

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної роботи

Національного технічного

університету України

“Київський політехнічний інститут

імені Ігоря Сікорського”

к.т.н., доц.

Тетяна ЖЕЛЯСКОВА



04 2025 р.

ВИТЯГ

з протоколу №32 від 28 березня 2025 р. розширеного засідання
кафедри Інженерії програмного забезпечення в енергетиці
Національного технічного університету України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

БУЛИ ПРИСУТНІ:

- з кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці:
професор, д.т.н., проф. Барабаш О.В., доцент, к.т.н. Варава І.А., ст. викл., PhD
Бандурка О.І., професор, д.т.н., проф. Верлань А.А., професор, д.т.н., проф.
Гаврилко Є.В., доцент, к.т.н., доц. Гагарін О.О., ст. викл. Дацюк О.А., асист.,
к.т.н. Єрошкін Ю.М., доцент, к.т.н. Залевська О.В., ст. викл., доцент, к.е.н.,
доц. Гусева І.І., PhD Колумбет В.П., доцент, к.т.н., доц. Шуклін Г.В., доцент,
к.т.н., доц. Кузьмініх В.О., професор, д.т.н., доц. Мусієнко А.П., професор,
д.т.н., доц. Недашківський О.Л., ст.викладач Оленєва К.М., доцент, к.ф.-м.н.,
доц. Свинчук О.В., доцент, к.т.н., доц. Статівка Ю.І., асист. Швайко В.Г.,
асп. Здор К.А., асп. Гейко О.О., асист. Пироговська Т.І.;

- з кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем
факультету прикладної математики:

доцент, к.т.н., Олещенко Любов Михайлівна.

Запрошені з інших організацій:

професор кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка», д.ф.-м.н, Пелещак Роман Михайлович
професор кафедри комп'ютеризованих систем та програмних технологій Національного університету «Одеська політехніка», д.т.н., Фомін Олександр Олексійович.

СЛУХАЛИ:

1. Повідомлення аспіранта кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці Олексія Артура Олеговича за матеріалами дисертаційної роботи “Методи та програмні засоби аналізу акустичних сигналів водного середовища на основі нейромережових моделей”, поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення. Освітньо-наукова програма «Інженерія програмного забезпечення»

Тему дисертаційної роботи “Методи та програмні засоби аналізу акустичних сигналів водного середовища на основі нейромережових моделей” затверджено на засіданні Вченої ради теплоенергетичного факультету (протокол № 4 від “22” листопада 2021 року)

та перезатверджено на засіданні Вченої ради навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” (протокол № 19 від “15” січня 2025 року).

Науковими керівниками затверджені: доктор технічних наук, професор, ВЕРЛАНЬ А.А., кандидат технічних наук, доцент, ВАРАВА І.А.

2. Запитання до здобувача.

Запитання по темі дисертації ставили: д.т.н. проф. Барабаш О.В., к.т.н., доц. Стативка Ю.І., к.т.н., доц. Залевська, к.т.н., доц. Олещенко Л.М., д.ф.-м.н, проф. Пелещак Р. М., д.т.н., проф. Фомін О. О., ст. викл. Гайдаржи В.І.

3. Виступи за обговореною роботою.

В обговоренні дисертації взяли участь: д.т.н, проф. Мусієнко А.П., проф. д.т.н., проф. Барабаш О.В., к.т.н., доц. Залевська О.В., к.т.н., доц. Олещенко Л.М., д.т.н. проф. Верлань А.А., к.т.н., доц. Варава І.А.

УХВАЛИЛИ:

ПРИЙНЯТИ такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження:

1. Актуальність теми дослідження

Обробка акустичних даних у підводному середовищі є складним завданням через шум, низьке співвідношення сигнал/шум та великий обсяг даних. Традиційні методи часто неефективні через спрощені припущення. Нейронні мережі пропонують альтернативний підхід, оскільки вони можуть адаптуватися до умов, працювати з нечіткими даними, здійснювати складні обчислення в реальному часі та стійко функціонувати навіть при часткових пошкодженнях. Вони є універсальними апроксиматорами для розв'язання нелінійних задач, що робить їх ідеальними для аналізу підводних акустичних сигналів. Нейронні мережі забезпечують гнучкість, ефективність, обробку великих обсягів даних та автономність, що робить їх оптимальним рішенням для аналізу інформації в цьому середовищі.

