

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

Радіотехнічний факультет
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 62-1/-9

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Є.А. Нелін
(ініціали, прізвище)

“19” 12 2019 р.

Магістерська дисертація

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
за освітньою програмою (спеціалізацією) Інтелектуальні технології
мікросистемної радіoeлектронної техніки (код і назва спеціальності)

на тему: Визначення швидкості звуку в рідинах в
режимі акустичної кавітації

Виконав (ла): студент (-ка) 2 курсу, групи PI-81 мп
(шифр групи)

Черненко Андрій Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Науковий керівник ст. викладач Новосад А.А.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Консультант з охорони праці к.т.н., доцент Каштанов С.Ф.
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Рецензент к.т.н. доцент каф. РОС Мовчанюк Н.В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент Черненко Андрій (підпис)

Київ – 2019 року

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

Факультет (інститут) радіотехнічний факультет
(повна назва)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури
(повна назва)

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

За спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

За освітньою програмою (спеціалізацією) Інтелектуальні технології
мікросистемної радіoeлектронної техніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

С. А. Нелін
(ініціали, прізвище)

02 вересня 2019р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Черненко Андрію Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Визначення швидкості звуку в
рідинах в режимі акустичної кавітації

науковий керівник дисертації Новосад Андрій Анатолійович, см. викладач.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «12» листопада 2019 р. № 3881-с

2. Строк подання студентом дисертації 16 грудня 2019

3. Об'єкт дослідження Метод вимірювання швидкості
звуку.

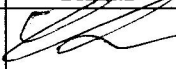
4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) Спосіб вимірювання швидкості звуку в режимі ковзання на його шарашній реалізації.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Розробити макет в середовищі САПР Solidworks 2020. 2. Розробити конструкцію вимірювального макету, зібрати устаткування. 3. Написати програму що фільтрує сигнал.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу презентація

7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
3 охорони праці	Каштанов С.Ф., доцент, к.т.н.		

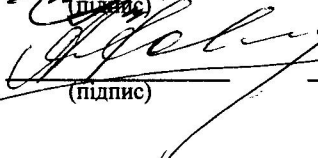
9. Дата видачі завдання 02 вересня 2019 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Підбір джерел інформації	01.03.19 – 01.06.19	
2.	Аналітичний огляд джерел	01.06.19 – 15.09.19	Розділ 1
3.	Розробка принципу вимір.	16.09.19 – 01.11.19	Розділ 2,3
4.	Розробка макету	1.11.19 – 20.11.19	Розділ 4
5.	Складання проекту на охорону праці	21.11.19 – 01.12.19	Розділ 5,6
6.	Остаточне оформлення дисертації	02.12.19 – 10.12.19	

Студент

Науковий керівник дисертації


(підпис)
А.О. Черненко
(ініціали, прізвище)

(підпис)
А.А. Новосос
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки становить 81 сторінки, яка включає в себе 27 ілюстрацій, 2 додаток і 31 джерело, 34 таблиці.

ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ЗВУКУ В РІДИНАХ В РЕЖИМІ АКУСТИЧНОЇ КАВІТАЦІЇ.

Актуальність роботи обумовлена тим що швидкість звуку є вихідним параметром для проектування УЗ кавітаційного обладнання. Довідкові данні по швидкості звуку для обновлюваних речовин, в режимі кавітації, відсутні. Тому розробка методу що дозволить вимірювати швидкість звуку в режимі кавітації є актуальною та дозволить спростити процес проектування УЗ кавітаційного обладнання.

Мета дослідження — обрати метод для вимірювання швидкості звуку та модифікувати його для режиму кавітації.

Завдання дисертації:

1. Обрати метод дослідження швидкості звуку при режимі кавітації.
2. Запропонувати способи його вдосконалення в режимі роботи кавітації.
3. Експериментально перевірити розроблений метод.

Об'єкт дослідження — Методи вимірювання швидкості звуку

Предмет дослідження — Спосіб вимірювання швидкості звуку в режимі кавітації та його апаратна реалізація.

Наукова новизна Залежність швидкості звуку від напруги на п'єзоелектричний випромінювач, отримано модифікований імпульсно-фазовий метод.

Практична новизна Модифіковано імпульсно-фазовий метод вимірювання швидкості звуку шляхом додаткової фільтрації даних що дозволяє вимірювати швидкість звуку в режимі кавітації.

ABSTRACT

The volume of the explanatory note is 81 pages, which includes 27 illustrations, 2 appendices and 31 sources, 34 tables.

DETERMINATION OF SOUND SPEED IN LIQUIDS IN ACOUSTIC CAVITATION MODE.

The urgency of the work is due to the fact that the speed of sound is an output parameter for the design of ultrasonic cavitation equipment. Background information on the speed of sound for renewable substances in cavitation mode is missing. Therefore, the development of a method that will allow you to measure the speed of sound in cavitation mode is relevant and will simplify the process of designing ultrasonic cavitation equipment.

The purpose of the study is to choose a method for measuring the speed of sound and modify it for cavitation mode.

