

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА АКУСТИКИ ТА МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ЕЛЕКТРОНИК СИСТЕМ

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

 Сергій НАЙДА

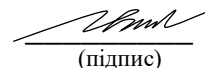
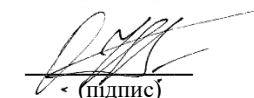
(підпис)

(ініціали, прізвище)

“12” _____ 05 _____ 2020 р.


Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 171 «Електроніка» _____
(код і назва)на тему: «Телеметричний радіобуй» _____

 _____Виконав: студент 6 курсу, групи ДГ-81мн
(шифр групи)
Нгуєн Тхань Ві
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)
Керівник _____ к.т.н., ас. Нижник О. І _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)
Консультант _____ _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)Рецензент Доц. каф. ЕПС, к.т.н., доц. Катерина КЛЕН _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
 немає запозичень з праць інших авторів
 без відповідних посилань.

 Студент 
(підпис)

Київ – 2020 року

Завдання на магістерську дисертацію
 Національний технічний університет України
 «Київський політехнічний інститут»

Факультет Електроніки _____
 (повна назва)

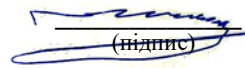
Кафедра Акустичних та мультимедійних електронних систем _____
 (повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 171 Електроніка _____
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 Сергій НАЙДА
 (підпис) (ініціали, прізвище)

«12» _____ 05 _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Нгуєн Тхань Ві _____
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Телеметричний радіобуй» _____

керівник роботи Нижник Олександр Ігорович, к.т.н., ас. _____,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «17» березня 2020 р. №887-с

2. Термін подання студентом роботи 12.05.2020 р.

Об'єкт дослідження: підвищення точності вимірювання швидкість звуку в морі

4. Предмет дослідження: Телеметричний радіобуй

5. Перелік завдань, які необхідно розробити: 1) огляд літературних джерел; 2) організація та проведення експериментальних досліджень; 3) аналіз отриманих результатів; 4) оформлення дисертаційної роботи

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: презентація із слайдів.

7. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

8. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літератури	30 листопада 2019 р.	Виконано
2	Написання вступу	15 грудня 2019 р.	Виконано
3	Написання 1-го розділу	8 січня 2020 р.	Виконано
4	Написання 2-го розділу	30 січня 2020 р.	Виконано
5	Написання 3-го розділу	30 лютого 2020 р.	Виконано
6	Написання 4-го розділу	15 березня 2020 р.	Виконано
7	Написання 5-го та 6-го розділу	15 квітня 2020 р.	Виконано
8	Написання реферату та оформлення всієї роботи	30 квітня 2020 р.	Виконано

Студент

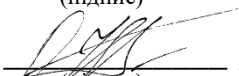


 (підпис)

 Н. Т. Ві

 (ініціали, прізвище)

Керівник роботи



 (підпис)

 Нижник О. І.

 (ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Метою даної магістерської дисертації є дослідження ефективності телеметричного радіобую, який вимірює вертикальний розподіл швидкості звуку у воді. У дипломі проаналізовано вибір методу роботи приладу, описано основи теорії, принцип функціонування, параметри основних акустичних компонентів приладу та міркування якими слід керуватись при їх виборі, приведені метрологічні характеристики роботи приладу. За отриманими результатами створено рекомендації стосовного вибору способу проектування та виготовлення телеметричного радіобую.

Обсяг основного тексту – 76 сторінки. Робота містить 25 рисунків, 11 таблиць, 32 бібліографічне найменування за переліком посилань.

Ключові слова: електроакустичне кільце, вертикальний розподіл швидкості звуку, гідроакустичний перетворювач, акустична база..

ABSTRACT

The aim of this master's dissertation is to study the effectiveness of telemetry sonobouy, which measures the vertical distribution of the speed of sound in water. The diploma analyzes the choice of method of operation of the device, describes the basics of theory, principle of operation, parameters of the main acoustic components of the device and considerations that should be guided in their selection, metrological characteristics of the device. Based on the obtained results, recommendations for the choice of the method of design and manufacture of telemetry sonobouy.

The volume of the main text is 76 pages. The thesis contains 25 figures, 11 tables and 32 references.

Keywords: electroacoustic ring, vertical speed distribution of sound, sonar transducer, acoustic base ..

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ , СИМВОЛІВ ТА СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТЕЛЕМЕТРИЧНОГО РАДІОБУЯ	9
1.1 Історія розвитку гідроакустичних буїв.....	9
1.2 Історія розвитку батитермографа.....	18
1.3 Види телеметричних радіобуїв у світі	20
1.4 Висновки.....	23
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ТЕЛЕМЕТРИЧНОГО БУЯ.....	24
2.1 Методи вимірювання швидкості звуку.....	24
2.1.1 Непрямі методи вимірювання звуку.....	24
2.1.2 Прямі методи вимірювання швидкості звуку.....	28
2.2 Структура поля швидкості звуку в морі.....	32
2.3 Теорія поширення променів і побудова їх траєкторій	37
2.4 Висновки.....	40
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ПРИКЛАДУ ТА ЙОГО РОБОТИ.....	40
3.1 Структура прикладу	40
3.2 Розрахунок параметрів структурної схеми	41
3.3 Метод визначення глибини	47
3.3.1 Метод визначення глибини за часом занурення	47
3.3.2 Визначення глибини за допомогою датчиків тиску	47
3.4 Висновки.....	48
РОЗДІЛ 4. БЛОК АКУСТИЧНОЇ БАЗИ ПРИЛАДУ.....	49
4.1 Склад і принцип роботи блоку.....	49
4.2 Гідроакустичні перетворювачі.....	50
4.3 Вибір відстані між ГАП і рефлектором.....	52
4.4 Вибір діаметра рефлектора акустичної бази.....	54
4.5 Висновки.....	54

РОЗДІЛ 5. МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ ПРИЛАДУ.....	56
5.1 Вплив на точність роботи додаткової часової затримки	56
5.2 Вплив температурної нестабільності акустичної бази на точність вимірювань.....	58
5.3 Оцінка похибки вимірювань, викликаної потоком, що набігає	59
5.4 Похибка визначення глибини	60
5.5 Висновки.....	61
РОЗДІЛ 6. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	62
6.1. Мета та завдання стартап-проекту.....	62
6.2. Опис ідеї проекту.....	62
6.3. Технологічний аудит.....	64
6.4. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	65
6.5. Розроблення ринкової стратегії проекту та маркетингової програми.....	69
6.6. Висновки.....	71
ВИСНОВКИ.....	73
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	74

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВРШЗ – вертикальний розподіл швидкості звуку (sound speed profile);

ВТ – Батитермограф;

ГАП – гідроакустичний перетворювач;

ASW – anti submarine warfare;

ЕАК – електроакустичне кільце;

ГАС – гідроакустична система.

ВСТУП

На сьогодні система гідроакустичних буїв - це витратний, повітряно-розгортальний акустичний датчик для виявлення підводних човнів. Це надає повітряній платформі можливість використовувати підводний звук, щоб виявити підводний човен противника. В таких системах телеметричний радіобуй є надзвичайно важливою складовою, він використовується для вимірювання швидкості поширення підводного звуку, оцінюючи тим самим вплив морського середовища на роботу гідроакустичних станцій та показуючи сліпі плями.

Метою даної магістерської дисертації є дослідження ефективності телеметричного радіобуя з прямим методом вимірювання швидкості звуку в воді.

Завдання дипломної роботи - знайти шляхи підвищення точності вимірювання швидкості поширення звуку у водному середовищі, а також практичне навчання та надання систематичної теоретичної інформації з цього питання. Шляхом вирішення цієї проблеми є застосування методу прямого вимірювання швидкості звуку.

Результати роботи будуть корисними при подальших розробках і дослідженнях, а також при виборі телеметричного радіобуя для оснащення приладів та пристроїв промислового, військового, наукового призначення.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТЕЛЕМЕТРИЧНОГО РАДІОБУЯ

1.1 Історія розвитку гідроакустичних буйів

Гідроакустичні буйі - це витратний, повітряно-розгортальний акустичний датчик для виявлення підводних човнів. Винайдений під час Другої світової війни як частина відповіді США на загрозу підводних човнів противника, яка мала руйнівний вплив на судноплавство, пізніше він став первинним повітряним датчиком протичовнової війни (ASW) і продовжує бути ефективним в ASW. Це надало повітряній платформі можливість використовувати підводний звук, щоб знайти підводний човен противника.

У своїй найпростішій формі гідроакустичний буй - це компактний, автономний пакет електроніки, призначений для скидання з літака, входу у воду, розділення підводного акустичного датчика та надводного радіопередавача та ретрансляції сигналів підводної акустики, які він виявляє до літального апарату, де приймається і обробляється радіочастотна передача (RF) для виявлення, локалізації та відстеження підводних човнів у морі. Гідроакустичний буй забезпечує підводні вуха для літака. Так само, як загроза підводним човнам змінювалася протягом десятиліть, так і гідроакустичний буй змінювався разом із приймачами ASW, процесорами, літаками та концепціями експлуатації. Технологічний прогрес у підводних човнах та протичовнових датчиках по черзі стимулював інших до подальшого прогресу. Нові виклики були вирішені новаторськими реакціями, і повітряні акустичні датчики ASW трансформувалися, щоб відповідати кожній новій ситуації.

Первинний датчик боротьби з підводними човнами, витратний гідроакустичний буй, був розроблений під час Другої світової війни у відповідь на руйнівне знищення судноплавства в Атлантиці, спричинене німецькими підводними човнами. Простий прослуховуваний пристрій для прослуховування радіо, викинутий з літака в 40-х роках, виявився революційним для повітряних ASW. Протягом наступних десятиліть

еволюція акустичних буїв йшла за низкою напрямків. Від AN / CRT-1, першого пасивного всенаправленого ширококутового буя Другої світової війни, до AN / SSQ-53 DIFAR і AN / SSQ-77 VLAD, пасивних вузькосмугових буїв, і AN / SSQ-62 DICASS, активних спрямованих гідроакустичних буїв "холодної війни". Буї розвивалися в можливостях і тактичному розгортанні у відповідь на все більш досконалу радянську загрозу підводних човнів. Розвиток буїв з його удосконалювальною технологією та в його численних проявах описується в протилежність загрози, що розвивається. Проілюстровано перехід експлуатаційних концепцій від CODAR до Джулі та Єзавелі до DIFAR, а також обговорюється вплив прогресу підводної акустики та океанічного середовища на конструкцію буї. Показано, що гідроакустичний буй є простим, надійним, недорогим, технічно складним, адаптивним та ефективним пристроєм, який вироблявся мільйонами і використовується майже сімдесят років.

Битва за Атлантику офіційно почалася з початком Другої світової війни 3 вересня 1939 р. Спираючись на свій досвід нападу підводних човнів у Першій світовій війні, англійці почали використовувати систему конвою для супроводу судноплавства, доповнену наземними літаками прибережного командування RAF. Незважаючи на те, що вони були обмежені в дальності і не мали озброєння, щоб здійснити рішучу атаку, літаки виявились ефективними у виявленні ПЧ, що спричиняло їх занурення та запобігало їх атакам на судноплавство. У 1941 році Німеччина почала використовувати вовчі зграї для скоординованих нападів на кораблі союзників декількома підводними човнами, і в тому році затопила 1118 кораблів союзників. Дев'яносто п'ять відсотків підводних човнів, виявлених союзниками, втекли [4, 6]. Для боротьби з човнами, які атакували судноплавство біля східного узбережжя Сполучених Штатів, ВМС та армія здійснили політ протичовнових патрулів, намагаючись помітити підводні човни візуально, коли вони спливали, але до березня 1942 року літак не мав радіолокатора і не міг літати вночі.

У травні 1941 р. М.С. Блеклет, голова Комітету з адміралтейства Британії з питань боротьби проти підводних човнів, запропонував ідею розгорнутої повітряної сонарної системи [11-14]. Вашингтон відповів, що вже розпочав проект, що втілює деякі ті самі проблеми без використання літака [15]. Радник президента Рузвельта Ванневар Буш створив підводну звукову лабораторію Колумбії у Форт Трумбал, Нью-Лондон, штат Коннектикут, а в червні 1941 р. RCA поставила перші моделі свого буя, що розгортається. Ці 60-фунтові буї були випробувані у вересні 1941 року в бухті Барнегат, штат Нью-Джерсі. Вони досить добре попрацювали, щоб довести концепцію.

Буй першої моделі мав радіопередавач потужністю 1.5 Вт, налаштований на будь-яку з 6 FM частот у діапазоні від 60 до 72 мегагерців і використовував п'ять акумуляторних батарей. Він мав сталеву монопольну антену і нікелевий магнітострикційний гідрофон, підвішений на глибину до 24 футів. Невелика глибина використовувалась через проблеми зіставлення гідрофона та розміру електричного проводу, який з'єднував його з електронікою

Перші вироби спочатку мали бути скинуті вручну. Для випробування ранніх одиниць їх скидали з високих мостів. Коли було вирішено скинути їх з літаків, до буїв додали парашути, а жорстку антену замінили на таку, що самовстановлюється. У червні 1942 р. Було видано перший оперативний пасивний ширококутовий гідроакустичний буй AN / CRT-1, показаний на рис. 2. Робоча частота AN / CRT-1 становила від 300 Гц до 8 кГц в діапазоні частот людського вуха, і обробка переданого сигналу була слуховою. Оператору довелося приймати рішення в режимі реального часу, виходячи з його здатності розрізняти різні підводні звуки. AN / CRT-1A, вдосконалена версія, відома також як Expendable Radio SonoBuoy (ERSB), мала збільшений діапазон частот від 100 Гц до 10 кГц і легшу вагу (12,7 фунтів). Підвісний кабель зберігався всередині порожнистої оболонки, щоб зменшити довжину буя на 4 дюйми (до 40 дюймів в цілому) від попередньої конструкції.

Після запуску статична лінія, прикріплена до літака, зірвала кришку парашута, що дозволило відкрити помаранчевий парашут діаметром 24 дюйма. Антена телескопічна і виступала через отвір в парашуті. Антена являла собою 39-дюймову чверть хвильову сталеву трубку з близько 9,5 дюймів антени, ізольованої від води водонепроникним рукавом. Один з парашутних плащ витягнув штифт перемикача, щоб увімкнути передавач. У воді парашут залишився прикріпленим і розташувався навколо основи антени

Підсилювач і радіочастотний передавач всередині герметичного верхнього відділення були встановлені з обох боків прямокутної пластини з аудіопідсилювачем з одного боку та радіочастотним ланцюгом з іншого. Пластина була встановлена на чотирьох ударостійких гумових опорах для ізоляції мікросхеми від мікрофонічного шуму, і кожна розетка вакуумної труби мала своє гумове кріплення. Передавач FM забезпечував ефективне випромінювання радіочастотної антени 0,1 Вт. Він живився чотирма паралельними 1,5-вольтовими ліхтариками для напруги нитки та двома мініатюрними батареями 67,5-вольт для напруги пластини, що забезпечували 4 години безперервної роботи.

