

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної роботи

Національного технічного

університету України

“Київський політехнічний інститут

імені Ігоря Сікорського”

К.Т.Н., доц.

Тетяна ЖЕЛЯСКОВА

“26” березня 2025 р.

ВИТЯГ

з протоколу № 31 від 21 березня 2025 р. розширеного засідання
кафедри Інженерія 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., професор д.т.н., проф. Гаврилко Є.В., доцент к.т.н. Залевська О.В., професор д.т.н, доц., Мусієнко А.П., професор д.т.н., доц. Недашківський О.Л., професор д.т.н., професор д.т.н., доц. Федорова Н.В., професор к.т.н., доц. Верлань А.А., доцент к.т.н., доц. Гагарін О.О., доцент к.т.н., доц. Кузьмініх В.О., доцент к.т.н., доц. Стативка Ю.І., доцент к.ф.-м.н., доц. Свинчук О.В., доцент к.е.н., Гусева І.І., доцент к.т.н. Варава І.А., доцент к.т.н., Шуклін Г.В., ст. викл. Гайдаржи В.І., ст. викл. Дацюк О.А., ст. викл. PhD Бандурка О.І., ст. викл. PhD Колумбет В.П., ас. Швайко В.Г., асп. Олексій А.О., асп. Гейко О.О., асп. Дембіцький В.В., асп. Лебедев А.В., асп. Єрошкін Ю.М., асп. Здор К.А.

Запрошені з інших організацій:

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки ФТІТ НТУ Аль-Амморі Алі Нурддинович;

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри програмних систем і технологій факультету інформаційних технологій Київського національного університету ім. Тараса Шевченка Бичков Олексій Сергійович;

доктор технічних наук, професор, декан факультету інформатики та обчислювальної техніки КПІ ім. Ігоря Сікорського Корнага Ярослав Ігорович;

СЛУХАЛИ:

1. Повідомлення аспіранта кафедри інженерія програмного забезпечення в енергетиці Пироговської Тетяни Володимирівни за матеріалами дисертаційної роботи “Методи та програмні засоби підвищення ефективності моделювання гідроакустичного сигналу на основі введення вагових коефіцієнтів”, 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 “Алгоритми та програмні засоби моделювання гідроакустичного поля” затверджено на засіданні Вченої ради НН ІАТЕ (протокол № 4 від “22” листопада 2021 року) та перезатверджено на засіданні Вченої ради НН ІАТЕ (протокол № 8 від “6” лютого 2025 року).

Науковим керівником затверджений: доктор технічних наук, доцент Мусієнко Андрій Петрович.

2. Запитання до здобувача.

Запитання по темі дисертації ставили:

к.т.н., доц. Стативка Ю.І., к.т.н. Варава І.А., к.т.н. Залевська О.В., к.т.н., Шуклін Г.В., д.т.н., проф. Гаврилко Є.В., д.т.н., доц. Недашківський О.Л., к.ф.-м.н., доц. Свинчук О.В., асп. Гейко О.О., к.т.н., доц. Гагарін О.О., к.т.н., доц. Верлань А.А., к.т.н., Шуклін Г.В., ст. викл. Гайдаржи В.І., д.т.н., проф. Барабаш О.В.

3. Виступи за обговореною роботою.

В обговоренні дисертації взяли участь:

професор д.т.н. доц., Мусієнко А.П., д.т.н. Корнага Я.І., к.т.н. Залевська О.В., к.т.н. Варава І.А., к.т.н., доц. Верлань А.А., к.т.н., доц. Стативка Ю.І.

УХВАЛИЛИ:

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

1. Актуальність теми дослідження

Аналіз існуючого сучасного програмного забезпечення моделювання гідроакустичних сигналів доводить, що таке моделювання потребує детального дослідження фізичних процесів розповсюдження звуку у водних середовищах для досягнення максимального можливого наближення та

точності до реальних показників, що може використовуватись у різноманітних сферах людської діяльності. Основні виклики сучасних методів моделювання та їх програмної реалізації виникають при моделюванні розповсюдження звуку у водних середовищах у проміжках часу та руху джерела звуку та приймача. Таке моделювання вимагає складних та ресурсозатратних розрахунків, що значно ускладнює роботу науковців.

Більшість традиційних методів не враховують змінність середовища, таку як температурні градієнти, щільність та солоність води, що змінюються залежно від глибини та географічного положення. Це призводить до значних похибок у прогнозуванні шляхів розповсюдження звукових хвиль.

У більшості класичних моделей не береться до уваги вплив часу на розподіл звукового поля, що знижує точність прогнозування для динамічних умов, де важливий вплив факторів як-от зміни температури та тиску.