Dissertation tasks:

1. To choose a method of studying the speed of sound in the mode of cavitation.
2. Suggest ways to improve it in cavitation mode.
3. Experimentally test the developed method.

Object of study - Methods of measuring the speed of sound

Subject of study - A method of measuring the speed of sound in the mode of cavitation and its hardware implementation.

Scientific novelty Dependence of the speed of sound on the voltage on the piezoelectric emitter, modified pulsed-phase method was obtained.

Practical novelty A pulsed-phase method for measuring sound velocity has been modified by additional data filtering to measure sound velocity in cavitation mode.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	1
ВСТУП	2
1 Методи вимірювання швидкості звуку.....	3
1.1 Інтерферометричний метод	3
1.2 Резонансний метод.....	4
1.3 Оптичний метод	5
1.4 Імпульсний методи	7
2 акустична кавітація та її вплив на швидкість звуку в рідині.....	9
2.1 Акустична кавітація	9
2.2 Вплив акустичної кавітації на швидкість звуку	13
3 Метод та обладнання для дослідження швидкості звуку в режимі кавітації.....	15
3.1 Метод вимірювання	15
3.2 Експериментальна вимірювальна установка	16
3.2.1 Структурна схема установки	16
3.2.2 Розробка кронштейну для фіксації п'єзокераміки	22
3.2.3 Розробка кавітаційної ємності	23
3.2.4 Вимірювальні п'єзодавачі.....	24
3.2.5 Генератор сигналів для п'єзокераміки що створює кавітацію	26
3.2.6 Генератор що створюватиме імпульси випромінювача	27
3.2.7 Осцилограф.....	29
3.2.8 Структурна схема та вимірювальний стенд.....	29
3.3 Обробка результатів.....	30
4 Дослідження швидкості звуку в режимі акустичної кавітації.....	35

4.1 Попередні результати	35
4.2 Залежність швидкості звуку від рівня кавітації	37
4.3 Обробка результатів.....	40
5 Розробка стартап-проекту	43
5.1 Опис ідеї проекту	43
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту	45
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	46
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	49
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	52
6 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	55
6.1 Визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників при виконанні науково-дослідної роботи	55
6.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії.....	56
6.2.1 Електробезпека.....	56
6.2.2 Мікроклімат робочої зони	58
6.2.3 Виробниче освітлення.....	59
6.2.4 Виробничий шум.....	61
6.2.5 Організація робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ	62
6.2.6 Безпека в надзвичайних ситуаціях	63
6.2.7 Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення персоналу при НС	64
6.2.8 Обов'язки та дії персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації.....	66
6.2.9 Пожежна безпека.....	67
6.2.10 Основні вимоги щодо плану евакуації при пожежі.....	69

Висновки	71
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	72
Додаток А	75
Додаток Б	78

Черненко А.О. РІ-81МП, 2019

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

УЗ — ультразвук

АЦП (*analog-to-digital converter, ADC*) — аналого-цифровий перетворювач.

УЗД — ультразвукове дослідження.

ФНЧ — фільтр низьких частот.

УЗІ (ультразвуковое исследование) — Медична акустика.

САПР — Система автоматизованого проектування

ABS — Акрилонітрилбутадієнстирол

SPS (samples per second) — частота перетворення.

ВСТУП

Обсяг пояснювальної записки становить 81 сторінки, яка включає в себе 27 ілюстрацій, 2 додаток і 31 джерело, 34 таблиці.

ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ЗВУКУ В РІДИНАХ В РЕЖИМІ АКУСТИЧНОЇ КАВІТАЦІЇ.

Актуальність роботи обумовлена тим що швидкість звуку є вихідним параметром для проектування УЗ кавітаційного обладнання. Довідкові данні по швидкості звуку для обновлюваних речовин, в режимі кавітації, відсутні. Тому розробка методу що дозволить вимірювати швидкість звуку в режимі кавітації є актуальною та дозволить спростити процес проектування УЗ кавітаційного обладнання.

Мета дослідження — обрати метод для вимірювання швидкості звуку та модифікувати його для режиму кавітації.

Завдання дисертації:

1. Обрати метод дослідження швидкості звуку при режимі кавітації.
2. Запропонувати способи його вдосконалення в режимі роботи кавітації.
3. Експериментально перевірити розроблений метод.

Об'єкт дослідження — Методи вимірювання швидкості звуку

Предмет дослідження — Спосіб вимірювання швидкості звуку в режимі кавітації та його апаратна реалізація.

Наукова новизна Залежність швидкості звуку від напруги на п'єзоелектричний випромінювач, отримано модифікований імпульсно-фазовий метод.

Практична новизна Модифіковано імпульсно-фазовий метод вимірювання швидкості звуку шляхом додаткової фільтрації даних що дозволяє вимірювати швидкість звуку в режимі кавітації.

1 МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ЗВУКУ

1.1 Інтерферометричний метод

Інтерферометричний метод дозволяє за допомогою магнітно рідинного інтерферометра визначити швидкість звуку.

