

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»


Факультет електроніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем
(повна назва кафедри)

"На правах
рукопису"
УДК 621.3.087

"До захисту допущено"

Завідувач кафедри

 Найда С.А.
(ініціали, прізвище)

" 11 " травня 2021 р.

Магістерська дисертація

спеціальність 171 Електроніка
(код та назва спеціальності)

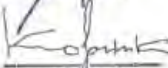
на тему: «Формування векторного поля інтенсивності в регулярному
хвилеводі з комбінованими границями»

Виконала: студентка II курсу, групи ДГ-91мн
(шифр групи)

Ніжинська Валерія В'ячеславівна
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Науковий керівник проф., д.т.н., проф. Коржик О.В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент завідуючий кафедрою, д.т.н., проф. Ямненко Ю. С.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)


(підпис)

Засвідчую, що у цій
магістерській дисертації немає
запозичень з праць інших
авторів без відповідних
посилань.

Студент 
(підпис)

Київ 2021 р.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Факультет електроніки
(повна назва)

Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність (освітня програма) 171 Електроніка (Акустичні електронні системи та технології обробки акустичної інформації)

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри



Найда С.А.
(ініціали, прізвище)

" 11 " . травня . 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Ніжинській Валерії В'ячеславівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Формування векторного поля інтенсивності в регулярному хвилеводі з комбінованими границями

Науковий керівник дисертації Коржик Олексій Володимирович, проф. д.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від " 15 " березня 20 21 р. № 835-с

2. Строк подання студентом дисертації 10.05.2021 р.

3. Об'єкт дослідження: Регулярний хвилевод з комбінованими границями

4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-науковою програмою) Формування векторного поля інтенсивності в умовах мілкого моря.


5. Перелік завдань, які потрібно розробити: проаналізувати особливості формування векторного поля інтенсивності в мілкому морі; дослідити проблему групової швидкості обумовлену тим, що сигнал є двочастотний; розробити програму побудови векторного поля інтенсивності в середовищі MatLab; виокремити закономірності в формуванні поля інтенсивності.
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 4 рис, 22 табл., 1 презентація
7. Орієнтовний перелік публікацій наукова стаття, опублікована за матеріалами роботи міжнародної конференції IEEE2020 та підготовлена до друку стаття в зарубіжному виданні EUREKA, статус якого відповідає науко-метричній базі SCOPUS
8. Дата видачі завдання 14.09.2020 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Опрацювання та аналіз літературних джерел та сучасного стану питання	23.11.2020	
2	Розрахунок та виведення аналітичних формул на основі проведеного теоретичного дослідження	25.01.2021	
3	Розробка та імплементація моделі процесу за допомогою програмного середовища MatLab	05.03.2021	
4	Проведення дослідження та опрацювання результатів роботи програмного забезпечення створеного на базі MatLab	22.03.2021	
5	Відтворення зробленої роботи та її підсумків в тексті магістерській дисертації	08.05.2021	
6	Підготовка та оформлення презентації для доповіді	10.05.2021	

Студент

Керівник роботи


(підпис)

В.В. Ніжинська

(ініціали, прізвище)

О.В. Коржик

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Формування векторного поля інтенсивності в регулярному хвилеводі з комбінованими границями // Магістерська дисертація на здобуття ступеня вищої освіти «магістр». Ніжинська В. В. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», факультет електроніки, кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем, група ДГ-91мн. – К.:НТУУ «КПІ», 2021. с. – 65, рис. – 4., табл. – 22.

Актуальність теми: стрімкий розвиток та освоєння морських середовищ, потребує нових більш детальних та всеохоплюючих методів дослідження. Оскільки тема формування векторного поля інтенсивності є розглянутою частково та відсутні роботи, які підсумовують та узагальнюють ситуацію, що утворюється виникає необхідність в написанні відповідної роботи.

Метою роботи є визначення взаємозв'язків векторного поля інтенсивності, що формується в мілкому морі джерелом двочастотного сигналу з особливостями зумовленими середовищем розповсюдження та характеристиками інформаційного пакету.

Об'єктом дослідження є формування векторного поля інтенсивності в хвилеводі з комбінованими границями.

Предметом дослідження є інформаційний пакет, що поширюється джерелом.

Методи дослідження: аналітичний вивід формул та виразів, що описують складний характер розповсюдження двочастотного сигналу в хвилеводі та вплив на формування поля інтенсивності; розробка програмного забезпечення для автоматизації побудови та розрахунку векторного поля інтенсивності.

Практичне значення одержаних результатів: отримання вичерпної інформації в сфері теоретичної акустики, що дозволить отримувати більш деталізовану картину розповсюдження двочастотного сигналу.

Ключові слова: *інтенсивність, векторне поле, мілке море, двохчастотний пакет.*

ABSTRACT

Formation of a vector field of intensity in a regular waveguide with combined boundaries // Master's dissertation for the degree of "master". Nizhynska Valeriia, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky », Faculty of Electronics, Department of Acoustic and Multimedia Electronic Systems, DG-91mn group. – K .: NTUU "KPI", 2021. p. – 65, fig. – 4, table. – 22.

The aim of the work is to determine the relationships of the vector field of intensity formed in the shallow sea by the source of the two-frequency signal with the peculiarities due to the propagation medium and the characteristics of the information package.

Research methods: analytical derivation of formulas and expressions describing the complex nature of the propagation of a two-frequency signal in a waveguide and the influence on the formation of the intensity field; development of software for automation of construction and calculation of vector intensity field.

The practical significance of the obtained results: achieving comprehensive information in the field of theoretical acoustics, which will provide a more detailed picture of the propagation of the two-frequency signal.

Keywords: *intensity, vector field, shallow sea, two-frequency packet.*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПИТАНЯ ФОРМУВАННЯ ВЕКТОРНОГО ПОЛЯ ІНТЕНСИВНОСТІ В МІЛКОМУ МОРІ.....	12
1.1. Засади формування векторного поля інтенсивності в мілкому морі .	12
1.1.1 Особливості розповсюдження акустичних хвиль в мілкому морі	12
1.1.2 Теоретичне обґрунтування інтенсивності в мілкому морі.....	15
1.2. Особливості зумовлені проблемою групової швидкості.....	23
1.3. Вплив акустичного поля на морську фауну.....	27
1.3.1 Ретроспективний аналіз задачі.....	27
1.3.2. Огляд досліджень підводного шуму та його впливу	30
РОЗДІЛ 2. ЗАДАЧА ФОРМУВАННЯ ВЕКТОРНОГО ПОЛЯ ІНТЕНСИВНОСТІ В УМОВАХ ПЛОСКО-ПАРАЛЕЛЬНОГО, РЕГУЛЯРНОГО ХВИЛЕВОДА	32
2.1. Постановка задачі	32
2.2. Основні аналітичні співвідношення розв'язку задачі формування векторного поля інтенсивності звукового повідомлення двочастотного характеру.....	33
2.2.1. Основні аналітичні співвідношення для формування поля інтенсивності вздовж осі Ox	36
2.2.2. Основні аналітичні співвідношення для формування поля інтенсивності вздовж осі Oz	38
2.2.3. Основні аналітичні співвідношення для сумарного поля інтенсивності	40

2.3. Умови проведення чисельних досліджень	41
РОЗДІЛ 3. ПРОВЕДЕННЯ ЧИСЕЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	42
3.1. Розробка програми для проведення експерименту	42
3.2. Результати роботи програми	46
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	48
4.1. Опис ідеї проекту	48
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту	50
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	51
4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту	57
4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	59
ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖРЕЛ	63

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ПЗК – Підводний звуковий канал

ФАО (FAO) – Продовольча та сільськогосподарська організація ООН (Food and Agriculture Organization)

ВСТУП

Оцінка залежності звукової енергії від відстані – важлива задача, як для встановлення та налаштування гідроакустичних систем, так і для оцінки границь безпечних зон для морської фауни. При розповсюдженні вплив мають такі фактори як: профіль швидкості звуку в товщі води, характеристики дна, глибина джерела звуку.

Існуючі теорії розповсюдження звуку в товщі води дозволяють, в більшості випадків, визначити просторові та часові характеристики звукового поля, при заданому розміщенні джерела звуку, фіксованих фізичних властивостях води та підводного ґрунту. Однак, провести строге співставлення теоретичних викладок та експерименту не завжди вдається, спираючись на групу невідконтрольних факторів, які впливають на результати експерименту в натуральних умовах. Саме це спричинило необхідність проведення акустичних досліджень на моделях, за для вивчення складних природних явищ, що викликають суттєве зацікавлення в сучасних наукових осередках. Таким чином, можна одержати перевірку адекватності вибраної теоретичної моделі, за значно менші проміжки часу, не залучаючи колосальні матеріальні ресурси.

В якості моделі мілкого моря акустичний хвилевод з комбінованими границями. В береговій зоні море може мати розподілені за глибиною шари води, що відрізняються густиною та швидкістю звуку, внаслідок солоності та температури. Припускається, що глибина, густина та швидкість звуку в межах певного шару поступово змінюються від точки до точки. Границі поділу середовищ представлені викривленими не значним чином поверхнями, на котрих густина та швидкість звуку змінюються стрибкоподібно.

Підводний звуковий канал забезпечує збільшення рівня звуку в хвилеводі, що є суттєвим фактором при передачі інформації. Таке поширення звуку називається хвилеводним, а гідроакустична інформація, яку воно несе, займає значний морський простір. Більша різниця значень швидкостей звуку на границях каналу і його осі забезпечує ефективність джерела гідроакустичної інформації. В помірних широтах глибина розміщення осі знаходиться ближче до поверхні [3].

Акустичні сигнали, що мають достатньо низькі частоти і для яких поглинання мале, можуть поширюватись на великі відстані. Отже, в ПЗК гідроакустична інформація існує на значних відстанях.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПИТАНЯ ФОРМУВАННЯ ВЕКТОРНОГО ПОЛЯ ІНТЕНСИВНОСТІ В МІЛКОМУ МОРІ

1.1. Засади формування векторного поля інтенсивності в мілкому морі

1.1.1 Особливості розповсюдження акустичних хвиль в мілкому морі

Розповсюдження звуку в мілкому морі має ряд цікавих особливостей, обумовлених тим, що в даному випадку вплив властивостей ґрунту на розповсюдження звуку в товщі води набагато більший, на відміну від глибокої води. Таке близьке розміщення границь має безпосередній вплив на те, як розповсюджується акустичного збурення в мілкому морі. За таких умов середовища є дисперсійними, їх дослідження представлені в роботах [1], [2].

Введемо визначення мілкого моря: з акустичної точки зору, при виконанні умови, що добуток хвильового числа та глибини шару води має бути менший або рівний 2π , таке середовище відповідає мілкому морю. Природні є наслідок, що в одній і тій самій водоймі при зміні частоти, ділянки можуть вважатися або мілководними, або глибоководними.