Поширення звукових хвиль у водному середовищі, яке має багат шарову структуру (наприклад, з різною щільністю води на різних глибинах), викликає складнощі для традиційних методів, які часто не можуть точно змодельовати взаємодію хвиль із донним шаром і поверхнею.

Класичні методи погано підходять для низькочастотних хвиль, які використовуються в більшості підводних комунікаційних систем. Низькі частоти мають специфічні особливості поширення, які потребують більш складного підходу для точного моделювання.

Багато існуючих методів, зокрема тривимірні моделі, вимагають великих обчислювальних ресурсів для досягнення необхідної точності, що обмежує можливість їх застосування в реальному часі.

Ці проблеми створюють потребу в нових підходах до моделювання, таких як використання нормальних мод та коефіцієнтів Чебишова, що дозволяють враховувати більше параметрів середовища, зокрема його часову динаміку.

Як правило, досліджується розповсюдження не самих звукових хвиль, а динаміка їх параметрів. В зв'язку з чим доцільно встановити дискретну та неперервну залежності між рівнянням нормальних мод сигналу, який генерується імпульсним нерухомим джерелом з плином часу. В роботі розкривається побудова дискретної моделі процесу утворення та поширення звукових хвиль під водою та дослідження даної моделі на адекватність при здійсненні комп'ютерного моделювання за використанням програмного комплексу моделювання гідроакустичних сигналів, а також оцінюється точність апроксимації побудованої моделі.

Крім того, зростання інтересу до розроблення екологічно безпечних технологій стимулює використання гідроакустичних досліджень для моніторингу стану морських екосистем і виявлення впливу антропогенного шуму на морську фауну. У цьому контексті моделювання сигналів сприяє не лише вирішенню прикладних завдань, а й поглибленню наукових знань у галузі підводної акустики.

Таким чином, актуальність досліджень у цій сфері визначається як науковими, так і практичними потребами, спрямованими на розвиток сучасних технологій і збереження природного середовища.

Питанням моделювання морського середовища та розповсюдження звуку має велику кількість досліджень, зокрема це питання досліджували такі науковці як Бріллюєн Л., Бреховських Л., Манн Я. А., Тічі Я., Романо А. Дж., Мобаракє П. С., Грінченко В. Т., Попов В. В., Солтанья Б., Зражевський Г. М., Коржик О., Найда С., Курдюк С., Ніжинська В., Коржик М., Найда А., Ляо С., Сяо В., Ван Ю., Ван Л., Цинь Ц., Лі З., Лю Д., Распет Р., Грейвс Р., Нагл А., Убералл Г., Зарур Г., Вествуд Е.К., Тіндл К.Т., Чепмен Н.Р., Боннель Жюльєн, Фламан Жюльєн, Далл'Осто Девід, Ле Біан Ніколя, Даль Пітер та інші.

Дослідження утворення гідроакустичних каналів, розроблення підводного зв'язку та телеметрії вимагають більшої деталізації в заданні вхідних параметрів. В роботах розглянуто генерацію імпульсів сферичним джерелом біля ідеальної границі та питання інтерференції взаємодії плоских та сферичних хвиль. Постановка хвильового рівняння має передбачати процес поширення акустичних збурень з врахуванням впливу відбитого та розсіяного поля. Одним з способів вирішення даного питання є моделювання звукового поля методом нормальних хвиль. Розроблення, моделювання та використання такого підходу потребує введення часової залежності між змінними динамічної системи. Це дозволить проводити більш глибоке дослідження процесу поширення звукових хвиль в підводному каналі, їх акустичних тиск в вертикальних перетиках середовища та встановлення коефіцієнтів збурення полі під час роботи з джерелом.

Такий підхід до моделювання потребує аналізу класичних моделей дослідження хвильових процесів. В роботі розглядається двовимірна аналітична модель хвильового рівняння в циліндричному хвилеводі. Оцінка похибки такого підходу наведена авторами в роботі. Авторами визначається оцінка відстані від випромінювача до початку координат та опис акустичного поля, лише через дискретні структури. В ході роботи розглянутий аналітичний розв'язок для неоднорідного гідроакустичного поля на основі методу нормальних мод. Такий підхід враховує вплив донного прошарку на характеристики поля.

Найбільш ефективно застосування методу нормальних мод є для випромінювачів, що генерують звук на низькій частоті. В роботі показано, що шум корабля, що віддаляється, можна віднести до низькочастотного. Під час подібних досліджень звукових хвиль та їх випромінювача, досить часто використовується тиск та акустична енергія, що визначені в кожній точці середовища. В розглядаються спектри судового шуму та шуму перевезення з використанням методу нормальних хвиль. Для оцінки точності методу використовуються дані отримані для профілю Мунка. Дно розглядається як шар з різною швидкістю та щільністю, тож метод можливо застосовувати для більш широкого спектру задач.

