

## РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора Поворознюка Анатолія Івановича 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

**Ступінь актуальності теми дисертаційної роботи.** Розвиток інформаційних технологій, розвиток супутникових місій, таких як Landsat, Sentinel, Planet дозволяють останнім часом отримувати супутникові дані періодично та у достатніх кількостях. Це спрощує проведення дистанційного зондування земної поверхні та автоматизує спостереження за її змінами. Можливість обробки великих наборів даних, зокрема, на основі глибоких нейронних мереж дозволяє вирішувати задачі аналізу, детекції, класифікації типів земного покриття, що у свою чергу покращує якість класифікації оперативної інформації при проведенні дистанційного зондування земної поверхні. Ці аспекти є центральними у дисертаційній роботі Яловеги В. А., яка спрямована на розробку нових та удосконалення існуючих методів обробки мультиспектральних супутникових зображень на основі згорткових нейронних мереж у комп'ютеризованій системі, які особливо актуальні для території України під час проведення спостереження за об'єктами земної поверхні, коли залучення спеціаліста для аналізу географічної території є ускладненим або неможливим.

**Зв'язок теми дисертаційної роботи з науковими планами, програмами, фундаментальними та прикладними дослідженнями.**

Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки в Україні з розділу «Інформаційні та комунікаційні технології». Дисертаційна робота була виконана згідно планів науково-дослідних робіт кафедри «Комп'ютерна інженерія та програмування» в межах

науково-дослідної теми: «Моделі і методи обробки та захисту інформації в комп'ютерних системах» (ДР №0122U200526), де замовником виступало ТОВ «Передові цифрові рішення», в якій здобувач брав участь у якості виконавця.

**Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі.**

Надійність та достовірність наукових висновків підкріплені застосуванням як класичних, так і новітніх дослідницьких методик, враховуючи детальний аналіз літератури за темою дисертаційної роботи. Результати роботи були представлені та обговорювались на міжнародних конференціях, публікувались у наукових журналах і їх достовірність підтверджена консистентністю з літературними даними та успішним впровадженням. Дисертант досягнув поставленої мети та завдань дослідження, кожен розділ роботи містить логічні висновки, що дозволяють чітко оцінити значення кожного з етапів дослідження та отримане практичне значення. Вищевикладене свідчить про обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які викладені у дисертаційній роботі.

**Наукова новизна положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації.** Наукова новизна отриманих результатів обумовлена теоретичним узагальненням і новим рішенням важливого наукового завдання, сутність якого полягає в підвищенні якості класифікації оперативної інформації при проведенні дистанційного зондування земної поверхні за рахунок розробки нових та удосконалення існуючих методів з використанням технології глибокого навчання. У дисертаційній роботі отримані такі основні науково обґрунтовані результати:

– вперше запропоновано метод класифікації мультиспектральних супутникових зображень земного покриття, який відрізняється від відомих процедурою пошуку оптимального набору спектральних індексів на основі 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 класифікації супутникових зображень земного покриття за рахунок запропонованої процедури структурної та параметричної оптимізації 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 класифікації мультиспектральних супутникових зображень земного покриття високої розрізняльної здатності, який відрізняється від відомих трансферним навчанням згорткових нейронних мереж на основі набору даних високої роздільної здатності EuroPlanet та пошуком оптимальної конфігурації спектральних індексів, що дозволило підвищити точність класифікації даних дистанційного зондування земної поверхні та ефективність роботи моделі нейронної мережі на території України.

### **Наукова та практична цінність одержаних результатів.**

Практична цінність отриманих результатів для галузі інформаційних технологій полягає в тому, що розроблені в дисертаційній роботі методи фрактальної обробки цифрових мапограм слугують науково-методичною основою для розробки відповідного інформаційного, алгоритмічного та програмного забезпечення.

У дисертаційній роботі отримані такі практичні результати:

– програмна реалізація методу класифікації мультиспектральних супутникових зображень із оптимальним набором спектральних індексів дозволяє підвищити точність класифікації до 84,19% на основі набору даних EuroSAT;

– програмна реалізація удосконаленого методу оптимізації згорткових нейронних мереж для задачі класифікації супутникових зображень підвищила точність класифікації та до 97.04%. Для визначених класів класифікації метрика зросла до 20%;

– програмна реалізація удосконаленого методу класифікації супутникових

зображень високої роздільної здатності із оптимізованою комбінацією спектральних індексів дозволяє підвищити точність класифікації до 93,83% та показана можливість практичного застосування удосконаленого методу.

Результати досліджень впровадженні та використані в діяльності компанії ТОВ «АМК СИСТЕМА», у ДП «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості», а також використовуються в навчальному процесі кафедри «Комп'ютерна інженерія та програмування» Національного технічного університету «ХПІ».

**Повнота викладення наукових і прикладних результатів дисертації в опублікованих працях.** Основні наукові положення, висновки і рекомендації, які сформульовані в дисертаційній роботі, достатньо повно відображені в публікаціях здобувача і пройшли апробацію на міжнародних науково-технічних конференціях. Результати наукових досліджень відображено в 24 друківаних працях, серед яких 3 статті в журналах, що індексуються наукометричною базою Scopus, 4 статті у фахових наукових виданнях України категорії «Б». 17 тез доповідей у матеріалах конференцій.

