

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Олексія Артура Олеговича
на тему «Методи та програмні засоби аналізу акустичних сигналів на основі
нейромережових моделей»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань **12 «Інформаційні технології»**
за спеціальністю **121 «Інженерія програмного забезпечення»**

Актуальність теми дисертації. З огляду на стрімкий розвиток підводних систем моніторингу, навігації, охорони довкілля та оборонних технологій, підвищення точності розпізнавання сигналів у складних акустичних умовах є надзвичайно важливим завданням. Актуальність дисертаційного дослідження зумовлена зростаючими вимогами до автоматизованого аналізу підводних акустичних сигналів в умовах високої складності водного середовища, де інтенсивні та нестабільні шуми ускладнюють процес їх обробки та класифікації. Існуючі традиційні підходи до виявлення та розпізнавання сигналів часто виявляються недостатньо ефективними через високу варіативність шумових завад та змінність акустичних параметрів.

У зв'язку з цим актуальним є впровадження методів глибокого навчання, зокрема, використання генеративно-змагальних нейронних мереж для приглушення шумів та згорткових нейронних мереж для покращення якості класифікації сигналів. Застосування таких методів сприяє підвищенню точності аналізу, а також забезпечує адаптивність систем до різноманітних акустичних умов. Розробка методів і програмних засобів на базі зазначених підходів є важливим напрямом для розвитку сучасних гідроакустичних систем, систем підводного моніторингу, навігаційних комплексів та засобів екологічного контролю.

Метою дисертаційної роботи Олексія А.О. є удосконалення методів і програмних засобів для підвищення точності класифікації, а також продуктивності обробки при аналізі акустичних сигналів, що, безперечно, є актуальною задачею.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни. Наукова новизна роботи Олексія А.О. зумовлена впровадженням оригінального підходу до автоматизованого аналізу підводних акустичних сигналів з використанням сучасних нейромережових моделей, що поєднують генеративно-змагальні архітектури для шумозаглушення та згорткові нейронні мережі для підвищення точності класифікації в умовах складного середовища. Основні пункти наукової новизни включають наступне.

1. Удосконалено метод класифікації акустичних сигналів водного середовища, що базується на застосуванні згорткових нейронних мереж із використанням багатомасштабної згортки та середньої пулінг-операції другого порядку (CNN-SOP). Запропоноване рішення забезпечує підвищення точності класифікації сигналів для наборів даних з високим рівнем фонових шумів, що свідчить про зростання стійкості моделі до шумових завад.

2. Розвинено метод фільтрації шумів акустичних сигналів водного середовища шляхом удосконалення архітектури генеративно-змагальної нейронної мережі UWAR GAN. Зокрема, шляхом оптимізації кількості шарів та розміру вихідного тензора досягнуто збереження якісних характеристик пригнічення шуму (SNR, RMSE), при цьому тривалість обчислювального процесу скорочено в 10 разів, що є суттєвим з огляду на вимоги до обчислювальної продуктивності.

3. Запропоновано нову архітектурну концепцію програмного забезпечення для аналізу підводних акустичних сигналів, побудовану з урахуванням інтеграції модулів нейромережового шумозаглушення, сегментації, класифікації та контекстної обробки. Реалізація такої архітектури дозволила підвищити точність класифікації сигналів у складних шумових умовах на 2%, що підтверджує ефективність запропонованого підходу для гідроакустичних систем моніторингу.

Усі запропоновані в дисертаційній роботі методи є науково новими й принципово відрізняються від існуючих підходів до обробки акустичних сигналів у підводному середовищі. Застосування нейромережових моделей, таких як CNN-SOP для класифікації та UWAR GAN для пригнічення шумів,

дозволило досягти покращення якості аналізу та зменшення обчислювальної складності. Для підтвердження достовірності отриманих результатів було проведено теоретичне обґрунтування методів, а також виконано експериментальну перевірку шляхом чисельного моделювання та порівняльного аналізу з використанням відповідних метрик якості (точність, SNR, RMSE, час обробки).