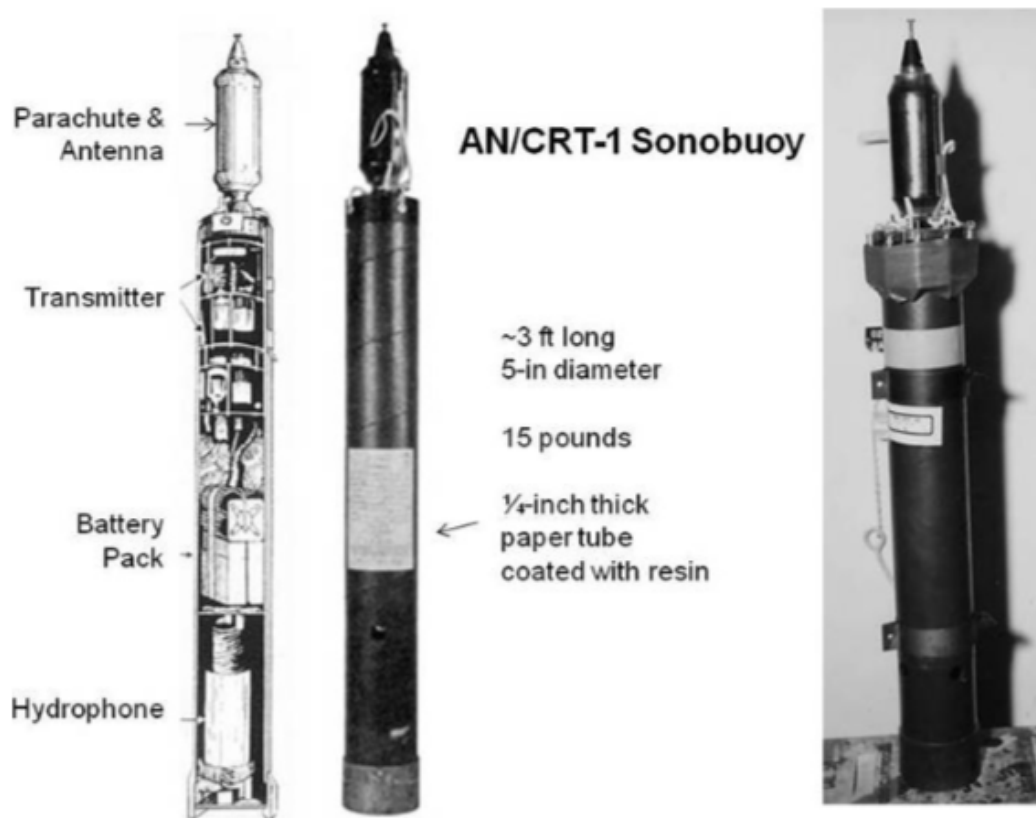


Рис. 1 - The AN/CRT-1 Sonobuoy

25 липня 1942 року з бомбардувальника B-18 армії США було здійснено перший успішний запуск буя з літака [12, 17]. До кінця жовтня було розпочато закупівлю, коли Бюро кораблів замовив 1000 буїв та 100 пов'язаних приймачів. Згодом армійський повітряний корпус замовив 6,410 буїв AN / CRT-1, а ВМС замовив 1800 одиниць [3, 13, 17]. До 1943 р. RCA розпочало повномасштабне виробництво буїв.

У 1950 році, спровокована можливістю радянської підводної загрози в Атлантиці, яка незабаром перевершить німецькі підводні човни Другої світової війни, Bell Labs ініціювала програму для Управління військово-морських досліджень з розробки SOSUS (SOund SUrveillance System), мережа глибоких океанічних датчиків для пошуку, класифікації та відстеження радянських підводних човнів. Концепція SOSUS базувалася на каналі глибокого звуку, або на каналі SOFAR (SOUN Fixing And Ranging). Низькочастотні акустичні НДДКР під назвою Project Jezebel поєднували обладнання Bell Labs LOFAR (Аналіз та запис низьких частот) з прототипом гідрофонного масиву, встановленого Western Electric. Програма нагляду за

океаном SOSUS розширилася на великі райони Атлантичного та Тихого океанів

Напрямленим гідроакустичним буйом AN/SSQ-1 зазнав затримок у своєму розвитку до 1954 року, коли Magnavox почав працювати над конструкцією буя з механічним повернутим гідрофоном на глибині 50 футів, що забезпечувалось пасивними підшипниками, і частотою прослуховування в 15 кГц. Акустичний діапазон 17 кГц. Він важив 60 фунтів і був упакований у циліндричну конфігурацію під назвою В-розмір (діаметром 6,875 дюйма на 60 дюймів). Оскільки AN / SSQ-1, показаний на фіг. 7 з гідрофоном, що обертається, стикався з постійними проблемами, ВМС США придбали тимчасово AN / SSQ-20, американську версію британського Т-1946 направленою буя [13]. Підводна система SOSUS була високоефективною на великих дальностях і мала змогу забезпечити встановлення контактних зон для радянських підводних човнів. Маючи фіксовані сонаРНі системи як основний датчик спостереження за підводними човнами, літак ВП став засобом швидкого переслідування човнів, виявлених SOSUS, а розгорнуті літаком буї стали основними датчиками для тактичного пошуку та локалізації підводних човнів.



Рис.2 – AN/SSQ-1 and 1A Sonobuoy Showing the Rotating Directional Hydrophone

У 1956 році LOFAR був вперше представлений у спільноті VP, і пасивний всенаправлений гідроакустичний буй AN / SSQ-28, спадкоємець AN / SSQ-2 (XN-8), розпочали виробляти в 1960 році. AN / SSQ -28 був важливим проривом у надійності завдяки впровадженню на заводі

аккумуляторів, що працюють від контакту з водою. AN / SSQ-28 був першим справжнім сонобуєм LOFAR, що працював на частотах від 10 до 2500 Гц, що дало ASW можливість експлуатувати низькочастотний режим, успішно використовуваний SOSUS. AN / SSQ-28 мав розмір А і вагу від 18 до 20 фунтів з п'єзоелектричним керамічним гідрофоном на глибині 95 футів. Це був перший гідроакустичний буй, який застосував кварцстабілізований передавач і мав шістнадцять радіочастотних каналів з фіксованою частотою. Він мав підвісний кабель з багатожильними ізоляторами, намотаними спірально всередині силіконового гумового кабелю, що дозволяло кабелю пружно розтягуватися, щоб зменшити рух гідрофона. Він також мав коаксіальну алюмінієву стрижневу напівхвилеву антену, висунуту над поверхнею води.

У 1960-х роках були розроблені доступні активні буї з одночастотним когерентним джерелом для забезпечення розпізнавання Доплера для відокремлення рухомих цілей від нерухомих об'єктів. Це, поряд з потребою Джулі у складних моделях літаків, висококваліфікованими операторами, великими навантаженнями на обробку даних та проблемами з безпекою роботи повітряних екіпажів призвели до скасування Джулі. Перший вироблений активний буй, AN / SSQ-15, діапазон типу В, показаний на рис. 10 поруч із буєм розміру А, створював всенаправлений сигнал безперервної хвилі (CW) в діапазоні від 26 кГц до 38 кГц діапазон частот, після чого отримував відлуння. Введений в 1961 році, AN / SSQ-15 спочатку був непопулярним через свої грізні розміри та вагу. Пізніше, коли у Джулі та CODAR були виявлені проблеми з виявленням, AN / SSQ-15 зі своїм надійним діапазоном 2500 ярдів та можливістю виявлення рухомих об'єктів знайшли більше використання.



Рис.3 – B-size AN/SSQ-15 Sonobuoy next to an A-size Buoy.

Спрямований гідроакустичний буй

У 1965 р. Розпочато розробку пасивного спрямованого буя AN / SSQ-53 DIFAR (DIREctional Frequency Analysis and Record). Спрямованість датчика була отримана за допомогою двох ортогональних горизонтально орієнтованих датчиків спрямованості, елемента компаса та всенаправленого гідрофона тиску для забезпечення отримання однозначного напрямку на ціль. Концепція DIFAR мультиплексувала інформацію компаса та дані з двох спрямованих гідрофонів та всенаправленого гідрофона, використовуючи опорний тон частоти 7,5 кГц та фазовий пілотний тон 15 кГц, який фазово зміщувався і забезпечував частоту несучої для даних в його бічних смугах, показана на рис. 12. і 13.

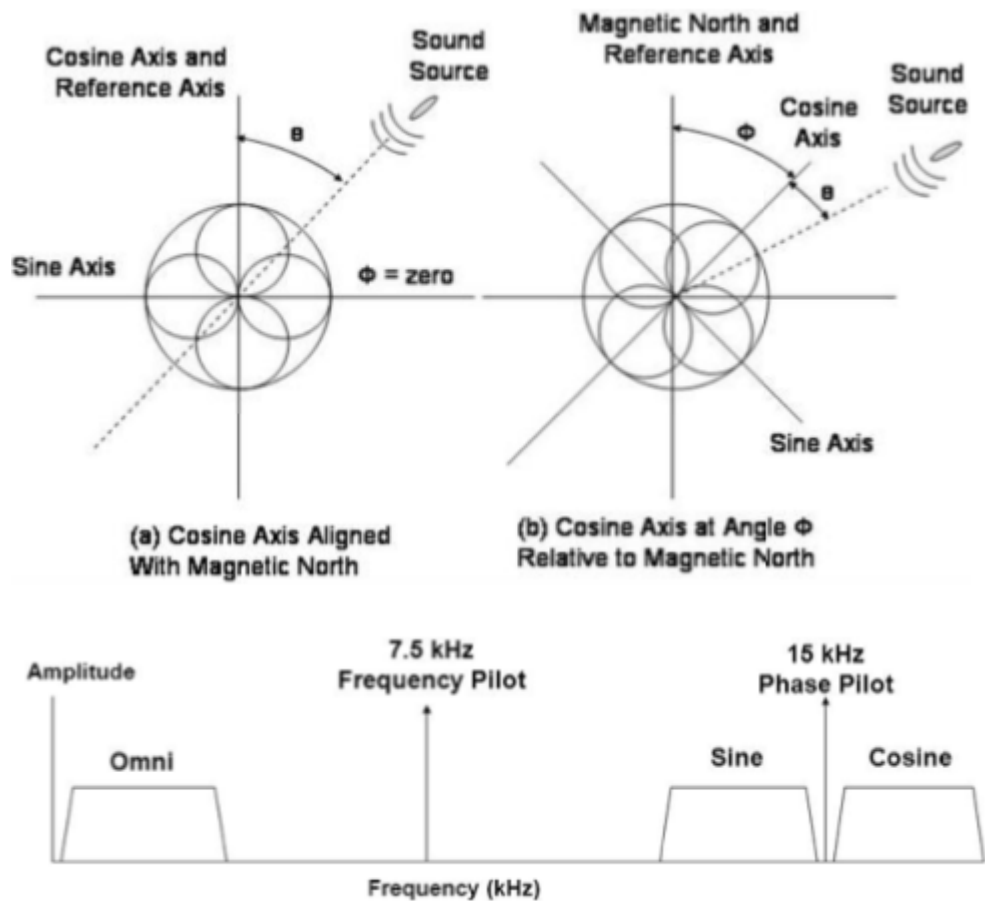


Рис. 4 – Frequency Map of the DIFAR Multiplexed Data

В кінці 1970-х років було розпочато розробку буйів з вертикальними лінійними масивами AN / SSQ-77 (VLAD) для покращення співвідношення сигнал-шум. Буй мав спрямований гідрофон DIFAR, розташований посередині у вертикальній матриці всенаправлених гідрофонів, щоб забезпечити посилення від 10 до 15 дБ. Масив затінювали, утворюючи промені і зменшуючи чутливість у горизонтальному напрямку. VLAD був виготовлений як AN / SSQ-77A у 1981 році та вдосконалений до моделі AN / SSQ-77B за допомогою додаткових гідрофонів. Також він отримав можливість вибору глибини та моделей променів з різними кутами прильоту [69, 70].

Гідроакустичний буй AN / SSQ-101 ADAR (Advanced Deployable Acoustic Receiver) був розроблений як приймач для активного джерела на початку 1990-х компаніями ERAPSCO, спільним підприємством Magnavox

(нині USSI) та Sparton [17]. ADAR мав можливість вибору частотного діапазону, розмір А, 40-елементний площинний масив з формуванням променя в режимі реального часу. Падіння Берлінської стіни в 1989 році і крах Радянського Союзу в 1991 р. Означало закінчення холодної війни, але буї ASW продовжують розроблятися для протидії загрози тихих підводних човнів у всьому світі.

1.2 Історія розвитку батитермографа

Батитермограф, або БТ, також відомий як механічний батитермограф, або MBT - це невеликий торпедоподібний пристрій, який містить датчик температури і перетворювач для виявлення змін температури води в залежності від глибини до глибини приблизно 285 метрів. (935 футів). Опущений невеликою лебідкою з корабля у воду, БТ фіксує зміни тиску і температури на скляному покритті. Під час скидання інструменту дріт вимотується до досягнення заданої глибини, потім застосовується гальмо і БТ відводиться назад на поверхню. Оскільки тиск є функцією глибини (див. Закон Паскаля), вимірювання температури можна співвіднести з глибиною, на якій вони записуються.

Передумови до створення БТ почалися в 1935 році, коли Карл-Густаф Россбі почав експерименти. Потім він направив ідею БТ своєму аспіранту Ательстан Спілхаус, який потім повністю розробив БТ у 1938 р. в ході співпраці між МІТ, Океанографічною установою Вудс-Хоул (WHOI) та ВМС США. Пристрій було модифіковано під час Другої світової війни для збору інформації про різну температуру океану для ВМС США.

Оскільки температура води може змінюватись в залежності від шару і може впливати на сонар, спотворюючи результати локації, батитермографи були встановлені на зовнішніх корпусах підводних човнів США під час Другої світової війни.

Контролюючи відхилення температури на різних глибинах, під час занурення командир підводного човна міг регулювати та компенсувати

температурні шари, які могли впливати на точність сонару. Це було особливо важливо при стрільбі торпедами по цілі, яку підсвічував сонар.

Що ще важливіше, коли підводний човен піддався атаці надводного судна, використовуючи сонар, інформація з батитермографа дозволяла командирю підводного човна шукати термоклини (більш холодні шари води), які спотворювали б результати роботи сонара надводного судна, дозволяючи підводним човнам під атакою "замаскувати" своє фактичне положення та уникнути пошкодження глибинними зарядами і, врешті-решт, вирватися з під атаки.

На початку 1960-х Військово-морський флот США уклав контракт з Sippican Corporation of Marion, Massachusetts, щоб розробити батитермограф, і стати єдиним постачальником.

Пристрій складався з зонда, кабелю і корабельної частини. Всередині зонда знаходиться термістор, який підключений в до магнітофона. Датчик вільно опускається зі швидкістю 20 футів на секунду, що визначає його глибину і забезпечує реєстрацію глибини магнітофоном. Пара тонких мідних дротів, які вимотуються при опусканні з бухти, що зберігається на кораблі, забезпечують лінію передачі даних на судно для запису інформації. Врешті-решт, дріт закінчується і розривається, і БТ опускається на океанське дно. Оскільки розгортання БТ не вимагає, щоб судно сповільнювало або в інший спосіб перешкоджало нормальним експлуатації, БТ часто розгортаються з кораблів, таких як вантажні судна чи пороми, а не обов'язково від спеціалізованого дослідницького корабля. Використовуються також повітряні версії. Вони використовують радіочастотний канал для передачі даних літаку під час розгортання. Сьогодні компанія Lockheed Martin Sippican виготовила понад 5 мільйонів БТ.



Рис. 5 - БТ запускається через ручний пусковий апарат.

1.3 Види телеметричних радіобуйів у світі

AN / SSQ-36B - це гідроакустичний буй типорозміру А, виготовлений для ВМС США, який забезпечує вимірювання вертикального профілю температури води океану для наукових досліджень та цілей. AN / SSQ-36B широко застосовується для застосування в повітряній боротьбі проти підводних човнів для оцінки локальних впливів температури морської води на ефективність роботи сонару та прогнозування діапазону та зон виявлення.

Основні можливості включають в себе можливість вимірювати температуру до глибини 800 метрів і можливість вибору одного каналу УКХ-передавача з 99 доступних каналів. Термістори, розташовані в зонді, вимірюють зміни температури морської води під час спуску з поверхні. Дані через радіоканал передаються на літак, з якого скинуто буй та можуть бути оброблені та відображені у вигляді залежності температури від глибини.

Батитермограф AN/SSQ-36B – призначений для скидання із літаків. В процесі падіння буй стабілізується і сповільнюється парашутом. Він також може бути легко розгорнутий з палуби надводного судна.

Цей гідроакустичний буй має можливість електронного вибору функцій (EFS) для встановлення налаштувань до завантаження та запуску. Це дозволяє оператору вибрати радіочастотний канал.



