

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу  
Пироговської Тетяни Володимирівни  
на тему *«Методи та програмні засоби підвищення  
ефективності моделювання гідроакустичного сигналу  
на основі введення вагових коефіцієнтів»*  
представлену на здобуття ступеня доктора філософії  
в галузі знань 12 – Інформаційні технології  
за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення

### Актуальність теми

У сучасному світі, де технологічний прогрес нестримно рухається вперед, гідроакустичні системи відіграють ключову роль у широкому спектрі застосувань, починаючи від підводної навігації та картографування океанського дна до моніторингу морського життя та виявлення загроз у водних середовищах. Ефективність цих систем безпосередньо залежить від точності та надійності моделювання гідроакустичного сигналу, що дозволяє прогнозувати його поведінку в складних та мінливих умовах водного середовища. Однак, традиційні методи моделювання часто стикаються з обмеженнями через гомогенність підходів, які не завжди враховують динамічну природу поширення звуку під водою, особливо в умовах значних перешкод, реверберації та неоднорідностей середовища. Відсутність адаптивних механізмів, які б враховували різну значущість окремих параметрів сигналу, призводить до значних похибок та знижує загальну ефективність гідроакустичних систем, що робить пошук нових, більш досконалих методів життєво необхідним для подальшого розвитку галузі.

Введення вагових коефіцієнтів у процес моделювання гідроакустичного сигналу відкриває принципово нові можливості для підвищення його точності та адекватності реальним умовам. Цей підхід дозволяє надавати різну значущість окремим характеристикам сигналу або параметрам середовища, які впливають на його поширення, що є ключовим для відображення складної взаємодії між сигналом та середовищем. Застосування таких коефіцієнтів дозволяє системі не тільки краще враховувати специфічні особливості підводного каналу, такі як температурні градієнти, солоність, глибина або наявність біологічних перешкод, але й адаптуватися до змінних умов, оптимізуючи процес обробки даних та формування зображень. Таким чином, це забезпечує більш гнучке та реалістичне відображення фізичних процесів, що відбуваються під водою, і дозволяє розробляти більш досконалі алгоритми обробки та інтерпретації акустичних даних.



Розробка та інтеграція програмних засобів, що реалізують ці методи, є вирішальним кроком до створення гідроакустичних систем нового покоління, які будуть здатні працювати з безпрецедентною точністю та надійністю. Такі засоби не тільки забезпечать більш точне відображення поширення сигналу, але й відкриють шлях до розробки нових застосувань у галузях, де висока точність гідроакустичних вимірювань є критичною, наприклад, у підводній робототехніці, автономних підводних апаратах та передових системах спостереження. Актуальність теми полягає не лише у вирішенні поточних проблем моделювання, а й у закладанні фундаменту для майбутніх інновацій, що дозволять розширити горизонти застосування гідроакустичних технологій, забезпечуючи їхній розвиток у відповідності до найвищих світових стандартів та викликів сучасності.

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

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Удосконалено класичний метод нормальних мод для моделювання гідроакустичного сигналу, який відрізняється від існуючих введенням залежності 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.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі інженерії програмного забезпечення в енергетиці КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках НДР під керівництвом професора кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці, д.т.н., доц. Мусієнка Андрія Петровича.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання, а саме розробка методів та програмного забезпечення моделювання сигналу дальнього поля на основі введення вагових коефіцієнтів в методі нормальних мод для врахування нелінійності моделі морського середовища, виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.



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

Дисертаційна робота здобувачки Пироговської Т.В. 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 та свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям моделювання складних фізичних процесів та розробки архітектури програмного забезпечення складних систем.

Аналіз звіту подібності, створеного за результатами перевірки дисертаційної роботи засвідчує, що дисертаційна робота Пироговської Тетяни Володимирівни виконана за принципами академічної доброчесності та не містить фальсифікацій, компіляцій, фабрикацій, плагіату або запозичень. Посилання на усі використанні матеріали та роботи інших авторів належно оформлені та мають усю необхідну інформацію для доступу до них.

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

Дисертаційна робота, написана українською мовою, являє собою повний звіт про проведене дослідження, містить ключові результати та наукові положення, що подаються автором на публічний захист. Вона вирізняється високим ступенем завершеності, продуманою структурою та внутрішньою логічною послідовністю, явно демонструючи значний особистий внесок автора у науковий розвиток.

Дисертація оформлена з використанням грамотної науково-технічної мови, що включає загальноприйняті терміни та поняття, роблячи її зрозумілою та доступною. Виклад матеріалів дослідження здійснюється логічно й послідовно, а стиль презентації повністю відповідає вимогам наукової методології. Висновки роботи є чіткими та повною мірою відображають основні досягнення. Робота добре ілюстрована, а всі наукові результати, винесені на захист, представлені вичерпно. Варто зазначити, що вся використана термінологія відповідає чинним Державним стандартам України.

Дисертація складається з вступу, чотирьох основних розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Загальний обсяг рукопису становить 174 сторінки.

У *вступі* докладно обґрунтовується актуальність обраної теми, чітко окреслюються об'єкт, предмет, мета та завдання дослідження. Тут також розкривається наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, а також підсумовуються основні наукові висновки.

*Перший розділ* присвячений ретельному аналізу існуючих підходів до моделювання гідроакустичного сигналу у водних середовищах. Також критично оцінюються недоліки поточного програмного забезпечення. За результатами цього аналізу формулюється головне завдання — підвищення ефективності моделювання через вдосконалення методу нормальних мод.