Феромагнітна рідина (також називають ФМЖ, магнітна рідина, феррофлюїд) — рідина, сильно поляризується в присутності магнітного поля.

Феромагнітні рідини являють собою колоїдні системи, що складаються з феромагнітних або феррімагнітних частинок нанометрових розмірів, що знаходяться в підвішеному стані в несучій рідині, в якості якої зазвичай виступає органічний розчинник або вода. Для забезпечення стійкості такої рідини феромагнітні частинки зв'язуються з поверхнево-активною речовиною (ПАР), що створює захисну оболонку навколо частинок і перешкоджає їх злипанню через Ван-дер-ваальсово або магнітних сил.



Рисунок 1.1 — Принцип роботи інтерферометра без кожуха.

Інтерферометр — вимірювальний прилад, заснований на явищі інтерференції. Принцип дії пучок електромагнітного випромінювання (світла, радіохвиль і т. П.) За допомогою того або іншого пристрою просторово розділяється

на два або більшу кількість когерентних пучків. Кожен з пучків проходить різні оптичні шляхи і повертається на екран, створюючи інтерференційну картину, по якій можна встановити зсув фаз пучків. Найбільш відомими є інтерферометри Майкельсона і Фізо. Дослідження відбувається під впливом ультразвукових хвиль. Як правило, УЗ діапазон — $1,6 \cdot 10^4 \dots 10^8$ Гц.

Цей метод дослідження використовують в інтенсифікації гідромеханічних та масоподібних процесів. Наприклад, при очищенні дифузійних соків чи обробленні поверхостей деталей.

1.2 Резонансний метод

Експериментальна установка для дослідження швидкості звуку резонансним методом в рідині відображена на рисунку 1.2.

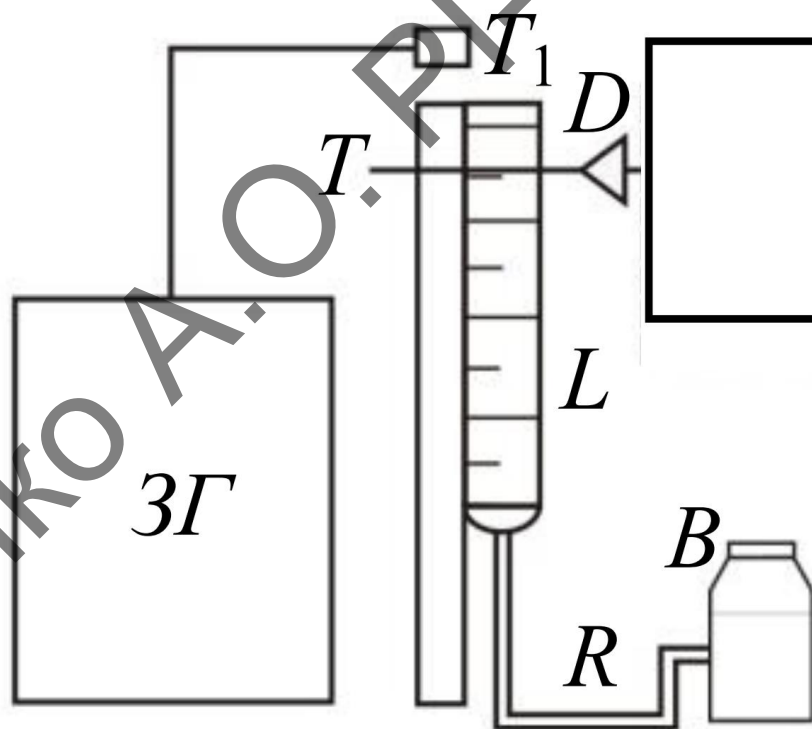


Рисунок 1.2 — Експериментальна установка для вимірювання швидкості звуку в рідині резонансним методом.

Експериментальна установка складається з скляного лабораторного стакану з водою B , зв'язаного силіконовим шлангом R з скляною трубкою T , який можна переміщати по стойці і встановлювати в заданому положенні. Вода, перетікаючи з стакану B в трубку T і навпаки, змінює свій рівень відносно шкали приладу L . Роль перешкоди в установці грає поверхня води в трубці, рівень якої змінюється в залежності від того, на якій висоті знаходиться стакан з водою. У верхній отвір труби вставлені навушники TI , підключені до виходу звукового генератора $ЗГ$. Мембрана навушників і є джерелом звукової хвилі. Повітряні звукові хвилі, відбиваючись від поверхні води при поширенні в трубці T , складаються з хвилею, випромінюваної звуковим генератором, утворюючи стоячу хвилю.