Для формування інтерференційної картини в морі мають бути відсутні коливання на поверхні, тоді утворюються взаємо підсилення та послаблення акустичних хвиль. Дане явище отримало назву дзеркального ефекту Ллойда або інтерференції від уявних джерел. При постійній глибині джерела сигналу, спостерігається ряд максимумів та мінімумів при збільшенні відстані r . Хоча описане явище є теоретично обґрунтованим, воно не завжди спостерігається в морі. Коливання поверхні зазвичай маскують регулярний характер інтерференційної картини. Для великих відстаней буде несправедливе прямолінійності променів, оскільки

спотворення інтерференційної картина, обумовлені рефракцією променів по відношенню до дна.

При зануренні на невелику глибину джерела, може утворитися так звана зона тіні, за рахунок від'ємності градієнту швидкості звуку біля поверхні води, що спричиняє зменшення інтенсивності. Утворена область тіні є звуковим полем та не може вважатися абсолютно «темною», з акустичної точки зору, хоча промені в неї і не потрапляють. Поясненням такого явища є дифракція, яку можна розрахувати за хвильовою теорією та те, що градієнт швидкості не завжди залишається від'ємними безпосередньо до поверхні, так в ізотермічному шарі він стає рівним нулю.

Морське дно має ряд аналогічних до поверхні особливостей. Так, наприклад, можна спостерігати наявність ефекту Ллойда і при розташуванні джерела ближче до дна. Але його структура багат шаровості та різноманітність типів породжує притаманні лише йому характеристики. Тому причини втрат при поширенні набагато важче розрахувати в такому випадку. Оскільки для спрощення моделювання, дно є однорідною поглинаючою речовиною, то важливо визначити такі характеристики, як густина, швидкість звуку та коефіцієнт поглинання. Та варто враховувати, що використання простішої моделі може призвести до утворення неточностей в порівнянні з реальною моделлю. Якщо дно буде представлено в вигляді безлічі загострень, утворених скелястістю, то домінуючим в прийомному сигналі буде розсіяння. Також враховуючи, будову дна з певної кількості шарів, а отже і супутні з цим явища та приймаючи до уваги, наявність градієнту швидкості в ґрунті можна зазначити, що поставлена задача дуже ускладнюється для великих відстаней.

Втрати при розповсюдженні в мілкому морі залежать від безлічі факторів, визначаючих стан поверхні, водного середовища та дна. Таким

чином будь-які прогнозування в мілководних районах можливо робити лише приблизно, за умов відсутності точних параметрів змін середовищ системи. Особливо це варто підкреслити для швидкості звуку та структури дна, що складається з декількох шарів. Тому для розрахункових співвідношень можна використовувати напівемпіричні вирази Маршала та Шулкина. Отримані формули базуються на великій кількості (~100 000) експериментів на частотах 0,1-10 кГц, з них можна зробити висновок, що похибка є найменшою при низьких частотах.

Шумові властивості середовища в берегових водах, затоках та гаванях мають неявний та змінний характер, на відміну від більш визначених глибоководних. Джерела шуму на мілководі схильні до мінливості в часі та просторі. Шумовий фон представлений сукупністю: шумів судноплавства, промислових шумів, шуму вітру та біологічних шумів. Оскільки характеристики є непостійними в часі та просторовому розташуванні для всіх вищезазначених типів, то можна привести тільки грубу оцінку рівня, що може бути представлений в затоках, гаванях та берегових зонах.

1.1.2 Теоретичне обґрунтування інтенсивності в мілкому морі

При розповсюдженні звукова хвиля складається з двох типів енергії: кінетичної енергії рухомих часток середовища та потенціальної енергії тиску, що утворений частками в пружному середовищі, що разом є механічною енергією. Якщо обрати одиничну площу розташовану за вектором нормалі (перпендикулярно) по відношенню до розповсюдження звукової хвилі, то кількість енергії за одиницю часу і є – інтенсивністю. В випадку, коли одинична площа розташована довільно, по відношенню до вектору поширення хвилі, то інтенсивність виражається, аналогічно до вектору Пойнтінга для електромагнітних хвиль, тобто векторною величиною.

Якщо звукова хвиля – плоска, то усталене значення інтенсивності квадратно пропорційне до усталеного значення акустичного тиску та виражається співвідношенням:

$$I = \frac{p^2}{\rho c}.$$

В реальних середовищах завжди існує певне інтегрування сигналу, тому усереднене значення інтенсивності має більший практичну цінність, ніж миттєве значення. Якщо значення є усередненим, то є певний проміжок часу за який проводиться усереднення. Знаючи, що акустичний тиск змінюється за часом по закону $p(t)$, можна сказати, що інтенсивність представлена середньоквадратичним значення тиску, поділеним на добуток густини середовища та швидкості звуку ρc , усередненим на часовому проміжку T та записується, як:

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{\rho c} dt.$$

В таких випадках, коли процес є не усталеним або коли сигнал суттєво спотворюється при поширенні чи падінні звукової хвилі на об'єкт під водою, використовують поняття густини потоку енергії акустичної хвилі, яка виражається інтегралом по часу від миттєвого значення інтенсивності і може бути представлена:

$$E = \int_0^{\infty} I dt = \frac{1}{\rho c} \int_0^{\infty} p^2 dt ,$$

де на практиці, інтегрування виконується за проміжок часу, що дорівнює періоду хвилі. Тоді, в межах цього часового проміжку можна записати:

$$I = \frac{E}{T} .$$

Отже можна зазначити, що величина T є проміжком часу на якому має бути усереднено густину потоку енергії акустичної хвилі для знаходження інтенсивності.

В активних гідролокаторах, що випромінюють довгі імпульси, такий часовий проміжок буде дорівнювати тривалості імпульсу та наближатися до значення ехо-сигналу. При випромінюванні коротких не усталених сигналів, даний інтервал часу не завжди можна визначити, а тривалості ехо-сигналу та імпульсу є відмінними. Тому в таких випадках, проміжок інтегрування має бути доволі великим, щоб була можливість зафіксувати всі явища, пов'язані з багатопроменевим поширенням акустичної хвилі, що викликають спотворення прийнятого сигналу.

При розповсюдженні плоскої звукової хвилі в середовищі з поглинанням, на кожному проміжку відстані втрачається певна частка інтенсивності сигналу. Якщо інтенсивність певному проміжку дорівнює I , тоді елементарне зменшення інтенсивності dI при проходженні

елементарної відстані dx визначається рівністю $\frac{dI}{I} = -n dx$, де n – коефіцієнт пропорційності, при чому знак мінус показує зменшення інтенсивності.

Питання формування та дослідження векторного поля інтенсивності було виокремлено в самостійний напрямок, відділившись від задач електродинаміки. Особливості, обумовленні наявністю: однорідних та неоднорідних хвиль, границь різних типів, сполучень амплітуд та фаз тисків і коливальних швидкостей, дисперсії, характеризують його відмінність при формуванні в мілкому морі та необхідність його детального і самостійного розгляду.

Визначальними для формування акустичного поля у просторі є складні гідроакустичні властивості, якими характеризується морське середовище, що являє собою повний гідроакустичний інформаційний простір[3]. Ці поля представлені у вигляді акустичних хвиль та поділяються на плоскі, циліндричні та сферичні хвилі, в залежності від умов поширення.

Утворення акустичного поля в товщі моря зумовлено такими факторами розповсюдження акустичних хвиль, як рефракція, інтерференція, дифракція, відбиття, поглинання та затухання. Коефіцієнти заломлення, поглинання, відбиття та розсіювання звуку морською поверхнею, водними масами та морським дном є величинами, що описують кількісні характеристики перелічених вище процесів.

Перелік складнощів обумовлений необхідністю розробки наближених методів розрахунків акустичних полів в морських середовищах.

Подальші дослідження [4]–[7] показали наявність локально-вихрових структур, які належать до різних областей простору хвилеводу

Записавши рівняння руху в векторній формі:

$$\rho_0 \frac{\partial v}{\partial t} = -grad p,$$

де $v = iv_x + jv_y + kv_z$, а i , j , k – одиничні орти декартової системи координат; оператор градієнту ($grad$) в декартовій системі координат визначається, як $grad p = i \frac{\partial p}{\partial x} + j \frac{\partial p}{\partial y} + k \frac{\partial p}{\partial z}$. В кожній точці скалярного поля, для якої виконується $grad p \neq 0$ існує напрямок найшвидшого росту функції, при тому лише один. Тоді модуль вектору $grad p$ є величиною, що дорівнює швидкості зростання p , а напрямок співпадає з $grad p$. Градієнт скалярного поля не залежить від вибору системи координат, а пов'язаний лиш з самим полем. Фізичний зміст знаку «-» в правій частині означає, що прискорення кожної частинки рідини напрямлене в сторону зменшення тиску.

Хвилям притаманне перенесення енергії без переміщення речовини, тому при аналізі їх поширення важливу роль відіграють енергетичні характеристики. Акустичною енергією називають частину повної енергії, яка обумовлена акустичними хвилями, її характеристики обираються згідно моделі середовища. При виконанні умови ідеально стиснутого середовища, складовими енергії є потенціальна та кінетична, інших видів не виникає.

Визначимо щільність енергії представивши кінетичну енергію, як $E_k = \frac{\rho_0 |v|^2}{2}$, а щільність потенційної, як $E_{II} = \frac{ps}{2}$, де s – акустичне стиснення. Врахувавши лінійний зв'язок між тиском та стисненням $p = \chi s$, де χ – пружність середовища та дорівнює $\chi = \rho_0 c^2$, отримаємо співвідношення $E_{II} = \frac{\chi s^2}{2} = \frac{p^2}{2\chi}$. Отже можемо записати повну щільність акустичної енергії:

$$E = \frac{\rho_0 |v|^2}{2} + \frac{p^2}{2\chi}.$$

При лінеаризації рівняння акустики, величини, що описують звукове поле вважаються малими, тому можна спростити рівняння, прибравши в подальшому кубічні значення степеню.

Розглянемо тиск та швидкість часток в дійсному вигляді (експоненційна форма запису не може бути застосована, тому що в формулі присутні квадратичні величини):

$$v = v_0 \cos(\omega t - \psi), \quad p = p_0 \cos(\omega t), \quad (1)$$

де p_0 та v_0 – амплітуди тиску та швидкості в точці, відповідно; ψ – визначає зсув фаз між звуковим тиском та швидкістю часток середовища. Враховуючи все вище зазначене можна записати щільність енергії в вигляді:

$$E(t) = \frac{\rho_0 v_0^2}{2} \cos^2(\omega t - \psi) + \frac{p_0^2}{2\chi} \cos^2(\omega t). \quad (2)$$

З виразу (2), робимо висновок, що щільності кінетичної та потенційної енергії осцилюють між нулем та максимальними значеннями $\frac{\rho_0 v_0^2}{2}$, $\frac{p_0^2}{2\chi}$. Візьмемо інтеграл на проміжку часу T та отримаємо середнє значення:

$$\langle E \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T E(t) dt, \quad T = \frac{2\pi}{\omega}.$$

Оскільки, інтеграл від функції \cos^2 на проміжку T дорівнює $\frac{1}{2}$, то перепишемо шукане значення:

$$\langle E \rangle = \frac{\rho_0 v_0^2}{4} + \frac{p_0^2}{4\chi}.$$

Розглянемо переміщення енергії звуковою хвилею, що розповсюджується в середовищі. Спираючись на те, що енергія часток середовища, змінюється в процесі розповсюдження, отже варто розглядати потік енергії. Тоді енергію, що переноситься можна визначити як роботу, що виконують рухомі частки розташовані перед поверхнею А, над нерухомими – після поверхні А. При цьому на одиничній площі з нормаллю n буде розвиватися потужність :

$$W = p v$$

Величина W є густиною потоку потужності. Знаючи напрямок вектору нормалі n , можна визначити модуль $|W| = W_n$. Залежність вектору швидкості часток від координат $v(v_x, v_y, v_z)$, дозволяє розрахувати за будь якою віссю, наприклад вздовж осі Ox отримаємо $W_x = p v_x$, А за необхідності можливо визначити вздовж довільного напрямку.

