

## **ВІДГУК**

офіційного опонента

на дисертаційну роботу ОЛЕКСІЯ Артура Олеговича

«Методи та програмні засоби аналізу акустичних сигналів

на основі нейромережових моделей»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

в галузі знань 12 – Інформаційні технології

за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення

### **Актуальність теми дисертації.**

Зростання інтересу до аналізу акустичних сигналів підводного середовища обумовлене необхідністю ефективного виявлення, класифікації та обробки підводних звуків у різних галузях – від морської біології та екологічного моніторингу до навігації автономних підводних апаратів і забезпечення національної безпеки. Високий рівень шумового забруднення в природних водоймах, а також складність акустичних характеристик підводного середовища створюють значні виклики для традиційних методів обробки сигналів.

Розвиток глибинного навчання відкрив нові можливості для підвищення точності аналізу підводних акустичних даних. Генеративно-змагальні нейромережі дозволяють ефективно пригнічувати шум і відновлювати сигнали, тоді як згорткові нейронні мережі зі спеціалізованими механізмами демонструють високу ефективність у класифікації акустичних сигналів.

Незважаючи на значний прогрес, багато сучасних методів залишаються чутливими до варіативності середовища, мають високу обчислювальну складність або не забезпечують достатньої узагальненості для обробки різноманітних акустичних сценаріїв. Це зумовлює необхідність подальшого розвитку методів і програмних засобів для аналізу акустичних сигналів на основі нейромережових моделей, що дозволить підвищити точність, адаптивність і швидкодію обробки сигналів у складних підводних умовах.

## **ВІДГУК**

офіційного опонента

на дисертаційну роботу ОЛЕКСІЯ Артура Олеговича

«Методи та програмні засоби аналізу акустичних сигналів

на основі нейромережових моделей»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

в галузі знань 12 – Інформаційні технології

за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення

### **Актуальність теми дисертації.**

Зростання інтересу до аналізу акустичних сигналів підводного середовища обумовлене необхідністю ефективного виявлення, класифікації та обробки підводних звуків у різних галузях – від морської біології та екологічного моніторингу до навігації автономних підводних апаратів і забезпечення національної безпеки. Високий рівень шумового забруднення в природних водоймах, а також складність акустичних характеристик підводного середовища створюють значні виклики для традиційних методів обробки сигналів.

Розвиток глибинного навчання відкрив нові можливості для підвищення точності аналізу підводних акустичних даних. Генеративно-змагальні нейромережі дозволяють ефективно пригнічувати шум і відновлювати сигнали, тоді як згорткові нейронні мережі зі спеціалізованими механізмами демонструють високу ефективність у класифікації акустичних сигналів.

Незважаючи на значний прогрес, багато сучасних методів залишаються чутливими до варіативності середовища, мають високу обчислювальну складність або не забезпечують достатньої узагальненості для обробки різноманітних акустичних сценаріїв. Це зумовлює необхідність подальшого розвитку методів і програмних засобів для аналізу акустичних сигналів на основі нейромережових моделей, що дозволить підвищити точність, адаптивність і швидкість обробки сигналів у складних підводних умовах.

## **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Головний науковий результат роботи полягає у розробці здобувачем архітектури програмного забезпечення, розвитку нейромережевого методу для класифікації акустичних сигналів підводного середовища та придушення шумів підводного середовища.

Удосконалено метод класифікації акустичних сигналів підводного середовища на основі згорткової нейромережі SOP, яка на відміну від оригінальної нейромережі містить багатомасштабну згортку. Це дозволяє вилучати характеристики з різною роздільною здатністю, середній пулінг, що зменшує розмірність вхідних даних. Модифіковано повнозв'язний шар з функцією активації ReLU завдяки пакетної нормалізації, що забезпечує вищу узагальнюючу здатність.

Метод придушення фонових шумів акустичних сигналів підводного середовища отримав подальший розвиток на основі нейромережі UWAR-GAN для вилучення сигналу водного судна шляхом придушення фонових шумів водного середовища у зашумленому сигналі.

Вперше розроблено архітектуру програмного забезпечення для аналізу акустичних сигналів водного середовища, що імплементує модифікований шаблон "Фабрика", який передбачає автоматизоване створення нейромережевих моделей. Програмне забезпечення має можливість виконувати придушення фонових шумів у зашумлених вхідних сигналах із застосуванням нейронних мереж для класифікації вхідних сигналів у водному середовищі. Також, програмне забезпечення надає можливість тренувати запропоновані нейромережі для придушення та аналізу фонових шумів водного середовища на різних вибірках даних, аналізувати обрані семпли акустичних сигналів водного середовища, виводячи різні характеристики обраних сигналів.

Достовірність отриманих у роботі наукових результатів та висновків забезпечується використанням класичних методів досліджень та підтверджується експериментально. В цілому сукупність результатів досліджень є інформативною і узгоджується з сучасними теоретичними положеннями.

Отже, наукові результати дисертаційної роботи обґрунтовані, достовірні та характеризуються науковою новизною. Здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За своїм змістом, дисертація Олексія Артура Олеговича повністю відповідає Стандарту вищої освіти у галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення та напрямкам дослідження відповідно до освітньої програми «Інженерія програмного забезпечення».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у розвиток та реалізацію нейронних мереж у сфері інженерії програмного забезпечення.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, 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 відповідне джерело.