Переміщуючи посудину вгору або вниз, добиваються такого положення посудини, коли на довжині повітряного стовпа, закритого з обох кінців, укладається ціле число половин довжин хвиль. При цьому виникає резонанс - тобто максимальне звучання повітряного стовпчика, укладеного в трубу. Якщо стовп повітря буде відкритий з одного з кінців, то добиваються такого положення стакана, при якому на відкритому кінці виникають пучності. Установка на послаблення (або посилення) звуку здійснюється на слух за допомогою слухової трубки D . [1]

1.3 Оптичний метод

Фотони світла великої інтенсивності, лазери, проходячи через кювет з рідиною, відображають на екрані пучності звукової хвилі (рис. 1.3). Це більш складний метод як в експериментальній установці (рис. 1.4),

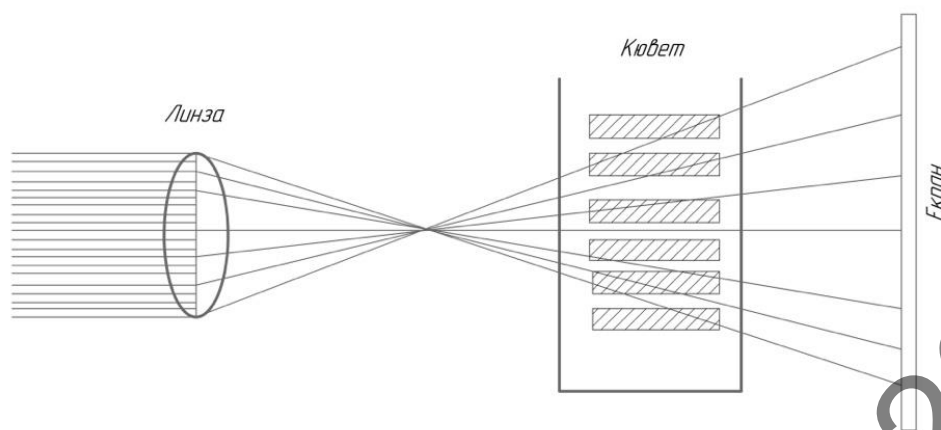


Рисунок 1.3 — Блок схема оптичного методу дослідження.

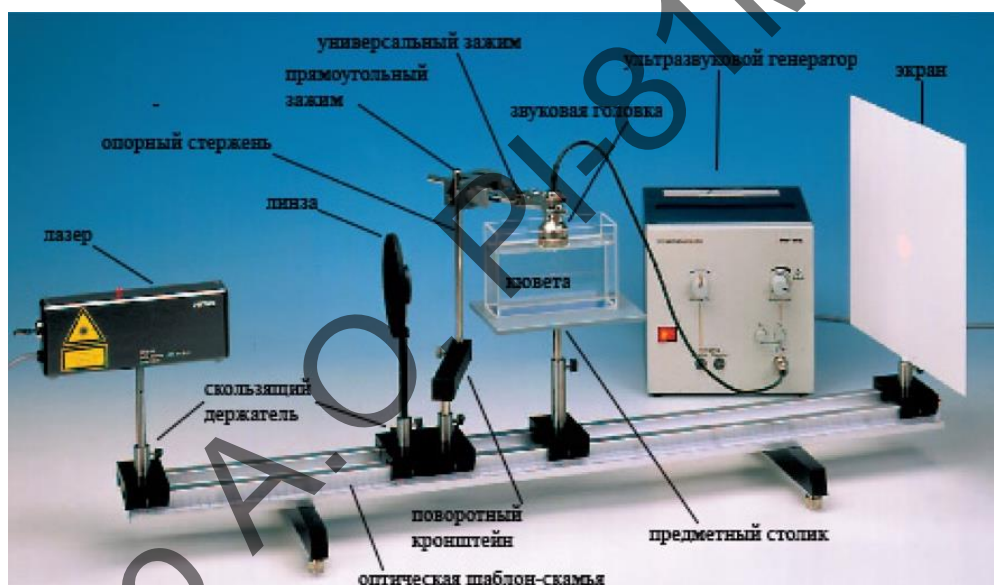


Рисунок 1.4 — Экспериментальная установка с оптическим методом исследования.

Враховуючи те, що лазер з довжиною хвилі довше ~ 640 нм. з потужністю 100мВт. не здатний пройти кювет(заповнений водою) товщиною 10 мм. В дослідженні з оптичним методом зазвичай використовують ультрафіолетові лазери, з довжиною хвилі ~ 405 нм. Результат проходження променів, через кювет, буде відображено на екрані (рис. 1.5).