Розглянемо загальний випадок використовуючи формули (1) та сформулюємо вираз для знаходження миттєвого значення потоку потужності:

$$W_n(t) = p_0 v_0 \cos(\omega t) \cos(\omega t - \psi)$$

або

$$W_n(t) = p_0 v_0 \cos \psi \cos^2(\omega t) + p_0 v_0 \sin \psi \sin(\omega t) \cos(\omega t) \quad (3)$$

Більш практичне значення має середнє значення потоку потужності за період часу T , що називається інтенсивністю I_n :

$$I_n = \langle W_n \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T W_n(t) dt, \quad \left(T = \frac{2\pi}{\omega} \right). \quad (4)$$

Підставимо (3) в вираз (4) та обчислимо інтеграл:

$$I_n = \frac{P_0 v_0}{2} \cos \psi \quad (5)$$

В випадку симфазності p та v_n ($\psi = 0$) інтенсивність $I_n = \frac{P_0 v_0}{2} \epsilon$ максимальною, а коли вектори p та v_n мають кут 90° між ними, інтенсивність дорівнює нулю. Ці окремі ситуації є важливою описовою особливістю при аналізі хвильового процесу.

Розглянемо більш детально вираз (3), як бачимо в загальному випадку представлений двома частинами: перша при обчисленні дає вираз (5) та характеризується постійним знаком при зміні по часу, що визначає вигляд потоку енергії в напрямку вектору n ; друга складова при визначенні інтенсивності дорівнює 0, отже відбувається взаємо обмін енергією з обох сторін поверхні A , очевидно, що це не впливає на поширення енергії, а є лише локальним явищем.

Аналізуючи вираз (3) з точки зору джерела звуку, зазначимо, що перша складова має вплив на розповсюдження звуку на більших відстанях та називається – активною потужністю, а друга не несе інформативності та має назву – реактивна потужність.

Отримаємо значення інтенсивності використавши тиск та коливальну швидкість в комплексній формі:

$$\tilde{p} = p_0 \exp(-i\omega t) \quad \tilde{v} = v_0 \exp(-i\omega t + i\psi) .$$

Напишемо дійсні частини тиску та коливальної швидкості, як фізичних величин:

$$p = \operatorname{Re} \tilde{p} = \frac{(\tilde{p} + \tilde{p}^*)}{2} \quad v = \operatorname{Re} \tilde{v} = \frac{(\tilde{v} + \tilde{v}^*)}{2}.$$

Отже миттєве значення потоку потужності можемо переписати, як:

$$\begin{aligned} W(t) &= \frac{(\tilde{p} + \tilde{p}^*)}{2} \frac{(\tilde{v} + \tilde{v}^*)}{2} = \frac{1}{2} \operatorname{Re}(\tilde{p}\tilde{v}) + \frac{1}{2} \operatorname{Re}(\tilde{p}\tilde{v}^*) = \\ &= \frac{P_0 v_0}{2} \cos(2\omega t - \psi) + \frac{P_0 v_0}{2} \cos(\psi) \end{aligned} \quad (6)$$

Враховуючи тотожність виразів (4) та (6), визначимо інтенсивність:

$$I_n = \langle W_n(t) \rangle = \frac{P_0 v_0}{2} \cos \psi. \quad (7)$$

Як бачимо формули (5) та (7) співпадають, а отже запишемо:

$$I_n = \frac{1}{4} (p v_n^* + p^* v_n) = \frac{1}{2} \operatorname{Re}(p v_n^*), \quad (8)$$

де тиск p та швидкість v_n записані в комплексній формі.

Взаємо зв'язок щільності звукової енергії та щільності потоку потужності виражається співвідношенням $\frac{\partial E}{\partial t} = -\operatorname{div} W$. Проінтегрувавши даний вираз за деяким об'ємом Ω , обмеженого поверхнею S . Застосувавши перетворення для правої частини з об'ємного інтегралу в поверхневий маємо:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{(\Omega)} E d\Omega = - \int_{(S)} W dS \quad (9)$$

Отриманий вираз (9) є інтегральним законом збереження енергії для звукової хвилі. Фізичний зміст звучить, як: зміна звукової енергії в деякому об'ємі Ω пропорційна щільності потоку звукової енергії через поверхню S , яка обмежує об'єм Ω .

1.2. Особливості зумовлені проблемою групової швидкості

Відомо, що за допомогою монохроматичної хвилі не можна передавати інформаційні повідомлення [8], оскільки в такій хвилі в кожній точці завжди відбуваються гармонічні коливання, а для передачі повідомлення необхідно, щоб щось змінювалося, тобто хвиля була модульована. Такий сигнал можна розглядати, як інтерференційну картину, утворену суперпозицією гармонійних хвиль різних частот.

Враховуючи, дисперсійні властивості середовища можна зазначити, що сама інтерференційна картина буде змінюватися, оскільки компоненти різних довжин хвилі розповсюджуються з різною швидкістю. При відсутності дисперсії, профіль хвилі зміститься на відповідну відстань, не змінюючи форми, тому що кожна гармоніка з набору буде поводити себе як одне ціле, змістившись на фіксовану для всіх відстань. Але в дисперсійному середовищі, через відмінність фазових швидкостей, синусоїди «розфазуються» одна з одною при розповсюдженні, що через проміжок часу утворить нову інтерференційну картину, з іншим хвильовим профілем, відмінним від початкового. Тому класичне поняття швидкості, в даному випадку, неможливо застосувати.

Тоді застосовується поняття обвідної, яка має властивість зберігати форму, а отже можна розглядати її швидкість, при цьому сам сигнал, в обвідній, свою форму змінює. Така швидкість називається груповою. Це дає нам можливість ототожнювати форму обвідної, подібно до хвилі в бездисперсійному середовищі, а отже робить можливим передачу повідомлення в дисперсійному середовищі.

Використовуючи поняття з [9] хвильовим пакетом вважається сигнал певної тривалості, що має немонохроматичний частотний спектр.

Використовуючи розкладення в ряд Фур'є, можна представити з дисперсійного рівняння по часовому множнику, складові частотного пакету. Якщо пакет має особливість в вигляді «значної крутизни фронтів» [9], то тоді можна визначити швидкість розповсюдження за груповою швидкістю V_{gp} . Однак, як попередньо було зазначено [10], за кінематичним визначенням швидкість руху обвідної, тобто профіля двочастотного пакету, характеризується груповою швидкістю. Тому можна зазначити закономірність між спектром сигналу та спотвореннями, що утворюються при розповсюдженні, яка є пропорційною. Таким чином зі збільшенням спектру групова швидкість все гірше відображає картину переданого повідомлення. Отже при гармонійному характері хвилі, застосування групової швидкості є доволі обмеженим та не відтворює повноцінну ситуацію. Звертаючись до [9], можна сформулювати таке твердження: швидкість сигналу – це швидкість надходження сигналу до приймача, що є оптимальним показником при вузько смуговому спектрі та різкій зміні амплітуди профілю поширення хвилі

Дослідивши роботу [11] Л. Брілюєна сформуємо твердження, що відповідають поставленому завданню:

- За Релеєм [12], якщо група хвиль в послідовності рухаються по чергово відповідно порядку, то групова швидкість представлена коливанням близьких частот, менша швидкості окремих хвиль, що входять в інформаційний пакет, та відображається хвилями з мінімальною різницею довжин. Постає задача отримання виразів враховуючи складну форму сигналу. Оскільки експериментальна база за часів Релея, ще не могла відтворити даних припущень, запропоновані ним визначення не знайшли схвалення серед тогочасної наукової спільноти.

- Користуючись визначенням Зоммерфельда [13] або спираючись на «швидкість сигналу» v_{usc} за [9] можна зазначити, що при представленні групової швидкості в якості швидкості фінітних сигналів, вона буде більш-менш адекватно відтворювати необхідне розповсюдження.

Таке припущення було отримано завдяки представленню $v_{usc} = \frac{x}{t}$, де

t – час витрачений на поширення пакету від джерела до точки спостереження. Зафіксувавши максимальну інтенсивність звукового сигналу, ми отримаємо більш точну картину прибуття сигналу до приймач, в той час як групова швидкість може вказувати нам на локальні сплески максимумів, не відображаючи картини прибуття. Загалом же, можна зазначити, що розв'язання питання групової швидкості та швидкості сигналу є доволі складним процесом, який супроводжується врахуванням зміни форми сигналу та визначенням відмінностей між цими двома поняттями та їх внеску в кінцевий результат.

Те, що обидва визначення ґрунтуються на вузько смуговому сигналі інформаційного пакету, не відмінняє того факту, що при наявності двох джерел з довжиною хвилі λ_1 , λ_2 та фазовими швидкостями $v_{\phi 1}$, $v_{\phi 2}$ справедливим залишається співвідношення [8] вигляду:

$$v_{gp} = v_{\phi 2} - \lambda_2 \frac{v_{\phi 1} - v_{\phi 2}}{\lambda_1 - \lambda_2},$$

яке є базовим з точки зору загального тлумачення групової швидкості.

Застосувавши поняття «центр енергії» за Л. А. Вайнштейном [14] визначимо швидкість переносу енергії у вигляді:

$$x_e = \frac{\int x E dx}{\int E dx},$$

де E – густина енергії, при цьому швидкість центра енергії визначається як $v_e = \frac{dx_e}{dt}$. Зазначимо, що в при низьких частотах швидкості v_{gp} і v_e співпадають (за умови малості дисперсії).

Посилаючись на [9], справедливим є неможливість правильного та детального розрахунку, тому висувається припущення про незначні зміни пакету, якими можна знехтувати і застосовується термін «ефективна групова швидкість» $v_{ef\,gp}$, яка враховує лише загальний профіль інформаційного пакету. Хоча в роботі [15], зазначено, що «розмір пакету і його тривалість пов'язані з v_{gp} », зміни розповсюдження інформаційного пакету в морському середовищі, можуть бути викликані дисперсією. Нажаль, деформація пакету при поширенні, яка викликана зміною напрямку руху його компонент, унеможливує точне визначення місцезнаходження енергетичного центру, оскільки напрям його руху пов'язаний з змінами компонент.

Серед безлічі визначень, припущень та термінів, що сформувалися з початку розробки питання швидкості розповсюдження складних сигналів, враховуючи частотну дисперсію, можна виділити основні пункти, що найбільше відповідають характеру та якості при передачі звукових повідомлень по хвилеводу:

- форма профілю розповсюдження та частотне наповнення пакету;
- максимальна інтенсивність відображає кінцеву точку;
- центр енергії сигналу є інтегральною характеристикою на проміжку спостереження;
- визначення взаємозв'язків між енергетичними характеристиками акустичного поля та швидкістю розповсюдження хвилевого пакету.

