НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”
Факультет електроніки
Кафедра акустики та акустоелектроніки

«На правах рукопису»
УДК 621.391.83

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ В.С. Дідковський
(підпис) (ініціали, прізвище)
“___”_____2018 р.

Магістерська дисертація

Зі спеціальності (спеціалізації) 171. Електроніка

на тему: Визначення відносної часової затримки акустичних сигналів в задачах акустичної локалізації

Виконав студент 6 курсу, групи ДГ-61м

Сергієнко Олексій Володимирович _____

Науковий керівник доцент кафедри А та АЕ, канд. ф-м. наук

Козерук Сергій Олександрович _____

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

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

Київ – 2018

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

Інститут/факультет Електроніки

Кафедра Акустики та акустоелектроніки

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

Напрям підготовки 171. «Електроніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.С. Дідковський
(підпис) (ініціали, прізвище)

“___”_____2018 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Сергієнку Олексію Володимировичу
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема дисертації Визначення відносної часової затримки акустичних сигналів в задачах акустичної локалізації.
Науковий керівник дисертації Козерук С.О., канд. ф-м. наук, доцент
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
кафедри А та АЕ
Затверджена наказом по університету від “09” лютого 2018 р. № 691-с

2. Строк подання студентом закінченої роботи “14” травня 2018 р.

3. Об’єкт дослідження є процес визначення відносної часової затримки між прийнятими сигналами.

4. Вихідні дані – для магістерської дисертації порівняння методів визначення відносної часової затримки між прийнятими акустичними сигналами, та пошук найоптимальнішого з них.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити
5.1 Аналітичний огляд літератури

5.2 Виявлення оптимальних методів визначення відносної часової затримки між прийнятими акустичними сигналами, та створення математичних моделей.
5.3 Перевірка працездатності розроблених математичних моделей та перевірка їх на завадостійкість.
5.4 Піднесення підсумків
6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) презентація

7. Орієнтований перелік публікацій:
Козерук С.О., Сергієнко О.В. Визначення часових затримок хвиль в задачах акустичної локації // Scientific Journal"ScienceRise" - 2017. - №12(41). - 82–85.
S. Kozeruk, O. Serhiienko Approbation of evaluation techniques of acoustic waves time delay for sound sources localization // IEEE International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). - 2018. - 582-586.
A. Prodeus, K. Bukhta, P. Morozko, O. Serhiienko, I. Kotvytskyi, I. Shherbenko Automated system for subjective evaluation of the ukrainian speech intelligibility // IEEE International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). - 2018. - 533-538.

8. Консультанти розділів дисертації

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

8. Дата видачі завдання: «12» лютого 2018 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів дисертації	Примітка
1	Огляд літератури за тематикою та збір даних	14.02.2018	

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів дисертації	Примітка
2	Проведення порівняльного аналізу акустичних методів визначення відносної часової затримки	21.02.2018	
3	Проведення аналізу акустичних артефактів, що впливають на точність вимірювання	01.03.2018	
4	Підготовка матеріалів першого розділу роботи	07.03.2018	
5	Створення математичних моделей обраних методів	16.03.2018	
6	Перевірка на працездатність обраних методів, та перевірка їх на завадостійкість	23.03.2018	
7	Підготовка матеріалів другого розділу роботи	30.03.2018	
8	Розробка стартап-проекту	09.04.2018	
9	Підготовка матеріалів третього розділу роботи	20.04.18	
10	Оформлення пояснювальної записки	01.05.2018	

Студент _____ _____
(підпис) (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації _____ _____
(підпис) (ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Магістерську роботу, присвячену визначенню відносної часової затримки в задачах акустичної локації, було в виконано на 48 аркушах, вона містить перелік посилань на використані джерела з 8 найменувань. У роботі наведено 15 рисунків.

Актуальність

В останні 20 років в Америці, Росії, Франції, Британії, Канаді проводяться розробки акустичних систем локалізації джерел звуку. За останні 10 років було розроблено більше 15 патентів, що використовують різні методики та конструкції. За викладеними майбутніми планами цією темою збираються займатися наступні фірми: Raytheon Company, Thales Group, Battelle Memorial Institute, Rafael, SST, Safran Electronics & Defense, Rheinmetall AG, ELTA Systems Ltd, Acoem Group, Databuoy Corporation , CILAS, Qinetiq North America, Microflown Avisa B.V., Shooter Detection Systems LLC, Safety Dynamics Inc, Information System Technologies, V5 Systems Inc. В плани цих фірм входить розробка пристроїв пеленгації до 2022р.

Перш за все акустичні пеленгатори набирають популярність в місцях бойових дій, але з плином часу дані пристрої починають налагоджувати для роботи на кордонах країн, у аеропортах, посольствах та інших режимних об’єктах. .Тому дослідження даного питання є досить популярним у наш час

Метою цієї роботи є аналіз відомих рішень, а саме пошук математичних алгоритмів обробки сигналів для визначення відносної часової затримки прийнятих акустичних хвиль та їх апробація для обробки експериментальних даних.

Завдання

Для виконання даної роботи були поставлені наступні завдання:

- Пошук методів визначення відносної часової затримки в задачах акустичної локації;
- побудова математичних моделей досліджуваних методів;
- перевірка на працездатність методів при високому рівні акустичних завад.

Об’єкт дослідження

Обєктом дослідження було обраний процес визначення відносної часової затримки у задачах акустичної локації.

Предмет дослідження

Предметом дослідження є саме знаходження часової затримки між прийнятими акустичними сигналами при наявності високого рівня акустичних завад.

Наукова новизна

Наукова новизна даної роботи полягає у створені або знаходження методу визначення часової затримки для подальшого його впровадження у акустичні пеленгаційні системи.

ANNOTATION

The master's thesis devoted to the determination of the relative time delay in the tasks of acoustic location was performed on 48 sheets, it contains a list of references to used sources of 8 names. In the work 15 pictures are presented.

Relevance

Over the last 20 years, the development of acoustic systems for the localization of sound sources has been developed in America, Russia, France, Britain, Canada. Over the past 10 years, more than 15 patents have been developed using a variety of techniques and designs. According to the forthcoming plans, the following companies are going to be engaged in this topic: Raytheon Company, Thales Group, Battelle Memorial Institute, Rafael, SST, Safran Electronics & Defense, Rheinmetall AG, ELTA Systems Ltd, Acoem Group, Databuoy Corporation, CILAS, Qinetiq North America, Microflown Avisa BV, Shooter Detection Systems LLC, Safety Dynamics Inc., Information Systems Technologies, V5 Systems Inc. The plans of these firms include the development of direction finding devices up to 2022. First of all, acoustic direction finding is gaining popularity in the field of combat, but over time, these devices begin to work to work at the borders of countries, airports, embassies and other government facilities. . Therefore, the study of this issue is quite popular nowadays.

The purpose of this work is to analyze known solutions, namely, the search for mathematical algorithms for signal processing to determine the relative delay time of received acoustic waves and their testing for the processing of experimental data.

Tasks

To accomplish this work, the following tasks were set: • Finding methods for determining the relative time delay in the tasks of acoustic location; • construction of mathematical models of investigated methods; • testing of the performance of methods at high levels of acoustic noise.

Object of research

The object of the study was the process of determining the relative time delay in the tasks of acoustic location.

Subject of research

The subject of the study is precisely the finding of a time delay between the acoustic signals received in the presence of high levels of acoustic noise. Scientific novelty The

scientific novelty of this work is to create or find a method for determining the time delay for its further introduction into acoustic direction finding systems.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень ……10

Вступ ……..11

1. Основні проблеми та методи визначення відносної часової затримки акустичних хвиль ……..13

1.1. Аналіз літературних джерел і постановка проблеми ...……13

1.2. Акустичні методи визначення часової затримки ……15

1.2.1. Фазовий метод визначення часової затримки (PHAT) ……..16

1.2.2. Визначення часової затримки по гіпотетичній імпульсній перехідній функції (ІПФ) ……...….17

1.2.3. Метод визначення часової затримки за допомогою взаємної кореляційної функції(ВКФ) ……....18

1.3. Проблеми розповсюдження акустичних хвиль …….……...19

1.4. Висновки до розділу ……....19

2. Створення математичних моделей розглянутих методів, та перевірка їх на практиці ……..…21

2.1. Математичні моделі обраних методів ……...21

2.2. Працездатність обраних методів при наявності завади ……...28

2.3. Висновок до розділу ……36

3. Розробка стартап-проекту ……37

3.1. Опис ідеї проекту ……37

3.2. Технологічний аудит ідеї проекту. ……....39

3.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту ……39

3.4. Розроблення ринкової стратегії проекту ……...45

3.5. Висновок до розділу ……46

Висновок ……47

Список використаної літератури ……48

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ІПФ – імпульсна перехідна функція

PHAT - phase transform

ВС – взаємний спектр потужності

ВКФ – взаємна кореляційна функція

ХН – характеристика направленості

ЧХ – частотна характеристика

SNR – signal-to-noise ratio

PTF – pulse transitive function

CC – cross-correlation

HTCC – hilbert transform cross-correlation

ВСТУП

У наш час локалізація об’єктів акустичних джерел випромінювання являє собою актуальну проблему в задачах гідро- та атмосферної акустики. Даний процес складається з декількох етапів, основними з яких є виявлення об’єкту та визначення його кутових та лінійних координат. Рішення для розв’язання подібних задач ґрунтовно розроблені для гідроакустики та використовуються в ультразвуковій телеметрії. Розвиток систем атмосферної акустики [1] для локалізації джерел звуку - стрілецької зброї, артилерії, безпілотних літальних апаратів, механічних транспортних засобів, дає змогу застосовувати акустичні методи виявлення і оцінки кутових та лінійних координат.

Перш за все подібні системи набирають популярність в місцях бойових дій, але з плином часу дані пристрої починають налагоджувати для роботи на кордонах країн, у аеропортах, посольствах та інших режимних об’єктах.

В останні 20 років в Америці, Росії, Франції, Британії, Канаді проводяться розробки акустичних систем локалізації джерел звуку. За останні 10 років було розроблено більше 15 патентів, що використовують різні методики та конструкції. За викладеними майбутніми планами цією темою збираються займатися наступні фірми: Raytheon Company, Thales Group, Battelle Memorial Institute, Rafael, SST, Safran Electronics & Defense, Rheinmetall AG, ELTA Systems Ltd, Acoem Group, Databuoy Corporation , CILAS, Qinetiq North America, Microflown Avisa B.V., Shooter Detection Systems LLC, Safety Dynamics Inc, Information System Technologies, V5 Systems Inc. В плани цих фірм входить розробка пристроїв пеленгації до 2022р.

Основною проблемою подібних систем є точність виявлення об’єкту та визначення його кутових та лінійних координат. На даний момент точність пеленгування джерел звуку суттєво залежить від точності визначення часової затримки між прийнятими сигналами. Тому актуальним є розробка алгоритму який забезпечить високу точність визначення відносної часової затримки задачах локалізації джерел звуку.

Метою цією роботи є аналіз відомих рішень, а саме пошук математичних алгоритмів обробки сигналів для визначення відносної часової затримки прийнятих акустичних хвиль та їх апробація для обробки експериментальних даних.

РОЗДІЛ 1
ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ ТА МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОСНОЇ ЧАСОВОЇ ЗАТРИМКИ АКУСТИЧНИХ ХВИЛЬ В ЗАДАЧАХ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ДЖЕРЕЛ ЗВУКУ

Локалізація акустичних джерел є особливо актуальною проблемою в наш час. На даному етапі, найбільш популярним методом визначення пеленгу на джерело звуку є його розрахунок через визначення відносної часової затримки. Точність визначення даного параметру є суттєвою проблемою, оскільки, маючи найкраще обладнання, ви не зможете вірно визначити пеленг на джерело не маючи точного методу визначення часової затримки. У даному розділі розглянуті основні проблеми, що виникають при визначені часової затримки, а також опис методів, що можуть використовуватися для її обчислення.