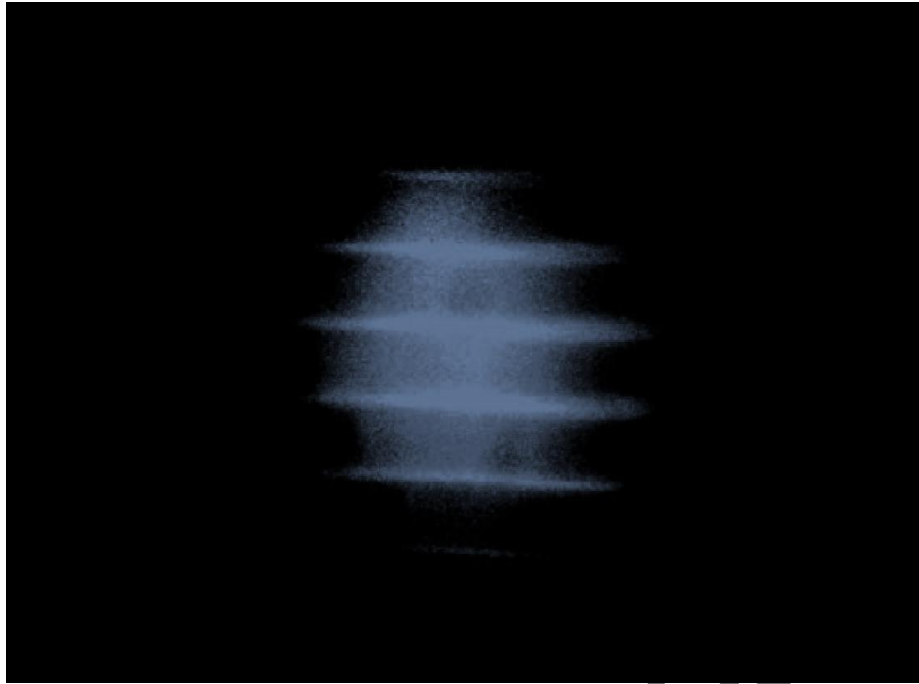


Рисунок 1.5 — Результат отриманий з експериментальної установки яка вказана на рис. 2.1.

В результаті ми можемо провести порівняння між трьома методами дослідження. Оптичний метод дослідження, має перевагу перед резонансним методом тільки коли потрібно виміряти амплітуду коливання рідини. В інших критеріях, таких як складність математичних розрахунків та дороговизна експериментальної установки, робить неможливим використовувати даний метод.

1.4 Імпульсний методи

Метод заснований на виразі (1) для плоскої біжучої хвилі довільної форми.

$$u(x, t) = U_+(x - ct) \quad (1)$$

де, c — швидкість звуку в рідині, t — час проходження середовища, x — відстань між випромінювачем та давачем.

Його можна переписати у вигляді:

$$u(x, t) = F(t - t_3) \quad (2)$$

де введено час затримки, тобто час, який хвиля витрачає на проходження відстані хвиль:

$$t_3 = \frac{x}{c} \quad (3),$$

де, x – відстань між датчиками, c – швидкість звуку в рідині.

Таким чином, швидкість звуку може бути знайдена на основі вимірної затримки

$$t_3 = \frac{t_B}{c}$$

Затримка не завжди може бути виміряна однозначно. Якщо хвиля є гармонічною та неперервною в часі, то затримка може бути визначена лише тоді, коли вона не перевищує одного періоду хвилі. В іншому випадку виникає невизначеність, тому що внесення затримки в ціле число періодів не змінює виду синусоїдального сигналу. Коли хвильове збудження триває нескінченно довго, без пропусків, його прийнято називати безперервною хвилею. Прикладом такої хвилі є синусоїдальна хвиля.

Альтернативою безперервної хвилі є імпульсне збудження, коли хвиля має чітку локалізацію в часі (і, як наслідок, в просторі). Для реалізації методу вимірювання швидкості звуку по затримці використовується саме імпульсний режим, при якому невизначеність у часі запізнювання відсутня.

2 АКУСТИЧНА КАВІТАЦІЯ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ШВИДКІСТЬ ЗВУКУ В РІДИНІ

2.1 Акустична кавітація

Кавітаційні бульбашки утворюються в тих місцях, де тиск у рідині стає нижче деякого критичного. Якщо тиск знижується внаслідок зростання місцевих швидкостей потоку краплинної рідини, то кавітація називається гідродинамічною, якщо зниження тиску викликане проходженням акустичних хвиль, то кавітація називається акустичною.[1]

Акустична кавітація – процес утворення, росту, періодичних пульсацій і наступного колапсу газової бульбашки в рідині під впливом періодично змінного тиску. Частота пульсацій тиску в рідині може бути різною – від десятків герц до десятків мегагерц.[2]

Для розриву ідеальної рідини необхідно прикласти тиск достатній, щоб подолати сили міжмолекулярної взаємодії, що складає $\sim 10^4$ ат.

У реальній рідині, у залежності від температури, вмісту газу, гідростатичного тиску й інших факторів розрив відбувається в інтервалі тисків від десятих долей до декількох сотень атмосфер. Отже, поріг кавітації – мінімальне значення акустичного тиску, необхідне для утворення кавітаційних порожнин, завжди набагато нижче теоретичної міцності ідеальної рідини.

Зменшення опору рідини розривові можна пояснити наявністю в ній неоднорідностей – "зародків" або ядер кавітації. Зародками можуть бути дрібні бульбашки газу, нерозчиненого в рідині, та тверді частки, що не змочуються.[3]

Найсуттєвіше на зменшення міцності рідини впливають самостійно існуючі парогазові бульбашки або парогазові бульбашки, які знаходяться в мікропортинах твердих нерозчинних поверхонь. Можливість довгострокового існування в рідині самостійних парогазових бульбашок пояснюється іонною теорією, згідно якої стабільне існування бульбашки відбувається завдяки

рівномірному розміщенню на її поверхні однойменних зарядів. Однойменні заряди відштовхуючись не дозволяють бульбашці зімкнутися. Означені домішки, потрапляючи в область пониженого тиску, виступають в якості зародків кавітації.