Рис. 6 - Батитермограф AN / SSQ-36B

Ultra Electronics AN / SSQ-937D - це телеметричний буй розміром G. Ця модель буя є провідною і забезпечує оператору літака надзвичайно точний графік залежності температури моря від глибини. Він може бути запущений практично з будь-яких літальних апаратів або надводних кораблів. І забезпечує точне вимірювання залежності температури води від глибини при глибинах до 800 м. Він може виміряти весь водний стовп протягом 10 хвилин після входу у воду.

AN / SSQ 937D сумісний з усіма розповсюдженими системами прийому та обробки даних з радіогідроакустичних буїв. Він забезпечує додаткову експлуатаційну гнучкість за рахунок зменшених розмірів і ваги порівняно з буями розміром "А".



Рис. 7 - Ultra Electronics AN / SSQ-937D

Батитермограф-банотермограф AN/SSQ-536G G-розміру функціонально ідентичний AN/SSQ-36B розміру A, але має половину об'єму та ваги. Q-536G також може виміряти весь 800-метровий водний стовп протягом 10 хвилин після входу в воду. Він оснащений детектором випуску зонда для забезпечення цілісності даних.

Спочатку Q-536G був розроблений для вертолітної програми в Канаді і був сертифікований в 1999 році. Його невеликий розмір робить Q-536G ідеальним для платформ з невеликою вантажопідйомністю, таких як вертольоти або малі морські патрульні літаки, проте Q-536G також може бути легко розгорнутий з надводного корабля. Він має можливість встановлення одного з 99 радіочастотних каналів для встановлення зв'язку з бортом-носієм для додаткової експлуатаційної гнучкості і сумісний з усіма розповсюдженими системами прийому та обробки даних з радіогідроакустичних буїв. Дизайн Q-536G став основою британського AN / SSQ-937D у Великобританії у 2007 році.



Рис. 8 - Батитермограф-банотермограф AN / SSQ-536G

1.4 Висновки

В даному розділі розглянуто історію винаходу та розвитку системи гідроакустичного буя, а також його важливу роль у протичовновій обороні. У своїй найпростішій формі гідроакустичний буй - це компактний, автономний електронний прилад, призначений для скидання з літака, входу у воду, розділення підводного акустичного датчика та надводного радіопередавача та ретрансляції підводних акустичних сигналів, які він виявляє до літального апарату, де приймається і обробляється радіочастотна передача (RF) для виявлення, локалізації та відстеження підводних човнів у морі.

Також розглянуто історія винаходу та розвитку батитермографа, невеликого торпедоподібного пристрою, який містить датчик температури і перетворювач для виявлення зміни температури води. Температура води може змінюватись від шару до шару і може впливати на ефективність роботи сонару, що призводить до неточних результатів виявлення підводних човнів.

Телеметричний радіобуй - це комбінація гідростатичного буя та батитермографа. На сьогодні телеметричний радіобуй відіграє важливу роль у структурі систем протичовнової оборони.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ТЕЛЕМЕТРИЧНОГО БУЇ

2.1 Методи вимірювання швидкості звуку

Методи вимірювання швидкості звуку в воді можна розділити на 2 основні типи : непрямі та прямі. Непрямі методи основані на залежності швидкості звуку від температури води, гідростатичного тиску та її солоності. На основі багатократних вимірів в зразках морської води і безпосередньо в морі у світі були виведені експериментальні формули, які встановлюються цю залежність

2.1.1 Непрямі методи вимірювання звуку

Визначення швидкості звуку при використанні непрямих методів проводиться шляхом вимірювання температури води, гідростатичного тиску та її солоності з подальшим розрахунком швидкості звуку за однією з відомих формул. У морських умовах вимірювання температури проводиться за допомогою термометрів, які опускаються на певні глибини. Для вимірювання тиску використовують термобатиграфи. З глибин беруть проби води, за якими потім визначають її солоність.

Історія спроб вимірювання швидкості звуку в природних умовах починається з 1827 р., коли Колладон і Штурм провели експеримент на озері, одночасно вдаривши в занурений в озеро дзвін і підірвавши порохований заряд в повітрі. Вимірявши проміжок часу між моментами приходу двох сигналів, що пройшли через озеро, вони визначили швидкість на розповсюдження звуку у воді. Результат склав 1435 м / с при температурі води 18 С - значення, на диво близьке до сучасних даних. Наступні дослідники не тільки вимірювали час приходу звукових сигналів для визначення швидкості звуку в морі, але і намагалися встановити співвідношення між нею і будь-якими стандартними і значно простіше вимірюваними параметрами температурою, солоністю і гідростатичним тиском.

Залежності такого роду можна отримати або аналітично, використовуючи деякі основні характеристики води, такі як питомий об'єм або відносну питому теплоємність, або експериментально в процесі лабораторних вимірювань швидкості звуку в деяких діапазонах температур, солоностей і тисків. Першим методом таблиці швидкості звуку були складені ще до Другої світової війни Хеком і Сервісом [128]. Таблиці швидкості звуку служили в якості стандартних майже 20 років. Більш сучасні методи дозволяють проводити прямі вимірювання швидкості звуку різними способами в лабораторії при ретельно контрольованих умовах. Прикладами можуть служити вимірювання Вейслер і Дель Гроссо.

Далі розглянемо залежності швидкості звуку від температури, солоності і тиску. Аналітичний і експериментальний методи дозволяють отримати вираження для розрахунку швидкості звуку в залежності від основних параметрів: температури, солоності і тиску. Вже наведені три формули, отримані для нульової глибини (при нормальному атмосферному тиску):

Кувахарою в 1939 р.:

$$C = 1445,5 + 4,664T - 0,05547 + 1,307 (S - 35) +$$

Дель Гроссо [33] в 1952 р.:

$$C = 1448,6 + 4,618T - 0,0523T^2 + 0,00023T^3 + 1,25 (S - 35) - 0,011 (S - 35)T + 0,0027 \cdot 10^{-5} (S - 35)T^4 - 2 \cdot 10^{-7} (S - 35)^4 \cdot (1 + 0,577T - 0,0072T^2) +$$

Вільсоном [34] в 1960 р.:

$$C = 1449,2 + 4,623T - 0,05467 + 1,391 (S - 35) +$$

В цих виразах швидкість звуку C виражена в метрах в секунду, T – температура в градусах Цельсія, S – солоність в проміле. Знак «+» в кінці формул означають, що далі йдуть члени вищого порядку малості, що містять T^3 , $(S - 35)^2$, $(S - 35)T$ і т. д. Розбіжності між різними формулами, проаналізовані Маккензі, виявилися менше 3 м/с або 0,2% на нульовій глибині. Для експериментальної перевірки цих емпіричних співвідношень було проведено кілька натурних вимірювань. Найбільшого поширення

набула формула Вільсона, що дозволяє більш точно розрахувати швидкість звуку в залежності від температури, глибини і солоності. Однак це вираз, що має багато членів високого порядку і складові і користуватись ним без допомоги ЕОМ практично неможливо. Лерой запропонував більш прості вирази, які, як вважається, забезпечують такий же гарний збіг з експериментальними даними, що і формула Вільсона, але в більш обмежених діапазонах зміни умов, що відповідають реальному морському середовищу.

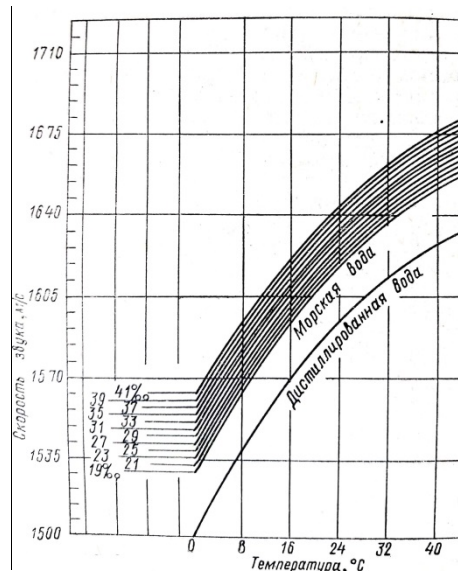


Рис. 9 - Швидкість розповсюдження звуку в дистильованій і морській воді на нульовій глибині в функції від температури при різних значеннях солоності

Ці вирази можна використовувати для розрахунків на настільній ЕОМ, міні-комп'ютері і навіть вручну. Спрощена формула Лероя, у багатьох випадках цілком прийнятна для практичних цілей, і має наступний вигляд

$$C = 1492,9 + 3 (T - 10) - 6 \cdot 10^{-3} (T - 10)^2 - 4 \cdot 10^{-2} (T - 18)^2 + 1,2(S - 35) \cdot 10^{-2} (T - 18) (S - 35) + z / 61.$$

де C , S і T - ті ж параметри, що і в формулі Вільсона, а z - глибина в метрах.

Вважається, що ця формула забезпечує точність 0,1 м/с для $T < 20$ °C і при $z < 800$ м.

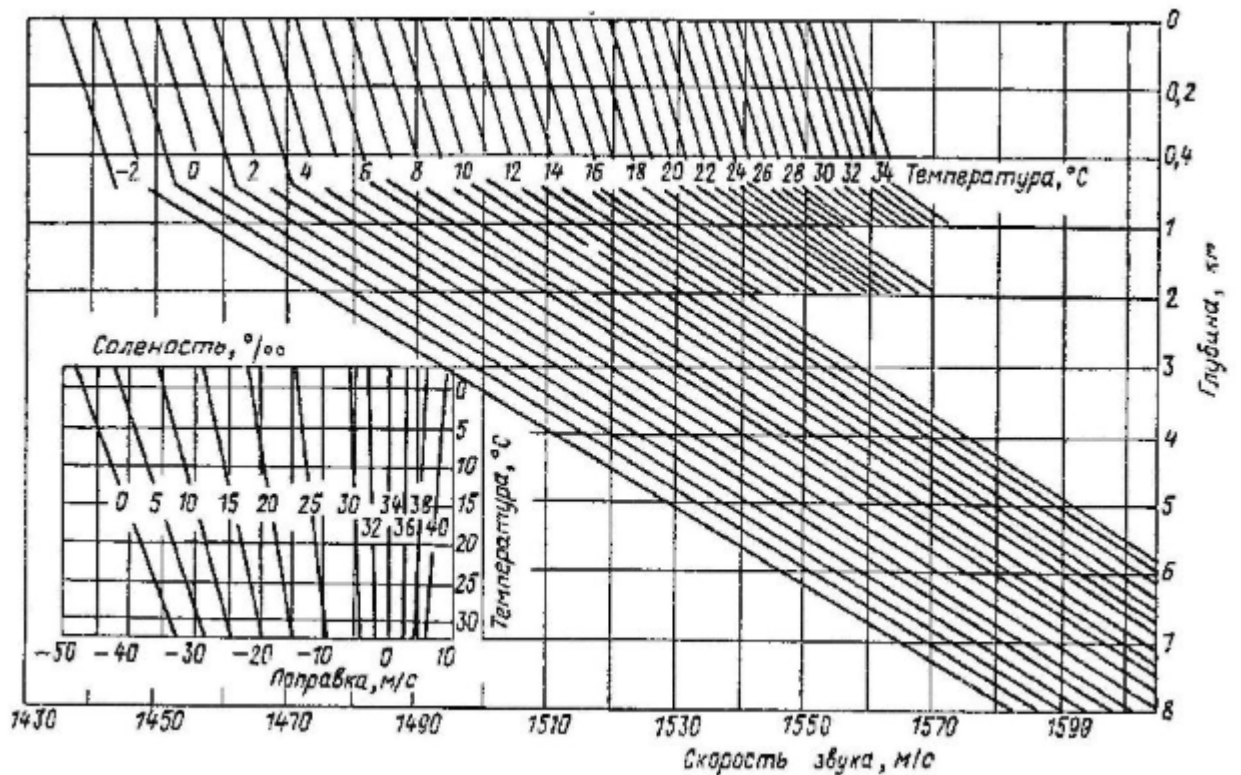


Рис.10 – Швидкості звуку в залежності від температури, глибини та солоності

Як показують наведені вище рисунки – швидкість звуку збільшується при зростанні температури, солоності і глибини. У відкритому морі солоність має незначний вплив на швидкість звуку. На рис. 10 показана залежність швидкості звуку від температури при нульовій глибині і різних значеннях солоності.

Процедура отримання даних з великих глибин займає навіть кілька годин. Ще більше часу потребує обробка даних, не дивлячись на наявність спеціальних таблиць и номограм, які прискорюють процес розрахунку. Окрім великої затрати часу подібні методи мають інші вагомні недоліки, до яких, перше за все, варто віднести дискретність отриманих даних за глибиною і недостатню точність вимірювань. Частково ці недоліки можуть бути усунені за допомогою приладу, який автоматизує процес отримання даних та їх обробки. Такий прилад повинен опускатися на воду, складатися з герметичного блоку з встановленими у ньому електричними датчикам температури, солоності та тиску. Дані передаються по багатожильному

кабелю на блок обробки та відображення, що знаходиться на борту судна. Після обробки отриманих даних блок обробки та відображення показує значення швидкості звуку.

До недоліків таких приладів відноситься складність блоку розробки, значна інерційність роботи та низька надійність датчиків та кабелю. Окрім того, необхідність використання багатожильного кабелю обмежує граничну глибину, на якій можливо використовувати прилад.

2.1.2. Прямі методи вимірювання швидкості звуку

Прямі методи вимірювання основані на використанні точних аналітичних залежностей часових та фазових зсувів звукових хвиль від швидкості звуку на фіксованій відстані. На сьогодні поширені наступні прямі методи вимірювання швидкості звуку у воді: імпульсний, частотний, фазовий та оптичний.



Рис. 11 - Перетворювач і відбивачі вимірювача швидкості звуку

Фазовий метод.

Цей метод один з найпоширеніших. Він має два різновиди: з використанням стоячих хвиль та з використанням біжучої хвилі.

Перший різновид оснований на визначенні довжини хвилі акустичних коливань. Вимірювання проводяться інтерферометром. Цей метод дозволяє визначити швидкість звуку з високою точністю, що досягає тисячних доль

відсотка. Його застосування тільки обмежується лабораторними умовами, у зв'язку з досить складною методикою вимірювань.

Фазовий метод з використанням біжучих хвиль отримав широке застосування при практичних вимірюваннях швидкості звуку у воді. На деякій фіксованій ділянці, цей метод заснований на вимірюванні зсуву фази акустичних коливань (рис. 12).

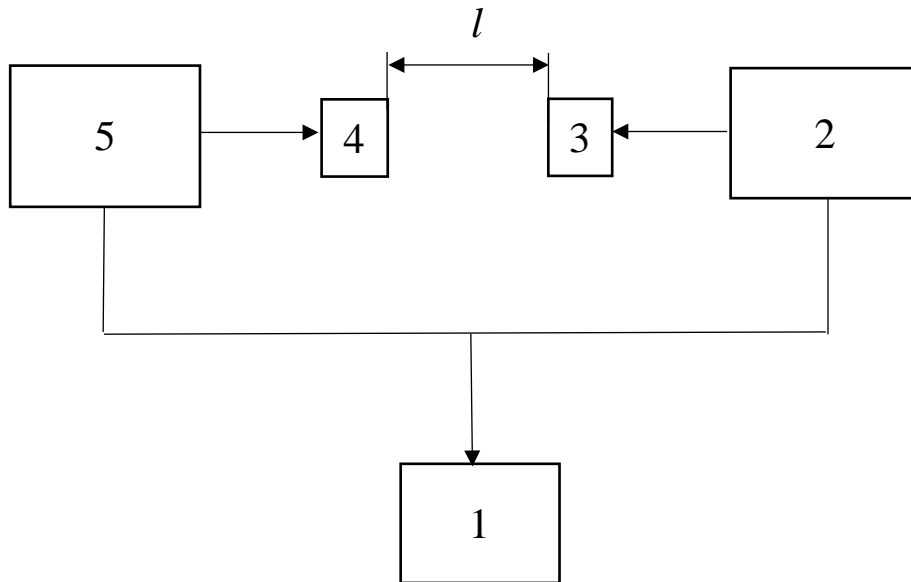


Рис. 12

Система вимірювача складається з наступних складів:

- 1- фазометр;
- 2- підсилювач;
- 3- приймач коливань;
- 4- випромінювач коливань;
- 5- генератор синусоїдальних коливань.