1.1. Аналіз літературних джерел і постановка проблеми

Основним завданням в задачах атмосферної локалізації є визначення наявності джерела випромінювання, вимірювання його лінійних та кутових координат, що проводяться із застосуванням просторової, часової та спектральної обробки до прийнятих акустичних хвиль. Визначення пеленгу на об’єкт, тобто розрахунок його кутових координат, можна вести по пеленгаційній характеристиці спрямованої антени. На практиці більшість акустичних антен має широку характеристику спрямованості, а оціночна похибка визначення кутових координат, зазвичай, складає половину ширини характеристики спрямованості взятої по величині 0.707 від максимуму. Тому вони мають велику похибку визначення пеленгу. Для зменшення похибки визначення кутових координат джерела разом з просторовою обробкою застосовують фазові або кореляційні методи пеленгування [2].

Фазовий метод ґрунтується на вимірюванні різниці фаз акустичних хвиль прийнятих двома ідентичними приймачами, рознесеними в просторі на відстань рівній половини довжини хвилі. Він успішно застосовується для визначення кутових координат джерел, що випромінюють тональні сигнали постійної частоти. В іншому випадку починають з'являтися хибні пеленги, що впливають на однозначність і точність отриманих результатів.

Також даний параметр може бути визначений по гіпотетичній імпульсній перехідній функції (ІПФ). Вона робить спосіб оцінювання затримки більш зручним і точним в умовах малих акустичних завад[3].

Кореляційний метод пелентування зводиться до визначення взаємної кореляційної функції між вихідними сигналами між двома приймачами. Якщо завади на виходах приймачів статистично незалежні то максимум взаємної кореляційної функції буде визначати величину часової затримки між акустичними сигналами. Даний підхід використовується для обробки імпульсних або шумоподібних сигналів, які мають достатньо широку смугу частот.

Першочергово дана робота була виконана для вирішення проблеми локалізації саме стрілецької зброї. У залежності від виду стрілецької зброї використовують різні схеми локалізації. Зазвичай локалізація джерел пострілу відбувається по акустичним дульній хвилі та ударній хвилі снаряду[1]. Пеленг на джерело є одним з вхідних параметрів алгоритмів локалізації, і він розраховується по часовій затримці прийнятих акустичних хвиль. Таким чином пеленг та відстань до стрілка визначається по алгоритму в якому, для розрахунку даних параметрів, використовуються часові затримки дульної та ударної хвиль, що приходять на мікрофони. Складність визначення часової затримки між прийнятими акустичними сигналами пов'язана з проблемами обробки та оцінки параметрів акустичних хвиль пострілу[4]. Точність визначення амплітуди та часової затримки ударних хвиль є визначальною для локалізації джерела пострілу, тому, окрім вже відомих методів визначення часової затримки, було запропоновано підхід до оцінки відносної часової затримки по імпульсній перехідній функції між двома приймачами[3].

1.2. Акустичні методи визначення часової затримки

Для опису роботи обраних методів, розглянемо наступну ситуацію: хвиля $x(t)$ розповсюджується із швидкістю c, та приймається парою приймачів $q,1$ розташованих на відстані d один від одного. Фронт хвилі є плоским і падає на приймачі під кутом пеленгу θ. Тому пеленг визначається по часовій відносній затримці τ_0 прийнятих хвиль:

$$\theta = \arccos\frac{c\tau_0}{d} \tag{1}$$

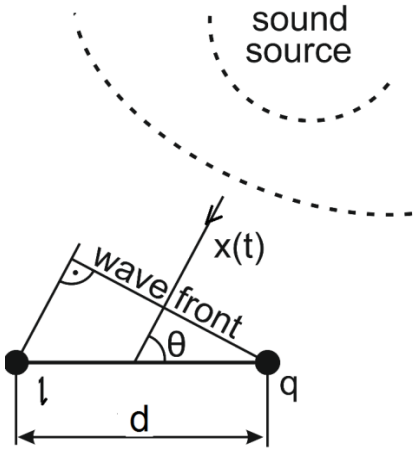


Рисунок 1.1- Схема визначення напрямку на джерело звуку

На входи приймачів (рис.1) діє адитивна суміш акустичного сигналу та акустичних завад. Сигнал та завади статистично незалежні. Прийняті приймачами сигнали є випадковими процесами записаними у вигляді:

$$\begin{aligned} y(t) &= x(t) + n(t), \\ z(t) &= x(t - \tau_0) + m(t). \end{aligned} \tag{2}$$

де $y(t)$, $z(t)$ - адитивні суміші сигналу та завад;

$x(t)$, $x(t - \tau_0)$ - акустичний сигнал та акустичний сигнал, що зміщений у часі;

$n(t), m(t)$ - акустичні завади.

Параметр τ_0 визначає відносну часову затримку хвиль між акустичними приймачами. Перейдемо до методів визначення даного параметру.

1.2.1. Фазовий метод визначення часової затримки (PHAT)

Фазовий метод ґрунтується на вимірюванні різниці фаз акустичних хвиль прийнятих двома ідентичними приймачами. Для цього вхідні сигнали фільтрують фільтрами з однаковими частотними характеристиками $H_q(f) = H_l(f) = H(f)$ та визначають взаємний спектр[5]:

$$G_{yz}(f) = H(f)Y(f)[H(f)Z(f)]^* = |H(f)|^2 Y(f)Z(f)^*, \qquad (3)$$

де $G_{yz}(f)$ - взаємний спектр потужності(ВС);

$Y(f),\ Z(f)$ - Фур'є перетворення відповідних процесів;

$H(f)^*, Z(f)^*$ - комплексно спряжені функції.

Застосувавши теорему Вінера-Хінчина до ВС розраховують ВКФ:

$$R_{yz}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^2 Y(f)Z(f)^* e^{j2\pi f\tau} df. \qquad (4)$$

В залежності від обраного вагового коефіцієнту $|H(f)|^2$ отримують різний вигляд ВКФ. Прийнявши ваговий коефіцієнт $|H(f)|^2 = 1/|G_{yz}(f)|$ та провівши обернене Фур'є перетворення отримаємо ВКФ у вигляді:

$$R_{yz}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} G_{yz}(f)/|G_{yz}(f)| e^{j2\pi f\tau} df. \qquad (5)$$

У даному вигляді ВКФ несе у собі тільки фазову інформацію, тому такий підхід дістав назву методу фазової трансформації (PHAT) [5] та застосовується для визначення часової затримки в задачах пеленгування звукових джерел. Положення максимуму ВКФ визначає відносну часову затримку прийнятих акустичних хвиль.

Якщо акустичної завади немає то ВКФ стягується в дельта - функцію. За наявністю завад метод повинен мінімізувати розподіл положення піку функції на часовій осі.

1.2.2. Визначення часової затримки по гіпотетичній імпульсній перехідній функції (ІПФ)

Розрахувати значення часової затримки можна по гіпотетичній імпульсній перехідній функції (ІПФ) $h(\tau)$ між приймачами, поклавши $y(t)$ вхідним сигналом, а $z(t)$ – вихідним. Розрахунок починають зі знаходження спектрів процесів $x(t)$, $y(t)$, $n(t)$ за наступними виразами:

$$\begin{aligned} G_{yz}(f) &= G_{xx}(f)e^{-j2\pi f\tau_0}; \\ G_{yy}(f) &= G_{xx}(f) + G_{nn}(f), \end{aligned} \tag{6}$$

де $G_{xx}(f), G_{yy}(f), G_{nn}(f)$ - спектри процесів $x(t)$, $y(t)$, $n(t)$ відповідно.

Після знаходження спектрів знаходять гіпотетичну частотну характеристику(ЧХ) за наступною формулою:

$$H_{yz}(f) = G_{yz}(f) / G_{yy}(f); \tag{7}$$

де $H_{yz}(f)$ - гіпотетична частотна характеристика.

Підставивши (6) до (7) отримаємо формулу знаходження гіпотетичної частотної характеристики:

$$H_{yz}(f) = \frac{e^{-i2\pi f\tau_0}}{1 + [G_{nn}(f) / G_{xx}(f)]}. \tag{8}$$

Використавши обернене перетворення Фур'є на ЧХ отримаємо ІПФ у вигляді дельта-функції $\delta(\tau - \tau_0)$ по положенню якої оцінюють часову затримку між процесами[8]:

$$h(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} H_{yz}(f)e^{j2\pi f\tau}df = \int_{-\infty}^{\infty} e^{j2\pi f(\tau-\tau_0)}df = \delta(\tau - \tau_0). \tag{9}$$

Якщо рівень акустичних завад малий, даний метод дає можливість доволі зручно і точно визначити час затримки.

1.2.3. Метод визначення часової затримки за допомогою взаємної кореляційної функції(ВКФ)

Даний метод полягає у знаходженні ВКФ прийнятих сигналів на певному проміжку часу. Таким чином розраховуємо ВКФ за наступною формулою:

$$R_{yz}(\tau) = \frac{1}{T}\int_0^T [x(t) + n(t)][x(t - \tau_0 + \tau) + m(t + \tau)]dt = \\ = R_{xx}(\tau - \tau_0) + R_{xm}(\tau) + R_{nx}(\tau - \tau_0) + R_{nm}(\tau), \quad (10)$$

де $R_{xx}(\tau - \tau_0)$ – кореляційна функція вхідного сигналу з затримкою у часі на τ_0;

$R_{xm}(\tau), R_{nx}(\tau - \tau_0), R_{nm}(\tau)$ - ВКФ процесів, які діють на входи приймачів

Зазвичай у задачах локації використовують акустичні сигнали, що мають вузький спектр частот. ВКФ подібних сигналів має вигляд пологих кривих з погано визначеним максимумом. Також відносне поглинання та наявність акустичних завад спотворюють ВКФ та вносять похибку до визначення відносної часової затримки. У подібному випадку слід використати перетворення Гільберта [6] до одного з прийнятих сигналів. Після чого розрахувати ВКФ $R^*_{yz}(\tau)$ між його квадратурним доповненням $y(t)^*$ та $z(t)$:

$$R^*_{yz}(\tau) = \frac{1}{T}\int_0^T y^*(t)\, z(t + \tau)dt, y^*(t) = \frac{1}{\pi}\int_{-\infty}^{\infty} \frac{y(\tau)}{t - \tau} d\tau. \quad (11)$$

У такому випадку ВКФ стає несиметричною, та пересікає вісь часу у точці яка дорівнює часу затримки τ, що дозволяє досить точно визначати часову затримку за наявності завад.

1.3. Проблеми розповсюдження акустичних хвиль

Існує багато факторів, що впливають на розповсюдження акустичних хвиль. Для їх дослідження існує наука про поширення звуку в атмосфері, що називається атмосферною акустикою. До цих факторів можемо віднести температуру, наявність вітру, вологість, поглинання або відбиття звукових хвиль навколишнім середовищем або наявність акустичних завад. впливає на поширення звуку[1].

Температура та вологість мають значний вплив на розповсюдження акустичних хвиль. Вони не тільки впливають на зміну швидкості звуку, а також впливають на саме розповсюдження акустичної хвилі. Як відомо при підвищенні температури швидкість звуку підвищується на ~0.6м/с на кожний 1 ^{o}C, внаслідок чого і з'являється просторова різниця швидкості звуку. Сьогодні є можливість врахувати подібні артефакти, використовуючи сучасне гідрометеорологічне обладнання.

Таким чином акустичні завади, відбиття та поглинання акустичних хвиль несуть найбільшу небезпеку для визначення відносної часової затримки.

1.4. Висновки до розділу

Отже пеленгація акустичних джерел є досить актуальною темою. Для пеленгації таких джерел найбільш зручним є шлях визначення відносної часової затримки між прийнятими сигналами. Для цього можна використовувати наступні методи:

- Фазовий метод визначення часової затримки (PHAT);
- Визначення часової затримки по гіпотетичній імпульсній перехідній функції (ІПФ);
- Метод визначення часової затримки за допомогою взаємної кореляційної функції(ВКФ)

Усі вони мають свої переваги та недоліки. Тому наступним кроком є побудова математичних моделей даних методів, та перевірка їх на завадостійкість. Вплив інших перешкод для визначення часової затримки, окрім поглинання та відбиття акустичних хвиль, можливо зменшити або взагалі ліквідувати за допомогою сучасних апаратних засобів.