У *другому розділі* розглядаються ключові особливості гідроакустичних моделей. Детально описуються фізичні явища, пов'язані з поширенням гідроакустичних сигналів, і аналізуються найважливіші параметри водного середовища, які обов'язково треба враховувати під час моделювання. Також представлено вплив змінних факторів середовища на поширення гідроакустичних сигналів у морі та запропоновано методи їх врахування в програмному забезпеченні. Окремо проаналізовано граничні умови моделювання, чинники, що впливають на поширення гідроакустичної хвилі, та способи врахування втрат сигналу при його поширенні.

*Третій розділ* детально розкриває постановку задачі з визначення акустичного тиску за допомогою методу нормальних мод. У цьому розділі представлено вдосконалення методу нормальних мод шляхом інтеграції змін швидкості звуку з глибиною водних шарів та додаванням часової змінної в моделювання. Метод також було покращено через введення коефіцієнтів Чебишова, що дозволяє працювати як з лінійними, так і з нелінійними випадками, значно підвищуючи точність розрахунків акустичного тиску у хвилеводі. Для розроблених методів були проведені статистичні обчислення з метою визначення оптимальної апроксимуючої функції. Проведений кількісний аналіз чітко засвідчив, що застосування коефіцієнтів Чебишова для моделювання поширення звукових хвиль із часовою залежністю є не тільки доцільним, але й високоефективним, зокрема, цей підхід продемонстрував вражаючу стійкість до шуму.

*Четвертий розділ* присвячений процесу розробки програмного комплексу, призначеного для моделювання водного середовища та поширення звукових хвиль у ньому. Проєкт розпочався з глибокого аналізу предметної області, що дало змогу, застосовуючи модельно-орієнтований підхід, створити онтологічні моделі — як для теоретичної основи, так і для самого програмного забезпечення, що значно підвищило ефективність розробки. Особливу увагу було приділено графічному інтерфейсу, аби забезпечити користувачам максимальну зручність у налаштуванні сценаріїв моделювання. Наведені результати підтверджують високу ефективність цього програмного комплексу для реальних сценаріїв поширення звуку в морі. Крім того, у розділі обговорюються подальші напрямки підвищення ефективності програмного забезпечення, включаючи оптимізацію обчислювальних алгоритмів та інтеграцію сучасних обчислювальних технологій.

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи**

Наукові результати дисертації висвітлені у 7 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 4 статті у наукових фахових виданнях України та 3 публікації тез доповідей на наукових конференціях.

Публікації здобувача за тематикою дисертаційного дослідження мають високий науковий рівень. У всіх публікаціях дотримано принципів доброчесності. Наукові результати, що представлені в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.



### Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Запропоновані методи, відповідно і програмне забезпечення, представлені у дисертаційній роботі не враховують незначні варіації у параметрах водного середовища. Наприклад, модель не враховує тонкі температурні інверсії, що можуть змінювати акустичні канали, та не враховує в достатній мірі слабкі сигнали, які можуть бути важливими для певних застосувань. Наприклад, для завдань виявлення малошумних об'єктів. Через це модель може втрачати точність в умовах з специфічними сценаріями, тому, на мою думку, варто врахувати дані параметри для розширення застосування даних методів та програмного забезпечення для задач з високою деталізацією.

2. У реальних умовах гідроакустичні дані іноді містять аномалії або «викиди», що спричинені зовнішніми шумами або непередбачуваними змінами в середовищі. Але в дисертації немає відомостей щодо стійкості запропонованих методів до фільтрації або адаптивної обробки таких даних. Вважаю за доцільне, під час удосконалення програмного забезпечення запропонувати механізми виявлення викидів для підвищення надійності прогнозування та ефективності моделі у «зашумлених» або нестандартних умовах.

3. Одним із важливих аспектів у розробці програмного забезпечення є можливість інтегрування його з іншими уже наявними гідроакустичними програмними та апаратними комплексами або іншими програмними платформами. У роботі згадується про можливість масштабування системи, проте не описані інструменти інтеграції з іншими системами або програмним забезпеченням.

4. Запропоноване в дисертації програмне забезпечення має засоби графічного відображення розподілу акустичного тиску. Але, вважаю, що можна додати ширші інструменти відображення та інтерактивної взаємодії з користувачем. Це значно б полегшило аналіз та розуміння складних акустичних явищ, а також дозволило б швидше виявляти аномалії, порівнювати різні сценарії та аналізувати результати моделювання складних фізичних процесів.

5. Під час аналізу водного середовища та моделювання гідроакустичного сигналу враховувалось багато параметрів. Проте, на мою думку, до параметрів середовища варто було б додати такі, як неоднорідності температури та солоності води, наявність біологічних шумів (наприклад, від китів чи дельфінів), динаміку морських течій, тощо. Це дозволило б суттєво підвищити реалістичність і точність моделювання.

Однак, зазначені недоліки та зауваження суттєво не впливають на загальний рівень, теоретичну та практичну значимість отриманих автором результатів.



### Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Пироговської Тетяни Володимирівни на тему «Методи та програмні засоби підвищення ефективності моделювання гідроакустичного сигналу на основі введення вагових коефіцієнтів» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, в якому містяться наукові результати, що в сукупності вирішують поставлене наукове завдання, мають істотне значення для галузі знань 12 – 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. А авторка дисертації, Пироговська Тетяна Володимирівна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення.

Рецензент:

професор 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

*30 червня* 2025 року