Вимірювання таким методом зумовлює ряд похибок. Похибки за рахунок неточного вимірювання бази l , відстань між перетворювачами, усуваються при калібруванні приладу, суть якого в порівнянні його показань з показаннями еталонного приладу, що має більш високу точність. Похибки, викликані тепловим розширенням основи, можна зменшити, виготовивши структуру з матеріалу, що має низький коефіцієнт теплового розширення.

Похибки, викликані нестабільністю генератора, при використанні кварцової стабілізації нехтовно малі. Точність вимірювання фази у сучасних приладах вимірювання швидкості звуку в воді часто складає приблизно 2° . Відносна похибка вимірювання фазового зсуву може зменшувати шляхом збільшення абсолютної величини різниці фаз коливань між перетворювачами. При незмінній відстані l це можна втілити, збільшуючи частоту генератора f . Однак при збільшенні частоти може виникнути багатозначність показань приладу, тобто різним значенням швидкості звуку буде відповідати одне й теж положення стрілки індикатора.

Для усунення цієї неоднозначності необхідно принести у жертву точність або ввести деякі піддіпазони, що призводить до ускладнення обладнання та збільшення його вартості, маси та розмірних характеристик.

Заради забезпечення вимірювання швидкості звуку з підвищеною точністю необхідно попередньо визначити піддіпазон за грубою шкалою приладу.

Вагомими недоліками методу є нелінійний характер залежності, що визначається виразом:

$$c = 2\pi \frac{lf}{\varphi}$$

Недоліки такого методу варто є значну складність електронної схеми та необхідність підтримання високої стабільності частоти генератора. Фазовий метод використовується у основному для вимірювання швидкості звуку при малих змінах її у діапазоні опорного значення ($C_0 = \pm 25$ м/с)

Імпульсний метод

Імпульсний метод полягає в вимірюванні часу проходження звуковим імпульсом відомої фіксованої відстані. Він має два різновиди:

1. Вимірювання безпосередньо часу t проходження імпульсу від випромінювача до приймача. Формула швидкості звуку як:

$$c = \frac{l}{t}$$

Можно бачити, нелінійна залежність швидкості звуку від величини, яку вимірюємо, зберігається. Частота повторення імпульсів стала та вибирається виходячи із зручностей індикації.

2. На відміну від попереднього випадку частота слідування імпульсів у іншому різновиді методу не фісована, а залежить від швидкості звуку у морі. Цей метод називається імпульсно-циклічним дуже відомим. Схема принципи, оснований на використанні цього методу, зображена на рис. 13.

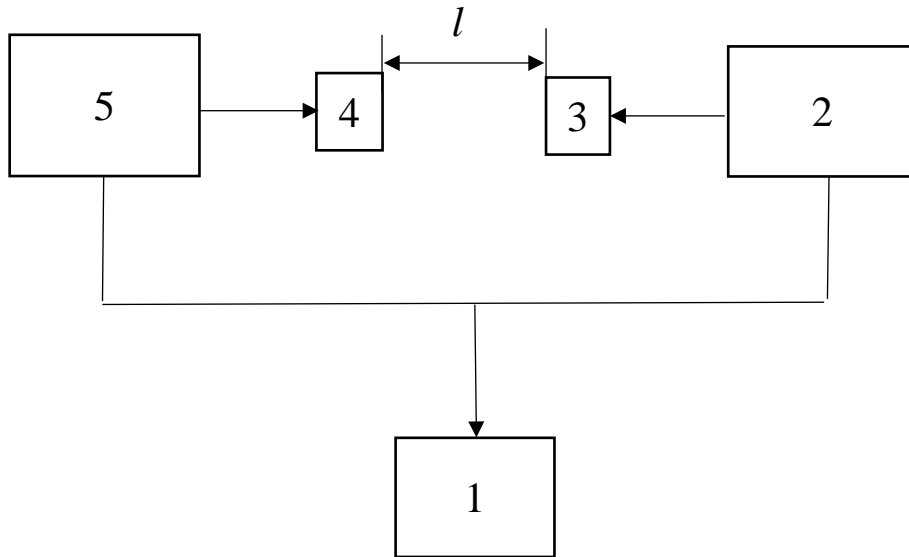


Рис. 13

Система вимірювача складається з наступних елементів:

- 1- пристрій розрахунку;
- 2- підсилювач;
- 3- імпульсний приймач;
- 4- імпульсний випромінювач;
- 5- імпульсний генератор очікування.

Початку імпульсний генератор поставлено на такий режим, що його робота синхронізується зовнішніми імпульсами, які поступають від спускової системи. Таким чином, спускова схема спрацьовує від імпульсів, що надходять через підсилювач приймального перетворювача. Потім, вихідний імпульс генератора надходить в випромінювач, проходить водний проміжок, приймається приймачем та спричиняє роботу спускової схеми, після чого цикл повторюється. Останім, тривалість кожного циклу у першу

чергу визначається часом проходження через водний проміжок t та швидкістю звуку.

Формула визначення швидкості звуку:

$$c = l \cdot F_u$$

Як бачимо, швидкість звуку в морі знаходиться у прямій залежності від безпосередньо вимірюваної частоти повторення імпульсів. З того дозволяє створити рівномірну шкалу індикатора.

Окремо, імпульсно-циклічні датчики потребують малі габарити, високу точність (яка не поступається фазовим вимірювачам) та надійність, а його ціна також досить дешевими.

2.2 Структура поля швидкості звуку в морі.

Профіль швидкості звуку у глибокому морі. Вимірювання швидкості звуку з глибиною називається профілем швидкості звуку (velocity profile) або вертикальним розподілом швидкості звуку (ВРШЗ). У глибокому морі ВРШЗ визначається за допомогою приладів, розглянутих у попередньому параграфі, або розрахунковим шляхом за даними вимірів температури, солоності та глибини.

Типовий для глибокого моря профіль показаний на рис. 14. У ньому можна виділити кілька ділянок, які мають різні характеристики та протяжність. Безпосередньо біля поверхні моря розташований шар води, у якому швидкість звуку схильна до змін через добові та локальні температурні впливи. Також особливістю приповерхневого шару є перемішування води зумовлене вітром на поверхні моря. У перемішаному шарі створюються умови для «захоплення» звукової енергії, тобто для формування звукового каналу. При тривалій відсутності вітру та сонячній погоді цей шар зникає.

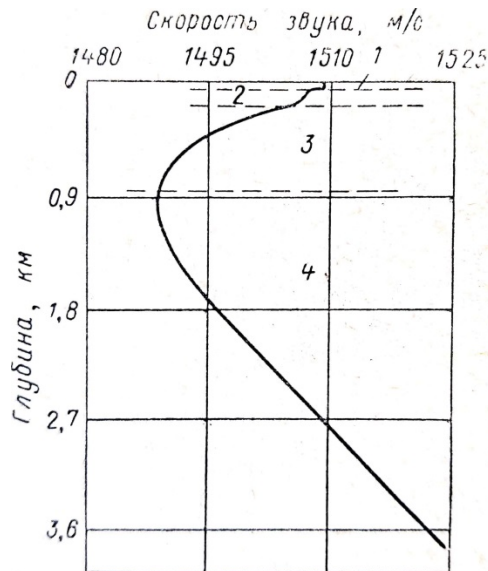


Рис. 14 - Типовий вертикальний профіль швидкості звуку у океані

Перелік окремих ділянок типового профілю швидкості звуку:

- 1- приповерхневий шар;
- 2- сезонний термоклин;
- 3- основний термоклин;
- 4- глибоководний ізотермічний шар.

Під приповерхневим шаром знаходиться сезонний термоклин. Поняття «термоклин» означає шар води, у якому температура змінюється з глибиною. Сезонний термоклин характеризується негативним градієнтом температури та швидкості звуку (температура з глибиною), який залежить від пори року.

Влітку та восени, коли приповерхневий шар води у морі зігрітий, сезонний термоклин стійкий та має чіткі межі. Зимом та навесні, а також в Арктиці він зливається з приповерхневим шаром та виділити його часом неможливо.

Під сезонним термоклинном знаходиться основний термоклин, який схильний до незначних сезонних змін. В основному термоклинні спостерігається найбільш значні зміни температури води по глибині. Нижче основного термокліна до дна простягається глибоководний ізотермічний шар, який має майже постійну температуру близько 5°C. У цьому шарі швидкість звуку збільшується з глибиною під впливом гідростатичного

тиску. Між областями негативного градієнта швидкості звуку в основному термоклині та позитивного градієнта на великих глибинах існує шар з мінімальним значенням швидкості звуку. Внаслідок рефракції звук, що поширюється на більших глибинах, відхиляється в напрямку цього шару і фокусується в ньому. У високих широтах глибоководний ізотермічний шар простягається в бік малих глибин майже до поверхні моря.

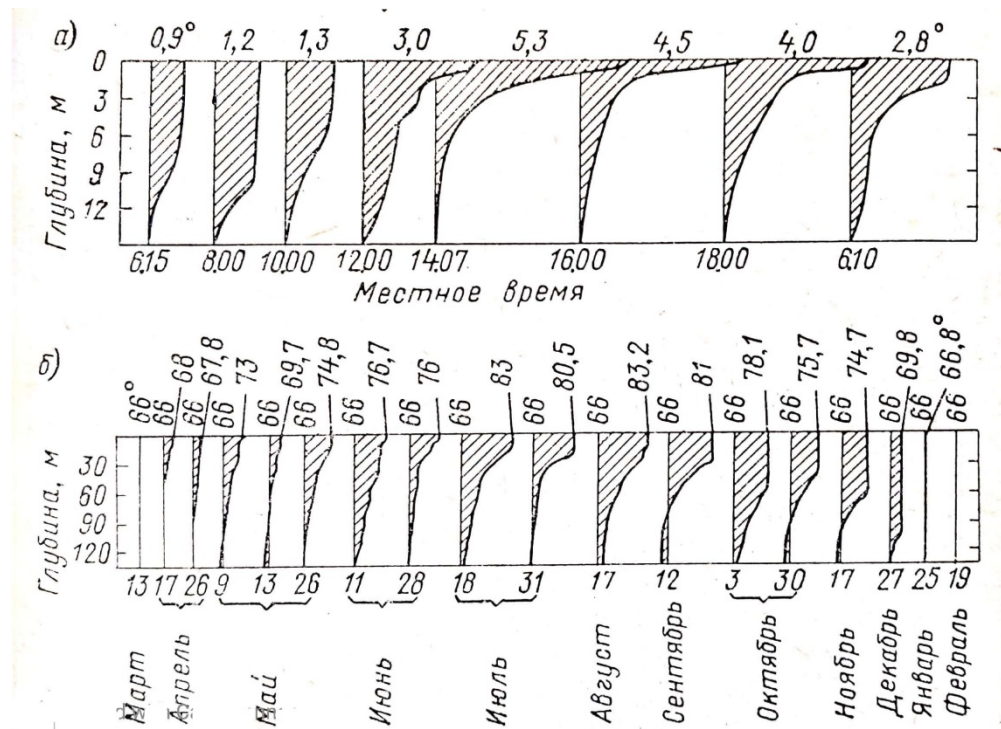


Рис.15 - Додова і сезонна мінливість температури води в районі Бермудських островів

Зміна профілю швидкості звуку в залежності від географічної широти, сезону та часу доби. Положення і товщина шарів змінюються в залежності від географічної широти району, сезону, часу доби і метеорологічних умов.

На рис. 5.12, а представлена добова мінливість приповерхневого шару. Наводиться серія батитермограм, отриманих в різний час доби. З них видно як прогріваються верхні шари моря в денні години і охолоджуються в нічні. Ці добові зміни суттєво впливають на поширення сигналів гідролокаторів надводних кораблів. Явище зменшення дальності дії ГАС після полудня відомо давно і одержало назву «післяполудневого ефекту». На рис. 5.12, б показана серія батитермограм, виміряних в районі Бермудських островів і

ілюструють зміни сезонного термоклину протягом літніх і осінніх місяців. Серія профілів швидкості звуку для чотирьох пір року в одному районі, представлена на рис. 5.13, свідчить про зменшення ступеня сезонних змін у міру збільшення глибини.

Вплив географічної широти на профіль швидкості звуку в глибокому морі показано на рис. 5.14, де представлені криві ВРСЗ, виміряні в двох районах Північної Атлантики в один і той же час року. У низьких широтах мінімум швидкості звуку спостерігається на глибині приблизно 1200 м. У високих широтах цей мінімум зміщується до поверхні моря, а основний і сезонний термоклини поступово зникають. Деякі криві ВРСЗ, типові для різних районів Світового океану, наведені на рис. 5.15.

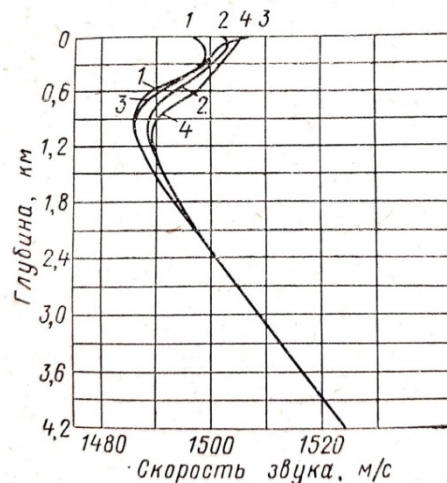


Рис. 16 - Середнє значення вертикального розподілу швидкості звуку для різних сезонів на півдорозі між островом Ньюфаундленд і Великобританією (1 – взимку, 2 – навесні, 3 – влітку, 4 – восени)

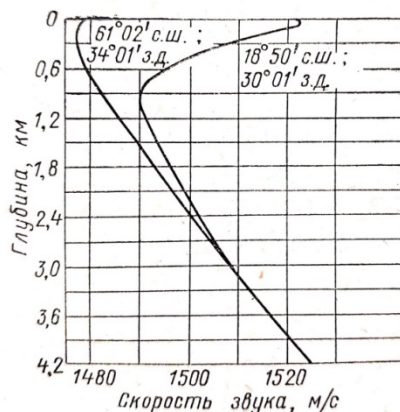


Рис. 17 - Вертикальний розподіл швидкості звуку в весняні пори року на різних широтах

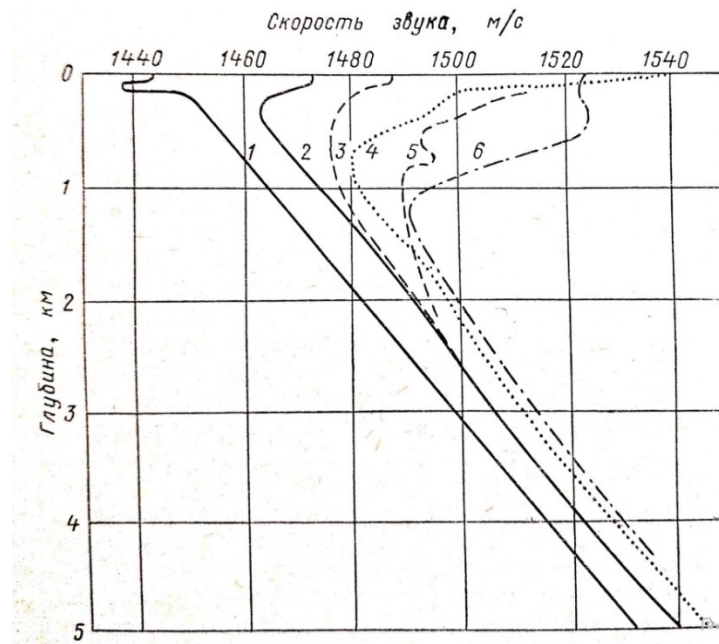


Рис. 18 - Вертикальний розподіл швидкості в глибоководних районах океану (1 - Южный океан (60° ю. Ш.), 2 - Високі середні широти Тихого океану (від 45° до 55°), 3 - Високі южні широти океанів (від 45° до 55°), 4 - Тихий і Атлантичний океани (40° ю. Ш.), 5 - Індійський океан поблизу Червоного моря, 6 - Північна Атлантика поблизу Середземного моря)

Профіль швидкості звуку в мілководному морі. У мілководних прибережних районах і на континентальному шельфі профіль швидкості звуку втрачає регулярність, притаманну глибоководним районам, і передбачити його форму стає дуже важко. Спостерігаються значні зміни ВРСЗ в залежності від характеру прогріву водної маси, солоності і течій. Профіль швидкості звуку в дрібному морі ускладнюється за рахунок змін солоності, викликаних наявністю близько розташованих джерел прісної води, а також внаслідок численних градієнтних шарів і часовою стабільністю. На рис. 19 наведено кілька батитермограм, обраних випадковим чином і відповідаючих різним сезонам і районам вимірювань біля східного узбережжя США і в Мексиканській затоці.