РОЗДІЛ 2
СТВОРЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ РОЗГЛЯНУТИХ МЕТОДІВ, ТА ПЕРЕВІРКА ЇХ НА ПРАКТИЦІ

Основним завданням даного розділу є створення математичних моделей обраних та дослідження їх на працездатність. Математичні моделі створюємо у програмному середовищі Matlab. У якості зразків для дослідження, були зроблені записи акустичних сигналів у лабораторних умовах, а також на полігоні. Для визначення ефективності методів під впливом завад, було створено програму, що дозволяла замаскувати сигнал завадою, з відповідним рівнем SNR[7].

2.1. Математичні моделі обраних методів

Для подальшого дослідження були розроблені математичні моделі чотирьох методів визначення відносної часової затримки між прийнятими сигналами. У якості досліджувальних сигналів, було обрано записи пострілів з автомату калібром 5,45-мм. Приклад сигналу наведено на рис. 2.1 та 2.2

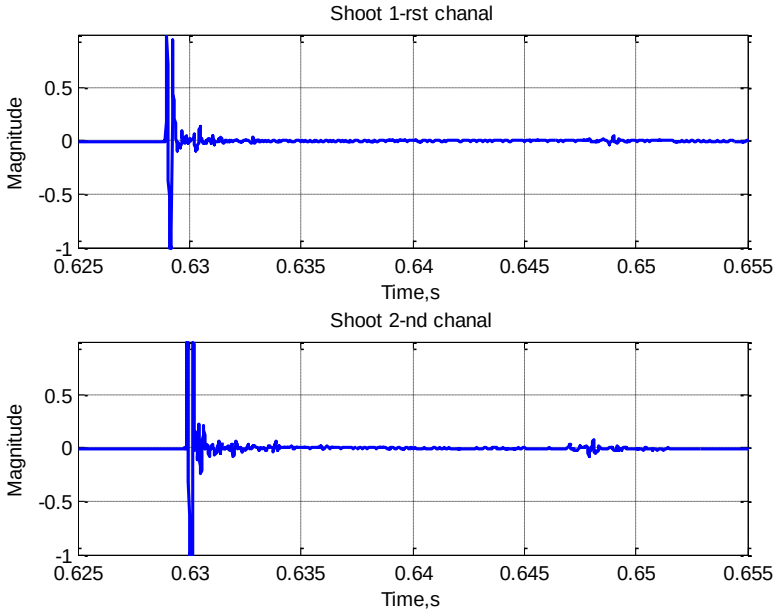
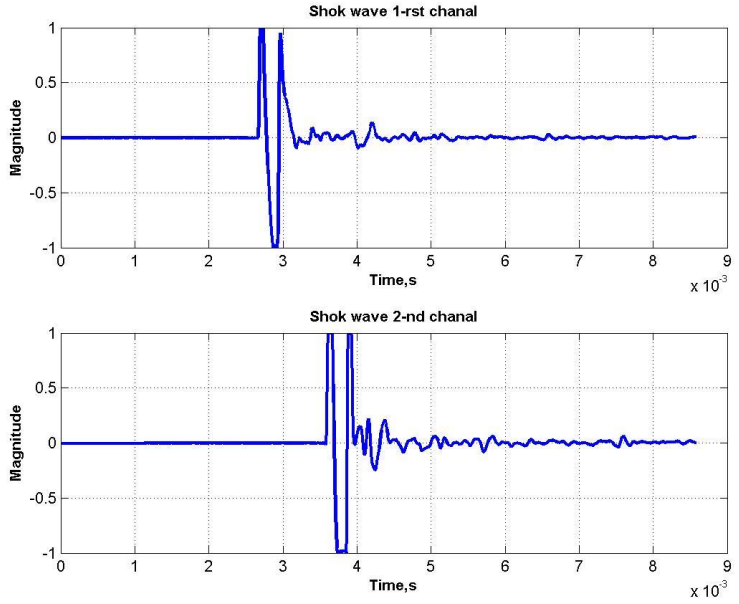
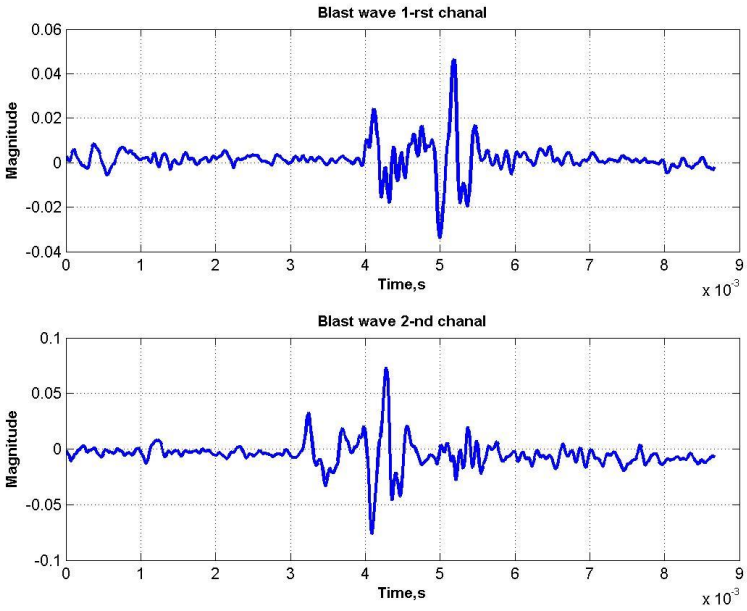


Рисунок 2.1 – Запис пострілу на два канали



а)



б)

Рисунок 2.2 – Зображення ударної (а) та дульної (б) хвиль

Маючи сигнали для дослідження, було розроблено математичні моделі відповідно до зазначеним вище теоретичним даним. Використавши дані моделі було отримано данні, що наведені у таблицях 2.1 та 2.2. Як можемо помітити фазовий метод та метод ІПФ є не дуже точними. На рис. 2.3-2.6 зображено графічне представлення роботи методів при визначенні затримки ударної хвилі, а на рис. 2.7-2.10 – дульної хвилі.

Таблиця 2.1

Ударна хвиля									
№	**τ_0, с**	**PHAT**	**Похиб-ка, %**	**PTF**	**Похиб-ка, %**	**CC**	**Похиб-ка, %**	**HTCC**	**Похиб-ка, %**
1	0,000938	0,000938	0	0,000938	0	0,000938	0	0,000938	0
2	0,000917	0,000938	2,272727	0,000938	2,272727	0,000938	2,272727	0,000938	2,272727
3	0,000938	1,04E-05	98,88889	1,04E-05	98,88889	0,000927	1,111111	0,000932	0,555556
4	0,000927	0,000917	1,123596	0,000917	1,123596	0,000917	1,123596	0,000917	1,123596
5	0,000938	0,000938	0	0,008115	765,5556	0,000938	0	0,000938	0
6	0,00099	0,008719	781,0526	0,008719	781,0526	0,00101	2,105263	0,000979	1,052632
7	0,00076	0,00874	1049,315	0,00874	1049,315	0,000792	4,109589	0,000813	6,849315
8	0,000771	1,04E-05	98,64865	1,04E-05	98,64865	0,000792	2,702703	0,000807	4,72973
9	0,000917	0,000948	3,409091	0,000948	3,409091	0,000948	3,409091	0,000948	3,409091
10	0,001	1,04E-05	98,95833	0,001052	5,208333	0,001021	2,083333	0,001026	2,604167
11	0,00125	0,001021	18,33333	1,04E-05	99,16667	0,001021	18,33333	0,001026	17,91667
12	0,001854	0,001021	44,94382	1,04E-05	99,4382	0,001021	44,94382	0,00101	45,50562
13	0,000917	0,000948	3,409091	0,000948	3,409091	0,000938	2,272727	0,000927	1,136364
14	0,000927	0,000948	2,247191	0,000948	2,247191	0,000948	2,247191	0,000938	1,123596
15	0,000906	0,000938	3,448276	0,000938	3,448276	0,000927	2,298851	0,000917	1,149425
16	0,000896	0,000948	5,813953	0,000948	5,813953	0,000927	3,488372	0,000922	2,906977
17	0,000917	0,000927	1,136364	0,000927	1,136364	0,000927	1,136364	0,000911	0,568182