Ефект виникнення кавітації є наслідком втрати зародками стійкості під впливом зниженого тиску в звуковій хвилі. Зростання розмірів бульбашки відбувається за рахунок внутрішнього тиску парогазової суміші, який у півперіоді розрідження перевищує зовнішній тиск рідини, за рахунок дифузії газу в бульбашку із рідини, а також за рахунок випаровування рідини з внутрішньої поверхні бульбашки і збільшення маси пару в бульбашці. Переважання того чи іншого механізму зростання розмірів бульбашки залежить від частоти хвилі тиску та від газонасиченості рідини.

При великих частотах коливань в рідині з малою насиченістю газом в області температур, що далекі від точки кипіння, основним фактором зростання бульбашки є періодичне перевищення внутрішнього тиску бульбашки над зовнішнім.

Механізм дифузії є головним в області низьких частот коливань, коли має місце мала швидкість зміни тиску в рідині зі значною газонасиченістю. При зменшенні концентрації газу в бульбашці внаслідок поступового збільшення її розмірів газ дифундує із рідини в бульбашку. В півперіоді підвищення тиску розміри бульбашки зменшуються і відбувається дифузія газу із бульбашки в рідину. Оскільки кількість дифундуючого газу пропорційна площі поверхні бульбашки, яка є більшою в фазі росту бульбашки, то в цілому за період коливань внаслідок процесу випрямленої дифузії має місце зростання маси газу в бульбашці і відповідне поступове зростання її розмірів.

Якщо звукова хвиля випромінюється в рідину, температура якої близька до точки кипіння, то головним чинником зростання розмірів бульбашки є випаровування рідини. В півперіоді розрідження внаслідок перепаду тисків і відповідного вимушеного зростання розмірів бульбашки відбувається

випаровування рідини з внутрішньої поверхні бульбашки. Випаровування призводить до охолодження поверхні бульбашки та парогазової суміші в ній. Перепад температур, що виникає, забезпечує притік теплової енергії до поверхні бульбашки, чим забезпечується підтримка процесу випаровування. Зростання кількості пару викликає збільшення розмірів бульбашки. В півперіоді стиснення пар починає конденсуватися і температура на поверхні бульбашки зростає. Тепловий потік тепер буде спрямований від бульбашки до рідини. Неповна компенсація теплових потоків в півперіодах розрідження та стиснення приводить до ефекту випрямленої теплопередачі, який в цілому за період коливань звукової хвилі забезпечує зростання розмірів бульбашки.

Наведений механізм випаровування є головним чинником зростання достатньо малих за розмірами зародків кавітації. Якщо ж радіус бульбашки перевищує 10^{-7} м, то зростання розмірів бульбашки пов'язано головним чином з неадіабатичністю процесу зміни стану речовини в бульбашці. Наслідком цього є виділення в бульбашці додаткової енергії, яка викликає нагрів і відповідне випаровування рідини в бульбашку.

Ініціювати ультразвукову кавітацію можуть лише зародки певного інтервалу розмірів.

Нижня границя вказаного інтервалу обмежена розміром бульбашки, який визначається залежністю [4]

$$R_{кр} = \sqrt{3}R_0 \left[\frac{R_0}{2\sigma} \left(p_0 + \frac{2\sigma}{R_0} \right) \right]^{\frac{1}{2}},$$

де σ – коефіцієнт поверхневого натягу; R_0 – початковий радіус бульбашки; p_0 – гідростатичний тиск.

Наведений вираз справедливий за умови коли тиск насичених парів зневажливо малий порівняно з амплітудним звуковим тиском.

Верхня границя обмежена розмірами зародків, власна частота яких дорівнює частоті збуджуючої звукової хвилі. Резонансний розмір зародка та частота коливань пов'язані залежністю

$$(2\pi f)^2 = \frac{3\gamma_a}{\rho_p R_{рез}^2} \left(p_a + \frac{2\sigma}{R_{рез}} \right),$$

де f – частота ультразвукових коливань; $R_{рез}$ – резонансний розмір зародка; γ_a – показник адіабати; ρ_p – густина незбуреної рідини; p_a – звуковий тиск, що створюється звуковим полем.

З ростом частоти коливань при незмінних інших умовах зменшується величина $R_{рез}$, що свідчить про зниження вірогідності виникнення кавітації на великих частотах внаслідок звуження інтервалу потрібних розмірів зародків. Тому при частотах коливань, що дорівнюють десяткам МГц, ультразвукова кавітація і пов'язані з нею фізико-хімічні ефекти не спостерігаються.