1.3. Вплив акустичного поля на морську фауну

1.3.1 Ретроспективний аналіз задачі

Шум, який заважав чути підводні звуки, був проблемою з початку 1900-х років, коли компанія Submarine Signal Company вперше встановила підводні дзвони біля маяків, щоб попередити моряків про небезпеку навігації. Однак систематичне вивчення навколишнього шуму почалося лише до Другої світової війни. Під час Другої світової війни були розроблені акустичні міни, які спрацьовували від звуку судна, що проїжджав повз. Потрібні були точні знання рівня навколишнього шуму, щоб встановити рівні звуку, при яких спрацьовуватимуть акустичні міни, щоб вони могли вибухнути лише тоді, коли був корабель. Ця потреба допомогла стимулювати розробку каліброваних приймальних систем, необхідних для вимірювання рівня навколишнього шуму. Під керівництвом Верна Кнудсена, директора Відділу військових досліджень Каліфорнійського університету, були проведені вимірювання навколишнього шуму в прибережних водах і гавань для частот від 1000 Гц до 50 000 Гц. Вони виявили, що рівень шуму зростає зі збільшенням швидкості вітру та висоти хвилі. Для даної швидкості вітру рівень шуму зменшується зі збільшенням акустичної частоти. Криві, що узагальнюють їх результати, стали відомими як «криві Кнудсена».

Залежність навколишнього шуму від швидкості вітру на частотах від приблизно 1000 Гц до 50 000 Гц означала, що вимірювання навколишнього шуму можуть бути використані як інструмент для визначення швидкості вітру над океаном. Цей принцип був використаний багато років потому в океанографічних приладах, що отримали назву WOTAN, для "Спостереження за вітром через навколишній шум".

На відміну від обговорюваного вище навколишнього шуму, який майже завжди присутній, деякі звуки переривчасті або виникають лише в обмежених регіонах океану. В океані існує велика кількість непостійних джерел звуку, включаючи природні фізичні процеси, морське життя та техногенні джерела.

Згідно зі статтею [16], лише судноплавство за останні 50 років сприяло збільшенню низькочастотного шуму вздовж основних маршрутів судноплавства в 32 рази, відганяючи морських тварин від життєво важливих місць розмноження та годівлі. Але навіть наземний рух на таких спорудах, як мости або в прибережних аеропортах, може створювати безперервний низький рівень постійного шуму, який може проникати під воду. Технологія днопоглиблювальних робіт, яка використовується для поглиблення портів та видобутку корисних копалин з морського дна, також створює низькочастотний шум, який проходить далекі відстані.

Багаторічні вимірювання з глибоководних ділянок у північно-східному Тихому океані показали, що низькочастотні ($< \sim 50$ Гц) рівні шуму в цьому басейні океану помітно зросли (на ~ 10 дБ) між 1960-ми та серединою 1990-х [17]. Відтоді ця тенденція значно зрівнялася або почала знижуватися, а дані останнього десятиліття свідчать про те, що новітні тенденції рівня шуму для інших басейнів океану також можуть бути змішаними [18]. Наскільки ці тенденції у відкритому океані поширюються на більш дрібні континентальні моря шельфу, де зосереджена діяльність людини, незрозуміло, оскільки довгострокових наборів даних для цих регіонів не вистачає.

Для морських ссавців є вагомі докази [16] того, що антропогенний шум негативно впливає на морських тварин, а деякі дослідження також виявляють вплив на риб та безхребетних, морських птахів та рептилій. Встановлено, що шум від суден, активний ехолот, синтетичні звуки (штучні

тони та білий шум) та акустичні відлякувачі впливають на морських тварин, як і шум від енергетичної та будівельної інфраструктури та сейсмічних досліджень. Хоча є чіткі докази того, що шум порушує слухові здібності та викликає фізіологічні та поведінкові зміни у морських тварин, є менша впевненість, що антропогенний шум збільшує смертність морських тварин та поселення їх личинок.

Найбільш вражаючим наслідком шумового забруднення океану є те, що кити та дельфіни викидаються на берег. Помічається, що такі явища особливо часті після морських гідроакустичних маневрів. Зазначені звукові події завдають пошкодження судинам мозку, легень та інших органів. Крім того, тварини можуть панікувати і надто швидко спливати, що призводить до того, що в крові утворюються бульбашки азоту – так звана кесонна хвороба (хвороба декомпресії). У результаті емболія може спричинити смерть. Мертві тварини в підсумку тонуть на морському дні або викидаються на пляж узбережжя.

Таким чином, підводний шум, безумовно, є серйозною проблемою для морських видів, хоча повний масштаб проблеми важко визначити. Практично відсутні дослідження щодо впливу забруднення океаном шуму на морське біорізноманіття. Наскільки відомо, ФАО та її спеціалізовані установи не проводили таких досліджень. Це може бути відправною точкою, оскільки, загалом кажучи, є значний простір для вивчення негативного впливу підводного шуму на морське біорізноманіття. Рівень шуму постійно зростає, тому ним необхідно керувати як на національному, так і на міжнародному рівні, перш ніж настане незворотна шкода біорізноманіттю та морській екосистемі. У світлі прогалин даних, запобіжний підхід до управління підводним шумом – є ключовим.

1.3.2. Огляд досліджень підводного шуму та його впливу

Багато морських організмів покладаються на свою здатність чути для свого виживання. Звук є високоефективним засобом спілкування під водою і є основним способом збирання та розуміння інформації про навколишнє середовище безлічі морських видів. Значна кількість водних тварин використовують звук, щоб шукати здобич, знаходити партнерів і нащадків, уникати хижаків, орієнтуватися в товщі води та визначати місце проживання, а також слухати та спілкуватися між собою.

Звуки, що належать морським тваринам, різноманітні. Морські ссавці, такі як блакитні кити та морська свиня, видають звуки в широкому діапазоні частот, від менш ніж 10 Гц до понад 100 кГц, залежно від виду морських ссавців. Багато риб, такі як устриці-жаба і звичайний мічман, а також деякі морські безхребетні, такі як раки-лускунчики, також видають звуки. (Рис.1)



Рис.1 Частотні діапазони морської фауни та судноплавства

За останнє століття людська діяльність: судноплавство, рекреаційні катери та дослідження енергії, зросла вздовж наших узбережжя, офшорних та глибоких океанів. Шум від цієї діяльності може подорожувати на великі відстані під водою, що призводить до збільшення та зміни рівня шуму в океані в багатьох прибережних та морських місцях проживання тварин.

Ці підвищені рівні шуму можуть негативно вплинути на океанічних тварин та екосистеми. Більш високий рівень шуму може зменшити здатність тварин спілкуватися з потенційними партнерами, іншими членами групи, їх нащадками або партнерами по годуванню. Шум також може зменшити здатність тварини океану чути екологічні сигнали, життєво важливі для виживання, включаючи ті, що є ключовими для уникнення хижаків, пошуку їжі та навігації до бажаних місць існування.

Можна спостерігати миттєву реакцію, тобто, що морські тварини залишають «галасливі райони», але тихших – стає все менше. Така тенденція зменшення середовища проживання морської фауни, фактично призводить до їх неприродного віддалення від джерел їжі та місць розмноження. Таким чином популяція стає меншою, і це підриває будь-які зусилля щодо збереження біорізноманіття океану.

Огляд показав, що рішення щодо модернізації п'яти великих контейнерних суден, здійснених судноплавством «Maersk» у 2015 році, показують, що нові конструкції гвинтів зменшують рівень шуму, а також підвищують паливну ефективність. Тихіші гвинти є головним пріоритетом, половина шуму від судноплавства утворюється лише з 15% суден.

Електродвигуни – ще одне можливе рішення, як і невелике зниження швидкості. Наприклад, скорочення швидкості шумних суден у Середземному морі з 15,6 до 13,8 вузлів зменшує шум на 50% у період з 2007 по 2013 рік. Сейсмічні дослідження також можна проводити за допомогою вібраторів морського дна, а не надсилати шумові хвилі через цілу товщу води.

РОЗДІЛ 2. ЗАДАЧА ФОРМУВАННЯ ВЕКТОРНОГО ПОЛЯ ІНТЕНСИВНОСТІ В УМОВАХ ПЛОСКО-ПАРАЛЕЛЬНОГО, РЕГУЛЯРНОГО ХВИЛЕВОДА

2.1. Постановка задачі

Модель задачі потребує представлення в вигляді хвилеводу, що має акустично жорстку границю, тобто абсолютний відбивач – «вода-дно» та акустично м'яку границю – «вода-повітря» (Рис.2.). Отже хвилевод має комбіновані границі. Розрахунок будемо проводити в прямокутній системі координат xOz так, що вісь Ox співпадає з жорсткою границею, Oz – вертикальна вісь, \vec{n} – вектор нормалі.

Джерело, що формує інформаційне повідомлення, як комбінацію двох звукових хвиль з частотами ω_1 та ω_2 ($\omega_2 > \omega_1$), розміщене в перетині хвилеводу $x=0$, при цьому враховано, що частоти за значенням більші критичної частоти відповідної моди хвилеводу.

При заданих значення висоти хвилеводу, густини середовища, швидкості звуку в ньому визначити та здобути аналітичні вирази для векторного поля інтенсивності від відповідних величин, дослідити за допомогою графіків його особливості.

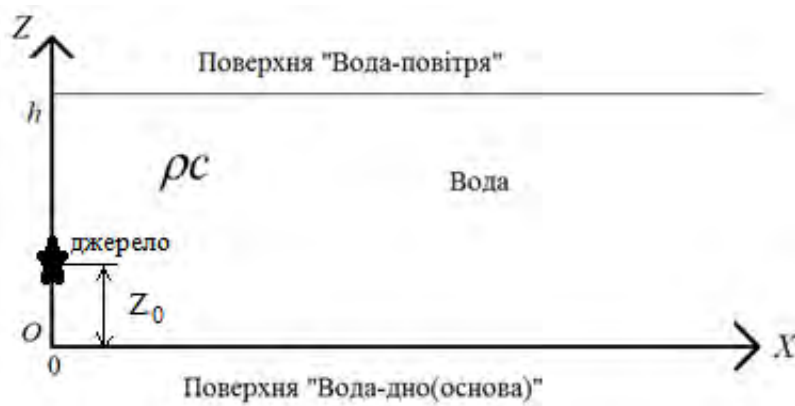


Рис.2. Хвилеводне представлення мілкого моря

2.2. Основні аналітичні співвідношення розв'язку задачі формування векторного поля інтенсивності звукового повідомлення двочастотного характеру

Представимо потенціал швидкості $\varphi_n(x, z, r)$ в хвилеводі для n -ої нормальної хвилі ($n=0,1,2$), що утворюється за допомогою деякого монохроматичного джерела в відповідності до [8], [19-21] та запишемо в вигляді:

$$\varphi_n = \frac{jV_0}{2H} \sum_{n=0}^{\infty} H_0^{(1)}(k_n x) \cos\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H} z\right) \cos\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H} z_0\right) e^{-i\omega t}, \quad (10)$$

де $H_0^{(1)}(k_n x)$ – функція Ханкеля першого роду нульового порядку; z_0 – глибина моря; z – глибина джерела; множник $e^{-i\omega t}$ надалі враховуємо та опускаємо; k_n – хвильове число n -ої нормальної хвилі:

$$\begin{aligned} k_n &= k \sqrt{1 - \left(\frac{\omega_{нкр}}{\omega}\right)^2}; \\ \omega_{нкр} &= \frac{\pi(2n+1)c}{h}; \\ k &= \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi f}{c} \end{aligned}, \quad (11)$$

де $\omega_{нкр}$ – критична частота, $\omega = 2\pi f$ – кругова частота, c – швидкість звуку в вільному середовищі.