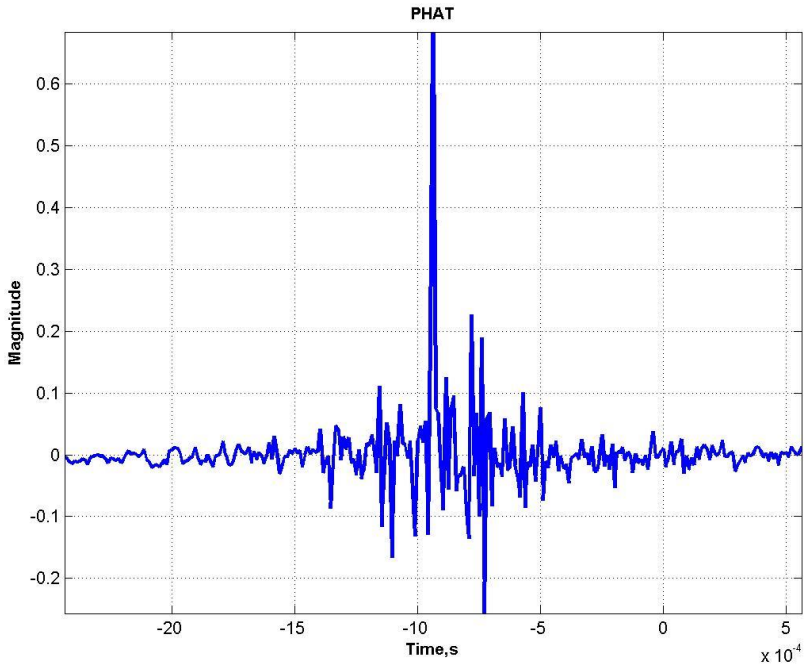


Рисунок 2.3 – Графічне представлення фазового методу

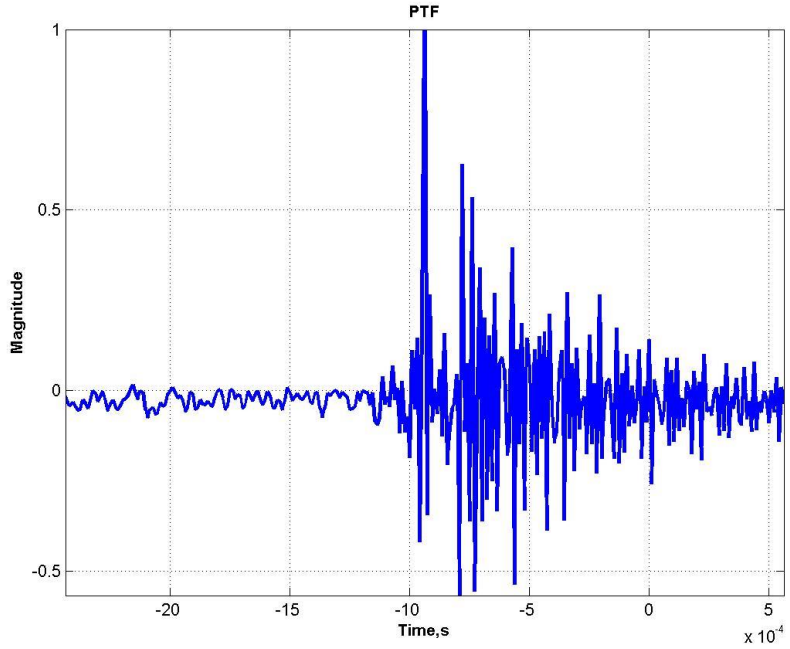


Рисунок 2.4 – Графічне представлення методу ІПФ

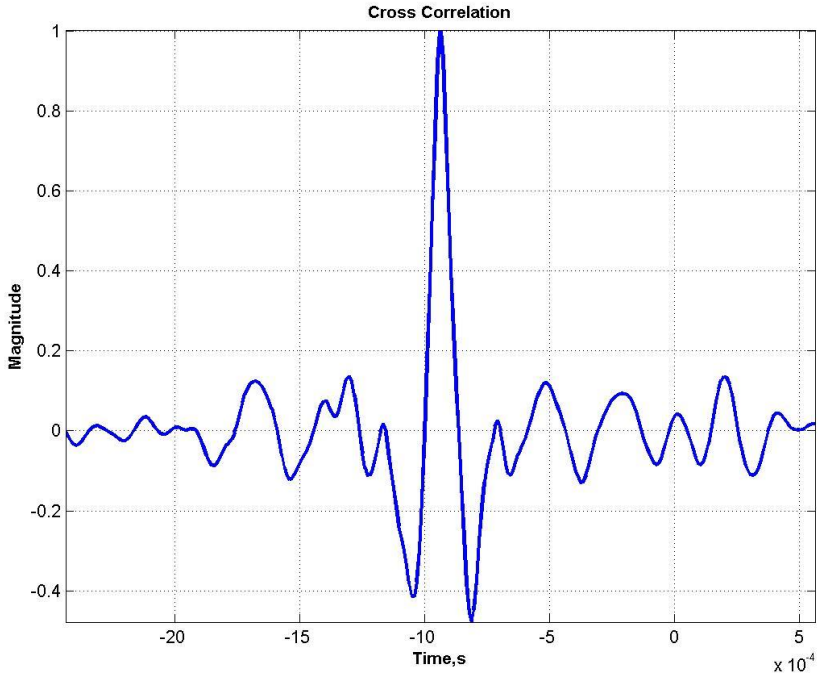


Рисунок 2.5 – Графічне представлення ВКФ методу

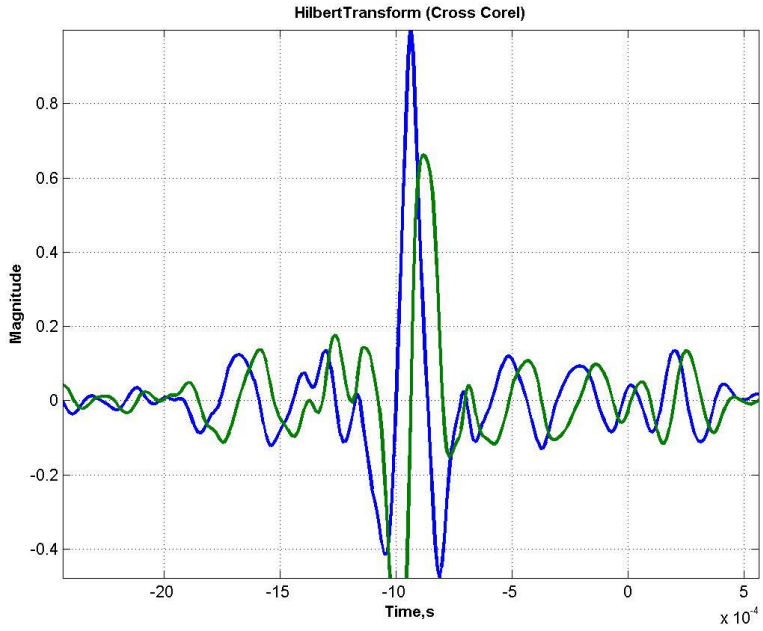


Рисунок 2.6 – Графічне представлення ВКФ методу з використанням перетворення Гілберта

Таблиця 2.2

Дульна хвиля									
№	**τ_0, с**	**PHAT**	**Похиб-ка, %**	**PTF**	**Похиб-ка, %**	**CC**	**Похиб-ка, %**	**HTCC**	**Похиб-ка, %**
1	0,000938	0,000938	0	0,000938	0	0,000938	0	0,000938	0
2	0,000917	0,000938	2,272727	0,000938	2,272727	0,000938	2,272727	0,000938	2,272727
3	0,000938	1,04E-05	98,88889	1,04E-05	98,88889	0,000927	1,111111	0,000932	0,555556
4	0,000927	0,000917	1,123596	0,000917	1,123596	0,000917	1,123596	0,000917	1,123596
5	0,000938	0,000938	0	0,008115	765,5556	0,000938	0	0,000938	0
6	0,00099	0,008719	781,0526	0,008719	781,0526	0,00101	2,105263	0,000979	1,052632
7	0,00076	0,00874	1049,315	0,00874	1049,315	0,000792	4,109589	0,000813	6,849315
8	0,000771	1,04E-05	98,64865	1,04E-05	98,64865	0,000792	2,702703	0,000807	4,72973
9	0,000917	0,000948	3,409091	0,000948	3,409091	0,000948	3,409091	0,000948	3,409091
10	0,001	1,04E-05	98,95833	0,001052	5,208333	0,001021	2,083333	0,001026	2,604167
11	0,00125	0,001021	18,33333	1,04E-05	99,16667	0,001021	18,33333	0,001026	17,91667
12	0,001854	0,001021	44,94382	1,04E-05	99,4382	0,001021	44,94382	0,00101	45,50562
13	0,000917	0,000948	3,409091	0,000948	3,409091	0,000938	2,272727	0,000927	1,136364
14	0,000927	0,000948	2,247191	0,000948	2,247191	0,000948	2,247191	0,000938	1,123596
15	0,000906	0,000938	3,448276	0,000938	3,448276	0,000927	2,298851	0,000917	1,149425
16	0,000896	0,000948	5,813953	0,000948	5,813953	0,000927	3,488372	0,000922	2,906977
17	0,000917	0,000927	1,136364	0,000927	1,136364	0,000927	1,136364	0,000911	0,568182

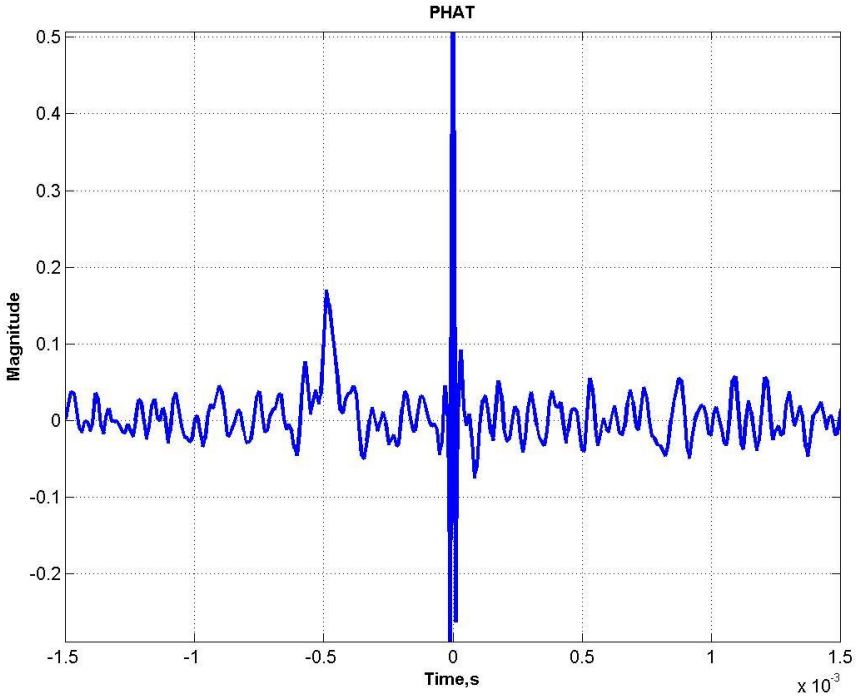


Рисунок 2.7 – Графічне представлення фазового методу

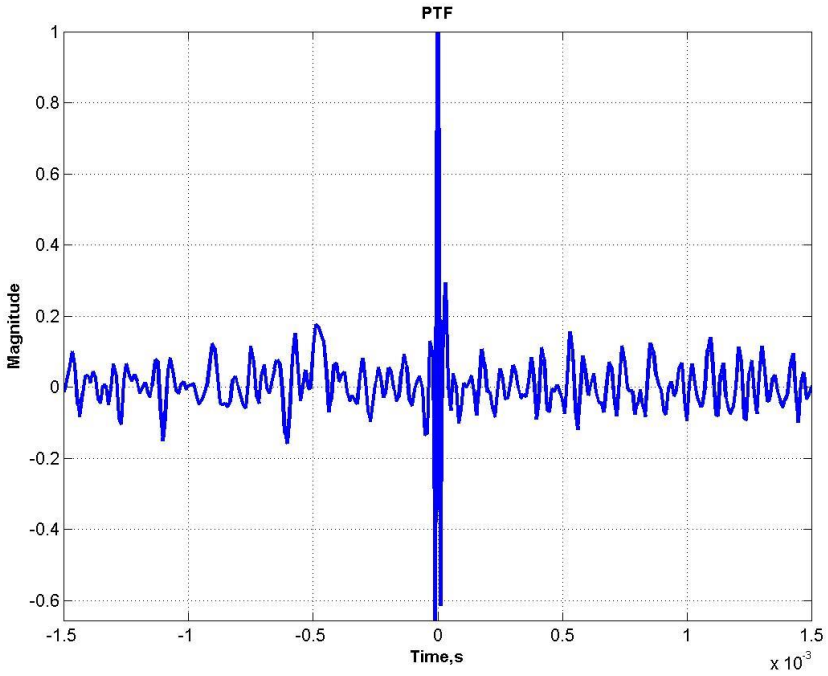


Рисунок 2.8 – Графічне представлення методу ІПФ

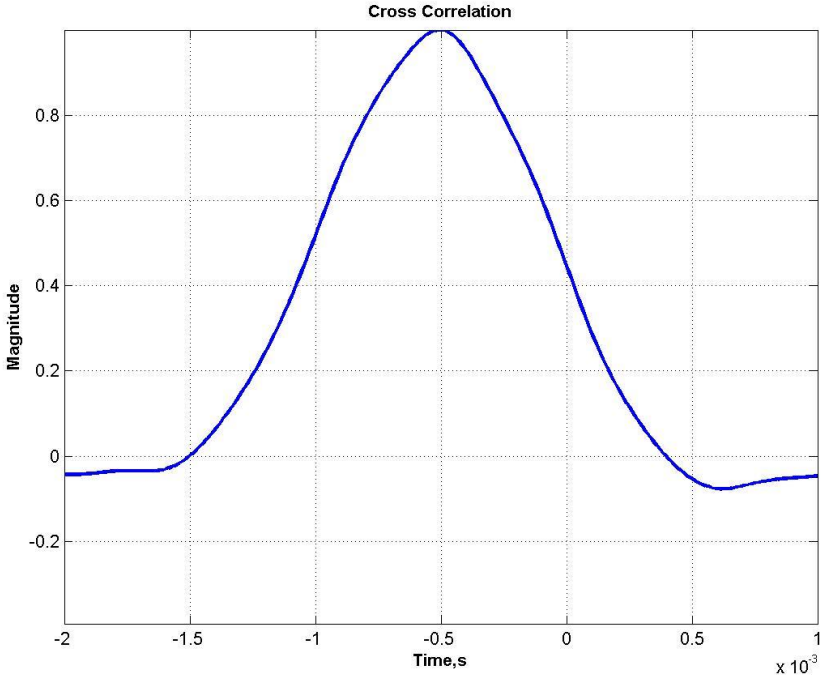


Рисунок 2.9 – Графічне представлення ВКФ методу

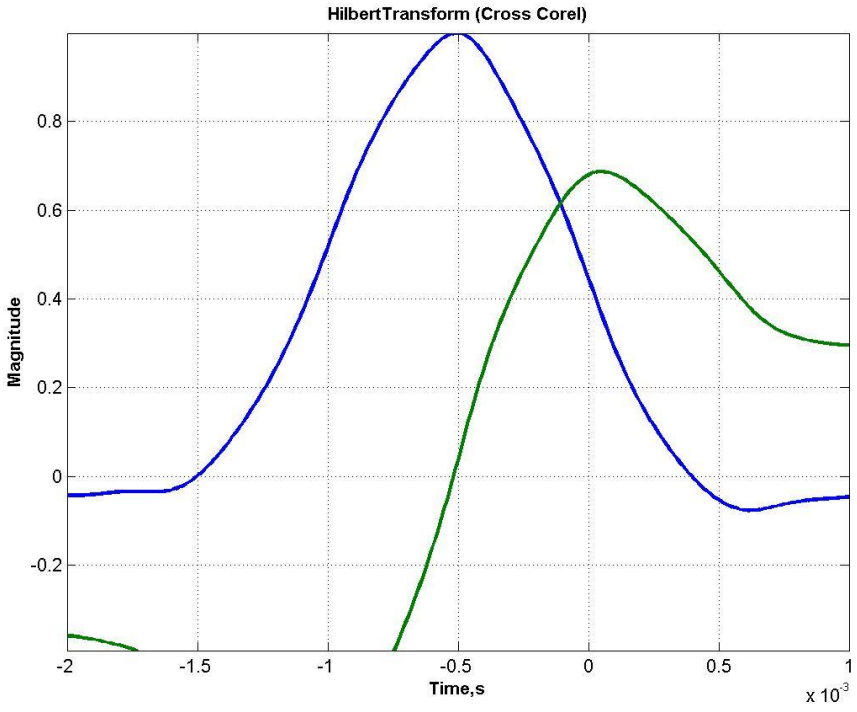
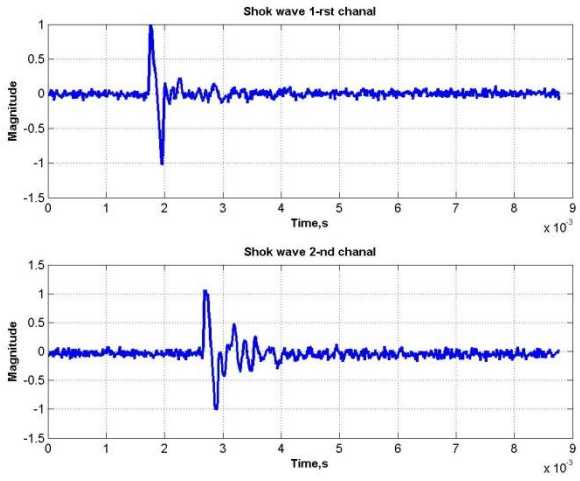