В більшості розглянутих задач, перехід до тривимірної моделі методу нормальних хвиль має певну проблематику пов'язану зі стійкістю нелінійних нормальних мод. Тривимірна модель, при застосуванні методу, не враховує в явному вигляді змінну часу. Вважається, що застосування методу нормальних мод можливе при умові, що моди є незмінними протягом

певного часового періоду. Проте, при дослідженні випромінювання точкового джерела циліндричного хвилеводу, врахування часової змінної є необхідним.

З описаних робіт вчених можна визначити наступні протиріччя. Моделювання гідроакустичного середовища потребує високої деталізації моделей, що підвищить точність результатів моделювання, а також забезпечить можливість задання специфічних умов експерименту. Проте такий спосіб моделювання потребує врахування багатьох фізичних параметрів, що в свою чергу створює потребу в обробці великих масивів даних, що знижує швидкість обчислень і вимагає більш потужних обчислювальних систем. Інтеграція нових підходів до моделювання гідроакустичного поля дозволить комплексно вирішувати задачі моделювання. Проте нові підходи також мають підвищувати ефективність методу без втрати точності розрахунків. Зокрема існує необхідність в комбінуванні існуючих методів для забезпечення подальшого розвитку систем визначення морських об'єктів.

Для розв'язання протиріччя, яке було визначено, в дисертаційній роботі розв'язується актуальне наукове завдання щодо розробки методів та програмного забезпечення моделювання сигналу дальнього поля на основі введення вагових коефіцієнтів в методи нормальних мод для врахування нелінійності моделі морського середовища.

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

Дисертаційне дослідження виконане відповідно до планів наукової та науково-технічної діяльності Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» і кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці та є частиною досліджень в рамках науково-дослідних робіт: "Методи забезпечення функціональної стійкості розподілених інформаційних систем підприємств". Державний реєстраційний номер: 0121U108334, КПП, 2021-2025 рр. Терміни виконання: початок – 01.03.2021 р. закінчення – 28.02.2025 р.; "Дослідження інтелектуальних комп'ютерних моделей та алгоритмів аналізу сигналів морського середовища", договір № 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; договір № DLN-20-DP-01 від 15 грудня 2020 р. (зареєстровано в КПІ ім. Ігоря Сікорського за № д/0201.01/0204.02/55/2020 від 23.12.2020р.) з надання Послуг з розробки програмного забезпечення між КПІ ім. Ігоря Сікорського та Товариством з обмеженою відповідальністю «Науково-виробниче підприємство «СИМВОЛ».

3. Наукова новизна отриманих результатів

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

1. Удосконалено класичний метод нормальних мод для моделювання гідроакустичного сигналу, який відрізняється від існуючих введенням залежностей швидкості звуку від глибини для врахування особливостей водного середовища та зміни акустичного тиску з часом.

2. Вперше розроблено узагальнений метод нормальних мод на основі врахування змінної швидкості звуку, часової змінної та введення вагових коефіцієнтів для визначення як лінійних, так і нелінійних випадків, що дозволить підвищити точність обрахунків акустичного тиску в хвилеводі.

3. Вперше розроблено архітектуру програмного забезпечення моделювання гідроакустичних сигналів на основі удосконаленого та узагальненого методів нормальних мод, яка до того ж відрізняється від існуючих можливістю задання різних параметрів середовища моделювання, які збільшує швидкість обрахунків на 30%, та впливають на побудову сценарію руху об'єкта спостереження.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи, впровадження

1. Вперше розроблено програмне забезпечення комплексної системи моделювання гідроакустичних сигналів на основі запропонованих удосконаленого методу. Зокрема в реалізації було запропоновано спосіб спрощення та пришвидшення обрахунків за використанням паралельних обчислень за законом Амдала. Впровадження зазначеного програмного забезпечення дозволяє з більшою точністю та швидкістю отримати результати моделювання розповсюдження звуку у водному середовищі.

2. Проведено аналіз ефективності запропонованих методів моделювання гідроакустичних сигналів. Аналіз показав, що, за результатами моделювання розповсюдження гідроакустичного сигналу в морському середовищі, розроблений узагальнений метод дозволяє зменшити час обрахунку в середньому на 30 % без погіршення точності отриманих результатів. Це надає можливість стверджувати, що ефективність моделювання гідроакустичних сигналів методом нормальних мод підвищується.

Результати досліджень прийняті до впровадження в Конструкторському бюро «Шторм» КПІ ім. Ігоря Сікорського (акт від 26.02.2025 р.), в навчальний процес кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» при викладанні дисципліни «Інженерія даних та знань» для студентів освітнього рівня «Магістр» спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» денної та заочної форми навчання (акт від 26.02.2025 р.).