У випадку, коли процес відбувається в комбінованому хвилеводі, запишемо граничні умови:

$$\begin{aligned} p(x, z, t) &= \rho_0 \frac{\partial \varphi(x, z, t)}{\partial t} \Big|_{z=H} = 0, \\ v(x, z, t) &= -\frac{\partial \varphi(x, z, t)}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0 \end{aligned}. \quad (12)$$

Перейдемо до тиску та складових швидкості:

$$\begin{aligned} p(x, z, t) &= \rho_0 \frac{\partial \varphi(x, z, t)}{\partial t}, \\ v_x(x, z, t) &= -\frac{\partial \varphi(x, z, t)}{\partial x}, \\ v_z(x, z, t) &= -\frac{\partial \varphi(x, z, t)}{\partial z}. \end{aligned} \quad (13)$$

Використання формули Ейлера та формул переходу (наприклад, [8], [19-21]) від потенціалу швидкості до тиску p_n та компонент коливальної швидкості v_{nx} , v_{nz} , для хвиль I, II з частотами ω_1 та ω_2 , відповідно, приводять (10) до вигляду:

$$\begin{aligned} p_n^I(x, z, t) &= -\omega_I \rho_0 \frac{v_0}{2H} \sum_1^2 C_{1n} H_0^{(1)}(k_n^I x) e^{-i(\omega_I t - k_n^I x)}, \\ p_n^{II}(x, z, t) &= -\omega_{II} \rho_0 \frac{v_0}{2H} \sum_1^2 C_{1n} H_0^{(1)}(k_n^{II} x) e^{-i(\omega_{II} t - k_n^{II} x)}, \\ v_{nx}^I(x, z, t) &= -i \frac{v_0}{2H} \sum_1^2 k_n^I C_{1n}(z, z_0) H_1^{(1)}(k_n^I x) e^{-i(\omega_I t - k_n^I x)}, \\ v_{nx}^{II}(x, z, t) &= -i \frac{v_0}{2H} \sum_1^2 k_n^{II} C_{1n}(z, z_0) H_1^{(1)}(k_n^{II} x) e^{-i(\omega_{II} t - k_n^{II} x)}, \\ v_{nz}^I(x, z, t) &= -i \frac{v_0}{2H} \sum_1^2 C_{2n}(z, z_0) H_0^{(1)}(k_n^I x) e^{-i(\omega_I t - k_n^I x)}, \\ v_{nz}^{II}(x, z, t) &= -i \frac{v_0}{2H} \sum_1^2 C_{2n}(z, z_0) H_0^{(1)}(k_n^{II} x) e^{-i(\omega_{II} t - k_n^{II} x)}. \end{aligned} \quad (14)$$

Хвилі I, II, які створює джерело, співнаправлені, а хвильове число для відповідних частот ω_1 та ω_2 записується як:

$$k_n^I = k^I \sqrt{1 - \left(\frac{\omega_{\text{нкр}}}{\omega_I} \right)^2}, \quad k_n^{II} = k^{II} \sqrt{1 - \left(\frac{\omega_{\text{нкр}}}{\omega_{II}} \right)^2}.$$

Для такої ситуації, необхідно визначити інтенсивність I_{nx} в напрямку розповсюдження хвилі (вісь Ox) та I_{nz} – вздовж Oz , а далі знайти сумарну інтенсивність I .

2.2.1. Основні аналітичні співвідношення для формування поля інтенсивності вздовж осі Ох

З групи рівнянь (13), спираючись на [22], використовуючи середні по часовому проміжку спостереження $T = \frac{2\pi}{(\omega_{II} - \omega_I)}$ значення суперпозиції тиску $p_n(x, z, t) = p_n^I(x, z, t) + p_n^{II}(x, z, t)$ і відповідних компонент фазової швидкості $v_{nx}(x, z, t) = v_{nx}^I(x, z, t) + v_{nx}^{II}(x, z, t)$ можна навести вирази вигляду:

$$\begin{aligned}\bar{p}_n(x, z) &= \frac{1}{T} \int_0^T p_n^I(x, z, t) dt + \frac{1}{T} \int_0^T p_n^{II}(x, z, t) dt \\ \bar{v}_{nx}(x, z) &= \frac{1}{T} \int_0^T v_{nx}^I(x, z, t) dt + \frac{1}{T} \int_0^T v_{nx}^{II}(x, z, t) dt\end{aligned}\quad (15)$$

Визначимо інтенсивність I_{nx} як:

$$I_{nx} = \frac{1}{T} \int_0^T p(x, z, t) v_{nx}(x, z, t) dt. \quad (16)$$

В виразі (16):

$$\begin{aligned}p_n(x, z, t) &= p_n^I(x, z, t) + p_n^{II}(x, z, t) \\ p_n^I(x, z, t) &= -\omega_I \rho_0 \frac{v_0}{2H} \sum_1^2 C_{1n} H_0^{(1)}(k_n^I x) e^{-i(\omega_I t - k_n^I x)}, \\ p_n^{II}(x, z, t) &= -\omega_{II} \rho_0 \frac{v_0}{2H} \sum_1^2 C_{1n} H_0^{(1)}(k_n^{II} x) e^{-i(\omega_{II} t - k_n^{II} x)}\end{aligned}\quad (17)$$

$$\begin{aligned}v_{nx}(x, z, t) &= v_{nx}^I(x, z, t) + v_{nx}^{II}(x, z, t) \\ v_{nx}^I(x, z, t) &= -i \frac{v_0}{2H} \sum_1^2 k_n^I C_{1n}(z, z_0) H_1^{(1)}(k_n^I x) e^{-i(\omega_I t - k_n^I x)}, \\ v_{nx}^{II}(x, z, t) &= -i \frac{v_0}{2H} \sum_1^2 k_n^{II} C_{1n}(z, z_0) H_1^{(1)}(k_n^{II} x) e^{-i(\omega_{II} t - k_n^{II} x)},\end{aligned}\quad (18)$$

де ρ_0 - густина води, а деякі вирази дорівнюють :

$$C_{1n}(z, z_0) = \cos\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H} z\right) \cos\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H} z_0\right). \quad (19)$$

Після підстановки (17) та (18) в (16), з урахуванням (19) та формул Ейлера, для інтенсивності I_{nx} отримаємо:

$$\begin{aligned} I_{nx} = & \frac{1}{T} \int_0^T \left[-\omega_I \rho_0 \frac{v_0}{2H} \sum_1^2 \cos\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H} z\right) \cos\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H} z_0\right) H_0^{(1)}(k_n^I x) e^{-i(\omega_I t - k_n^I x)} - \right. \\ & \left. -\omega_{II} \rho_0 \frac{v_0}{2H} \sum_1^2 \cos\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H} z\right) \cos\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H} z_0\right) H_0^{(1)}(k_n^{II} x) e^{-i(\omega_{II} t - k_n^{II} x)} \right] \times \\ & \left[-i \frac{v_0}{2H} \sum_1^2 k_n^I \cos\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H} z\right) \cos\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H} z_0\right) H_1^{(1)}(k_n^I x) e^{-i(\omega_I t - k_n^I x)} - \right. \\ & \left. -i \frac{v_0}{2H} \sum_1^2 k_n^{II} \cos\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H} z\right) \cos\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H} z_0\right) H_1^{(1)}(k_n^{II} x) e^{-i(\omega_{II} t - k_n^{II} x)} \right] \end{aligned} \quad (20)$$

2.2.2. Основні аналітичні співвідношення для формування поля інтенсивності вздовж осі Oz

З групи рівнянь (13), використовуючи середні по часовому проміжку

спостереження $T = \frac{2\pi}{(\omega_{II} - \omega_I)}$ значення суперпозиції тиску

$p_n(x, z, t) = p_n^I(x, z, t) + p_n^{II}(x, z, t)$ і відповідних компонент фазової

швидкості $v_{nz}(x, z, t) = v_{nz}^I(x, z, t) + v_{nz}^{II}(x, z, t)$ вигляду:

$$\begin{aligned}\bar{p}_n(x, z) &= \frac{1}{T} \int_0^T p_n^I(x, z, t) dt + \frac{1}{T} \int_0^T p_n^{II}(x, z, t) dt \\ \bar{v}_{nz}(x, z) &= \frac{1}{T} \int_0^T v_{nz}^I(x, z, t) dt + \frac{1}{T} \int_0^T v_{nz}^{II}(x, z, t) dt\end{aligned}\quad (21)$$

Визначимо інтенсивність I_{nz} як:

$$I_{nz} = \frac{1}{T} \int_0^T p(x, z, t) v_{nz}(x, z, t) dt. \quad (22)$$

В виразі (16):

$$\begin{aligned}p_n(x, z, t) &= p_n^I(x, z, t) + p_n^{II}(x, z, t) \\ p_n^I(x, z, t) &= -\omega_I \rho_0 \frac{v_0}{2H} \sum_1^2 C_{1n} H_0^{(1)}(k_n^I x) e^{-i(\omega_I t - k_n^I x)}, \\ p_n^{II}(x, z, t) &= -\omega_{II} \rho_0 \frac{v_0}{2H} \sum_1^2 C_{1n} H_0^{(1)}(k_n^{II} x) e^{-i(\omega_{II} t - k_n^{II} x)}\end{aligned}\quad (23)$$

$$\begin{aligned}v_{nz}(x, z, t) &= v_{nz}^I(x, z, t) + v_{nz}^{II}(x, z, t) \\ v_{nz}^I(x, z, t) &= -i \frac{v_0}{2H} \sum_1^2 C_{2n}(z, z_0) H_0^{(1)}(k_n^I x) e^{-i(\omega_I t - k_n^I x)}, \\ v_{nz}^{II}(x, z, t) &= -i \frac{v_0}{2H} \sum_1^2 C_{2n}(z, z_0) H_0^{(1)}(k_n^{II} x) e^{-i(\omega_{II} t - k_n^{II} x)}.\end{aligned}\quad (24)$$

де ρ_0 - густина води, а деякі вирази дорівнюють :

$$\begin{aligned}
C_{1n} &= \cos\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H} z\right) \cos\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H} z_0\right), \\
C_{2n} &= \frac{(2n+1)\pi}{2H} \sin\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H} z\right) \cos\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H} z_0\right).
\end{aligned} \tag{25}$$