**Оцінка змісту дисертації, її завершеності й оформлення.** Побудова дисертації відповідає прийнятим для наукового дослідження нормам. Усі положення, винесені на захист, висвітлені в тексті дисертації. Зміст дисертаційної роботи відповідає її назві. Дисертація написана грамотною науковою мовою та оформлена відповідно до існуючих нормативних документів, текст і графічний матеріал виконані акуратно з використанням комп'ютерної техніки. Дисертаційна робота Яловеги Владислава Анатолійовича складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків та 3 додатків.

Анотація відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, показано її наукову та практичну значимість, представлено мета і задачі дослідження, сформульовано об'єкт та предмет дослідження, описано зв'язок дисертації з

науковими темами, наведено апробацію дисертаційної роботи та список публікацій.

У першому розділі проведено дослідження важливих наукових і технічних проблем, що стосуються методів класифікації мультиспектральних зображень на основі глибокого навчання, проаналізовано існуючі методи та проведено порівняльну характеристику з класичними методами машинного навчання. Визначено ключову наукову проблематику.

У другому розділі здійснено дослідження, обґрунтування та вибір набору супутникових даних, проведений аналіз побудови сучасних згорткових нейронних мереж, розглянуті різні методи регуляризації нейронних мереж. Розроблено метод класифікації мультиспектральних супутникових зображень на основі запропонованої архітектури згорткової нейронної мережі разом із дослідженням оптимальним набором спектральних індексів.

У третьому розділі удосконалено метод оптимізації згорткових нейронних мереж, що підвищило якість класифікації типів земної поверхні.

У четвертому розділі отримав подальший розвиток метод класифікації на основі трансферного навчання для набору даних високої роздільної здатності. Розроблено процедуру формування набору даних високої роздільної здатності. Проведено аналіз ефективності методу та його порівняння з існуючими методами класифікації.

Висновки до розділів та результати дисертаційного дослідження сформульовані чітко та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел містить 184 найменування, які включають зарубіжні та вітчизняні видання.

В додатках представлені публікації за темою дисертаційної роботи, акти впровадження та фрагменти реалізації програмних модулів.

**Зауваження до дисертаційної роботи.** У процесі ознайомлення з дисертаційною роботою позитивне враження справило детальне обґрунтовування усіх висунутих у роботі положень, використання сучасних математичних методів. Але при цьому виникли такі зауваження:

1. Бажано було б покращити структуру подання матеріалу в першому розділі: почати огляд із сформованої невирішеної проблеми, а як результат огляду провести обґрунтування актуальності дисертаційної роботи.

2. У другому розділі роботи краще було б розширити дослідження спектральних індексів, розглянути детальніше їх класифікацію, оглядову частину матеріалу стосовно різних мультиспектральних наборів даних, можливо, перенести у перший розділ.

3. Роботу можна було б покращити, розглянувши різні функції активації нейронів у прихованих шарах та у вихідному шарі моделей згорткових нейронних мереж.

4. У підрозділі 3.3 при розробці методу оптимізації згорткової нейронної мережі для задачі багатокласової класифікації бажано було б деталізувати та формалізувати процес виконання оптимізації, доповнюючи наведену схему.

5. У третьому розділі візуалізація багатовимірних даних ускладнює процес ознайомлення з дисертаційною роботою, можливо, було б краще запропонувати інших підхід до графічних зображень отриманих наборів гіперпараметрів у результаті проведених експериментів.

6. У четвертому розділі занадто стисло описані архітектури розглянутих наперед навчених згорткових нейронних мереж. Також, було б доцільніше привести їх графічне представлення.

**Відповідність дисертації встановленим вимогам і загальні висновки.** Зазначені зауваження не впливають на загальне позитивне враження від роботи, не зменшують її якості, а також наукової та практичної цінності. Вони не є визначальними і можуть бути враховані як напрямки подальших досліджень. Під час вивчення та аналізу дисертаційної роботи **випадків порушення академічної доброчесності** виявлено не було.

Дисертаційна робота Яловеги Владислава Анатолійовича “Методи обробки мультиспектральних зображень в комп’ютеризованій системі на основі нейронних мереж глибокого навчання” 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».

За змістом, актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною значимістю одержаних результатів дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 6-9 “Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії”, із змінами, внесеними згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 341 від 21.03.2022, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор, Яловега Владислав Анатолійович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 – комп’ютерна інженерія.

Рецензент - професор кафедри

комп’ютерної інженерії та програмування

Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»

доктор технічних наук, професор

Анатолій ПОВОРОЗНЮК

“01” травня 2024 р.

Підпис *проф. Поворознюк*  
 ЗАСВІДЧУЮ:  
 ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР  
 НАЦІОНАЛЬНОГО-ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
 “ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”  
 “ ” 2024 р.



ЗАЙЦЕВ Ю.І.