На підставі проведеного аналізу виявлено існування протиріч між:

- вимогою ефективної обробки та аналізу великого обсягу одержуваної інформації в реальному часі;
- необхідністю аналізу даних за умови наявності численних джерел сигналів із сильними перешкодами або низьким відношенням сигнал/шум;
- вимогою швидкої обробки отриманих даних;
- високою точністю аналізу (класифікації) сигналів.

Ці протиріччя лежать в основі наукового завдання щодо *розробки методів і програмних засобів аналізу акустичних сигналів водного середовища, які дозволять виявляти сигнал цільового об'єкта за низького відношення сигнал/шум.*

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами /текст/

Робота виконувалась на кафедрі інженерії програмного забезпечення в енергетиці в рамках договору: № Д/020.01/0204.02/58/2020 від 23 грудня 2020 р. між КПІ ім. Ігоря Сікорського та Інститутом Океанографічного Приладобудування Академії наук провінції Шандунь (КНР) про виконання наукової теми “Дослідження інтелектуальних комп'ютерних моделей та алгоритмів аналізу сигналів морського середовища”.

3. Наукова новизна отриманих результатів

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

Удосконалено метод аналізу акустичних сигналів водного середовища, а саме класифікації на основі нейронних мереж шляхом застосування багатомасштабної згортки та середнього пулінгу до нейромережі CNN-SOP, що надає можливість підвищити точність класифікації на 3% для датасетів з низьким вмістом фонових шумів та на 9% для датасетів з високим вмістом фонових шумів.

Отримав подальший розвиток метод придушення шумів акустичних сигналів водного середовища зашумлених фоновими шумами на основі нейромережі UWAR GAN шляхом зменшення кількості шарів та розміру вхідного тензора, що уможливило збереження якості придушення шумів, а саме характеристик SNR та RMSE очищеного сигналу, зменшивши тривалість тренування в 10 разів.

Вперше запропоновано архітектуру програмного забезпечення аналізу акустичних сигналів водного середовища на основі нейронних мереж, характерною особливістю якої є застосування адаптивного створення нейромережевих моделей, залежно від характеристик вхідних даних, що дає змогу підвищити точність класифікації сигналів з фоновими шумами на 2%.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи, впровадження

Результати дослідження є вагомим внеском у розвитку теоретичних та практичних досліджень аналізу акустичних сигналів водного середовища.

Реалізація покращеного методу аналізу акустичних сигналів водного середовища на основі згорткової нейромережі SOP дозволила підвищити точність класифікації на 3% для датасетів з низьким рівнем фонових шумів та на 9% для датасетів з високим рівнем шумів. Впровадження багатомасштабної згортки дало можливість вилучати характеристики з різною роздільною здатністю, а застосування середнього пулінгу сприяло зменшенню розмірності вхідних даних. Додавання пакетної нормалізації у повнозв'язному шарі покращило узагальнюючу здатність нейромережі, підвищуючи її точність на 1%.

Реалізація методу придушення шумів акустичних сигналів водного середовища на основі нейромережі UWAR-GAN дозволила зменшити кількість шарів та розмір вхідного тензора, що скоротило час тренування в 10

разів без втрати якості придушення шуму. Це забезпечило покращення співвідношення сигнал/шум (SNR) із -10,67 дБ до -0,81 дБ, підвищення пікового співвідношення сигнал/шум (PSNR) з 1,9 дБ до 11,1 дБ та зменшення середньоквадратичної похибки (RMSE) з 2,4 до 0,8.

Розроблена адаптивна архітектура програмного забезпечення для аналізу акустичних сигналів водного середовища дозволила автоматично налаштовувати структуру нейромережі залежно від характеристик вхідних даних. Це забезпечило підвищення точності класифікації сигналів з фоновими шумами на 2% та покращення стійкості моделі до змін середовища. Використання адаптивного підходу дало змогу зменшити потребу в ретельному налаштуванні гіперпараметрів, що спростило процес розгортання моделі для реальних умов.

