеження;

- удосконалено метод багатокласової класифікації мультиспектральних супутникових зображень земного покриву високої розрізняювальної здатності, який відрізняється від відомих трансферним навчанням згорткових нейронних мереж на основі запропонованого набору даних EuroPlanet високої роздільної здатності та пошуком оптимальної конфігурації спектральних індексів, що дозволило підвищити точність

класифікації даних дистанційного зондування земної поверхні та ефективність роботи моделі нейронної мережі й на території України.

#### **5. Достовірність отриманих результатів та висновків**

Достовірність отриманих наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечується аргументованими результатами досліджень і підтверджується співставленням з результатами експериментальних досліджень.

#### **6. Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання**

Практична цінність отриманих результатів полягає в успішному впровадженні результатів дослідження в діяльності компанії ТОВ «АМК СИСТЕМА», а також у навчальному процесі Національного технічного університету «ХП».

Серед практичних здобутків можна виділити наступні: розроблений метод та відповідне програмне забезпечення для побудови згорткової нейронної мережі у контексті задачі багатокласової класифікації мультиспектральних супутникових зображень із оптимальним набором спектральних індексів, де підвищується точність класифікації до 84,19%, а метрика F1 до 84,05%; удосконалено метод та розроблено програмне забезпечення для оптимізації згорткових нейронних мереж, в якому точність класифікації склала до 97,04%, а для визначених класів метрика F1 на тестовому наборі даних зросла до 20%; удосконалено метод та розроблене програмне забезпечення багатокласової класифікації зображень земного покриття набору даних високої роздільної здатності та з оптимальною конфігурацією спектральних індексів. Точність класифікації на тестових даних склала 93,83%, а метрика F1 зросла до 93,56%.

У підрозділі четвертого розділу здобувачем були наведені практичні приклади щодо застосування розроблених методів на території України.

#### **7. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладення наукових положень та результатів в опублікованих працях**



Дисертаційне дослідження виконано відповідно до наукових стандартів та академічної доброчесності. Отримані результати підтверджують оригінальність дослідження. У тексті присутні авторські ідеї, і не виявлено використання концепцій інших вчених без належних посилань.

Основні ідеї автора та результати дослідження були опубліковані у 24 наукових працях, серед яких 7 статей (3 статті проіндексовані в базі Scopus), 1 розділ колективної монографії та 15 матеріалів апробаційного характеру.

## **8. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи**

1. У другому розділі в підпункті 2.4.7 занадто стисло описані метрики оцінки якості моделей нейронних мереж. Було б доцільно розглянути додаткові метрики оцінки (наприклад, влучність та повнота).

2. У другому розділі з підпункту розподілу вхідного набору даних для навчання нейронних мереж не зрозуміло чи враховувалась наявність незбалансованості набору даних за класами. Доцільніше було б уточнити це в даному підпункті.

3. У третьому розділі недостатньо формалізовано початковий простір конфігурації гіперпараметрів. Чи заданий простір є вичерпний та чи може бути розширений шляхом розгляду додаткових гіперпараметрів?

4. У третьому розділі в частині аналізу результатів оптимізації згорткової нейронної мережі не вистачає деталізації яким чином обираються граничні параметри фільтрації оптимальних наборів гіперпараметрів після етапів структурного та параметричного налаштування.

5. У четвертому розділі здобувачем розглядається 5 різних архітектур наперед навчених згорткових нейронних мереж, проте існують модифікації таких нейронних мереж, що було б також доцільно розглянути.

Вищенаведені недоліки не впливають на позитивне рішення цієї рецензії, та мають рекомендаційний характер для подальших досліджень здобувача за тематикою дисертації.

## 9. Висновки

Дисертаційна робота Яловеги В.А. є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить науково-обґрунтовані результати, має наукову новизну та дає перспективи подальших досліджень. Тема дослідження відповідає спеціальності 123 – «Комп'ютерна інженерія».

Отже, враховуючи актуальність теми, отримані результати та певну практичну значущість вважаю, що дисертаційна робота Яловеги Владислава Анатолійовича «Методи обробки мультиспектральних зображень в комп'ютеризованій системі на основі нейронних мереж глибокого навчання» відповідає вимогам 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціальної вченої ради Закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12.01.2022 р. № 44 та вимогам до оформлення дисертації МОН України від 12.01.2017 № 40, а здобувач Яловега Владислав Анатолійович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія».

Рецензент – доктор технічних наук, професорка,

професорка кафедри Комп'ютерної інженерії та програмування

Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»

Світлана ГАВРИЛЕНКО

«24» 04 2024

Підпис *Світлани Гавриленко*  
ЗАСВІДЧУЮ:  
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР  
НАЦІОНАЛЬНОГО-ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»  
«24» 04 2024



ЗАЯЦЕВ Ю. І.