### **Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертація Олексія Артура Олеговича написана українською мовою, є добре структурованою. Оформлення роботи є послідовним та чітко підкреслює найважливіші результати, що були отримані. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Дисертація присвячена дослідженню методів аналізу акустичних сигналів у водному середовищі за допомогою нейронних мереж. Проблема обробки підводних акустичних сигналів ускладнюється значним рівнем шуму та низьким співвідношенням сигнал/шум (SNR). Традиційні методи не завжди ефективні, тому використання глибинного навчання, зокрема згорткових нейромереж (CNN) та генеративно-змагальних мереж (GAN), дозволяє покращити якість аналізу.

**Перший розділ** аналізує джерела шуму у морському середовищі, їх вплив на обробку підводних акустичних сигналів та моделі випромінювання шумів надводних і підводних об'єктів. Розглянуто переваги та обмеження сучасного програмного забезпечення для гідроакустичного аналізу, таких як SpectraPLUS, Sigview та DaViS, в умовах низького співвідношення сигнал/шум (SNR). Окремо висвітлено машинне навчання для обробки акустичних сигналів, включаючи згорткові, рекурентні нейромережі та автоенкодера. Особливу увагу приділено згортковим мережам через їхню ефективність у виділенні характеристик сигналів. Завершується розділ аналізом нейромережових методів придушення шумів, таких як автоенкодера та GAN, і обґрунтуванням вибору моделей для подальших досліджень.

У **другому розділі** розглянуто математичні моделі представлення акустичних сигналів у часовій, частотній та часово-частотній областях, зокрема перетворення Фур'є та CQT. Описано задачі класифікації та придушення шумів, метрики оцінки такі як : accuracy, precision, recall, F1-міра, а також виклики, пов'язані з варіативністю шуму. Окремо розглянуто математичні аспекти моделі UWAR-GAN для придушення шумів, включаючи архітектуру, функції втрат та алгоритм оптимізації. Наведено формалізацію CNN-SOP, яка застосовує багатомасштабну згортку та пулінг другого порядку, а також покращені механізми нормалізації та активації. Завершується розділ описом попередньої обробки вхідних даних для ефективного аналізу акустичних сигналів.

У **третьому розділі** описано створення датасетів акустичних сигналів, включаючи штучне формування шумів та комбінування з сигналами суден. Наведено результати навчання нейромережі U-net із різними параметрами, оцінені за метриками RMSE, SNR та стандартне відхилення. Проаналізовано підбір гіперпараметрів CNN-SOP, зокрема глибину мережі, кількість фільтрів та стратегії регуляризації. Проведено порівняльний аналіз точності класифікації до і після придушення шумів, з графічним представленням функцій втрат та інших ключових метрик. Завершується розділ висновками щодо ефективності методів, які показали підвищення точності класифікації на 3% та для нейромережі для придушення шумів підвищення рівня сигналу на 10 дБ.

У **четвертому розділі** описано розроблене програмне забезпечення на Python із застосуванням фреймворку Flask, що включає модулі для тренування обох нейромереж, придушення шумів і класифікації сигналів, та аналізу. В розділі є архітектурне та

алгоримічне представлення запропонованого забезпечення. Також, обґрунтовано наукову новизну програмного забезпечення за рахунок застосування патернів. В кінці зроблено висновки стосовно результатів виконаної роботи.

У **висновках** представлені загальні результати дослідження та їх наукова новизна.

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Наукові результати дисертації висвітлені у 4 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 4 статті у фахових наукових виданнях України категорії «Б». Також результати дисертації були апробовані на 7 наукових фахових конференціях.

Усі публікації здобувача мають високий науковий рівень, в них достатньо повно описані головні наукові здобутки, представлені в дисертації. Порухення принципів академічної достовірності не виявлені. Особистий внесок здобувача до всіх наукових публікацій у співавторстві, є вагомим.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

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

1. У першому розділі недостатньо обґрунтовані вимоги до програмного забезпечення.
2. У другому розділі корисно розглянути альтернативні метрики класифікації, такі як Cohen's Kappa або Balanced Accuracy.
3. У третьому розділі відсутні порівняння з іншими методами шумозаглушення, що дозволило би обґрунтувати переваги запропонованого методу. Не для всіх нейромереж вказані значення оптимальних гіперпараметрів, що могло би спростити відтворюваність результатів.
4. У четвертому розділі доцільно уточнити, чи передбачена можливість масштабування програмного забезпечення для роботи з великими обсягами даних.


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

### **Висновок про дисертаційну роботу.**

Вважаю, що дисертаційна робота Олексія Артура Олеговича, здобувача ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення на тему «Методи та програмні засоби аналізу акустичних сигналів на основі нейромережових моделей» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань «Інформаційні технології». Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.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.

Здобувач Олексій Артур Олегович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення.

### **Офіційний опонент:**

Доктор фізико-математичних наук,  
професор кафедри інформаційних систем та мереж  
Національного університету «Львівська політехніка»  Роман ПЕЛЕЩАК

Підпис засвідчую

Вчений секретар  
Національного університету «Львівська Політехніка»

к.т.н. доцент

М.П.



Роман БРИЛИНСЬКИЙ

«20» 05 2025 року