Таким чином, дисертаційна робота відзначається як високим рівнем наукової новизни, так і практичною значущістю та свідчить про здатність автора самостійно формулювати й розв'язувати складні науково-технічні завдання з інженерії програмного забезпечення для інтелектуальної обробки сигналів. Наукове завдання підвищення точності класифікації та продуктивності обробки акустичних сигналів за допомогою нейромережевих технологій виконано повністю, а здобувач, Олексій А.О., у повній мірі опанував методологію наукових досліджень.

Практичне значення одержаних результатів полягає в створенні ефективних алгоритмів та програмних засобів для придушення шумових завад і класифікації підводних акустичних сигналів із застосуванням технологій глибокого навчання. Запропоновані методи забезпечують високу точність виявлення цільових сигналів у складних акустичних умовах водного середовища, що робить їх придатними для використання в системах гідроакустичного моніторингу, автоматизованого екологічного контролю, а також у завданнях навігації та військового призначення.

Розроблене програмне забезпечення реалізує автоматизований аналіз акустичних даних у реальному часі, що дозволяє застосовувати його в комплексах підводного зондування та дослідження морських екосистем. Результати роботи були впроваджені у практичну діяльність конструкторського бюро «Шторм», що підтверджує практичну цінність проведених досліджень.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності. За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Олексія А.О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 121

«Інженерія програмного забезпечення» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Інженерія програмного забезпечення».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у виконання наукової теми «Дослідження інтелектуальних комп'ютерних моделей та алгоритмів аналізу сигналів морського середовища».

Аналіз звіту щодо результатів перевірки тексту дисертації дозволяє зробити висновок про те, що дисертаційна робота Олексія Артура Олеговича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

Мова та стиль викладення результатів. Дисертаційна робота написана українською мовою. Робота викладена логічно та послідовно; її оформлення відповідає вимогам, що висуваються до таких робіт. Текст дисертації не містить протиріч та непідтверджених закономірностей. Рівень підготовки дисертаційної роботи дозволяє зробити висновок про те, що її автор коректно використовує сучасну наукову методологію.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність дослідження, пов'язану зі складністю автоматизованого аналізу підводних акустичних сигналів в умовах високого рівня шумів та варіативності акустичних характеристик. Визначено мету роботи, що полягає у створенні методів і програмного забезпечення для підвищення точності класифікації та ефективності обробки акустичних сигналів на основі нейромережових моделей глибокого навчання. Сформульовано основні завдання дослідження, що охоплюють аналіз сучасних підходів, розробку архітектур нейронних мереж, оптимізацію їх параметрів та реалізацію інтегрованого програмного рішення.

У першому розділі проведено аналіз особливостей акустичного середовища, розглянуто основні джерела шумів морського походження,

включаючи надводні та підводні об'єкти, а також проаналізовано сучасні гідроакустичні програмні комплекси.

Окрему увагу приділено огляду алгоритмів машинного навчання, що застосовуються до аналізу акустичних сигналів, зокрема, згорткових нейронних мереж, автоенкодерів та рекурентних моделей.

Другий розділ присвячено формалізації задач придушення шумів та класифікації сигналів. Визначено математичні постановки задач, методи часово-частотного представлення, обрано метрики оцінки якості. Детально описано архітектури згорткової нейронної мережі CNN-SOP для класифікації та генеративної моделі UWAR-GAN для шумозаглушення, включаючи функції втрат та структуру моделей.

У третьому розділі наведено результати експериментальної перевірки розроблених методів. Проведено опис створених датасетів, тренування моделей, а також оцінювання ефективності за допомогою метрик точності класифікації, пригнічення шуму (SNR, RMSE) та продуктивності. Здійснено аналіз впливу гіперпараметрів на роботу моделей та порівняльну оцінку з базовими підходами.

У четвертому розділі представлено архітектуру програмного забезпечення, розробленого для реалізації запропонованих методів. Програмне середовище створено з використанням мови програмування Python та фреймворку Flask. Описано функціональні компоненти системи, що забезпечують тренування нейронних мереж, завантаження акустичних даних, шумозаглушення та класифікацію. Також подано схеми роботи компонентів, особливості їх інтеграції та інтерфейс користувача.