Після підстановки (23) та (24) в (22), з урахуванням (25) та формул Ейлера, для інтенсивності I_{nz} отримаємо:

$$\begin{aligned}
I_{nz} &= \frac{1}{T} \int_0^T \left[-\omega_I \rho_0 \frac{v_0}{2H} \sum_1^2 \cos\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H} z\right) \cos\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H} z_0\right) H_0^{(1)}(k_n^I x) e^{-i(\omega_I t - k_n^I x)} - \right. \\
&\quad \left. -\omega_{II} \rho_0 \frac{v_0}{2H} \sum_1^2 \cos\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H} z\right) \cos\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H} z_0\right) H_0^{(1)}(k_n^{II} x) e^{-i(\omega_{II} t - k_n^{II} x)} \right] \times \\
&\quad \left[-i \frac{v_0}{2H} \sum_1^2 \frac{(2n+1)\pi}{2H} \sin\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H} z\right) \cos\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H} z_0\right) H_0^{(1)}(k_n^I x) e^{-i(\omega_I t - k_n^I x)} - \right. \\
&\quad \left. -i \frac{v_0}{2H} \sum_1^2 \frac{(2n+1)\pi}{2H} \sin\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H} z\right) \cos\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H} z_0\right) H_0^{(1)}(k_n^{II} x) e^{-i(\omega_{II} t - k_n^{II} x)} \right] \tag{2.8}
\end{aligned}$$

2.2.3. Основні аналітичні співвідношення для сумарного поля інтенсивності

Визначимо вектор інтенсивності через його проєкції I_{nx} , I_{nz} на осі oX , oZ , відповідно:

$$I_{nx} = \frac{1}{T} \int_0^T p(x, z, t) v_{nx}(x, z, t) dt,$$

$$I_{nz} = \frac{1}{T} \int_0^T p(x, z, t) v_{nz}(x, z, t) dt,$$

а модуль повної інтенсивності знайдемо за:

$$I_{\Sigma} = \sqrt{I_{nx}^2 + I_{nz}^2}$$

Розглянемо інтенсивність в комплексній формі:

$$\vec{I}(\vec{r}) = \frac{1}{4} \left[P(\vec{r}) \vec{V}^*(\vec{r}) + P^*(\vec{r}) \vec{V}(\vec{r}) \right] = \frac{1}{4} \left[p(\vec{r}, t) \vec{v}^*(\vec{r}, t) + p^*(\vec{r}, t) \vec{v}(\vec{r}, t) \right],$$

де $P^*(\vec{r})$, $\vec{V}^*(\vec{r})$ – комплексні амплітуди тиску та вектору коливальної швидкості; $p(\vec{r}, t)$, $\vec{v}^*(\vec{r}, t)$ – миттєві значення тиску та вектору коливальної швидкості; * – позначення для комплексно спряжених величин.

Обчислимо складові швидкості $v_{nx}(x, z, t)$, $v_{nz}(x, z, t)$ та інтенсивності $I_{nx}(\vec{r}, t)$, $I_{nz}(\vec{r}, t)$ з визначенням амплітуд та фаз, для подальшого знаходження амплітудного значення та фази сумарної інтенсивності $I_{\Sigma}(\vec{r})$.

2.3. Умови проведення чисельних досліджень

Проведемо обчислення в програмному забезпеченні MatLab. В його середовищі реалізуємо модель описану в пункті 2.1.

Хвилевід заповнений водою при нормальних умовах, а саме такі, що визначені IUPAC, як нормальний тиск у 10^5 Па та температура 0°C (273°K), що в свою чергу визначає густину води $1000\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ та швидкість звуку у воді $1500\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Висота хвилеводу була обрана $h = 200\text{ м}$, а відстань від джерела відповідає 800 м .

Частоти для дослідження були обрані дослідницьким чином з області нижніх фундаментальних частот, таким чином щоб відображати найбільш сприятливу для передачі сигналу картину. Тобто спочатку було проаналізовано ряд третино октавних частот, а графіки та залежності наведені для оптимальних значень.

РОЗДІЛ 3.ПРОВЕДЕННЯ ЧИСЕЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1.Розробка програми для проведення експерименту

Визначимо початкові данні

```
X = 1:1:800; % дистанція
Z = 1:1:200; % глибина
ro = 1000; % густина
czv = 1500; % швидкість звуку
f1 = 63; % перша частота
f2 = 71; % друга частота
h = 200; % висота хвилеводу
z0 = h;
nu0 = 1; % продуктивність
```

Обчислимо основні компоненти виразів:

```
w1 = 2*pi*f1;
w2 = 2*pi*f2;

dw = w2-w1;
period = (2*pi)/(dw); % період
k1 = w1/czv; % хвильове число для першої частоти
k2 = w2/czv; % хвильове число для другої частоти
```

Проведемо перевірку на критичну частоту та за умови її успішності обчислимо всі додаткові компоненти та суми для подальшого розрахунку:

%% Розрахунок С коефіцієнтів та функції Ханкеля

```
S_v1nx_one = zeros(1, length(X));
S_v2nx_one = zeros(1, length(X));
S_v1nz_one = zeros(1, length(X));
S_v2nz_one = zeros(1, length(X));
S_p1n_one = zeros(1, length(X));
S_p2n_one = zeros(1, length(X));

S_v1nx = zeros(length(Z), length(X));
S_v2nx = zeros(length(Z), length(X));
S_v1nz = zeros(length(Z), length(X));
S_v2nz = zeros(length(Z), length(X));
S_p1n = zeros(length(Z), length(X));
S_p2n = zeros(length(Z), length(X));

for z = 1:1:(length(Z))
    for n = 1:1:2 % номер моди
        an = ((2*n+1)*pi)/(2*h);
        wnkr = ((2*n+1)*pi*czv)/(2*h);
        k1n = k1*(sqrt(1-(wnkr/w1)^2));
        k2n = k2*(sqrt(1-(wnkr/w2)^2));
        fnkr = wnkr/(2*pi);

        %% Аналіз критичної частоти
```

```

        if fnkr>f1
            sprintf('Критична частота більша за першу частоту при
моді n= %.0f', n)
            break

        elseif fnkr>f2
            sprintf('Критична частота більша за другу частоту при
моді n= %.0f', n)
            break

        else
            sprintf('Критична частота менша за першу частоту та
другу частоту при моді n= %.0f', n)

            %%% Розрахунок сум для швидкостей вздовж осі Oх
            S_v1nx_one = S_v1nx_one + k1n*cos(an*z)*cos(an*z0) .*
besselh(1,(k1n.*X));
            S_v2nx_one = S_v2nx_one + k2n*cos(an*z)*cos(an*z0) .*
besselh(1,(k2n.*X));

            %%% Розрахунок сум для швидкостей вздовж осі Oz
            S_v1nz_one = S_v1nz_one + an*sin(an*z)*cos(an*z0) .*
besselh(0,(k1n.*X));
            S_v2nz_one = S_v2nz_one + an*sin(an*z)*cos(an*z0) .*
besselh(0,(k2n.*X));

            %%% Розрахунок сум для тисків
            S_p1n_one = S_p1n_one + cos(an*z)*cos(an*z0) .*
besselh(0,(k1n.*X));
            S_p2n_one = S_p2n_one + cos(an*z)*cos(an*z0) .*
besselh(0,(k2n.*X));
        end
    end
    ind = find((Z)==z);
    S_v1nx(ind,:) = S_v1nx_one;
    S_v2nx(ind,:) = S_v2nx_one;

    S_v1nz(ind,:) = S_v1nz_one;
    S_v2nz(ind,:) = S_v2nz_one;

    S_p1n(ind,:) = S_p1n_one;
    S_p2n(ind,:) = S_p2n_one;
end

```

Обчислимо значення тисків та компонентів коливальної швидкості при отриманих значеннях суми:

```

%% Розрахунок тисків
p1 = ((-w1*ro*nu0)/(2*h)) .* (S_p1n);
p2 = ((-w2*ro*nu0)/(2*h)) .* (S_p2n);
p12 = p1 + p2;

%% Розрахунок швидкостей вздовж осі Oх
v1nx = ((-li*nu0)/(2*h)) .* (S_v1nx);

```

```

v2nx = ((-1i*nu0)/(2*h)) .* (S_v2nx);
v12nx = v1nx + v2nx;
v12nx_sp = conj(v12nx);                                %%% комплексне спряжене

%%% Розрахунок швидкостей вздовж осі Oz
v1nz = ((-1i*nu0)/(2*h)) .* (S_v1nz);
v2nz = ((-1i*nu0)/(2*h)) .* (S_v2nz);
v12nz = v1nz + v2nz;
v12nz_sp = conj(v12nz);                                %%% комплексне спряжене

```

Проведемо розрахунок інтенсивності для отриманих компонентів тиску та коливальної швидкості:

```

%%% Розрахунок інтенсивності
I_x = 0.5 .* (p12 .* v12nx_sp);
r_I_x = real(I_x);
im_I_x = imag(I_x);
I_z = 0.5 .* (p12 .* v12nz_sp);
r_I_z = real(I_z);
im_I_z = imag(I_z);
I = sqrt(r_I_x.^2 + r_I_z.^2);

fi_x = atan(im_I_x ./ r_I_x) .* 180;
fi_z = atan(im_I_z ./ r_I_z) .* 180;

I_0 = 10 ^ (-12);
I_x_db = real(10 * log10(r_I_x ./ I_0));
I_z_db = real(10 * log10(r_I_z ./ I_0));
I_db = real(10 * log10(I ./ I_0));

```

Побудуємо відповідні графіки:

```

%%% Побудова графіків
figure(3)
subplot(2,2,1)
contourf(X, Z, I_x_db, ':');
hold on;
grid on;
title(['Інтенсивність по осі OX в дБ для f1=', num2str(f1), 'дБ та f2=', num2str(f2), 'дБ ']);

%figure(2)
subplot(2,2,2)
contourf(X, Z, I_z_db, ':');
hold on;
grid on;
title(['Інтенсивність по осі OZ в дБ для f1=', num2str(f1), 'дБ та f2=', num2str(f2), 'дБ ']);

%figure(3)
subplot(2,2,[3, 4])
contourf(X, Z, I_db, ':');
hold on;
grid on;

```

```
title(['Інтенсивність в дБ для f1=', num2str(f1) , 'дБ та f2=',  
num2str(f2), 'дБ']);  
  
figure(4)  
contourf(X, Z, I_db, ':');  
hold on;  
grid on;  
title(['Векторне поле інтенсивності в дБ для f1=', num2str(f1) , 'дБ  
та f2=', num2str(f2), 'дБ']);  
quiver(X,Z,fi_x,fi_z);  
hold on;  
grid on;
```

3.2. Результати роботи програми

В даному розділі наведемо результати обчислень в програмному середовищі MatLab. Спираючись на вище зазначені отримані вирази та умови проведення експерименту в пункту 2.3.

Розглянемо різницю між частотами на прикладі, якщо перша частота $f_1 = 63$ Гц, а другу обираємо по черзі з ряду третино октавних частот:

Як бачимо з Рис.3., при збільшенні різниці між частотами проявляється більш чітке поле інтенсивності, а при меншій різниці поле більш диференційоване.