Методика дослідження та отримані результати можуть бути використані для створення систем моніторингу підводного середовища, акустичної діагностики та аналізу шумових характеристик у складних умовах. Це розширює сучасні підходи до обробки підводних акустичних сигналів і може стати основою для подальших наукових досліджень у сфері акустичного аналізу.

Практичне значення роботи полягає у створенні програмного забезпечення, яке може бути використане для задач морської навігації, гідроакустики, екологічного моніторингу та інших галузей. Висока автономність розроблених систем, їх стійкість до шумів і здатність до адаптації відкривають нові можливості для розв'язання складних прикладних задач у реальних умовах.

Розроблене програмне забезпечення впроваджено в конструкторському бюро «Шторм» та в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (акт впровадження від) при викладанні дисципліни «Методології розробки інтелектуальних комп'ютерних програм» спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» за освітнім рівнем підготовки бакалавра (2024-2025):

Лекція: Мережа Хопфілда. Мережа «Машина Больцмана». Мережа Хемінга. Мережа мережної моделі з двонаправленою асоціативною пам'яттю. Мережа адаптивної резонансної теорії (ART). Згорткові нейронні мережі.

Практичне заняття: Практичне ознайомлення з дослідницькими програмами на базі ІІІ. Дослідження демонстраційних програмних продуктів.

5. Апробація результатів дисертації

Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики: зб. тез XX Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (15 червня 2022 р., Київ, Україна), Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: зб. тез XX Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і студентів (25–28 квітня 2023 р., Київ, Україна), Future of Work: Technological, Generational and Social Shifts: 2nd International Scientific and Practical Internet Conference (11-12 травня 2023 р., Дніпро, Україна), Системи та технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки: актуальні питання і тенденції розвитку: матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції (30 листопада 2023 р., Київ, Україна), Системи та засоби штучного інтелекту: тези доповідей Міжнародної наукової молодіжної школи (10-11 жовтня 2023 р., Київ, Україна), Сучасні аспекти інженерії програмного забезпечення: збірник тез Першої міжнародної науково-практичної конференції (14 грудня 2023 р., Київ, Україна), Сучасні аспекти інженерії програмного забезпечення: збірник тез Другої міжнародної науково-практичної конференції (13 листопада 2024 р., Київ, Україна).

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Олексія Артура Олеговича визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача *(наводиться повний перелік публікацій за темою дисертації)*

За результатами досліджень опубліковано 11 наукових публікацій, у тому числі:

- 4 статті у наукових фахових виданнях України за спеціальністю, 121 Інженерія програмного забезпечення
- 7 тез виступів на наукових конференціях;

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Олексій А. О., Верлань А. А. Огляд та порівняння методів машинного навчання для розпізнавання гідроакустичних сигналів. Науковий журнал «Інфокомунікаційні та комп'ютерні технології», № 1 (03). 2022. С. 113 – 120. <https://doi.org/10.36994/2788-5518-2022-01-03-18>.

Особистий внесок – вибір та обґрунтування нейромережових підходів для вирішення задач аналізу акустичних сигналів водного середовища

2. Олексій А. О., Верлань А. А. Застосування багат шарового перцептрона для аналізу акустичних сигналів у водному середовищі/ Науковий журнал «Зв'язок», Випуск №3 (163), 2023. С. 40 – 45. <https://doi.org/10.31673/2412-9070.2023.039000>.

Особистий внесок – розробка вдосконаленого методу класифікації акустичних сигналів водного середовища на основі багат шарового перцептрона.

3. Олексій А., Пуха Г. Створення датасету акустичних сигналів водного середовища для тренування нейромережі для придушення шумів. Науковий журнал «Інформаційні технології та суспільство», Випуск 2 (13). 2024. С.56-60. <https://doi.org/10.32689/maup.it.2024.2.8>

Особистий внесок – надання подальшого розвитку методу придушення акустичних сигналів водного середовища на основі нейромережі UWAR-GAN

4. Олексій, А. О. і Верлань А. А., 2024. Поліпшений метод аналізу акустичних сигналів водного середовища на основі згорткової нейромережі SOP. Вісник Вінницького політехнічного інституту, №6, с. 129-134. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-177-6-129-134>

Особистий внесок – удосконалення методу класифікації акустичних сигналів водного середовища на основі нейромережі CNN SOP.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. Олексій, А. О. і Верлань А. А., 2022. Огляд нейромережових підходів для аналізу акустичних сигналів водного середовища. Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики: зб. тез XX Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 15 червня 2022 р., м. Київ, 347-350.