Рисунок 2.10 – Графічне представлення ВКФ методу з використанням перетворення Гілберта

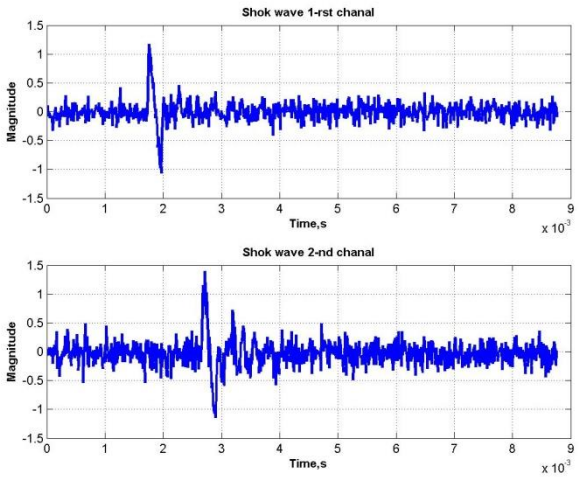
Відповідно до отриманих даних можемо побачити, що методи ВКФ та ФКФ з використанням перетворення Гілберта, дають досить точну оцінку часу затримки між прийнятими сигналами.

2.2. Працездатність обраних методів при наявності завади

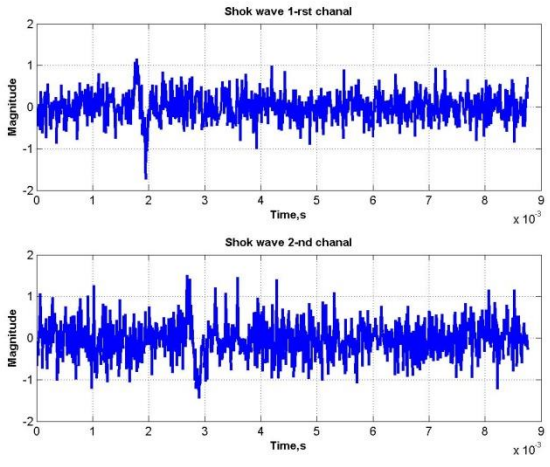
Використавши програму для маскування акустичного сигналу шумом з заданим рівнем SNR, були отримані суміші сигналу та завади з SNR = -10, 0, 5, 10, 15, 20 дБ. Приклад отриманого сигналу наведено на рис. 2.11, а також графіки обробки даного сигналу різними методами на рис. 2.12. Отримані результати наведені у таблицях 2.3 – 2.12.



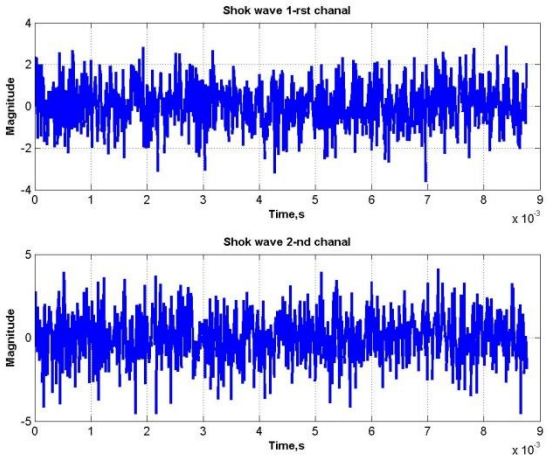
а)



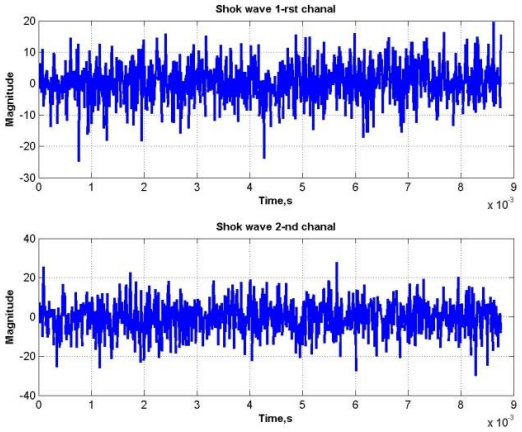
б)



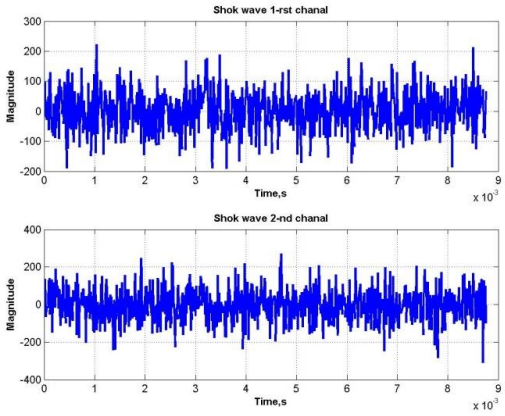
в)



г)

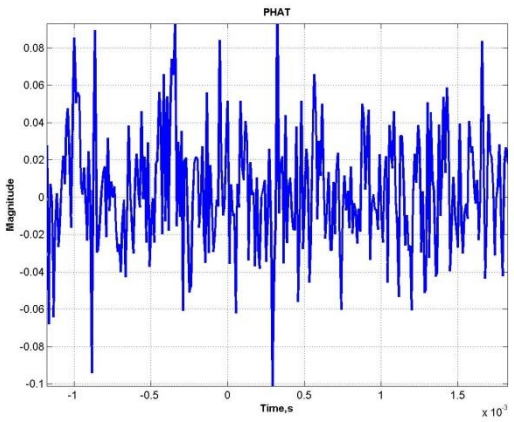


д)

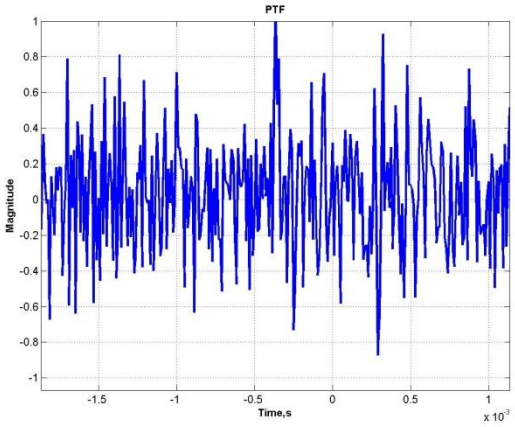


е)

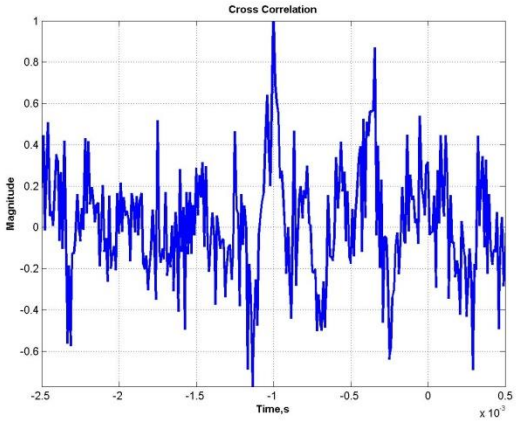
Рисунок 2.11 – Графічне представлення сигналів ударної хвилі після додання шуму: а) SNR = +10 дБ, б) SNR = 0 дБ, в) SNR = -5 дБ, г) SNR = -10 дБ, д) SNR = -15 дБ, е) SNR = -20 дБ



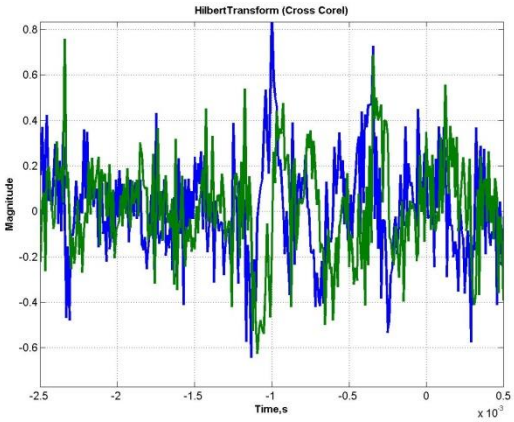
а)



б)



в)



г)

Рисунок 2.12 – Графічне представлення оброблених сигналів ударної хвилі з SNR = -5 дБ: а) Фазовий метод, б) Метод ІПФ, г) Метод ВКФ, д) Метод ВКФ з використанням перетворення Гілберта.

Таблиця 2.3

Ударна хвиля, SNR = 10 дБ									
№	**τ_0, с**	**PHAT**	**Похиб-ка, %**	**PTF**	**Похиб-ка, %**	**CC**	**Похиб-ка, %**	**HTCC**	**Похиб-ка, %**
1	0,000938	0,000938	0	0,000938	0	0,000938	0	0,000964	2,777778
2	0,000917	0,000938	2,272727	0,000927	1,136364	0,000938	2,272727	0,000969	5,681818
3	0,000938	0,000927	1,111111	0,000948	1,111111	0,000927	1,111111	0,000964	2,777778
4	0,000927	0,000917	1,123596	0,000927	0	0,000927	0	0,000953	2,808989
5	0,000938	0,000938	0	0,000938	0	0,000938	0	0,000974	3,888889
6	0,00099	0,00101	2,105263	5,21E-05	94,73684	0,00101	2,105263	0,001057	6,842105
7	0,00076	0,00124	63,0137	0,007792	924,6575	0,000813	6,849315	0,001214	59,58904
8	0,000771	0,000188	75,67568	0,00476	517,5676	0,000802	4,054054	0,001203	56,08108
9	0,000917	0,000948	3,409091	0,000948	3,409091	0,000948	3,409091	0,000979	6,818182
10	0,001	0,001021	2,083333	0,001052	5,208333	0,001021	2,083333	0,001052	5,208333
11	0,00125	0,00101	19,16667	0,001021	18,33333	0,001021	18,33333	0,001052	15,83333
12	0,001854	0,001031	44,38202	0,001021	44,94382	0,001021	44,94382	0,001052	43,25843
13	0,000917	0,000938	2,272727	0,000938	2,272727	0,000938	2,272727	0,000969	5,681818
14	0,000927	0,000948	2,247191	0,000948	2,247191	0,000948	2,247191	0,000969	4,494382
15	0,000906	0,000927	2,298851	0,000927	2,298851	0,000927	2,298851	0,000958	5,747126
16	0,000896	0,000938	4,651163	0,000948	5,813953	0,000938	4,651163	0,000964	7,55814
17	0,000917	0,000927	1,136364	0,000927	1,136364	0,000927	1,136364	0,000953	3,977273