Отже для розгляду вихрових особливостей поля потрібно розглядати різницю частот в межах октави.

Таким чином оберемо пари частот $f_1 = 63$ Гц та $f_2 = 71$ Гц.

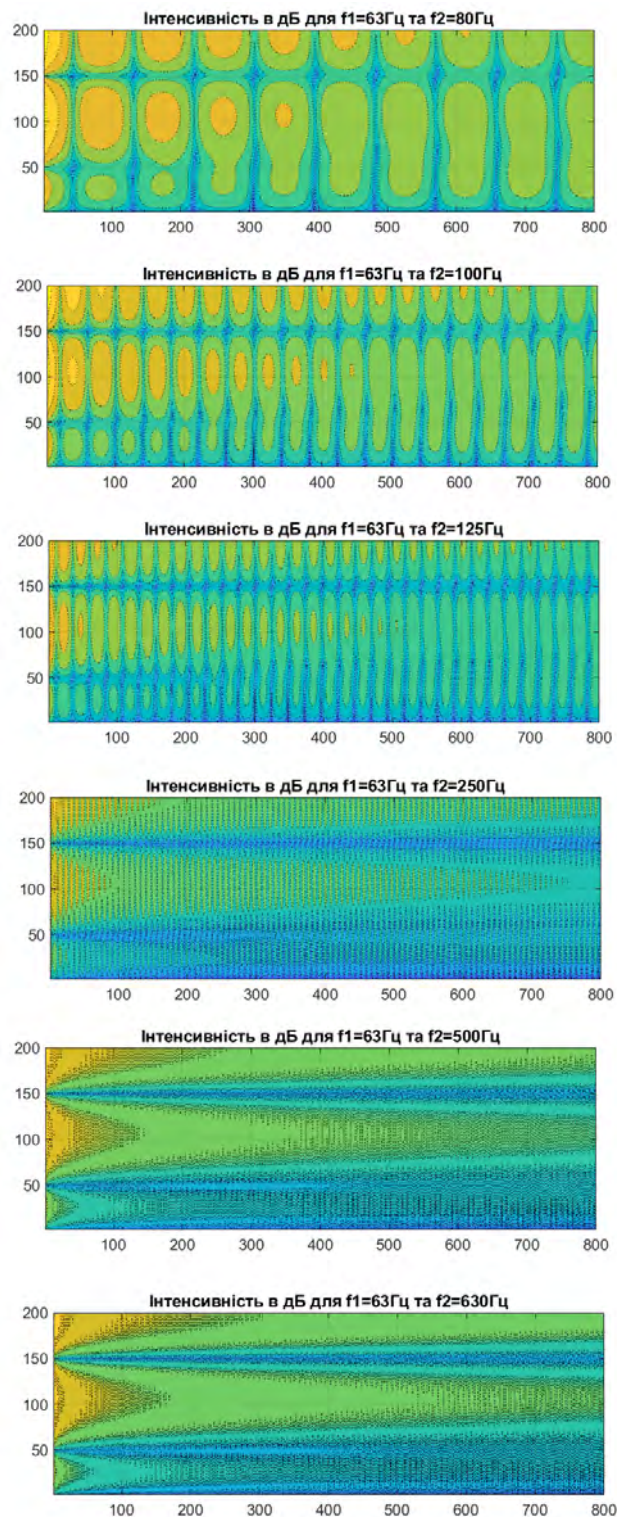


Рис.3. Поле інтенсивності при збільшенні різниці в парі частот

Структура поля інтенсивності різноманітна, що зумовлено утворення особливих точок локально вихрового характеру. Вони відповідають таким особливостям, згідно [23]:

$$\operatorname{Re}(P(x, z)) = \operatorname{Im}(P(x, z)) = 0;$$

$$\operatorname{Re}(V_x(x, z)) = \operatorname{Im}(V_x(x, z)) = 0;$$

$$\operatorname{Re}(V_z(x, z)) = \operatorname{Im}(V_z(x, z)) = 0;$$

$$\varphi(P(x, z)) - \varphi(V_x(x, z)) = \frac{2n+1}{2} \pi,$$

$$\varphi(P(x, z)) - \varphi(V_z(x, z)) = \frac{2n+1}{2} \pi.$$

Таким чином, кольорове забарвлення відповідає розподіленню сумарного вектору інтенсивності, тобто «тепліші» жовті та помаранчеві зони відповідають максимальним значенням, а «холодніші» сині – мінімумам.

Можемо спостерігати періодичність чергування зон максимумів та мінімумів, що визначається модами звукової хвилі, дисперсією в хвилеводі та фазою.

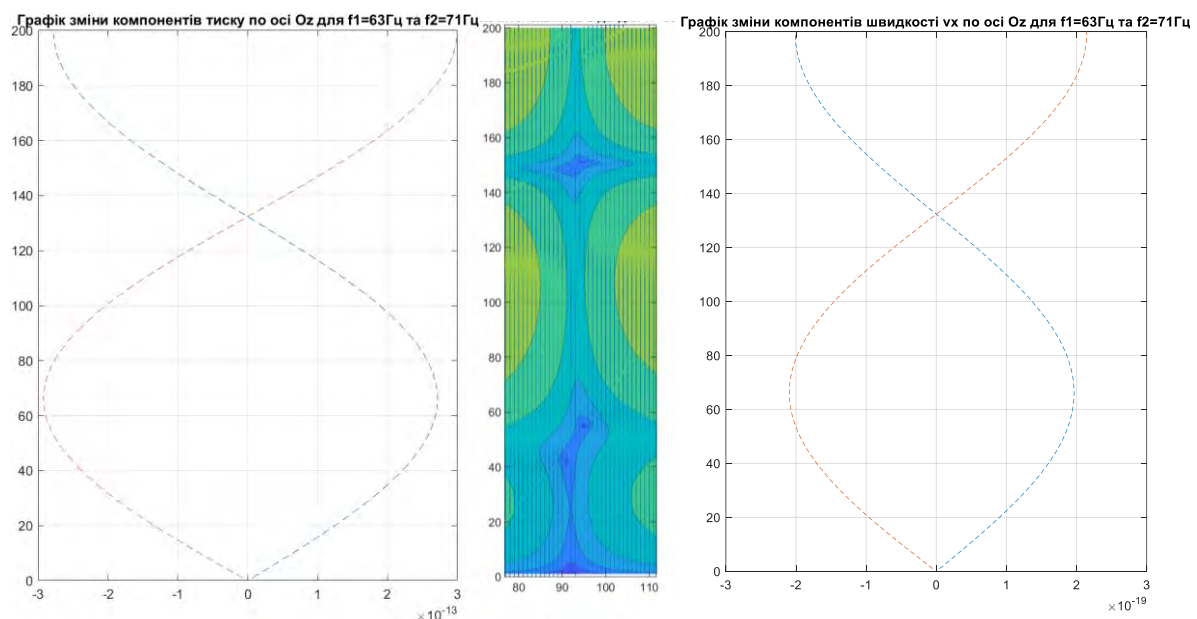


Рис.4.Графік зміни для компонентів тиску, поле інтенсивності та зміни для компонентів коливальної швидкості в перерізі 93.5 м

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї проекту

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення програмного забезпечення для передбачення та вимірювання векторного поля інтенсивності в мілкому морі	1. Гідрологічні досліджувальні станції	Можливість швидкого та зручного розрахунку поля інтенсивності на певних ділянках мілкого моря, що витрачає мінімальну кількість ресурсів, як людських, так і матеріальних. Можливість попередження згубного впливу «шумленості» середовища на морську фауну
	2. Центри логістики морських шляхів	Прогнозування завантаженості та інтенсивності руху морськими шляхами та впливу на морську фауну. Можливість проведення безлічі симуляцій за відносно короткий проміжок часу та з залученням мінімальної кількості людських ресурсів.

Таблиця 4.2. Визначення характеристик ідеї проекту:

№ п / п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/ концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Запропоноване рішення	Експериментальний шлях			
1	Інтеграція з усіма системами	Так	Ні			+
2	Ідентифікація локальних min та max	Так (без залучення персоналу)	Так (із залученням персоналу)		+	
3	Обслуговуючий персонал	1	Від 10 осіб			+
4	Швидке моделювання	Так	Ні			+
5	Вартість послуги	7 000 ум.од. + щомісячна заробітня платня 1 працівника	Щомісячна заробітня платня працівникам			+

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

У табл.4.3 наведено оцінку технологічної здійсненності ідеї проекту та наведено технології, що можуть бути використані для реалізації проекту.

Таблиця 4.3. Оцінка технологічної здійсненності ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Створення ПЗ	Людський ресурс	Наявна	Доступна
2		Комп'ютер	Наявна	Доступна
3		Технологія	Наявна	Доступна

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

У табл.4.4 показано попередню характеристику потенційного ринку стартап-проекту.

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	30000 ум. од
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутність даної технології на ринку
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	35,4%

У табл.4.5 показано характеристику потенційних клієнтів стартап-проекту.

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Автоматизація	Дослідницькі центри, логістичні компанії, міністерства та	Застосування результатів для різних цілей(завантаження морських	Можливість прогнозування загроз та негативних факторів для їх

		організації охорони морського різноманіття	шляхопроводів та визначення впливу на морську фауну)	попередження. Зменшення витратної вартості одиниці вимірювання та збільшення швидкості отримання результату.
--	--	--	--	--

У табл.4.6 проаналізовано фактори загроз реалізації стартап-проекту.

Таблиця 4.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Інформаційний бар'єр	Внаслідок не поінформованості про дану технологію	Участь в міжнародних прес-конференціях та виставках , демонстрація можливостей. Потенційне створення семінарів для працівників науково-дослідницьких центрів.
2	Анти екологічність	Незацікавленість в зменшенні шумового впливу та побудови екологічного підприємництва	Популяризація та наголошення на наявності даної проблеми. Надання безкоштовного ПО, контролюючим органам для впровадження штрафної системи.

У табл.4.7 показано фактори можливостей при реалізації стартап-проекту.

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Перехід до лідируючої позиції на ринку	Зростання попиту	Якісне та кількісне нарощування потужностей
2	Залучення інвесторів	Зростання попиту внаслідок зниження цін	Якісне та кількісне нарощування потужностей

У табл.4.8 визначено особливості конкурентного середовища та його вплив на впровадження проекту.

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Чиста конкуренція	Використання аутентичної технології	Стандартизація на високому рівні
2. Локальний	Відсутність єдиного національного постачальника послуг	Окремий підхід до кожної локальної ділянки
3. Міжгалузєва	Відсутня	Відсутня
4. Товарно-видова	Використання нової послуги, яка інтегрується до систем конкурентів	Принципово новий підхід до створення послуги в галузі
5. Цінова	Застосування спеціалізованих послуг, які мають незначну ціну	Можливість заощадити за допомогою застосування цієї послуги
6. Марочна	Відсутня	Відсутня

У табл.4.9 показано аналіз конкуренції проекту в галузі за допомогою «П'яти конкурентних сил М. Портера»

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Виробники систем моніторингу	Виробники систем моніторингу та потенційно нові виробники в галузі	Залучення ІТ-спеціалістів	Дослідницькі центри, логістичні компанії, міністерства та організації охорони морського різноманіття	Надання переваги компаніям з більшим досвідом на ринку
Висновки:	Середня	Можливість виходу на ринок є	Диктують цінову політику на послугу	Клієнти диктують вимоги до якості	Обмеження існують лише у разі відмови від нової послуги

У табл.4.10 показано фактори конкурентоспроможності та їх обґрунтування.