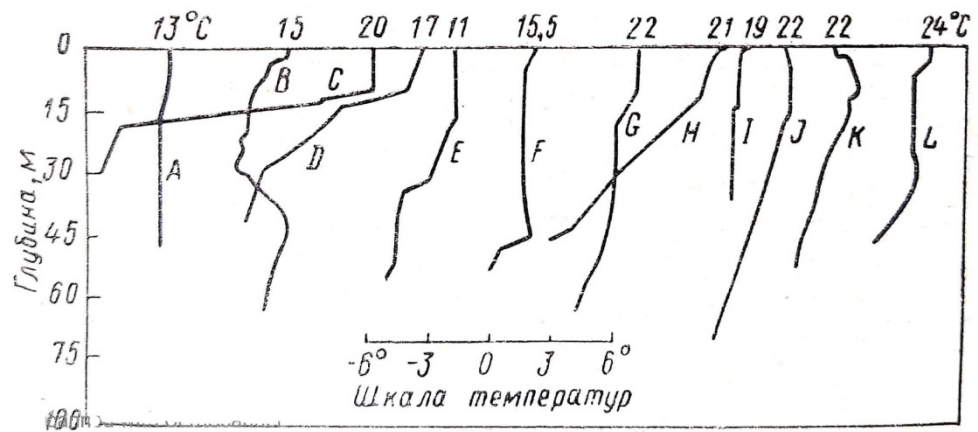


Рис. 19 - Вертикальний розподіл температури води в різних районах східного узбережжя США

Про- филь	Северная широта, °	Западная долгота, °	Месяц	Про- филь	Северная широта, °	Западная долгота, °	Месяц
A	41	67	Август	G	26	80	Февраль
B	40	71	Июль	H	26	80	Февраль
C	42	70	Август	I	29	84	Март
D	42	69	Август	J	28	90	Апрель
E	42	70	Октябрь	K	40	71	Июль
F	40	71	Ноябрь	L	28	90	Апрель

2.3 Теорія поширення променів і побудова їх траєкторій

Хвильова і променева теорії. Поширення звуку в пружному середовищі можна описати математично у вигляді рішення хвильового рівняння з урахуванням відповідних граничних умов і особливостей середовища в конкретному окремому випадку. Хвильове рівняння є диференціальним в похідних, що встановлює залежність акустичного тиску p від значень координат x, y, z і часу t . Воно може бути записано у вигляді приватних

$$\frac{d^2 p}{dt^2} = c^2 \left(\frac{d^2 p}{dx^2} + \frac{d^2 p}{dy^2} + \frac{d^2 p}{dz^2} \right)$$

де c - швидкість звуку, що залежить від координат.

Існує два теоретичних підходи до вирішення хвильового рівняння. Один з них базується на теорії нормальних хвиль (хвильової теорії), згідно з якою поширення описується характеристичним функціями, званими

нормальними від нами (модами). Кожна з цих функцій є рішення хвильового рівняння. Суми нормальних хвиль складають таким чином, щоб задовольнити граничним умовам з урахуванням параметрів джерела звуку. В результаті виходить складна математична функція, яку можна розрахувати на ЕОМ. Ця теорія додає точності в порівнянні з променевою теорією в частині розподілу енергії джерела в просторі і в часі. Однак хвильова теорія виявляється особливо зручною для опису поширення звуку в мілкому морі.

Другою формою вирішення хвильового рівняння є променева теорія. Сукупність результатів і висновків, отриманих на основі цієї теорії, називається променевою акустикою. В основі променевої теорії [1] лежать: 1) постулат про хвильові фронти, на яких фазові або тимчасові функції приймають постійні значення; 2) уявлення про промені, що визначають область, в яку потрапляє звук, випромінюваний джерелом.

Подібно до свого аналогу в оптиці, променева акустика спирається на інтуїцію дослідника і дає картину поширення звуку в формі променевих діаграм або променевих картин. Променева теорія має деякі недоліки і не забезпечує правильного рішення у випадках, коли радіус кривизни променів або амплітуда тиску помітно змінюються в межах відстані, рівного довжині хвилі. Тому на практиці застосування променевої теорії обмежується високими частотами або малими довжинами хвиль. Променевою теорією не можна користуватися для визначення інтенсивності звуку в зонах тіні або каустики. Ознайомитись з теорією поширення звуку в море більш детально можна в роботах Оффіцера і Бреховских.

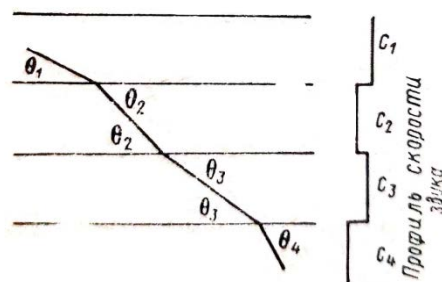


Рис. 20 - Рефракція променя в багат шаровому середовищі

Закон Снеліуса. Одним з найбільш важливих практичних результатів променевої теорії є закон Снеліуса, який описує рефракцію акустичних променів в середовищі зі змінною швидкістю звуку. Закон Снеліуса встановлює, що в середовищі, що складається з шарів з постійними значеннями швидкості звуку (рис. 20), кути ковзання променів на кордонах шарів пов'язані зі значеннями швидкості звуку в шарах. Наступне співвідношення справедливе для будь-якого променю:

$$\frac{\cos \theta_1}{c_1} = \frac{\cos \theta_2}{c_2} = \frac{\cos \theta_3}{c_3} = const$$

У цьому виразі константа дорівнює величині, зворотній швидкості звуку в шарі, де промінь стає горизонтальним, тобто при $\cos \theta = 1$.

Формула закону Снеллиуса є основою для проведення розрахунків на базі променевої теорії, використовуваної для програмування більшості завдань, що вирішуються на аналогових або цифрових обчислювальних машинах. Формула Снеліуса дозволяє простежити траєкторію променю, що послідовно проходить шари, виділені на графіку вертикального розподілу швидкості звуку (рис. 20).

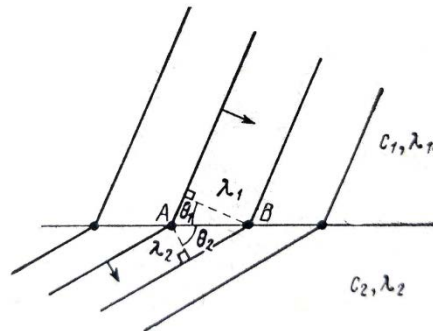


Рис. 21 - Рефракція при проходженні через плоску межу розділу

Більш наочне уявлення про закон Снеліуса можна отримати з рис. 21, на якому похилими лініями показані хвильові фронти (поверхні постійної фази) в двох рідинах, що мають швидкості звуку c_1 та c_2 і розділених плоскою межею. Відстань AB уздовж кордону між будь-якими двома хвильовими фронтами пов'язана з довжинами хвиль λ_1 та λ_2 у двох середовищах наступним виразом

$$AB = \frac{\lambda_1}{\cos \theta_1} = \frac{\lambda_2}{\cos \theta_2}$$

З урахуванням того, що $\lambda_1 = f / c_1$ и $\lambda_2 = f / c_2$, отримаємо закон Снеліуса у вигляді

$$\frac{c_1}{\cos \theta_1} = \frac{c_2}{\cos \theta_2}$$

2.4 Висновки

Методи вимірювання швидкості звуку в воді можна розділити на прямі та непрямі. Непрямі методи основані на залежності швидкості звуку від температури води, її солоності та гідростатичного тиску. На основі багатократних вимірів зразків морської води та безпосередно в морі були виведені експериментальні формули, які встановлюють цю залежність.

Вимірювання швидкості звуку з глибиною називається профілем швидкості звуку (velocity profile) або вертикальним розподілом швидкості звуку. Зміна профілю швидкості звуку в залежності від географічеський широти, сезону та часу доби. Положення і товщина шарів змінюються в залежності від географічної широти району, сезону, часу доби і метеорологічних умов.

Закон Снеліуса є основною формулою для проведення розрахунків на базі променевої теорії, використовуваної для програмування більшості завдань, що вирішуються на аналогових або цифрових обчислювальних машинах. Формула Снеліуса дозволяє простежити траєкторію променя, що послідовно проходить шари, виділені на графіку вертикального розподілу швидкості звуку.

РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ПРИЛАДУ ТА ПРИНЦИП ЙОГО РОБОТИ

3.1 Структура телеметричного радіобуї

Телеметричного радіобуї складається з 2 основних частин : акустичний прилад та радіопередавач. Акустичний прилад, що використовує імпульсний метод вимірювання швидкості звуку розглядається. Імпульсний метод забезпечує менш складаний та більш високу точність в використанні та реалізації. Датчик вимірювання швидкості може створити на виході напругу пропорційну глибині та швидкості. У якості датчика швидкості звуку використовується акустична система, яка складається з відбиваючого дзеркала, п'єзовипромінювача, та прилада генерації імпульсних сигналів випромінювання. Вихід генерації перетворюється у частоту та за допомогою суматора додається до сигналу з іншого датчика - вимірювача глибини. На виході суматора, сигнал представляє собою суміш двох частот, передається кабель-тросом довжиною ~ 300м. Цим же кабелем, напруга живлення передається датчиків від блоку прийому та перетворення інформації. У блоці відбувається виділення відповідних частот, та розділення в канал частоти швидкості та канал частоти датчика глибини. Сигнал на виході представляє собою сигнал швидкості звуку з частотою слідування 7 - 7.5 кГц и сигнал датчика глибини 4-6 кГц. При цьому діапазон вимірювання швидкості звуку 1400-1550 м / с, глибини- 0-300м. Вихідні сигнали від блоку прийому надходять на блок індикації та побудова графіків.



Рис. 22 Структура прикладу

3.2 Розрахунок параметрів структурної схеми

Перший метод розрахунку підстав на вимірюванні безпосередньо годині t проходження імпульсу від випромінювача до приймач, у іншому на відміну від попередня випадки частота слідування імпульсів не постійна, а покладає від швидкості звуку у воді.

Розрахунок методом 1

Вимірювання інтервалу часу, сформованому з постійного числа періодів невідомої частоти каналу вимірювача швидкості.

З вимірювальної бази $L = 50$ мм, визначимо частоту прямування імпульсів генератора вимірювача швидкості

Знаємо шлях, що проходить імпульс пролягає від випромінювача до дзеркала и назад, то значення шляху визначається як:

$$S=2.L=2.50=100 \text{ mm} = 10 \text{ cm}$$

2. При швидкості звуку $V_3=1400$ м/с, визначаємо частоту прямування імпульсів генератора :

$$f_1 = \frac{V_3}{S} = \frac{140000}{10} = 14000 \text{ Гц} = 14 \text{ кГц}$$

3. При швидкості звуку $V_3=1550 \text{ м/с}$, визначаємо частоту прямування імпульсів генератора:

$$N_2 = \frac{T_{вим1}}{T_{зап}} = \frac{142850 \text{ мкс}}{1 \text{ мкс}} = 142850 \text{ Гц} = 15,5 \text{ кГц}$$

4. Для формування вимірювального інтервалу $N = 2000$ імпульсів ,
Визначаємо кількість імпульсів необхідних.

При швидкості звуку, $V_3=1400 \text{ м/с}$, визначаємо тривалість вимірювального інтервалу :

$$T_{вимір} = T_{з1} \cdot N = \frac{1}{14 \cdot 10^3} \cdot 2000 = 0,14285 \text{ с} = 142850 \text{ мкс}$$

$$\text{Де } T_{з1} = \frac{1}{f_1}$$

При швидкості звуку $V_3=1550 \text{ м/с}$, визначаємо тривалість вимірювального інтервалу:

$$T_{вимір} = T_{з2} \cdot N = \frac{1}{15,5 \cdot 10^3} \cdot 2000 = 0,1290 \text{ с} = 129000 \text{ мкс}$$

$$\text{Де } T_{з2} = \frac{1}{f_2}$$

5. Визначимо число імпульсів заповнення з періодом прямування імпульсів $T_{зап} = 1 \text{ мкс}$ для вимірювального інтервалу $T_{вимір1} = 142850 \text{ мкс}$:

$$N_1 = \frac{T_{вим1}}{T_{зап}} = \frac{142850 \text{ мкс}}{1 \text{ мкс}} = 142850$$

6. Визначимо число імпульсів заповнення з періодом слідування імпульсів $T_{зап} = 1 \text{ мкс}$ для вимірювального інтервалу $T_{вим2} = 129000 \text{ мкс}$:

$$N_2 = \frac{T_{вим2}}{T_{зап}} = \frac{129000 \text{ мкс}}{1 \text{ мкс}} = 129000$$

7. Оскільки у якості вимірювача числа імпульсів використовується 16-розрядний лічильник, то число імпульсів отриманий у пунктах 5 и 6 перевищує допустиму ємність лічильника, яка рівна 65535.

8. У зв'язку з цим необхідно дещо уточнити параметри у пунктах 5 і 6 з періодом $T_{\text{зап}} = 10 \text{ мкс}$.

Візьмемо період заповнення $T_{\text{зап}} = 10 \text{ мкс}$ і число імпульсів $N = 2000$:

$$N_1 = \frac{T_{\text{вим1}}}{T_{\text{зап}}} = \frac{142850 \text{ мкс}}{1 \text{ мкс}} = 14285$$

$$N_2 = \frac{T_{\text{вим2}}}{T_{\text{зап}}} = \frac{129000 \text{ мкс}}{1 \text{ мкс}} = 12900$$

9. Тоді при кількості імпульсів заповнення $N = 2000$, періодом заповнення $T_{\text{зап}} = 10 \text{ мкс}$ і швидкості звуку у діапазоні 1400-1550 м / с маємо значення годин інтервалів у діапазоні 12900-14285 мкс або 0,12900 - 0,14285 с

Розрахунок методом 2 :

Частота повторення імпульсів фіксована і обирається з умов зручності індикації. З вимірювальної бази $L = 50 \text{ мм}$, визначаємо частоту повторення відліків

1. Визначаємо значення шляху:

$$S = 2 \cdot L = 2 \cdot 50 = 100 \text{ мм} = 10 \text{ см};$$

2. При швидкості звуку $V_3 = 1400 \text{ м/с}$, визначаємо частоту повторення відліків :

$$f_1 = \frac{V_3}{S} = \frac{140000}{10} = 14000 \text{ Гц} = 14 \text{ кГц}$$

3. При швидкості звуку $V_3 = 1550 \text{ м/с}$, визначаємо частоту повторення відліків :

$$f_1 = \frac{V_3}{S} = \frac{155000}{10} = 15500 \text{ Гц} = 15,5 \text{ кГц}$$

4. Визначаємо кількість відліків при вимірювальному інтервалі $T_{\text{вим}} = 0,2 \text{ с}$:

$$N_1 = \frac{T_u}{1/f_3} = 0,2 \cdot 14000 = 2800$$

5. Визначаємо кількість відліків при швидкості звуку і, $V_3 = 1550 \text{ м/с}$:

$$N_1 = \frac{T_u}{1/f_3} = 0,2 \cdot 15500 = 3100$$

Точність вимірювання складає 0,5 мс, оскільки вага одного відліку 0,5 м / с.