Таблиця 2.4

Дульна хвиля, SNR = 10 дБ									
№	**τ_0, с**	**PHAT**	**Похиб-ка, %**	**PTF**	**Похиб-ка, %**	**CC**	**Похиб-ка, %**	**HTCC**	**Похиб-ка, %**
1	0,000448	0,000385	13,95349	0,000458	2,325581	0,0005	11,62791	0,000792	76,74419
2	0,000531	0,000438	17,64706	0,003406	541,1765	0,00051	3,921569	0,000865	62,7451
3	0,000573	0,003729	550,9091	0,007188	1154,545	0,000635	10,90909	0,001031	80
4	0,000583	0,000615	5,357143	0,00074	26,78571	0,000615	5,357143	0,000969	66,07143
5	0,000594	0,000583	1,754386	0,002177	266,6667	0,000573	3,508772	0,000995	67,54386
6	0,000802	0,000688	14,28571	0,002083	159,7403	0,000781	2,597403	0,001208	50,64935
7	0,00074	0,000802	8,450704	0,00225	204,2254	0,000656	11,26761	1,56E-05	97,88732
8	0,001635	0,000406	75,15924	0,004729	189,172	0,000406	75,15924	0,000458	71,97452
9	0,000323	0,000333	3,225806	0,003792	1074,194	0,000333	3,225806	0,000917	183,871
10	0,000563	0,00301	435,1852	0,00301	435,1852	0,000583	3,703704	0,001073	90,74074
11	0,000542	0,001333	146,1538	0,001271	134,6154	0,000615	13,46154	0,001031	90,38462

12	0,000531	0,000656	23,52941	0,000656	23,52941	0,000573	7,843137	0,000969	82,35294
13	0,000406	0,000271	33,33333	0,003271	705,1282	0,000333	17,94872	0,000823	102,5641
14	0,000354	0,000104	70,58824	0,00174	391,1765	0,000323	8,823529	0,000854	141,1765
15	0,000323	0,000396	22,58065	0,002927	806,4516	0,000292	9,677419	0,000922	185,4839
16	0,000281	0,000115	59,25926	0,003938	1300	0,000281	0	0,000927	229,6296
17	0,000906	0,000906	0	0,000917	1,149425	0,000906	0	0,00087	4,022989

Таблиця 2.5

Ударна хвиля, SNR = 0 дБ									
№	**τ_0, с**	**PHAT**	**Похиб-ка, %**	**PTF**	**Похиб-ка, %**	**CC**	**Похиб-ка, %**	**HTCC**	**Похиб-ка, %**
1	0,000938	0,000948	1,111111	0,000948	1,111111	0,000948	1,111111	0,000969	3,333333
2	0,000917	0,000938	2,272727	0,004208	359,0909	0,000938	2,272727	0,000969	5,681818
3	0,000938	0,000938	0	0,001427	52,22222	0,000927	1,111111	0,000964	2,777778
4	0,000927	0,000906	2,247191	0,001458	57,30337	0,000906	2,247191	0,000943	1,685393
5	0,000938	0,000917	2,222222	0,001677	78,88889	0,000917	2,222222	0,000964	2,777778
6	0,00099	0,001021	3,157895	0,001	1,052632	0,001021	3,157895	0,001063	7,368421
7	0,00076	0,00049	35,61644	0,007906	939,726	0,000729	4,109589	0,001172	54,10959
8	0,000771	3,13E-05	95,94595	0,003927	409,4595	0,00075	2,702703	0,001177	52,7027
9	0,000917	0,000948	3,409091	0,004875	431,8182	0,000948	3,409091	0,000979	6,818182
10	0,001	0,001042	4,166667	0,002385	138,5417	0,001021	2,083333	0,001052	5,208333
11	0,00125	0,00101	19,16667	0,00101	19,16667	0,00101	19,16667	0,001047	16,25
12	0,001854	0,000958	48,31461	0,00124	33,14607	0,00101	45,50562	0,001047	43,53933
13	0,000917	0,000917	0	0,000906	1,136364	0,000917	0	0,000958	4,545455
14	0,000927	0,000938	1,123596	0,000948	2,247191	0,000948	2,247191	0,000969	4,494382
15	0,000906	0,000927	2,298851	0,002135	135,6322	0,000927	2,298851	0,000958	5,747126
16	0,000896	0,000938	4,651163	0,002865	219,7674	0,000938	4,651163	0,000964	7,55814
17	0,000917	0,000948	3,409091	1,04E-05	98,86364	0,000917	0	0,000948	3,409091

Таблиця 2.6

Дульна хвиля, SNR = 0 дБ									
№	**τ_0, с**	**PHAT**	**Похиб-ка, %**	**PTF**	**Похиб-ка, %**	**CC**	**Похиб-ка, %**	**HTCC**	**Похиб-ка, %**
1	0,000448	0,002083	365,1163	0,000656	46,51163	0,000531	18,60465	0,000807	80,23256
2	0,000531	0,000385	27,45098	0,003938	641,1765	0,000646	21,56863	0,000932	75,4902
3	0,000573	9,48E-04	65,45455	0,002406	320	0,00076	32,72727	0,001094	90,90909
4	0,000583	0,000604	3,571429	0,000375	35,71429	0,000604	3,571429	0,000964	65,17857
5	0,000594	0,000604	1,754386	0,0015	152,6316	0,000604	1,754386	0,00101	70,17544
6	0,000802	0,000271	66,23377	0,007938	889,6104	0,000885	10,38961	0,00126	57,14286
7	0,00074	0,001323	78,87324	0,003427	363,3803	0,000646	12,67606	2,08E-05	97,1831
8	0,001635	0,000438	73,24841	0,000427	73,88535	0,000406	75,15924	0,000458	71,97452
9	0,000323	0,001531	374,1935	0,001177	264,5161	0,000219	32,25806	0,000859	166,129

10	0,000563	0,000458	18,51852	0,001688	200	0,000458	18,51852	0,00101	79,62963
11	0,000542	0,003031	459,6154	1,04E-05	98,07692	0,000635	17,30769	0,001042	92,30769
12	0,000531	0,002688	405,8824	0,004177	686,2745	0,0005	5,882353	0,000932	75,4902
13	0,000406	0,000719	76,92308	0,002813	592,3077	0,000406	0	0,000859	111,5385
14	0,000354	0,000896	152,9412	0,003542	900	0,00024	32,35294	0,000813	129,4118
15	0,000323	0,001313	306,4516	0,004292	1229,032	0,000313	3,225806	0,000932	188,7097
16	0,000281	0,00051	81,48148	0,001313	366,6667	0,000146	48,14815	0,000859	205,5556
17	0,000906	0,001198	32,18391	0,002656	193,1034	0,000896	1,149425	0,000865	4,597701

Таблиця 2.7

Ударна хвиля, SNR = -10 дБ									
№	**τ_0, с**	**PHAT**	**Похиб-ка, %**	**PTF**	**Похиб-ка, %**	**CC**	**Похиб-ка, %**	**HTCC**	**Похиб-ка, %**
1	0,000938	0,003083	228,8889	0,003083	228,8889	0,003083	228,8889	0,002036	117,2222
2	0,000917	0,000948	3,409091	0,000563	38,63636	0,000927	1,136364	0,000964	5,113636
3	0,000938	0,001	6,666667	0,001198	27,77778	0,000958	2,222222	0,000979	4,444444
4	0,000927	0,000781	15,73034	0,000917	1,123596	0,000781	15,73034	9,90E-05	89,32584
5	0,000938	0,003615	285,5556	0,003365	258,8889	0,000198	78,88889	0,000604	35,55556
6	0,00099	0,003323	235,7895	0,007323	640	0,001	1,052632	0,001052	6,315789
7	0,00076	0,000948	24,65753	0,000552	27,39726	0,000906	19,17808	0,00126	65,75342
8	0,000771	0,000573	25,67568	0,001792	132,4324	0,000635	17,56757	0,00112	45,27027
9	0,000917	0,001479	61,36364	0,000313	65,90909	3,13E-05	96,59091	0,000521	43,18182
10	0,001	0,001042	4,166667	0,008427	742,7083	0,001042	4,166667	0,001063	6,25
11	0,00125	0,003656	192,5	0,00501	300,8333	0,001042	16,66667	0,001063	15
12	0,001854	0,000323	82,58427	0,002833	52,80899	0,001031	44,38202	0,001057	42,97753
13	0,000917	0,00474	417,0455	0,001396	52,27273	0,003021	229,5455	0,00101	10,22727
14	0,000927	0,000375	59,55056	0,001813	95,50562	0,000938	1,123596	0,000964	3,932584
15	0,000906	0,000448	50,57471	0,001625	79,31034	0,000531	41,37931	0,000229	74,71264
16	0,000896	0,000927	3,488372	0,003875	332,5581	0,000927	3,488372	0,000958	6,976744
17	0,000917	0,001375	50	0,001375	50	0,000927	1,136364	0,000953	3,977273

Таблиця 2.8

Дульна хвиля, SNR = -10 дБ									
№	**τ_0, с**	**PHAT**	**Похиб-ка, %**	**PTF**	**Похиб-ка, %**	**CC**	**Похиб-ка, %**	**HTCC**	**Похиб-ка, %**
1	0,000448	0,0025	458,1395	0,00301	572,093	0,000573	27,90698	0,000828	84,88372
2	0,000531	0,000313	41,17647	0,00101	90,19608	0,000635	19,60784	0,000927	74,5098
3	0,000573	0,001844	221,8182	0,001875	227,2727	0,000781	36,36364	0,001104	92,72727
4	0,000583	0,000802	37,5	0,005844	901,7857	0,000802	37,5	0,001063	82,14286
5	0,000594	0,000156	73,68421	0,001583	166,6667	0,000688	15,78947	0,001052	77,19298
6	0,000802	0,003292	310,3896	0,003854	380,5195	0,000781	2,597403	0,001208	50,64935
7	0,00074	0,001521	105,6338	4,17E-05	94,3662	0,001031	39,43662	0,000172	76,76056
8	0,001635	3,96E-04	75,79618	6,06E-03	270,7006	3,85E-04	76,43312	4,48E-04	72,61146
9	0,000323	0,000385	19,35484	0,001177	264,5161	0,000385	19,35484	0,000943	191,9355

10	0,000563	0,001313	133,3333	0,002594	361,1111	0,000542	3,703704	0,001052	87,03704
11	0,000542	0,00324	498,0769	0,000542	0	0,000375	30,76923	0,000911	68,26923
12	0,000531	0,000625	17,64706	0,005354	907,8431	0,000625	17,64706	0,000995	87,2549
13	0,000406	0,000688	69,23077	0,007771	1812,821	4,17E-05	89,74359	0,000635	56,41026
14	0,000354	0,002896	717,6471	0,003146	788,2353	0,000115	67,64706	0,00075	111,7647
15	0,000323	0,000333	3,225806	0,002938	809,6774	0,000333	3,225806	0,000943	191,9355
16	0,000281	3,13E-05	88,88889	0,000104	62,96296	3,13E-05	88,88889	0,000771	174,0741
17	0,000906	0,000885	2,298851	0,000552	39,08046	0,000885	2,298851	0,000859	5,172414