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Раціональний ціновий показник	Окупиться менше ніж за три місяці

2	Надання сервісних послуг	Сервісна підтримка програмної частини
---	--------------------------	---------------------------------------

У табл.4.11 наведено сильні та слабкі сторони проекту.

Таблиця 4.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Раціональний ціновий показник	16		+					
2	Надання сервісних послуг	12				+			
3	Періодична діагностика	14					+		
4	Необхідність залучення висококваліфікованих кадрів	11							+

У табл.4.12 наведено SWOT-аналіз стартап-проекту.

Таблиця 4.12. SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони	Слабкі сторони
<p>Раціональний ціновий показник.</p> <p>Автоматизація експериментальних процесів</p> <p>Відсутність великої кількості обслуговуючого персоналу</p>	<p>Необхідність залучення інвестицій</p> <p>Наявність інформаційних бар'єрів для входу на ринок</p>
Можливості	Загрози
<p>Перехід до лідерської позиції на ринку.</p> <p>Монетизація ідеї серед інших виробників</p>	<p>Незацікавленість інвесторів та поява продуктів-замінників</p> <p>Постійне відкладання еко ініціатив</p>

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту наведені у табл.4.13.

Таблиця 4.13. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Укладення договорів з потенційними клієнтами та швидке захоплення ринку при використанні правильних бізнес-процесів	Середня	Незначні
2	Залучення інвесторів завдяки високій рентабельності проекту	Велика	Незначні

Обрана альтернатива – залучення інвесторів завдяки високій рентабельності проекту.

4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Обґрунтування вибору цільових груп потенційних споживачів наведено у табл.4.14 .

Таблиця 4.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
1	Дослідницькі центри	Висока	Високий	Низька	Висока
2	Логістичні компанії	Середня	Високий	Низька	Низька
3	Організації охорони морського різноманіття	Середня	Середній	Низька	Середня

Визначення базової стратегії розвитку наведено у табл.4.15.

Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Використання власної альтернативної послуги	Автоматизація	Зацікавлення та залучення лідерів у галузі моніторингу шуму	Стратегія фокусування

2	Дешевизна проекту	Мінімальні витрати на оплату праці, підвищення рівня прибутковості	Інтеграція з усіма системами, які використовують потенційні клієнти при вирішенні даної проблеми	Стратегія лідерства по витратах
---	-------------------	--	--	---------------------------------

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки наведено у табл.4.16.

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект "першо-проходьцем" на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Так	Шукати нових	Ні	Лідер ринку

Визначення стратегії позиціонування наведено у табл.4.17.

Таблиця 4.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (дві ключових)
1	Висока якість послуг	Стратегія фокусування	Гарантія якості	Якість, надійність
2	Мінімальні витрати	Стратегія лідерства по витратах	Універсальність запропонованого рішення	Дешевизна, універсальність

4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Ключові переваги концепції потенційного товару наведено у табл.4.18.

Таблиця 4.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Швидкість	Висока швидкість та надійність	Відсутність необхідності експериментальних вимірювань
2	Дешевизна	Пришвидшення процесу, раціональне використання коштів, яке сприяє збільшенню прибутку	Інноваційність

Визначено три рівні моделі товару. Сутність та складові рівнів товару наведено у табл.4.19.

Таблиця 4.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Якісні послуги, стандартизована якість послуг та обладнання		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	1) Вартість обслуговування 2) Кількість комплексів обладнання	1) М 2) Нм	1) Е 2) Тл

	3) Строк безвідмовної праці	3) М	3) Е
	4) Технологічна собівартість	4) М	4) Тх
	Якість: постійне оновлення ПЗ		
	Доставка: встановлення та налаштування		
	Марка: відсутня		
III. Товар із підкріпленням	До продажу – встановлення ПЗ		
	Після продажу – сервісна підтримка		

За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: завдяки ліцензуванню .

Визначення меж встановлення ціни на послугу наведено у табл.4.20.

Таблиця 4.20. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Послуги - замітники	Послуги - аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни	
1	3000 у.о./од.	Відсутні	Високий	Послуга	
				Н. 500 у.о	В.1 500 у.о
				Товар	
				Н.7 000 у.о	В.7 000 у.о

Формування системи збуту послуги наведено у табл.4.21.

Таблиця 4.21. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка купівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконати поставальник послуг	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Орієнтована на автоматизацію та збільшення кількості реєстрації порушень	Постачання якісних послуг	Значна	Договірна система збуту

Концепції маркетингових комунікацій наведено у табл.4.22.

Таблиця 4.22. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Зацікавленість в якісному та точному продукті з раціональним використанням коштів	Контроль шумового забруднення	Висока рентабельність ідеї	Зацікавити у покращеннях пов'язаних із зростаючою популярністю послуг	Представлення безкоштовної демо-версії на 30 днів
2	Зацікавленість у великій кількості послуг із дотриманням умов якості	Контроль шумового забруднення	Глибина каналу постачальників, гарант якості	Зацікавити у позитивних сторонах первісності та в глибині каналу постачання	Представлення ПЗ для систем ідентифікації та прогнозування при моніторингу шуму

ВИСНОВКИ

Виявлено в реальному хвилеводі мілкого моря вихровий характер поля вектору акустичної інтенсивності, що не суперечить існуючим теоретичним уявленням.

Проведено статистичні дослідження взаємних скалярних і векторних характеристик акустичного поля двочастотного джерела в мілкому морі для різних відстаней між джерелом і комбінованим приймачем в області низьких частот.

Статистичний аналіз показав, що у вертикальній площині, що проходить через джерело і приймач, ротор акустичної інтенсивності має відмінні від нуля горизонтальні x - і y -компоненти.

Середнє значення вертикальної z -компоненти ротора дорівнює нулю. Вихрові властивості "течії" енергії в вертикальній площині спостерігалися при безперервному зміні відстані до 800 м між джерелом і приймачем.

Дане фізичне явище носить універсальний характер і має братися до уваги при вирішенні фундаментальних і прикладних проблем підводної акустики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖРЕЛ

1. I. Tolstoy and C. S. Clay, *Ocean Acoustics*. Mc Graw-Hill Company, New York, 1966.
2. K. F. Herzfeld and T. A. Litovitz, *Absorption and Dispersion of Ultrasonic*. New York, 1965.
3. Лейко О. Г. Акустичні особливості інформаційної гідроакустичної системи "морське середовище – надводний корабель – гідроакустична станція" та можливості впливу на неї / О. Г. Лейко, А. В. Дерєпа, О. О. Кочарян // Озброєння та військова техніка. - 2017. - № 2. - С. 66-75. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt_2017_2_12.
4. C. F. Chien and R. V. Waterhouse, "Singular points of intensity streamlines in two-dimensional sound fields," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 101, no. 2, pp. 705–712, 1997, DOI: 10.1121/1.418034.
5. V. A. Gordienko, *Vektorno-fazovyie metody v akustike [Vectorphase methods in acoustics]*. Moscow, Russia: PHISMATHLIT, 2007
6. O. R. Lastovenko, V. A. Lisiutin, and A. A. Yaroshenko, "Osobennosti vektornyih akusticheskikh poley v volnovodah melkogo morya [Vector acoustic fields features in waveguides of the shallow water]," in *Consonance. Acoustic symposium.*, 2011, pp. 188–193.
7. V. A. Shcurov, V. P. Kuleshov, and A. V. Cherkasov, "Vyihrevyie svoystva vektora akusticheskoy intensivnosti v melkom more [Intensity's vortex properties in shallow water]," *Acoust. J.*, vol. 57, no. 6, pp. 837–843, 2011, URL: http://www.akzh.ru/pdf/2011_6_837-843.pdf.
8. M. A. Isakovich, *Obshchaya akustika [General Acoustics]*. Moscow, USSR: Nauka, 1973.

9. M. Elaisse, F. Garcia-Moliner Propagation of wave packets and frequency-dependent internal friction. In Mason's book. Physical acoustics. Principles and methods. T.5. – M: Mir. 1996. – 332 p.
10. ELAKPI – Електронний архів наукових та освітніх матеріалів КПІ ім. Ігоря Сікорського Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/28341/1/Nizhynska_bakalavr.pdf
11. L. Brillouin, Wave propagation and group velocity. New York. L.: Acad. Press. 1960 – 154 p.
12. J. W. Strett (Lord Relley.). Theory of sound. T. 1. – M.:INTL.1995. – 504 p.
13. A. Sommerfeld Ein Einwand gegen die Relativtheorie der Elektrodynamik und seine Beseitigung Physikalische Zeitschrift 8:841. 1907. GS:II, 183- 184pp.
14. Vainshtaine L. A. Electromagnet Waves. – M.: Radio I svias. 1998. – 440 p.
15. Kopeikin V. V. Refraction of waves in linear media with frequency dispersion. – M.: Nauka. 2007. – 142 p.
16. C. M. Duarte, L. Chapuis, Sh. P. Collin, The soundscape of the Anthropocene ocean, Science, 05 Feb 2021: Vol. 371, Issue 6529, eaba4658, DOI: 10.1126/science.aba4658
17. Andrew, R. K., Howe, B. M., Mercer, J. A. & Dzieciuch, M. A. Ocean ambient sound: Comparing the 1960s with the 1990s for a receiver off the California coast. Acoust. Res. Lett. Online 3, 65 (2002).
18. Miksis-Olds, J. L. & Nichols, S. M. Is low frequency ocean sound increasing globally? J. Acoust. Soc. Am. 139, 501–511 (2016)
19. M. I. Karnovsky, Teoriticheskie osnovy gidroakustiki [Theoretical basics of hydroacoustics]. Kyiv, Ukraine: KPI, 1986.

20. V. T. Grinchenko, I. V. Vovk, V. T. Matsypura, *Osnovy akustiki*[Basics of Acoustics]. Kyiv, Ukraine: IGM NANU, 2009.
21. V. V. Meleshko, V. T. Matsypura, I. A. Ulitko, *Teoriya volnovodov* [Waveguide`s theory]. Kyiv, Ukraine: PCC Kyiv University, 2013.
22. Korzhyk, M. O., Kurdiuk, S. V., & Korzhyk, O. V. (2018). Імпедансні характеристики плоско-паралельного акустичного хвилеводу з комбінуванням межами при порушенні його двочастотних сигналом. *Мікросистеми, Електроніка та Акустика*, 23(3), 65–74. <https://doi.org/10.20535/2523-4455.2018.23.3.135928>
23. Chaika, O. S., Yaroshenko, M. O., & Korzhyk, O. V. (2018). Особливі точки векторного поля інтенсивності в хвилеводі з комбінованими границями. *Мікросистеми, Електроніка та Акустика*, 23(1), 44–51. <https://doi.org/10.20535/2523-4455.2018.23.1.107853>