Для забезпечення достатньої точності вимірювань виберемо перший метод розрахунку вимірювання часового інтервалу сформованому з постійного числа періодів невідомої частоти.

3.2 Описання роботи функціональної схеми

На рис. 23 , функціональна схема вимірювача швидкості звуку в морі зображена .

У якості вимірювача швидкості звуку використовується акустична система, яка складається з відбиваючого дзеркала , п'єзовипромінювача та приладу генерації імпульсних сигналів випромінювання, сигнал у виході якого перетворюється у частоту. Далі сигнал ходить на блок програмованих лічильників СТ1-0. Блок програмованих лічильників представляє собою три 16-розрядних незалежних лічильники. Але режими керування задаються однією адресою. Для підвищення точності лічильник СТ1-0 , використовують у режимі очікуючого мультівібратора, в якому він підраховує певну кількість імпульсів. Кожний запуск відбувається кожні 1,28 секунди, лічильником СТ1-2.

В виході СТ1-0 формується часовий інтервал, який пропорційний опорному числу імпульсів. Далі відкривається лічильник СТ1-1. По виходу С прийде тактова частота ($f_{\text{заповнення}}$) , та сигнал перетворюється в код, який пропорційний швидкості звуку. Частота заповнення надходить з виходу АLE мікроконтролера.

На виході датчика тиску, типу ДТ-60, отримуємо напругу пропорційну глибині, перетворюємо 1 в частоту та передаємо на вихід С блоку програмованих лічильників СТ2-0. На виході СТ2-0 формується часовий інтервал пропорційний опорному числу імпульсів. Потім відкривається лічильник СТ2-1. По входу С надходить тактова частота ($f_{\text{заповнення}}$) та сигнал перетворюється в код, пропорційний глибині. За допомогою шини даних 1

шини адреси мікроконтролер опитує лічильники СТ1-1 та СТ2-1, потім зберігає, обробляє та готує до передачі інформації.

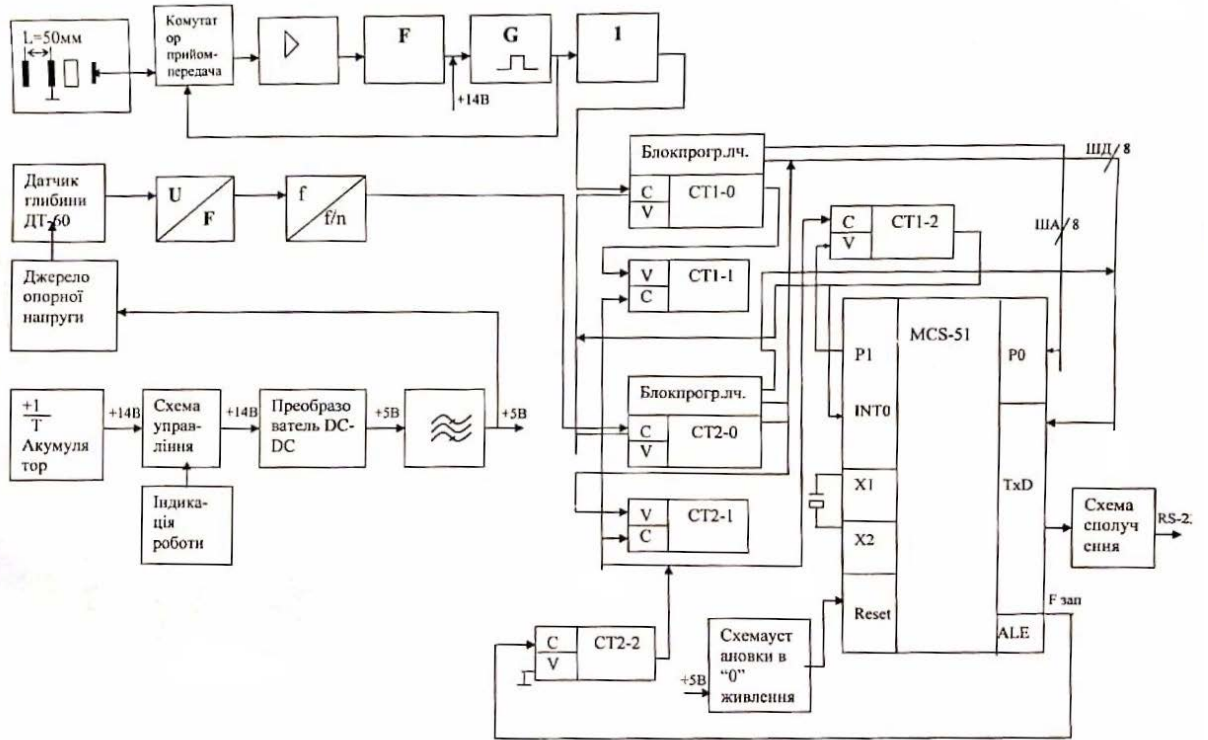


Рис. 23 - Функціональна схема

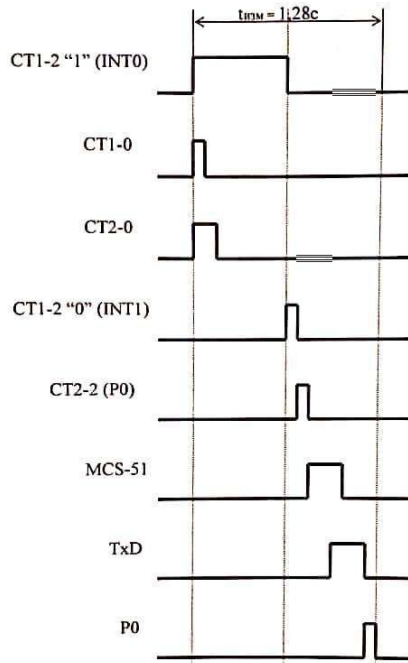


Рис. 24 - Часові діаграми

СТ1-2 "1" (INT0)-Установка часу перезапуску кожні 1,28 секунди.

СТ1-0- підрахунок числа імпульсів та формування інтервалу часу пропорційного швидкості звуку.

СТ2-0 підрахунок числа імпульсів та формування інтервалу часу пропорційного глибині.

СТ1-2 "0" (ПІНТ1) -мікроконтролер зчитує дані лічильника СТ1-2 про поточну швидкість та зберігає у буфері, для подальшої обробки.

СТ2-2 (РО) - мікроконтролер зчитує дані лічильника СТ2-2 про поточну глибину та зберігає у буфері, для подальшої обробки.

MCS-51 обробка мікроконтролером даних, що зберігаються у буфері та підготовка їх до передачі інтерфейсом RS-232.

TxD - передача інформації інтерфейсом RS-232.

PO - ініціалізація лічильників-встановлення в «0».

3.3 Метод визначення глибини

Визначення поточних значень глибини занурення випромінювача у сучасній гідрологічній апаратурі реалізується різноманітними методами, з яких найбільш відомі методи наступні:

1. За часом занурення випромінювача в воді;
2. За тиску воду.

3.3.1 Метод визначення глибини за часом занурення в воді

Метод визначення глибини за часом занурення в воді має декільких вагомих недоліків.

По-перше швидкість занурення (а відповідно і глибина) залежать від впливу густини води та морських течій . Отже, Результати експериментальних вимірювань можуть відрізнятися залежно від географічного регіону, сезону року. Загалом похибка визначення глибини за допомогою цього метода часто сягає приблизно 12-15м.

По-друге залежність глибини, за наявності кабельної лінії зв'язку з контейнером, що опускається, є складною нелінійною функцією. Порівняно

прості способи апроксимації цієї залежності дають похибку визначення глибини до кількох десятків метрів.

3.3.2 Визначення глибини за допомогою датчиків тиску

Організація каналу визначення глибини на основі датчика тиску має, в першу чергу, ту перевагу, що дозволяє отримати сигнал, пропорційний глибині, у частотній формі при мінімальних апаратурних затратах та забезпечує працездатність каналу та добра точність майже незалежно від району його застосування.

В сучасних гідрологічних засобах найбільше поширення використовується потенціометричні датчики тиску.

У цих датчиках деформація чутливого елемента, що виникає під впливом тиску, передається на рухомий контакт приймаючого резистора, змінюючи його вихідний опір. Інші типи датчиків, які використовуються у гідрологічній апаратурі, мають обмеження за величинами механічних впливів, недостатньо стабільні у часі та у робочому діапазоні температур, тобто не задовольняють експлуатаційним вимогам.

Може бути використання тензоперетворювачів, які мають значно менші розміри та масу. Але тензоперетворювача властиві має такі недоліки, як флуктуації вихідного сигналу, температурна нестабільність, низька механічна міцність.

Оскільки високу надійність роботи потенціометричних датчиків та широкий діапазон тиску, який вимірюється (до 4 МПа), вирішимо використовувати саме ці датчики у такому приладі. Резистивно-залежне електричне коло, яке включає у себе потенціометричний датчик тиску, забезпечує зміну вихідної частоти пропорційно значенню гідростатичного тиску, а також юстування каналу вимірювання глибини, що дозволяє скоректувати індивідуальні параметри окремого датчика.

3.4 Висновки

Прилад використовує імпульсний метод вимірювання швидкості звуку в морі. Цей метод забезпечує більш менш складаний та скроню точність в використанні и реалізації.

Метод розрахунку підстав на вимірюванні безпосередньо годині t проходження імпульсу від випромінювача до приймач, у іншому на відміну від попередня випадки частота слідування імпульсів не постійна, а поклади від швидкості звуку у воді.

В даному розділі також розглянуто описання роботи функціональної схеми вимірювача швидкості звуку в морі .

Організація каналу визначення глибини на основі датчика тиску має, у першу чергу, ту перевагу, що дозволяє отримати сигнал, пропорційний глибині, у частотній формі при мінімальних апаратурних затратах та забезпечує працездатність каналу та достатню точність майже незалежно від району його застосування. В сучасних гідрологічних засобах найбільше відоме здобули потенціометричні датчики тиску.

РОЗДІЛ 4. БЛОК АКУСТИЧНОЇ БАЗИ ПРИЛАДУ

Акустична база в складі приладу визначає частоту слідування імпульсів в електроакустичному кільці (ЕАК) вимірювача швидкості та забезпечує лінійну залежність цієї частоти від швидкості звуку в воді.

4.1 Склад і принцип роботи блоку

Блок складається з оборотного гідроакустичного перетворювача (ГАП) та рефлектора, які закріплені на спільній основі та являють собою компенсовану акустичну базу. цьому випадку гідроакустичний імпульс, який випромінюється ГАП поширюється у водному середовищі, відбивається рефлектором і, повернувшись в ГАП, перетворюється в електричний сигнал. Таким чином сигнал проходить у прямому (ГАП — рефлектор) та зворотному (рефлектор - ГАП) напрямках однаково фіксовану відстань l .

Час T між моментами випромінювання та приходу на ГАП відбитого сигналу, у загальному випадку, залежить від швидкості звуку C у стоячій воді та швидкості потоку V_T , що обтікає базу.

Фактично, швидкість C_T поширення ультразвуку при наявності течії являє собою геометричну суму швидкостей C та V_T . Зважаючи на те, що $C \gg V_T$ швидкість можна представити в вигляді:

$$C_T = C + \Delta C_T \cong C + V_T \cdot \cos \varphi$$

де φ - кут між напрямом поширення звуку та напрямом поширення течії. У випадку компенсованої бази час T - T , буде складатись з двох компонент, одна з яких рівна часу T руху імпульсу у прямому напрямі, а інша T , - у зворотному:

$$T_k = T_n + T_3 = \frac{l}{C + V_T \cdot \cos \varphi} + \frac{l}{C - V_T \cdot \cos \varphi} = \frac{2l}{C} \left(1 + \frac{V_T^2}{C^2} \cos^2 \varphi - \dots \right)$$

У випадку некомпенсованої акустичної бази (яка складається лише із випромінювача та приймача, тобто без рефлектора) час $T = T_n$ визначається виразом:

$$T_n = \frac{2l}{C} = \frac{2l}{C + V_T \cdot \cos \varphi} \cong \frac{2l}{C} \left(1 - \frac{V}{C} \cos \varphi + \frac{V_T^2}{C^2} \cos^2 \varphi + \dots \right)$$

де $2l$ - відстань між випромінювачем та приймачем.

У окремому випадку, при $V_T=0$ вирази (4.2) і (4.3) отримуємо:

$$T_k = T_n = T_s = \frac{2l}{C}, \quad (4.4)$$

Як видно з приведених співвідношень (4.2-4.4), залежність T від V_T у випадку компенсованої бази значно менша, ніж для некомпенсованої.

4.2 Гідроакустичні перетворювачі

Гідроакустичні перетворювачі, що використовуються складі вимірювача швидкості звуку, відрізняються специфічними вимогами до них. Як правило, вони мають високу частоту основного резонансу і широку смугу пропускання. Ширина смуги пропускання є найважливішим параметром перетворювачів такого типу. Розширення смуги пропускання високочастотних перетворювачів забезпечує можливість випромінювання в водне середовище ультразвукових акустичних імпульсів будь-якої необхідної форми та прийому відбитих сигналів без спотворення їх частотного спектру, що підвищує якість та надійність вимірювань. Найбільш поширеними способами розширення смуги високочастотних перетворювачів є наступні: механічне демпфірування, оптимальне акустичне узгодження перетворювачів із середовищем, електричне демпфірування, застосування коректуючи R, LC кіл або поєднання акустичних і електричних методів.

З перерахованих методів найбільш ефективним є метод розширення смуги пропускання високочастотних перетворювачів за рахунок оптимального узгодження перетворювача із середовищем за допомогою перехідних шарів. Цей спосіб зручний для півхвильових плоских

перетворювачів, забезпечує вагоме розширення полоси без зниження ефективності перетворювача.

Широку смугу можна забезпечити, наприклад, двома чверть хвильовими шарами з матеріалів з акустичним опором (ρc), меншим ніж п'єзокераміки, з якої виготовлено п'єзоелемент в вигляді тонкого диску. Акустичні опори п'єзоелемента та узгоджуючих шарів співвідносяться приблизно наступним 10:4:1. Для виготовлення узгоджуючих шарів використовують, чином наприклад кварц і акриловий пластик [7].

Варто відзначити, конструюванні що при перетворювачів з узгоджуючими шарами виникають складності з підбором матеріалів шарів з заданими акустичними опорами ρc . Окрім того для виготовлення перетворювачів такого типу повинна бути розроблена спеціальна технологія, яка б забезпечувала високу якість склеювання та монолітність багат шарового перетворювача. Необхідність забезпечення високої точності виготовлення узгоджуючих шарів та складна технологія виготовлення обумовлює високу вартість подібних перетворювачів. Задача забезпечення ефективної роботи високочастотних перетворювачів у широкій смузі частот може бути також розв'язана шляхом використання резонансних п'єзоелементів, які мають змінну товщину. Під дією зовнішньої напруги збуджуються ті ділянки п'єзоелементів, механічний резонанс яких(який визначається товщиною п'єзоелемента на цій ділянці) співпадає з частотою впливу на п'єзоелемент сигналу. П'єзоелементи виготовляють наступних видів:

1. клина;
2. диску з однією пласкою іншою сферичною ввігнутою поверхнями;
3. циліндра, частина зовнішньої поверхні якого зашліфована до отримання пласкої площадки(циліндр із зрізом);
4. конуса. Верхня межа діапазону частот, яку можуть забезпечити перетворювачі змінної товщини не вище 1,5 - 20 МГц. Вона обмежується

граничною технологічно досяжною мінімальною товщиною п'єзоелементів (не менше 50-80 мкм) [10].