5. Апробація результатів дисертації

1. Пироговська Т.В., Євтушенко А.М., Аналіз параметрів моделювання гідроакустичного поля променевим методом. Сучасні аспекти інженерії програмного забезпечення/Modern aspects of Software Engineering: II Міжнар. наук.-практ. конф.: наук. зб., – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024 р, с. 104-108.

2. Пироговська Т.В., Мусісико А.П., Аналіз алгоритму пошуку траєкторії об'єкту у морському середовищі. III Міжнародна науково-технічна конференція «Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки: актуальні питання і тенденції розвитку», тези доповіді, 2023, м. Київ, с. 251-253.

3. Пироговська Т.В., Мусієнко А.П., Моделювання сигналу дальнього поля на основі використання коефіцієнтів Чебишева. Сучасні аспекти інженерії програмного забезпечення/Modern aspects of Software Engineering : II Міжнар. наук.-практ. конф.: наук. зб. (Київ, 13 листопада 2024 р.). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024 р., ст.13-15.

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами науково-технічної експертизи дисертація *Пироговської Тетяни Володимирівни* визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача:

За результатами досліджень опубліковано 7 наукових публікацій, у тому числі:

- 4 статі у наукових фахових виданнях України за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення,

- в т.ч. 2 статі у яких число співавторів (разом із здобувачем) більше двох осіб;

- 3 тез виступів на наукових конференціях;

1. Свинчук О.В., Пуха Г.С., Євтушенко А.М., Пироговська Т.В. Моделювання розповсюдження гідроакустичного сигналу променевим методом. Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2022. Т. 24, № 1. С. 36 – 50.

<https://doi.org/10.35681/1560-9189.2022.24.1.262745>

<http://drsp.ipri.kiev.ua/article/view/262745>

Особистий внесок – розробка реалізації програмного забезпечення променевим методом.

2. Пироговська Т., Довженко Т.П. Розробка користувацького інтерфейсу введення криволінійної траєкторії. Науково-практичний журнал «Зв'язок», 2023, № 4 (164). С. 39 – 45.

<https://doi.org/10.31673/2412-9070.2023.049000>

<https://con.dut.edu.ua/index.php/communication/issue/view/168>

Особистий внесок – розробка інтерфейсу користувача для введення криволінійної траєкторії.

3. Пироговська Т., Євтушенко А. Структура бази знань моделювання гідроакустичних полів на основі променевої теорії. Науково-практичний журнал «Зв'язок», 2023, № 5 (165). С. 57 – 62.

<https://doi.org/10.31673/2412-9070.2023.055665>

<https://con.dut.edu.ua/index.php/communication/issue/view/169>

Особистий внесок – створення та опис бази знань моделювання гідроакустичних полів.

4. О.В. Залевська, Г.С. Пуха, І.А. Варава, О.В. Коваль, Т.В. Пироговська, А.П. Мусієнко. Коефіцієнти Чебишева в моделюванні хвильового процесу методом нормальних мод. Реєстрація, зберігання і обробка даних.

<https://doi.org/10.35681/1560-9189.2024.26.2.316706>

<http://drsp.ipri.kiev.ua/article/view/316706>

доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44”.

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Пироговської Тетяни Володимирівни “Методи та програмні засоби підвищення ефективності моделювання гідроакустичного сигналу на основі введення вагових коефіцієнтів”, що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення за своїм науковим рівнем, новизною отриманих результатів, р 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:

1. Дисертаційну роботу “Методи та програмні засоби підвищення ефективності моделювання гідроакустичного сигналу на основі введення вагових коефіцієнтів”, подану Пироговською Тетяною Володимирівною на здобуття наукового ступеня доктора філософії, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

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

Голова:

доктор технічних наук, професор, декан факультету інформатики та обчислювальної техніки КПП ім. Ігоря Сікорського **Корнага Ярослав Ігорович;**

Члени:

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» **Барабаш Олег Володимирович;**

доктор технічних наук, професор кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» **Верлань Андрій Анатолійович;**

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, завідувач кафедри програмних систем і технологій факультету інформаційних технологій Київського

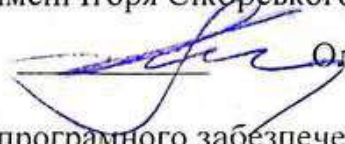
національного університету імені Тараса Шевченка **Бичков Олексій Сергійович**;

доктор технічних наук, завідувач кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки факультету транспортних та інформаційних технологій Національного транспортного університету **Аль-Амморі Алі Нурддинович**.

Головуючий на засіданні

В.о. завідувача 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, професор



Олександр КОВАЛЬ

Учений 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