У висновках наведено основні теоретичні і практичні результати дослідження та надано рекомендації щодо їх використання.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи. Наукові результати дисертації висвітлені у 4 наукових статтях, опублікованих у фахових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України.

Крім того, результати дисертаційного дослідження були апробовані у 7 публікаціях у матеріалах міжнародних і всеукраїнських наукових конференцій, що засвідчує належний рівень апробації та зацікавленість наукової спільноти в тематиці дослідження. Аналіз наукових публікацій здобувача наукового ступеню підтверджує, що результати його дисертаційної роботи достатньою мірою представлені в цих публікаціях. Зазначений внесок здобувача у конкретні друковані праці свідчить про його авторство у відповідних наукових досягненнях. Таким чином, наукові результати, представлені у дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи. Незважаючи на загальне позитивне враження від дисертаційної роботи, варто відзначити деякі недоліки.

1. Незважаючи на високу точність моделей на тестових наборах, у дослідженні відсутній повноцінний аналіз результатів функціонування розроблених нейронних мереж у реальних гідроакустичних умовах із варіативними параметрами завад, що обмежує можливість об'єктивного оцінювання їхньої стійкості. У роботі представлено результати роботи моделі UWAR-GAN на синтетичних прикладах шумів, однак не наведено прикладів експериментальної перевірки на даних, зібраних у польових умовах чи лабораторному середовищі.
2. Дисертація ґрунтовно висвітлює реалізацію та результати використання нейромережових архітектур, проте бракує кількісного та якісного порівняння запропонованих підходів із традиційними алгоритмами придушення шуму та класифікації.
3. Модель, розроблена у рамках дослідження, орієнтована на аналіз конкретних класів підводних акустичних сигналів і не досліджує можливості її перенавчання або адаптації до нових типів сигналів, зокрема, біологічної чи сейсмічної природи.

4. Реалізація складних моделей, зокрема, генеративно-змагальних нейронних мереж GAN та згорткових мереж CNN-SOP, супроводжується значними обчислювальними витратами. Це створює обмеження щодо використання запропонованих рішень у режимі реального часу або на ресурсно-обмежених вбудованих платформах, типових для підводних автономних систем.
5. У розділі 3 (зокрема, п. 3.2 та пп.3.5.2) розглянуто підбір гіперпараметрів та результати класифікації. Однак, у тексті дисертації не зазначено: час навчання моделі; кількість епох; час обробки одного сигналу (latency); апаратні ресурси (CPU/GPU); числова стабільність при виконанні повторних запусків. Це ускладнює оцінку придатності моделей до реального використання в задачах реального часу або на обмежених апаратних платформах.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну й практичну значущість результатів та не впливають на схвальну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу. У дисертаційній роботі представлено низку вагомих наукових і прикладних досягнень, зокрема: високу ефективність запропонованих нейромережевих методів (CNN-SOP для класифікації та UWAR-GAN для шумозаглушення), які забезпечили покращення точності аналізу акустичних сигналів; адаптивність системи до різноманітних акустичних середовищ завдяки автоматичному налаштуванню архітектури моделей відповідно до характеристик вхідних сигналів; автоматизацію процесів побудови та оптимізації нейронних мереж через реалізацію шаблону «Фабрика», що мінімізує потребу в ручному втручанні; підтримку масштабованої роботи з різними апаратними ресурсами для ефективної обробки великих обсягів даних.

Одержані результати мають значний потенціал для практичного застосування в системах гідроакустичного моніторингу, екологічного контролю та навігації, а наукова новизна полягає у комплексному поєднанні сучасних підходів глибокого навчання з завданнями обробки акустичних сигналів у складних підводних умовах.

Дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Олексія Артура Олеговича на тему «Методи та програмні засоби аналізу акустичних сигналів на основі нейромережевих моделей» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого вирішує наукову проблему, що має істотне значення для галузі «Інформаційні технології».

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною цілком відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в пп. 6-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Вважаю, що здобувач Олексій Артур Олегович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Рецензент:

Доцент кафедри програмного
забезпечення комп'ютерних систем,
канд. техн. наук, доцент



М.П.

«18» червня 2025 року