На сьогодні для роботи у складі приладів, призначених для вимірювання швидкості звуку у воді, застосовують перетворювачі в основі п'єзокерамічних елементів змінної товщини в вигляді циліндра зі зрізом диску, у якому одна поверхня пласка, а інша сферично ввігнута.

Виготовлення п'єзокерамічних елементів, призначених для використання у складі широкосмугових високочастотних гідроакустичних перетворювачів пов'язано з певними труднощами. Чим вища робоча частота перетворювача, менша повинна бути товщина робочої ділянки п'єзоелемента. тим II Технологічний процес виготовлення та поляризації таких п'єзокерамічних елементів, що мають форму, ні більші геометричні розміри і дуже малу товщину, досить трудомісткий та забезпечує при серійному виробництві дуже низький процент виходу придатних елементів.

4.3 Вибір відстані між ГАП і рефлектором

При розробці акустичної бази для приладів для визначення швидкості звуку вагоме значення має вибір відстані між ГАП та рефлектором.

Як правило, рефлектор розташовується у безпосередній близькості до ГАП. Поле ГАП на малих відстанях характеризується наявністю у ньому максимумів та мінімумів амплітуди тиску, що передуються, які викликані інтерференцією випромінювання від різних ділянок поверхні випромінювання ГАП(на відміну від дальнього поля, де амплітуда тиску зменшується з збільшенням відстані від перетворювача. При невдалому розташуванні рефлектора відбитий сигнал може виявитись недостатній по величині для нормальної роботи електроакустичного кола.

Відстань R_c по осі перетворювача, на якій спостерігається останній максимум тиску (початок дальнього поля) знаходиться у відповідності до виразу:

$$R_c = \frac{S}{\lambda}$$

де S - ефективна площа випромінювача;

λ довжина хвилі випромінюваного сигналу.

Відстань l між ГАП та рефлектором ватро вибирати з умови $l \geq R_c$. У цьому разі, рефлектор не буде знаходитись у ближньому полі та інтерференційні явища не будуть впливати на роботу вимірювача швидкості звуку.

Окрім від розміру бази термостабільність того, залежить електроакустичного кільця та точність вимірювання швидкості звуку. Для стоячої води існує наступне співвідношення:

$$f_c = \frac{1}{T} = \frac{c}{2l}$$

де f_c - частота слідування імпульсів у електроакустичному кільці.

Диференціюючи попередній вираз по l , отримуємо:

$$\Delta f_c = \frac{df_c}{dl} \Delta l = \frac{c}{2l^2} \Delta l \quad (5.7)$$

де Δl відхилення довжини бази від номінального значення l ; Δf_c -зміни частоти f_c , викликані змінами довжини бази.

Температурні зміни довжини бази описуються виразом:

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta \theta, \quad (5.8)$$

Де α - коефіцієнт теплового розширення матеріалу бази; $\Delta \theta$ -зміни де температури.

Підставимо (5.8) в (5.7)

$$\Delta f_c = \alpha \cdot \Delta \theta \cdot \frac{c}{2l}$$

Звідки видно, що абсолютна похибка вимірювання швидкості звуку, пов'язана з тепловою нестабільністю акустичної бази суттєво залежить від розміру акустичної бази.

Також фактична частота f_c слідування імпульсів у реальному електроакустичному кільці визначається не залежністю (5.6), а наступним виразом:

$$f_c = \frac{c}{2l + c\tau} \approx \frac{c}{2l} \left(1 - \frac{c\tau}{2l} \right) \quad (5.10)$$

де τ — додаткова часова затримка у акустичному та електронному каналах електроакустичного кільця. Наявність додаткової затримки приводить до зниження частоти слідування імпульсів та її нелінійної залежності від швидкості звуку. Відповідно абсолютне відхилення частоти від ідеальні має вигляд:

$$f_c = \frac{c}{2l} - \frac{c}{2l} \left(1 - \frac{c\tau}{2l} \right) = \frac{c^2\tau}{4l^2}$$

Тобто ми бачимо, що точність роботи приладу суттєво залежить від вибору розмірів акустичної бази.

4.4. Вибір діаметра рефлектора акустичної бази

У випадку, коли рефлектор віддалений від ГАП на відстань l , в багато разів більше довжини хвилі, то на його поверхні виникають так звані «фазові зони» або «зони Френеля», які мають вигляд концентричних кіл «освітленості». Фази відбитих сигналів від кожного кільця мають однаковий знак. Амплітуда сигналу, відбитого рефлектором, виявляється залежною від числа зон Френеля, які утворюються на відбивачі [6].

Максимальну величину має сигнал, відбитий від диску на якому виникає лише перша зона Френеля. Радіус диску за цієї умови визначається наступним чином:

$$r = \sqrt{\frac{\lambda \cdot l}{2}}$$

4.5 Висновки

Блок складається з оборотного гідроакустичного перетворювача (ГАП) та рефлектора, які закріплені на спільній основі та являють собою

компенсовану акустичну базу. цьому випадку гідроакустичний імпульс, який випромінюється ГАП поширюється у водному середовищі, відбивається рефлектором і, повернувшись у ГАП, перетворюється на електричний сигнал. Таким чином сигнал проходить у прямому (ГАП — рефлектор) та зворотному (рефлектор - ГАП) напрямках однакову фіксовану відстань l .

Гідроакустичні перетворювачі, що використовуються складі вимірювача швидкості звуку, відрізняються специфічними вимогами до них. Як правило, вони мають високу частоту основного резонансу і широку смугу пропускання.

При розробці акустичної бази для приладів для визначення швидкості звуку вагомим значення має вибір відстані між ГАП та рефлектором. Як правило, рефлектор розташовується у безпосередній близькості до ГАП. Поле ГАП в малих відстанях характеризується наявністю у ньому максимумів та мінімумів амплітуди тиску, що передуються, які викликані інтерференцією випромінювання від різних ділянок поверхні випромінювання ГАП(на відміну від дальнього поля, де амплітуда тиску зменшується з збільшенням відстані від перетворювача.

У випадку, коли рефлектор віддалений від ГАП на відстань l , в багато разів більше довжини хвилі, то на його поверхні виникають так звані «фазові зони» або «зони Френеля», які мають вигляд концентричних кіл «освітленості». Фази відбитих сигналів від кожного кільця мають однаковий знак.

РОЗДІЛ 5. МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ ПРИБЛАДУ

5.1 Вплив на точність роботи додаткової часової затримки

Додаткова затримка τ_3 , електричного сигналу виникає в електронних блоках вимірювача. Величина τ_3 , складає орієнтовно 0,4 мкс. Для кожного окремого екземпляру приладу вона має певне значення та до того залежить від температури.

Кінцевий час наростання переднього фронту запускою чого імпульсу до порогу спрацювання електронних приладів приводить до появи затримки Тф. яка складає у середньому 0,04 мкс. Величина то залежить від параметрів морської води, зокрема, від степені поглинання акустичних коливань, однак вплив то на загальну похибку не значний. Зміна величини поглинання більше ніж на 10% спричиняє відносну, зміну частоти вихідного сигналу вимірювача порядку 0,003%.

Прийомно-випромінюючий перетворювач вносить затримку τ_{np} . Яка залежить від конструкції перетворювача та може бути знижена за рахунок зменшення товщини активного шару. При роботі вимірювача електричний імпульс запуску ударне механічне збудження акустичного викликає перетворювача, сигнал в виході якого являє собою відрізок затухаючої синусоїди, період якої рівний $\tau_{\Sigma} = \tau_e + \tau_{\phi} + \tau_{np}$, де F_p -резонансна частота акустичного перетворювача. Амплітуда першого півперіоду цих коливань незначна (5-10% від максимального значення) та нестійка. Практично, запуск або синхронізація імпульсного генератора приводиться наступними півперіодами синусоїди. Через пропуск першого півперіоду виникає вказана часова затримка τ_{np} . Яка перетворювача. Зі коливань акустичного дорівнює половині періоду збільшенням F_p , величина τ_{np} зменшується. Для діапазону резонансних частот 1-3 МГц, який найчастіше використовується для вимірювачів швидкості звуку, величина τ_{np} знаходиться у межах 0,15- 0,5 мкс.

У загальному випадку додаткова часова затримка характеризується сумарною затримкою t , яка містить у собі всі види затримок:

$$\Delta H \leq 5\Delta R \quad (5.1)$$

При використанні акустичного перетворювача з резонансною частотою 1,5 МГц величина приблизно складає:

$$\tau_{\Sigma} = 0,4 \text{ мкс} + 0,04 \text{ мкс} + 0,33 \text{ мкс} - 0,77 \text{ мкс}$$

Сумарна затримка τ_{Σ} суттєво залежить від швидкості роботи вузлів та елементів, які входять на склад приладу.

Період слідування імпульсів у реальному електроакустичному кільці складає $T(c) = T(c) + \tau_{\Sigma}$, а частота слідування імпульсів:

$$C_k = \frac{\tau_{\Sigma}(c_1 + c_2)^2 + 2l(c_1 + c_2) - \sqrt{(\tau_{\Sigma}(c_1 + c_2)^2 + 2l(c_1 + c_2))^2 - 4\tau_{\Sigma}(c_1 + c_2)[c_1^2(2l + \tau_{\Sigma}c_2) + c_2^2(2l + \tau_{\Sigma}c_2)]}}{2\tau_{\Sigma}(c_1 + c_2)}$$

Таким чином, наявність додаткової часової затримки електроакустичному кільці приводить до зниження частоти слідування імпульсів та нелінійності її залежності від швидкості звуку.

Для зменшення впливу додаткової часової затримки τ_{Σ} можна провести її компенсацію у внутрішній точці C_k діапазону вимірюваних швидкостей звуку шляхом зменшення відстані l до значення l' так, щоб значення швидкості звуку C_k частота слідування імпульсів у реальному електроакустичному кільці була рівна розрахунковому значенню за

формулою $f_c = \frac{c}{2l}$ тобто

$$f'(C_k) = f(C_k) \quad (5.3)$$

або

$$\frac{c_k}{2l' + c_k \tau_{\Sigma}} = \frac{c_k}{2l} \quad (5.4)$$

звідки:

$$l' = l - \frac{1}{2} C_k \cdot \tau_\Sigma$$

При такій відстані між поверхнями випромінювача та рефлектора частота слідування імпульсів буде визначатись наступним виразом:

$$f'(c) = \frac{C}{2(2l + (C - C_k)\tau_\Sigma)}$$

а швидкість звуку може бути розрахована із співвідношення

$$C = \frac{2f'c(2l - c_k \cdot \tau_\Sigma)}{1 - f'c \cdot \tau_\Sigma} \quad (6.7)$$

при відомому значенні τ_Σ .

Значення C_k може бути знайдено із умови максимальних абсолютних відхилень Δf частоти $f'c$, від номінальної f_c на кінцях діапазону значень швидкості звуку ($C = C_{\min} = 1400$ м/с та $C = C_{\max} = 1550$ м/с

$$\Delta f(C_{\max}) = \Delta f(C_{\min})$$

або

$$f_c(C_{\max}) - f'_c(C_{\max}) = f_c(C_{\min}) - f'_c(C_{\min}) \quad (6.9)$$

З (6.9) отримуємо:

$$C_k = \frac{\tau_\Sigma(c_1 + c_2)^2 + 2l(c_1 + c_2) - \sqrt{(\tau_\Sigma(c_1 + c_2)^2 + 2l(c_1 + c_2))^2 - 4\tau_\Sigma(c_1 + c_2)[c_1^2(2l + \tau_\Sigma c_2) + c_2^2(2l + \tau_\Sigma c_2)]}}{2\tau_\Sigma(c_1 + c_2)}$$

(6.10)

Де $C_1 = C_{\min}$, $C_2 = C_{\max}$ - формули (6.10) впливає, що похибка, викликана τ_Σ , буде мінімальною у заданому діапазоні швидкостей звуку, якщо калібрування приладу виконуються при значенні швидкості звуку, рівному C_k .

5.2 Вплив температурної нестабільності акустичної бази на точність вимірювань

Розглянемо похибку, яка виникає за рахунок зміни довжини акустичної бази у залежності від температури морської води. З виразу (5.6) впливає, що

зміна l при постійній швидкості звуку приведе до небажаної зміни Δf_c вихідної частоти f_c :

$$\Delta f_c = -\frac{c}{2l_0^2} \Delta l = -\frac{c}{2l_0} \alpha \Delta \theta = -f_c \alpha \Delta \theta, \quad (5.11)$$

де l_0 - довжина акустичної бази при температурі θ

α - коефіцієнт лінійного теплового розширення матеріалу акустичної бази;

$\Delta \theta$ - відхилення температури від значення θ .

Додаткова затримка імпульсів у акустичному каналі внаслідок зміни D / довжини бази рівна:

$$\tau_0 = \frac{2\Delta l}{c} = \frac{2\alpha l_{\theta\Delta\theta}}{c} \quad (5.12)$$

З формули (6.11) видно, що відносна похибка $\frac{\Delta c}{c}$ викликана температурною нестабільністю бази виражається наступною залежністю:

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{\Delta f}{f} = \alpha \cdot \Delta \theta$$

Зрозуміло, що відносна похибка буде залежати лише від $\Delta \theta$ та від матеріалу, з якого виготовлена акустична база. Тому необхідно обирати матеріали з мінімальним коефіцієнтом теплового розширення

5.3 Оцінка похибки вимірювань, викликана потоком, що набігає

При зануренні контейнер може відхилитись від вертикального положення. Найбільш суттєвого впливу на точність вимірювань завдає складова вектору швидкості потоку, що набігає. Ця складова співпадає з напрямом випромінювання акустичних сигналів та змінює час проходження акустичних хвиль.

Частота слідування імпульсів в компенсованому електроакустичному кільці, що знаходиться в потоці, визначається виразом:

$$f_c' = \frac{c}{2l} \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \cos^2 \varphi \right) \quad (5.14)$$

де c - швидкість звуку;

l - довжина акустичної бази;

V - швидкість потоку;

Φ - кут між напрямом поширення звукових коливань та напрямом потоку.

При визначенні швидкості звуку за формулою (5.6), без врахування впливу потоку, отримуємо похибку:

$$\Delta l = 2lf - 2lf' = \frac{v^2}{c} \cos^2 \varphi. \quad (5.15)$$

У найнесприятливішому випадку, коли напрям потоку співпадає з напрямом поширення звукових імпульсів у електроакустичному кільці ($\varphi = 0^\circ$) при швидкостях потоку, які досягають значень $V = 5$ м/с абсолютна похибка визначення швидкості звуку не перевищує 0,02 м/с. Таким чином, впливом цієї похибки на точність роботи приладу можна знехтувати.

5.4 Похибка визначення глибини

Похибка визначення глибини виникає через не лінійність датчика тиску. Функція перетворення тиску на опір $R(P)$ ідеального датчика може бути подана у вигляді:

$$R(P) = R_H + \frac{R_B - R_H}{40} \cdot P \quad (5.16)$$

де R_H , R_B - вихідний відносний опір датчика при значеннях тиску $P = 0$ та $P = 40$ кг/см² відповідно;

P - тиск у атмосферах.

Аналогічне співвідношення можна записати, замінивши тиск на значення глибини, яке йому відповідає:

$$R(H) = R_H + \frac{R_B - R_H}{400} \cdot P \quad (5.16)$$

де H - глибина у метрах.

Реальний характеристик $R'(H)$ чи $R'(P)$ може відрізнятися від ідеальної на деяку величину, яка залежить від значення H (або P).

Існує наступне співвідношення:

$$\frac{R'_i - R_i}{\Delta H_i} = \frac{\Delta R_i}{\Delta H_i} = \frac{R'_B - R_H}{400} \quad (5.17)$$

де R_i , R - реальне та ідеальне значення вихідного опору датчика на глибині $H = H_i$;

$\Delta R_i = R_i - R$ - відхилення вихідного опору від лінійного закону (5.16);

ΔH_i - похибка визначення глибини, зумовлена відхиленням ΔR .