Таблиця 2.9

Ударна хвиля, SNR = -15 дБ									
№	**τ_0, с**	**PHAT**	**Похиб-ка, %**	**PTF**	**Похиб-ка, %**	**CC**	**Похиб-ка, %**	**HTCC**	**Похиб-ка, %**
1	0,000938	0,001146	22,22222	0,000927	1,111111	0,000208	77,77778	0,000599	36,11111
2	0,000917	3,96E-04	56,81818	0,003823	317,0455	5,52E-04	39,77273	7,76E-04	15,34091
3	0,000938	0,001125	20	0,002271	142,2222	0,001125	20	0,001063	13,33333
4	0,000927	0,001833	97,75281	0,007365	694,382	0,002823	204,4944	0,001901	105,0562
5	0,000938	0,001125	20	0,005177	452,2222	0,001208	28,88889	9,90E-05	89,44444
6	0,00099	0,000104	89,47368	0,00201	103,1579	0,000104	89,47368	0,0005	49,47368
7	0,00076	0,000333	56,16438	0,000333	56,16438	0,001063	39,72603	0,001339	76,0274
8	0,000771	0,000115	85,13514	0,00324	320,2703	0,002771	259,4595	0,002188	183,7838
9	0,000917	0,001219	32,95455	0,003698	303,4091	0,000573	37,5	0,000219	76,13636
10	0,001	0,000896	10,41667	0,008385	738,5417	0,0015	50	0,000208	79,16667
11	0,00125	0,000979	21,66667	0,000344	72,5	0,000229	81,66667	0,000427	65,83333
12	0,001854	0,000542	70,78652	0,00025	86,51685	0,00226	21,91011	0,001672	9,831461
13	0,000917	0,001688	84,09091	0,004708	413,6364	0,000177	80,68182	0,000411	55,11364
14	0,000927	0,002583	178,6517	0,000438	52,80899	0,000281	69,66292	0,000354	61,79775
15	0,000906	0,001198	32,18391	0,002198	142,5287	0,001198	32,18391	0,000104	88,50575
16	0,000896	0,00375	318,6047	0,005708	537,2093	0,002198	145,3488	0,000604	32,55814
17	0,000917	0,002677	192,0455	0,003167	245,4545	0,0005	45,45455	0,00024	73,86364

Таблиця 2.10

Дульна хвиля, SNR = -15 дБ									
№	**τ_0, с**	**PHAT**	**Похиб-ка, %**	**PTF**	**Похиб-ка, %**	**CC**	**Похиб-ка, %**	**HTCC**	**Похиб-ка, %**
1	0,000448	0,002063	360,4651	0,005135	1046,512	0,002188	388,3721	0,000552	23,25581
2	0,000531	0,000281	47,05882	0,003594	576,4706	0,000167	68,62745	0,000526	0,980392
3	0,000573	0,003885	578,1818	0,000229	60	0,000458	20	0,000943	64,54545
4	0,000583	0,00325	457,1429	0,000104	82,14286	0,00325	457,1429	0,000964	65,17857
5	0,000594	0,000292	50,87719	0,000771	29,82456	0,001823	207,0175	0,000203	65,78947
6	0,000802	0,000563	29,87013	0,002708	237,6623	0,000563	29,87013	0,001099	37,01299
7	0,00074	5,21E-05	92,95775	0,002698	264,7887	5,21E-05	92,95775	0,00037	50
8	0,001635	0,003688	125,4777	0,003688	125,4777	0,000354	78,34395	0,000432	73,56688
9	0,000323	0,000427	32,25806	0,002	519,3548	0,00025	22,58065	0,000625	93,54839

10	0,000563	0,000698	24,07407	0,005208	825,9259	0,001521	170,3704	2,08E-05	96,2963
11	0,000542	0,002094	286,5385	0,003906	621,1538	0,002094	286,5385	0,000323	40,38462
12	0,000531	1,42E-03	166,6667	0,001146	115,6863	3,07E-03	478,4314	8,54E-04	60,78431
13	0,000406	0,004729	1064,103	0,000208	48,71795	0,001052	158,9744	0,001182	191,0256
14	0,000354	1,04E-05	97,05882	1,04E-05	97,05882	1,04E-05	97,05882	0,000688	94,11765
15	0,000323	0,00051	58,06452	0,00051	58,06452	0,000938	190,3226	0,001245	285,4839
16	0,000281	0,002927	940,7407	0,003823	1259,259	0,000635	125,9259	0,001104	292,5926
17	0,000906	0,000198	78,16092	0,000281	68,96552	0,000615	32,18391	0,000109	87,93103

Таблиця 2.11

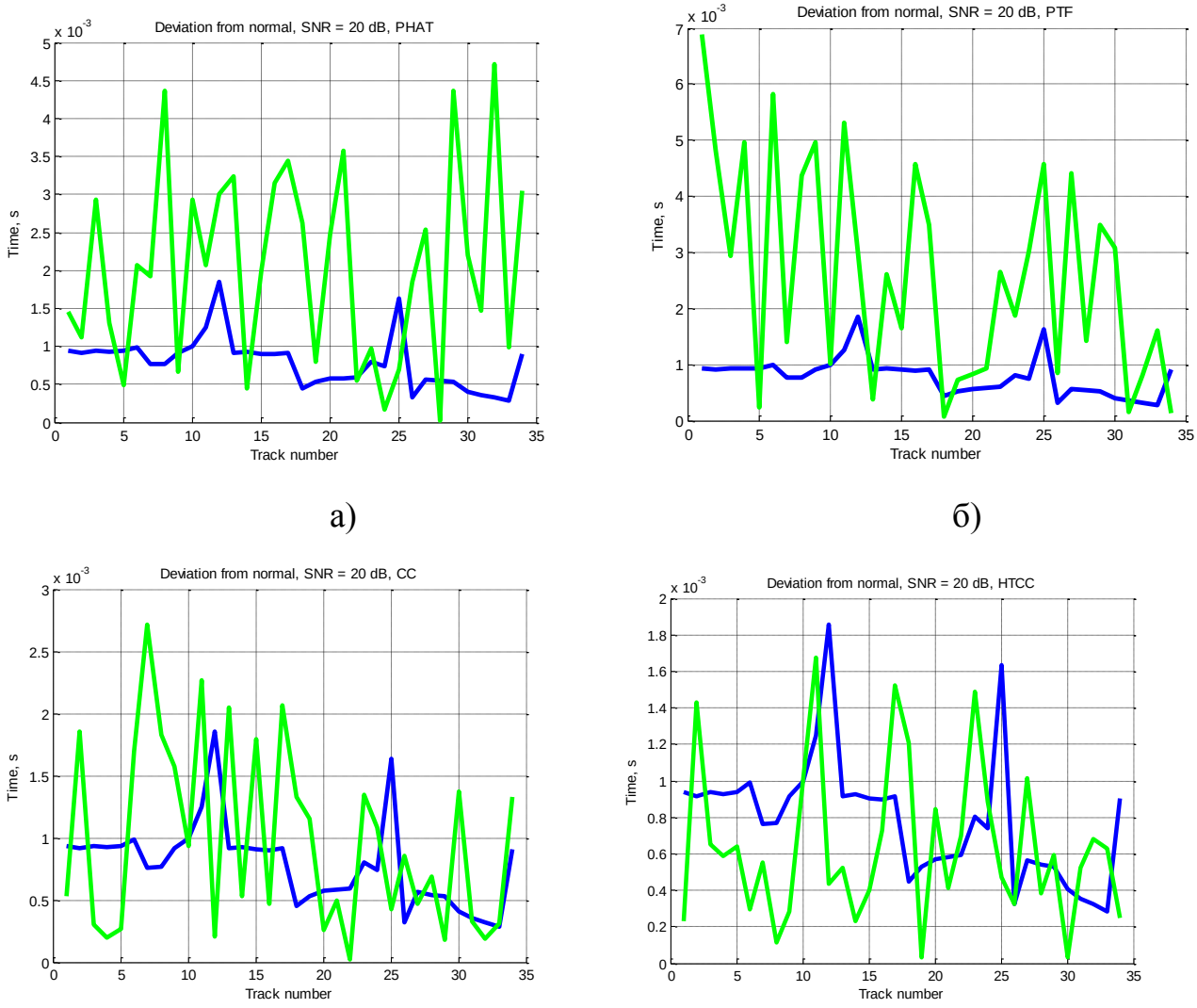
Ударна хвиля, SNR = -20 дБ									
№	**τ_0, с**	**PHAT**	**Похиб-ка, %**	**PTF**	**Похиб-ка, %**	**CC**	**Похиб-ка, %**	**HTCC**	**Похиб-ка, %**
1	0,000938	0,001094	16,66667	0,000729	22,22222	0,000188	80	0,000401	57,22222
2	0,000917	0,001281	39,77273	1,28E-03	39,77273	0,001854	102,2727	0,001427	55,68182
3	0,000938	0,002135	127,7778	0,001854	97,77778	0,000552	41,11111	0,000776	17,22222
4	0,000927	0,001135	22,47191	0,001135	22,47191	0,001927	107,8652	0,001453	56,74157
5	0,000938	0,001063	13,33333	0,00074	21,11111	0,000313	66,66667	0,000349	62,77778
6	0,00099	0,000417	57,89474	0,001521	53,68421	0,000417	57,89474	0,000344	65,26316
7	0,00076	0,004125	442,4658	0,002927	284,9315	0,002083	173,9726	0,001849	143,1507
8	0,000771	0,001146	48,64865	0,00476	517,5676	0,000802	4,054054	0,000401	47,97297
9	0,000917	0,000417	54,54545	0,006375	595,4545	0,000396	56,81818	0,000307	66,47727
10	0,001	0,000781	21,875	0,004958	395,8333	7,81E-04	21,875	9,32E-04	6,770833
11	0,00125	0,000677	45,83333	0,001698	35,83333	0,000677	45,83333	0,00088	29,58333
12	0,001854	0,002052	10,67416	0,001063	42,69663	0,000333	82,02247	0,000708	61,79775
13	0,000917	0,000667	27,27273	0,005875	540,9091	0,000927	1,136364	0,000964	5,113636
14	0,000927	0,001583	70,78652	0,003625	291,0112	0,00174	87,64045	0,001365	47,19101
15	0,000906	0,000802	11,49425	0,004156	358,6207	0,000542	40,22989	0,000766	15,51724
16	0,000896	0,000146	83,72093	0,001917	113,9535	0,001563	74,4186	0,001276	42,44186
17	0,000917	0,000417	54,54545	0,006802	642,0455	0,000615	32,95455	0,000182	80,11364

Таблиця 2.12

Дульна хвиля, SNR =- 20 дБ									
№	**τ_0, с**	**PHAT**	**Похиб-ка, %**	**PTF**	**Похиб-ка, %**	**CC**	**Похиб-ка, %**	**HTCC**	**Похиб-ка, %**
1	0,000448	0,000938	109,3023	0,001167	160,4651	0,000323	27,90698	0,000703	56,97674
2	0,000531	0,0005	5,882353	0,000323	39,21569	0,0005	5,882353	0,000359	32,35294
3	0,000573	0,0025	336,3636	0,002781	385,4545	0,000719	25,45455	0,001073	87,27273
4	0,000583	0,000438	25	0,001021	75	0,002802	380,3571	0,002063	253,5714
5	0,000594	0,000521	12,2807	0,000635	7,017544	0,000917	54,38596	0,00025	57,89474
6	0,000802	0,002229	177,9221	9,38E-05	88,31169	9,38E-05	88,31169	0,000771	3,896104
7	0,00074	0,000125	83,09859	0,001656	123,9437	0,001656	123,9437	0,000484	34,50704
8	0,001635	0,001427	12,73885	0,001406	14,01274	0,001188	27,38854	0,000339	79,29936
9	0,000323	0,001448	348,3871	0,005823	1703,226	0,000646	100	0,001073	232,2581

10	0,000563	0,000323	42,59259	0,000323	42,59259	0,000323	42,59259	0,000943	67,59259
11	0,000542	0,000948	75	0,007646	1311,538	0,000333	38,46154	0,000557	2,884615
12	0,000531	0,000885	66,66667	0,000698	31,37255	0,00201	278,4314	0,001688	217,6471
13	0,000406	0,002031	400	0,000969	138,4615	5,21E-05	87,17949	0,000682	67,94872
14	0,000354	0,000854	141,1765	0,001677	373,5294	0,000854	141,1765	0,00112	216,1765
15	0,000323	0,002146	564,5161	0,0065	1912,903	0,002469	664,5161	0,000458	41,93548
16	0,000281	0,003615	1185,185	0,00024	14,81481	0,00051	81,48148	0,001042	270,3704
17	0,000906	0,000563	37,93103	0,007948	777,0115	0,00075	17,24138	4,17E-05	95,4023

З отриманих результатів можемо зробити висновок, що метод ВКФ з використанням перетворення Гілберта є більш стійким до впливу завад, що можна спостерігати на рис. 2.13.