Основний внесок – огляд, оцінка та вибір підходу до класифікації акустичних сигналів водного середовища

6. Олексій, А. О., Верлань А. А. Нейромережові підходи до генерації акустичних сигналів водного середовища, Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: зб. тез XX Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і студентів, Т. 2, м. Київ, 25–28 квітня 2023 року с. 128-129.

Основний внесок – огляд, оцінка та вибір підходів для можливої імплементації нейромережі для розширення вибірки акустичних сигналів водного середовища.

7. Олексій, А. О., Верлань А. І. 2023. Аналіз акустичних сигналів водного середовища з застосуванням нейромережових методів. Future of Work: Technological, Generational and Social Shifts: 2nd International Scientific and Practical Internet Conference., May 11-12, 2023, Dnipro, Ukraine, p. 67-68.

Основний внесок – огляд, оцінка та вибір підходів для можливої імплементації нейромережі для розширення вибірки акустичних сигналів водного середовища.

8. Олексій, А. О., Варава І. А. Створення датасету акустичних сигналів водного середовища. Системи та технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки: актуальні питання і тенденції розвитку: матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції, 30 листопада 2023 року, м. Київ, с. 229.

Основний внесок – опис підходу до створення датасетів акустичних сигналів водного середовища.

9. Олексій, А. О., Верлань А. А. Огляд нейромережових підходів для придушення шумів водного середовища. Системи та засоби штучного інтелекту: тези доповідей Міжнародної наукової молодіжної школи., 10-11 жовтня 2023 р. м. Київ, с. 42-45.

Основний внесок – огляд нейромережових підходів для придушення фонових шумів водного середовища та вибір задовільного підходу для придушення фонових шумів водного середовища.

10. Олексій, А. О., Варава І. А. 2023. Аналіз акустичних сигналів водного середовища з застосуванням нейромережових моделей та створення датасетів акустичних сигналів водного середовища. Сучасні аспекти інженерії програмного забезпечення: збірник тез Першої міжнародної науково-практичної конференції, 14 грудня 2023 року, м. Київ, с. 100-103.

Основний внесок – здійснено опис обраних підходів до створення датасетів, придушення шумів та класифікації акустичних сигналів водного середовища

11. Олексій, А. О., Верлань А. І. Аналіз акустичних сигналів водного середовища з застосуванням нейромережових моделей та створення датасетів акустичних сигналів водного середовища. Сучасні аспекти інженерії програмного забезпечення: збірник тез Другої міжнародної науково-практичної конференції, 13 листопада 2024 року, м. Київ, с. 60-64.

Основний внесок – запропоновано удосконалений нейромережовий метод CNN SOP для класифікації акустичних сигналів водного середовища

Якість та кількість публікацій відповідають “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.

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Олексія Артура Олеговича “Методи та програмні засоби аналізу акустичних сигналів на основі нейромережових моделей”, що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення за своїм науковим рівнем, новизною отриманих результатів, теоретичною та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам, що пред’являють до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми КПП ім. Ігоря Сікорського “Інженерія програмного забезпечення” зі спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення

РЕКОМЕНДУВАТИ:

Дисертаційну роботу “Методи та програмні засоби аналізу акустичних сигналів на основі нейромережових моделей”, подану Олексієм Артуром Олеговичем на здобуття наукового ступеня доктора філософії, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

Вченій раді КПП ім. Ігоря Сікорського утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова:

доктор технічних наук, професор, кафедри програмного забезпечення комп’ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» ДИЧКА Іван Андрійович.

Члени:

Рецензенти:

кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» ЗАЛЕВСЬКА Ольга Валеріївна;

кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення комп’ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» ОЛЕЩЕНКО Любов Михайлівна;

Опоненти:

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

доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютеризованих систем та програмних технологій Національного університету «Одеська політехніка», ФОМІН Олександр Олексійович.

Головуючий на засіданні
доктор технічних наук, доцент

Андрій МУСІЄНКО

Вчений секретар кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

доктор технічних наук, доцент

Андрій МУСІЄНКО