Діла із (6.17) отримуємо:

$$\Delta H = \frac{\Delta R_i}{R_B - R_H} \cdot 400 \quad (5.18)$$

Величина $R_B - R_H$ повинна складати не менше 80% від загального опору $R_{\text{заг}}$ датчика, який приймається за 100%. Також для нелінійності ΔR датчика повинна забезпечуватись наступна умова:

$$\Delta R = \frac{\Delta R_1 - \Delta R_2}{2} \leq 1,5\%$$

де $\Delta R_1, \Delta R_2$ абсолютні величини максимальних від'ємного та додатного відхилень. Тоді з (6.18) отримуємо:

$$\Delta H_i \leq \frac{1,5\%}{80\%} \cdot 400 = 7,5 \text{ (м)}, \quad (5.21)$$

Ще складає верхню межу похибки зміни глибини, яка вноситься датчиком тиску внаслідок не лінійності функції перетворення.

Для довільного значення не лінійності ΔR можна записати:

$$\Delta H \leq 5\Delta R, \quad (5.22)$$

де ΔR - у відсотках.

ΔR з довірчою імовірністю 0,95 знаходиться у довірчому інтервалі $[-1,1 < \Delta R < 1,2]$. Виходячи з цього, варто очікувати, що похибка визначення глибини у нормальних умовах буде складати $\pm 6\text{м}$.

5.5 Висновки

Додаткова затримка τ_s , електричного сигналу виникає у електронних блоках вимірювача. Величина τ_s , складає орієнтовно 0,4 мкс. Для кожного окремого екземпляру приладу вона має певне значення та до того ж залежить від температури

Похибка, викликана τ_{Σ} , буде мінімальною у заданому діапазоні швидкостей звуку, якщо калібрування приладу виконується при значенні швидкості звуку, рівному C_k

Відносна похибка буде залежати лише від $\Delta\theta$ та від матеріалу, з якого виготовлена акустична база. Тому необхідно обирати матеріали з мінімальним коефіцієнтом теплового розширення

Впливом похибки викликана потоком, що набігає на точність роботи приладу можна знехтувати.

Варто очікувати, що похибка визначення глибини у нормальних умовах буде складати $\pm 6\text{м}$.

РОЗДІЛ 6

РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

У даному розділі приведено опис розробленого стартап-проекту за темою дисертації. Наведено маркетинговий та фінансово-економічний аналіз стартап-проекту, етапи організації, заходи з комерціалізації проекту.

6.1. Мета та завдання стартап-проекту.

Впродовж останнього десятиріччя значного поширення набула форма малого венчурного підприємництва – стартап. Одними з переваг стартапів по відношенню до традиційного підприємництва є знижені бар'єри входження в ринок: завдяки доступним сучасним інструментам комунікації – Інтернет, медіапростір, соціальні мережі – значно спростився спосіб знаходження ресурсів, інвесторів, клієнтів та процес побудови та відлагодженню бізнесу від ідеї до результату.

Стартап є формою венчурною, пов'язаною з великими ризиками: усього 10% стартапів (за різними звітами) є успішними або перетворюються у стабільний бізнес. Важливими і актуальними є не тільки ідея та бачення кінцевого продукту, а також низка моментів, таких як створення бізнес-моделі, формування концепції товару, маркетинговий та фінансовий аналіз ринку, прорахунок найкращої стратегії стосовно запуску проекту, його ринкової стратегії та маркетингової програм.

На перших кроках важливо провести маркетинговий аналіз стартап проекту, тобто описати ідею проекту, визначити загальні напрями використання продукту, виокремити риси, що є перевагою по відношенню до продуктів конкуруючих організацій. [20]

6.2. Опис ідеї проекту

Ідеєю даного стартап-проекту є створити телеметричний радіобуй за методом прями вимірювання швидкості звуку. Оскільки результатом даної

магістерської дисертації є вироблені рекомендації по вибору способу прями методи вимірювання швидкості звуку

Спрощено ідею стартап-проекту можна описати наступним чином:

1. Проектування та розрахунок собівартості продукції . Також необхідно визначити необхідні матеріали та обладнання
2. Моделювання обладнання за допомогою комп'ютера та виготовлення зразків виробів
3. Брати участь у виставках військових технологій та шукати потенційних клієнтів

Розділ, присвячений стартап-проекту в рамках даної магістерської дисертації не потребує детального опису кожного кроку та пояснення усіх нюансів роботи, тому в рамках даної роботи технічні деталі спрощено.

За [20] опис ідеї також подається у вигляді таблиці (табл. 6.1):

Таблиця 6.1. Опис іді стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрями застосування	Вигода для користувача
Створення телеметричний радіобуй за методом прями вимірювання швидкості звуку	Військова справа, Наука	Готове рішення поставленої задачі позбавляє замовника необхідності співпраці з декількома компаніями та розробниками; гарантія високої якості за рахунок теоретично та експериментально обгрунтованих рішень

У таблиці 6.2. наведено аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї, визначено перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї, попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводиться збір інформації щодо значень техніко-економічних показників

для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного переліку; проведено порівняльний аналіз показників. [20]

Таблиця 6.2. Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Стартап-проект	AN / SSQ-36B			
1.	Ціна	\$1450	\$1320		+	
2.	Лояльність споживачів	Низка	Висока			+
3.	Необхідність спеціальних знань для використання	потребується	потребується		+	
4.	Законодавчі обмеження	Відсутні	Відсутні			+
5.	Економія на масштабах вимірювань	Так	Так		+	
6.	Динаміка галузі	Стабільна	Стабільна		+	
7.	Інформаційне забезпечення	Добре	Посереднє			+
8.	Рівень концентрації	Низький для свого регіону	Низький для свого регіону			+
9.	Контроль якості	Проводиться	Проводиться			+
10	Кроссплатформеність	Можлива	Можлива			+

6.3. Технологічний аудит

Технологічний аудит проекту полягає у визначенні технології, за якою реалізується проект (таблиця 6.3). Визначення технологічної здійсненності

ідеї проекту передбачає аналіз технології, за якою буде виготовлено товар згідно ідеї проекту, її наявність та ступінь застосовності до даного стартап-проекту та доступність. [20]

Таблиця 6.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Визначення умов експлуатації	Використання датчик швидкості	Наявні	Доступно
2	Підготовка словника	Вимірювання швидкості звуку	Наявні	Доступно
3	Проведення процедури тестування	Програмними засобами	Наявні	Доступно
4	Імплементування програмного забезпечення або створення окремeho пристрою	Програмними та апаратними засобами	Потребує доробки	Доступні

6.4. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

На етапі аналізу можливостей запуску стартап-проекту проводиться визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів. [20] Результати аналізу наведено в таблицях 4.4 – 4.10.

Таблиця 6.4. Характеристика ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	10
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	200000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Багато пройти державну сертифікацію у сфері стандартизації вимірювань
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	65%

Таблиця 6.5. Характеристика потенційних клієнтів

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Точний і дешевий	Спеціалісти у галузях науки, військових	Відокремленість ПО від апаратного забезпечення; необхідність спеціальної підготовки для користування системою	Швидкодія, зручність використання, зрозумілість, точність результату

Таблиця 6.6. Фактори загрози

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Незацікавленість аудиторії	Неготовність потенціальних клієнтів купувати продукт	Розширення можливостей комплексу, пропозиції більш дешевих варіантів
2	Поява прямого конкуренту	Втрата клієнтів, зменшення прибутків	Вдосконалення роботи у порівнянні з власним та конкурентним програмним забезпеченням
3	Постачальник бази програмного забезпечення	Заборона на реалізацію комплексу на базі цього середовища	Перехід на інше середовище

Таблиця 6.7. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Олігополія	Конкуренти зосереджені на інших регіонах світу	Підтримка результату
Світова боротьба	Відсутня локальна боротьба	Підтримка результату, захоплення підприємством стійких позицій
Внутрішньогалузева конкуренція	Спеціалісти інших галузей не можуть вплинути на ринок	Впевнена позиція в ніші
Товарно-видова конкуренція	Пропонуються замітники (наприклад, базовані на об'єктивних методах)	Створює необхідність виробництва конкурентного продукту

Таблиця 6.8. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Відсутність прямих конкурентів	Стрімкий розвиток, можливість встановлювати свою ціну	Захоплення ринку
2	Попит у інших сферах	Розширення попиту у різних сферах	Розширення ринку

Таблиця 6.9. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Високі технічні можливості	Готове програмне та апаратне рішення
2	Конкуренти	Не існує повністю аналогічних продуктів, є постачальники окремих частин
3	Іноваційність	Даний продукт змінить ситуацію в галузі в кращу сторону за рахунок високої технологічності, новизини, та зручності

Таблиця 6.10. SWOT-аналіз проекту

<p><u>Сильні сторони:</u> Не має діючих аналогів в Україні Швидкість, зручність Готові шаблони рішень Економія ресурсів Простота використання навіть для неспеціалістів</p>	<p><u>Слабкі сторони:</u> Необхідність адаптації ПО Створення додаткового апаратного забезпечення за необхідності</p>
<p><u>Можливості:</u> Охоплення всіх задач акустичної експертизи Захоплення монополії на ринку</p>	<p><u>Загрози:</u> Пропонування конкурентами кращої тех. підтримки</p>

6.5. Розроблення ринкової стратегії проекту та маркетингової програми.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку стартап-проекту та визначити ключові переваги потенційного продукту перед продуктами конкурентів [20]. Результати наведено в таблицях 6.11 та 6.12 відповідно.

Таблиця 6.11. Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Пропонувати окремі частини комплексу	Концентрований маркетинг	Невелика кількість конкурентів, висока якість	Розширення функцій та забезпечення найвищої точності розпізнавання

Таблиця 6.12. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Точність розпізнавання	Забезпечення на порядок швидшої процедури за наявності	Наявність протестованого комплексу
2	Зручність у користуванні	Пропозиція зручного інтерфейсу	Високий рівень тех.підтримки

6.6. Висновки

В даному розділі проведено аналіз запропонованого стартап-проекту: описано ідею проекту, визначено сильні, слабкі та нейтральні характеристики ідеї проекту, проведено технологічний аудит ідеї проекту (на предмет здійсненності). Проаналізовано ринкові можливості запуску стартап-проекту, охарактеризовано потенційний ринок, описано фактори загроз та можливостей, проведено SWOT-аналіз, визначено альтернативи

ринкового впровадження стартап-проекту. Розроблено ринкову стратегію проекту та маркетингову програму. За результатами аналізу можна зробити висновок, що даний стартап є інноваційним продуктом, спроможним стати сильним конкурентом існуючим фірмам та розвинутих у малий чи середній бізнес.

ВИСНОВКИ

На сьогодні, телеметричний радіобуй його відіграє важливу роль у структурі систем протичовнової війни країн світу. Телеметричний радіобуй - це витратний, повітряно-розгорнутий акустичний датчик для вимірювання швидкості звуку в морі

Методи вимірювання швидкості звуку в воді можна розділити на два типи: непрямі та прямі. Непрямі методи ґрунтуються на залежності швидкості звуку від гідростатичного тиску, температури води та її солоності. До недоліків такого методу відносять низьку надійність датчиків та кабелю, значну інерційність роботи та складність лічильно-розв'язувача. Прямі методи вимірювання засновані на вимірюванні швидкості звуку на фіксованій відстані. На сьогодні відомі наступні прямі методи вимірювання швидкості звуку в воді: імпульсний, оптичний, частотний та фазовий. Найпоширеніший метод називають імпульсно-циклічним. Такі прилади порівняно прості у реалізації і мають достатню точність.

Телеметричний буй розглядається в роботі як забезпечує вимірювання швидкостей звуку в морі у діапазоні 1400-1550 м/с на глибинах до 300 метрів. Дві найважливіші блоки приладу - це акустична база та потенціометричний датчик глибини у складі рефлектора та ГАП. Параметри цих двох блоків визначають характеристики роботи та продуктивність практично всього приладу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Роберт Дж. Урик . Основний гидроакустики , 1978
2. Roger A. Holler . The evolution of the sonobouy from world war II to the cold war, 2013
3. Серавин Г.Н. Измерение скорости звука в океане. - Л., Гидрометеиздат, 1979.
4. L.C. Gerken, ASW Versus Submarine Technology Battle (American Scientific Corp, Chula Vista, CA, 1986).
5. Евтютов А.П., Колесников А.Е. Справочник по гидроакустике, - Л., Судостроение, 1982, 552с.
6. Goll J.L. Конструкция широкополосных ультразвуковых преобразователей, нагруженных на жидкость. IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics, vol. SU- 26, No6, 1979
7. E. Klein, "Notes on Underwater Sound Research and Applications Before 1939," ONR Report ACR-135, Office of Naval Research Arlington, VA, September 1967.
8. K.T. Adams, Hydrographic Manual, Special Publication No. 142, (U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 1942).
9. Historic Coast and Geodetic Collection, <http://www.photolib.noaa.gov/cgs/index.html>.
10. Исакович М.А. Общая акустика. М.: Наука. 1973. 495с.7. Desilets C.S., Frazer D.I, Kino J.G. Расчет эффективных широкополосных пьезоэлектрических преобразователей. IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics, vol. SU-25, No3, 1978.
11. Ю. Ф. Тарасюк , Г. Н. Серавин . Гидроакустическая телеметрия , 1973
12. А. П. Сташкевич . Акустика моря , 1968
13. В. Г. Гусев . Системы пространственно-временной обработки гидроакустической информации , 1988
14. Александр Евтютов, Валерий Митько . Инженерные расчеты в гидроакустике

15. Грінченко В. Т., Вовк І. В., Маципура В. Т. Основи акустики, Київ: Наукова думка, 2007. — 640 с. — ISBN 978-966-00-0622-5
16. А. М. Федорченко Теоретична механіка, Київ: Вища школа, 1975., 516 с.;
17. Theberge, Alfred E., "System Without Fixed Points: Development of the Radio-Acoustic Ranging Navigation Technique (Part 1)," hydro-international.com, December 2, 2009.
18. John J. Audet, Jr. & Gregory G. Vega, (1974) AESD Sound-Speed Profile Retrieval System (RSVP), AESD Technical Note TN-74-03, 14.
19. Etter, Paul C. (1996) Underwater Acoustic Modeling: Principles, techniques and applications. Cambridge: University Press.
20. Talley, L.D et. al. (2011) Descriptive Physical Oceanography: An Introduction. Academic Press.
21. Wilson, W.D. (1960) Equation for the speed of sound in sea water. J. Acoust. Soc. Amer., 32, 1357.
22. Robert A. Muller . Sound Channel, SOFAR, and SOSUS". Archived from the original on 2007-05-16. Retrieved 2007-04-14.
23. O.R. Cote, "The Third Battle: Innovation in the U. S. Navy's Silent Cold War Struggle with Soviet Submarines," Newport Paper 16 (2000).
24. Клей К., Медвин Г. Акустическая океанография. - М., Мир, 1980, 584с.
25. M. Lasky, "Review of Undersea Acoustics to 1950," J. Acoust. Soc. Am. 61(2) (1977).
26. Куликовский К.Л. Методы и средства измерений, - М., Энергоатомиздат, 1986, 448с.
27. А.Т. Warnock, The Battle Against the U-boat in the American Theater (Air Force History Support Office, Washington, DC, 1994)
28. Бреховских Л.М., Лысанов Ю.П. Теоретические основы акустики океана. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 264с.

29. I. Amato, Pushing the Horizon – 75 Years of High Stakes Science and Technology at the Naval Research Laboratory (U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 1998).

30. Hayman A.K., Weight J.P. Передача и прием коротких ультразвуковых импульсов преобразователями круглой и квадратной формы. IASA, 1979

31. Robert A. Muller . Sound Channel, SOFAR, and SOSUS. Archived from the original on 2007-05-16. Retrieved 2007-04-14.

32. Brown A.F., Weight J.P. Излучение и прием широкополосного ультразвукового сигнала. -Ultrasonics, No4, 1974.