а) б)

в) г)

Рисунок 2.13 – Відхилення розрахованого часу затримки

2.3. Висновок до розділу

Провівши математичне моделювання заданих методів, можемо зробити висновок, що фазовий метод та метод ІПФ не є ефективними при великому рівні акустичних шумів. Методи пари квадратурних доповнень ВКФ дійсно навіть при значені SNR = -10 дБ можуть надати результат з задовільною точністю. Виходячи з рис. 2.13 можемо зробити висновок, що ВКФ з використанням перетворення Гілберта є більш стійким до впливу завад чим усі інші.

РОЗДІЛ 3
РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Стартап-проекти, у сучасному світі, стають все більш впливовішою складовою інноваційної економіки, оскільки зі зростанням кількості стартап-проектів зростає і загальна маса інноваційних ідей. Розроблення та виведення стартап-проекту на ринок передбачає здійснення низки кроків, в межах яких визначають ринкові перспективи проекту, графік та принципи організації виробництва, фінансовий аналіз та аналіз ризиків і заходи з просування пропозиції для інвесторів. Узагальнено етапи розроблення стартап-проекту можна подати наступним чином:

- Маркетинговий аналіз стартап-проекту;
- Організація стартап-проекту;
- Фінансово-економічний аналіз та оцінка ризиків проекту;
- Заходи з комерціалізації проекту;

Задані етапи, реалізовані послідовно та вчасно – створюють передумови для успішного ринкового старту. Тому основною ідеєю даного розділу є виконання першого етапу розроблення старпап-проекту, а саме маркетингового аналізу, тобто виявити ринкові можливості використання результатів роботи.

3.1. Опис ідеї проекту

В межах даного підпункту було послідовно проаналізовано та подано у вигляді таблиць наступні завдання:

- зміст ідеї (що пропонується);
- можливі напрямки застосування;
- основні вигоди, що може отримати користувач товару (за кожним напрямком застосування);
- чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників;

Перші три пункти подаються у вигляді таблиці (табл. 3.1) і дають цілісне уявлення про зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 3.1

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення пеленгатору акустичних джерел з використанням методів пари квадратурних доповнень	1. Пеленгація ворожих снайперів	Захист особового складу
	2. Пеленгація БПЛА та інших транспортних засобів	Передбачення витоку важливої інформації та контроль транспортних засобів
	3. Захист державного кордону, аеропортів та інших режимних об’єктів.	Захист режимних об’єктів

Наступним кроком є аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї (чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників) порівняно із пропозиціями конкурентів передбачає.

Таблиця 3.2

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтр-альна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій товар	Acoem-Metravib			
1	Точність	похибка вимірювання координат становить ±5 °	похибка вимірювання координат становить ± 10 °			+
2	Відстань	300м	150м		+	
3	Швидкодія	Низька	Низька	+		
4	Собівартість	Середня	Середня		+	

3.2. Технологічний аудит ідеї проекту.

В межах даного підрозділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару).

Таблиця 3.3

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність
1	Мікрофони	Behringer ECM8000	Є в наявності	Доступно
2	Середа розробки	Matlab	Є в наявності	Доступно
3	Тринога	Tripod 3110	Є в наявності	Доступно
4	Метод визначення часової затримки	ВКФ	Є в наявності	Доступно
Обрана технологія реалізації ідеї проекту : 3 шт. Behringer ECM8000 + Tripod 3110 + ВКФ(Matlab).				

3.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.

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.

Спочатку проводиться аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку.

Таблиця 3.4

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість основних гравців	5
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	3500000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Доступність технологій, та грошові накопичення
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі , %	15%

За результатами аналізу таблиці 3.4 було зроблено висновок, що ринок є Відносно не привабливим для входження.

Визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи.

Таблиця 3.5

№ п/п	Потреба що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Потреба у забезпеченні безпеки особового складу	Військовослужбовці, служби охорони	В залежності яке джерело пеленгуємо, обираємо потрібний метод	Швидкодія та точність

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають. Після цього проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку. Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

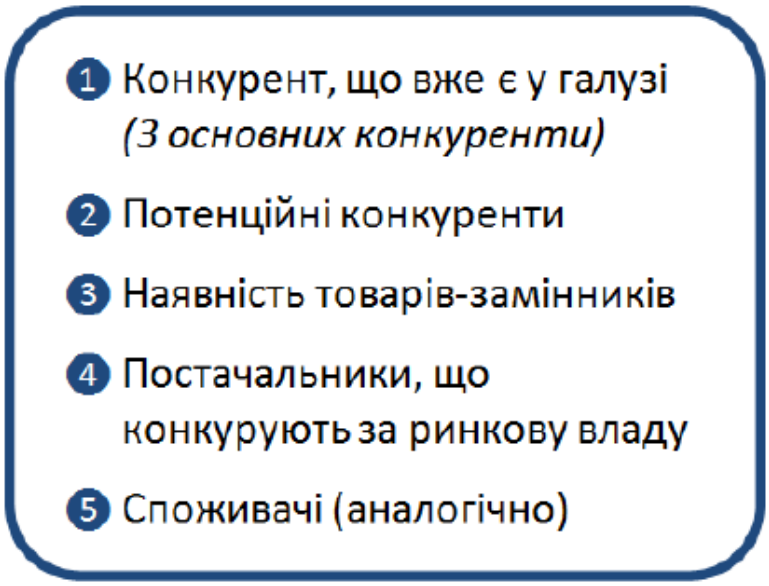


Рисунок 3.1 – Складові моделі 5 сил М. Портера.

Сильні позиції компанії за кожним з факторів означають її можливості забезпечити необхідні темпи обороту капіталу та її здатність впливати на інших агентів ринку, диктуючи їм власні умови співпраці. Характеристики факторів моделі відрізняються для різних галузей та змінюються із часом. Сила кожного фактору є функцією від структури галузі та її техніко-економічних характеристик. На основі аналізу складових моделі 5 сил М. Портера розробляється перелік факторів конкурентоспроможності для певного ринку.

Таблиця 3.6

Складові аналізу	Прямі конкуренти	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Faret, Acoem-Metravib, Pilar	Наявність вже існуючих методів вирішення	-	Перевірка якості та працездатності приладу	Поява нових інженерних рішень
Висновки:	Сильні конкуренти, що вже мають свій ринок збуту.	Потрібно швидко запатентувати та вивести прилад на ринок	-	Від них залежить чи зможе стартап вийти на ринок	Слідкування за новими тенденціями та модернізувати розроблену установку

За результатами аналізу таблиці 3.6 було зроблено висновок про можливість роботи на ринку з огляду на конкурентну ситуацію. Також було зроблено висновок щодо характеристик, які повинен мати проект, щоб бути конкурентоспроможним на ринку. Цей висновок був врахований при формулюванні переліку факторів конкурентоспроможності у наступному пункті. На основі аналізу конкуренції, проведеного в таблиці 3.6, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (таблиця 3.2), вимог споживачів до товару (таблиця 3.5) та факторів маркетингового середовища визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 3.7

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
	Ціна	Обрання не дорогого обладнання яке буде виконувати поставлені задачі
	Точність	Модернізація методів оцінки визначення часової затримки.
	Відстань пелентування	Пошук нових можливостей визначення часової затримки

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 3.7) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту

Таблиця 3.7

№ п/п	Фактор конкуренто спроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів У порівнянні						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
	Ціна	17	+						
	Точність	21					+		
	Відстань пелентування	20				+			

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових

загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін . Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Таблиця 3.8

Сильні сторони: ціна, точність пеленгування, відстань	Слабкі сторони: відсутність клієнтської бази, та нестача коштів
Можливості: працездатність при високому рівні акустичних шумів	Загрози: наявність потужних конкурентів

На основі SWOT-аналізу було розроблено альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок. Визначені альтернативи були проаналізовані з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів

Таблиця 3.9

№ п/п	Альтернатива	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Розробка пеленгатора за свій кошт, та впровадження його за максимально рентабельною ціною	40%	рік

2	Впровадження технології до вже існуючої фірми	90%	6 місяців

3.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів За результатами даного аналізу потенційних груп споживачів було обрано цільову групу, для якої буде запропоновано даний товар, а саме військовослужбовці, та визначено стратегію охоплення ринку - стратегію концентрованого маркетингу(компанія зосереджується на одному сегменті). Для роботи в обраних сегментах ринку сформовано базову стратегію розвитку . За М. Портером, існують три базові стратегії розвитку, що відрізняються за ступенем охоплення цільового ринку та типом конкурентної переваги, що має бути реалізована на ринку (за витратами або визначними якостями товару).

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) автори ідеї обирають цільові групи, для яких вони пропонуватимуть свій товар, та визначають стратегію охоплення ринку:

- якщо компанія зосереджується на одному сегменті – вона обирає стратегію концентрованого маркетингу;
- якщо працює із кількома сегментами, розробляючи для них окремо програми ринкового впливу – вона використовує стратегію диференційованого маркетингу;
- якщо компанія працює із всім ринком, пропонуючи стандартизовану програму (включно із характеристиками товару/послуги) – вона використовує масовий маркетинг.

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту (див. табл. 3.5), а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляється стратегія

позиціонування , що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таким чином на основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту (див. табл.3. 5), а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляється стратегія позиціонування, що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за ким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

3.5 Висновок до розділу

Даний розділ магістерських дисертацій присвячено реалізації першого етапу розроблення стартап-проекту, а саме висвітленню маркетингових аспектів створення стартапу: відбору ідей, створенню концепції продукту, визначення перспектив ринкової реалізації проекту та розроблення маркетингової стратегії.

Розділ є завершальною частиною магістерської дисертації і виконується у вигляді оцінювання можливостей та формування заходів із ринкового впровадження інноваційних пропозицій магістранта. Метою розділу є формування інноваційного мислення, підприємницького духу та формування здатностей щодо оцінювання ринкових перспектив і можливостей комерціалізації основних науково-технічних розробок, сформованих у попередній частині магістерської дисертації у вигляді розроблення концепції стартап-проекту в умовах висококонкурентної ринкової економіки глобалізаційних процесів.

ВИСНОВОК

Отже у наш час локалізація об’єктів акустичних джерел випромінювання являє собою актуальну проблему в задачах гідро- та атмосферної акустики. Даний процес складається з декількох етапів, основними з яких є виявлення об’єкту та визначення його кутових та лінійних координат.

Дана робота присвячена дослідженню та розробки сучасних методів визначення відносної часової затримки в задачах акустичної локації. Було розглянуто 4 методи, по яким були розроблені математичні моделі та перевірено їх на завадостійкість. У якості тестових сигналів було обрано записи пострілів з автомату калібром 5.45 мм. Методи пари квадратурних доповнень ВКФ дійсно навіть при значені SNR = 10 дБ можуть надати результат з задовільною точністю. Виходячи з рис. 2.13 можемо зробити висновок, що ВКФ з використанням перетворення Гілберта є більш стійким до впливу завад чим усі інші.

Таким чином, результатом проведеної роботи виявилося підтвердження теоретичних розрахунків, та що найбільш пристосованим є метод ВКФ.

В подальшому є можливість перевірити точність його вимірювань, в залежності від наявності відбивання акустичних сигналів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. T. Damarla., “Battlefield Acoustics // ” Cham: Springer International Publishing, - 2015, - p. 262.
2. Митько, В. Б. Гидроакустические средства связи и наблюдения // Л.: Судостроение, 1982. – 200 с.
3. С. О. Козерук, О.В.Сергієнко, Визначення часових затримок хвиль в задачах акустичної локації, // Scientific Journal”ScienceRise” - 2017, pp. - 82–85.
4. Robert, C. Maher. Modeling and Signal Processing of Acoustic Gunshot Recordings // Proceedings of IEEE Signal Processing Society 12th DSP Workshop. – 2006. – P. 257-261.
5. Дж. Бендат, А. Пирсол, Прикладной анализ случайных данных, // М.: Мир, - 1989 - 540 с.
6. Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов // Санкт-Петербург : Питер Принт, - 2003. – 606.
7. A. Prodeus, K. Bukhta, P. Morozko, O. Serhiienko, I. Kotvytskyi, I. Shherbenko Automated system for subjective evaluation of the ukrainian speech intelligibility // IEEE International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). - 2018. - 533-538.
8. S. Kozeruk, O. Serhiienko Approbation of evaluation techniques of acoustic waves time delay for sound sources localization // IEEE International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). - 2018. - 582-586.