В стоячій ультразвуковій хвилі зародки кавітації, які мають розміри менші $R_{рез}$ пульсують в фазі з коливаннями тиску та зміщуються до пучностей тиску, а при розмірах, що перевищують $R_{рез}$ – переміщуються до вузлів тиску.[5]

Швидкість таких переміщень визначається залежністю [6]

$$v_{пер} = \frac{R_0^2}{10\mu \left(p_0 + \frac{4\sigma}{3R_0} \right)} p_a \frac{\partial p_a}{\partial x},$$

де μ – коефіцієнт в'язкості рідини; x – просторова координата.

Трансляційний рух бульбашок до вузлів стоячої звукової хвилі призводить до коагуляції бульбашок, збільшенню їхніх розмірів і утворенню кавітаційних каверн, розміри яких значно менше, ніж при гідродинамічній кавітації.

Акустична кавітація є ефективним засобом концентрації енергії звукової хвилі низької щільності в високу щільність енергії, пов'язану з пульсаціями і

зачиненням кавітаційних бульбашок [11]. Загальна картина освіти кавітаційного пухирця представляється в наступному вигляді. У фазі розрідження акустичної хвилі в рідині утворюється розрив у вигляді порожнини, яка заповнюється насиченою парою цієї рідини. У фазі стиснення під дією підвищеного тиску і сил поверхневого натягу порожнину закривається, а пара конденсується на кордоні розділу фаз. Через стіни порожнини в неї дифундує розчинений у рідині газ, який потім піддається сильному адіабатичному стиску.

У момент схлопування, тиск і температура газу досягають значних величин (за деякими даними до 100 МПа і 1000 °С). Після схлопування порожнини в навколишньому рідині поширюється сферична ударна хвиля, швидко загасаюча в просторі. У літературі вживаються такі терміни, як закриття, схлопування, анігіляція, колапс і т.п., які позначають одне явище – зменшення радіуса бульбашки R до мінімального $R_{\min}$ або зменшення радіуса порожнини, її деформацію і розпад на кілька пляшечок.

Розбіжність між експериментальною і теоретичною міцністю пояснюється наявністю в реальних рідинах різних домішок і включень, які є зародками кавітації і сильно знижують її міцність. Згідно з теоретичними уявленнями маленькі бульбашки повинні розчинятися в рідині, а великі – спливати. Проте, в рідині постійно присутні бульбашки різного радіусу. Дуже маленькі бульбашки стабілізуються на поверхнях і в тріщинах малих твердих частинок, зважених в рідині.

2.2 Вплив акустичної кавітації на швидкість звуку

Достовірний результат, пов'язаний із методами вимірювання швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль в умовах розвиненої кавітації. Відмічається, що швидкість звуку в технологічних газорідинних середовищах залежить від співвідношення газової і рідинної компонент і, наприклад, для води, яка має газові бульбашки, діапазон зміни c_K коливається в доволі широких межах значень 20...100 м/с

За даними роботи [9] числові значення c_K в кавітуючій рідині змінюються в більш вузьких межах: $c_K = 25 \dots 30$ м/с, а в роботі [10] наводяться числові значення і ще в менших межах $c_K = 10 \dots 12$ м/с.

За умови, що кавітаційне середовище складається із рідини з розподіленими в ній парогазовими бульбашками і розглядається, як однорідне двофазне з середніми значеннями щільності температури та тиску, швидкість розповсюдження хвиль визначається за формулою

$$c_K = \rho_g c_p^2 / [\rho_p \varphi (1 - \varphi)],$$

де, ρ_g, ρ_p - відповідно щільність газу і рідини; c_p - швидкість звуку в рідині за умови відсутності кавітації; φ - відношення об'єму газової складової до об'єму газорідинної суміші (об'ємна частина газу в рідині). Із формули (3) випливає, що числове значення швидкості c_K залежить від співвідношення газової і рідинної складових, як це і було зазначено вище.

3 МЕТОД ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ЗВУКУ В РЕЖИМІ КАВІТАЦІЇ

3.1 Метод вимірювання

Вимірювати швидкість звуку в режимі кавітації в даній роботі було реалізовано імпульсно-фазовим методом. Основна перевага імпульсного методу, це точне вимірювання довжини хвилі в реальному часі, що нам для вимірювання і потрібно. Метод який використовується базується на вимірюванні часу проходження імпульсу від вимірюючого п'єзовипромінювача до п'єзодавача.

$$V_{\text{зв}} = \frac{l}{\tau_2 - \tau_1}$$

де, l — відстань між давачами; τ_2 — час отримання імпульсу; τ_1 — час відправки імпульсу;

Опираючись на принципи дослідження було розроблено лабораторну установку для дослідження швидкості звуку при кавітації:

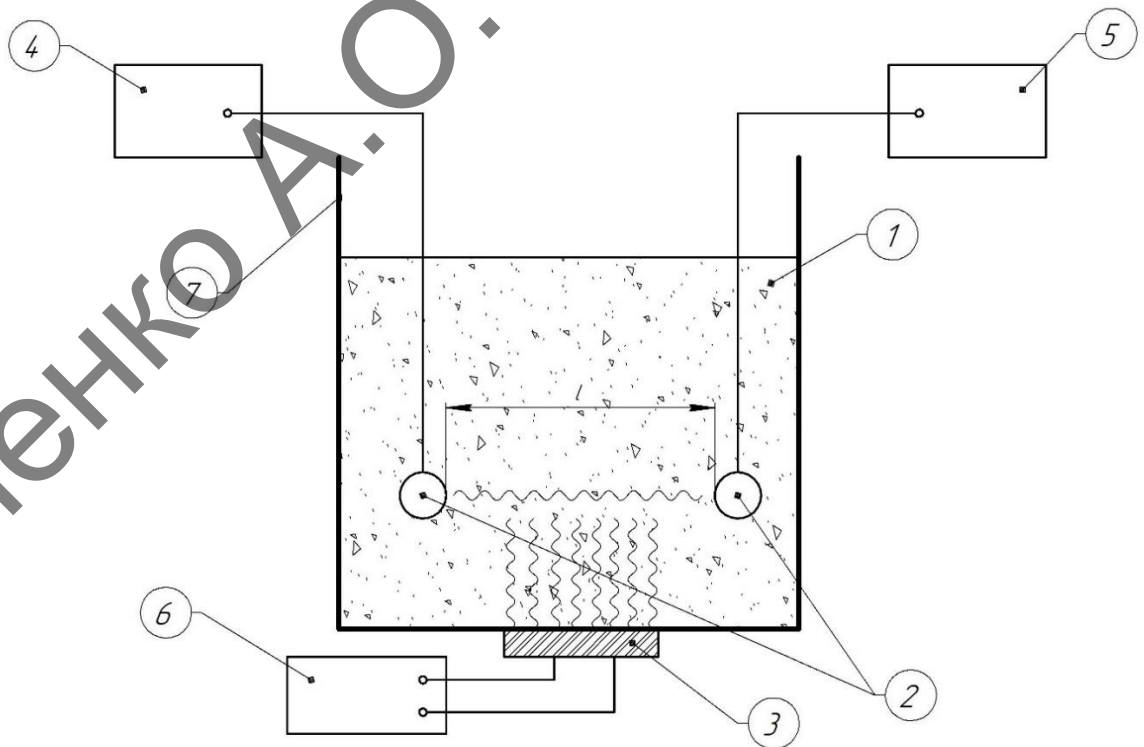


Рисунок 3.1 — Блок схема лабораторної установки

Лабораторна установка складається з ємності 7, наповненої рідиною, де розміщені вимірювальний п'єзовипромінювач та п'єзодавач (2). До дна ємності приклеєно п'єзокерамічний випромінювач (3) який призначений для збудження кавітації. Живлення цього випромінювача здійснюється від генератора (6).

Використовуючи прямий п'єзоефект, п'єзовипромінювач (2) випромінює одиночний імпульс з декількох періодів синусоїди з частотою 200 кГц. Акустичною хвилею, що виникла, збуджується вимірювальний п'єзодавач завдяки зворотному п'єзоефекту. Вимірювальний сигнал для п'єзовипромінювача надходить з формувача вимірювального сигналу (4). Акустична хвиля що пройшла через рідину і була прийнята вимірювальним п'єзодавачем (2) генерує на його виході змінну напругу. Ця напруга фіксується осцилографом (5) та в цифровому вигляді передається на ПК у вигляді файлу миттєвих значень. Який в подальшому аналізується. Визначається час затримки імпульса що виник в результаті поширення через середовище, тобто різниця в часі між імпульсами які випромінюються п'єзовипромінювачем та приймається п'єзодавачем.

3.2 Експериментальна вимірювальна установка

3.2.1 Структурна схема установки

Структурна схема показана на рисунку 3.2.. Прямокутний імпульс формується генератором Г5-54 який керує амплітудою. Таким чином формується імпульс певної тривалості.

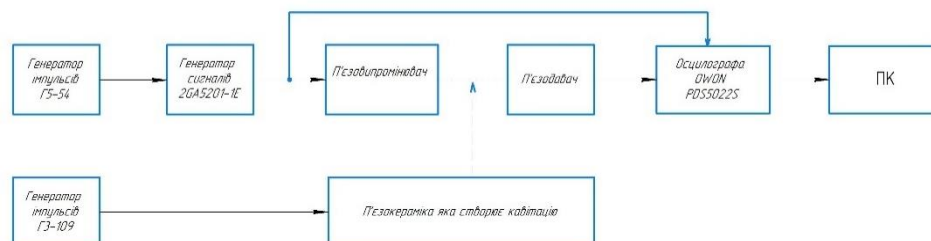


Рисунок 3.2 — Структурна схема вимірювального стану

Щоб без втрати даних оцифрувати сигнал який буде надходити з вимірювального п'єзодавача в реальному часі проаналізовано основні характеристики АЦП:

- Розрядність (в бітах);
- Частота перетворення (відліків в секунду).

Сучасні АЦП можуть мати розрядність > 24 біт і швидкість перетворення до одиниці. Чим вище розрядність і швидкість, тим важче отримати потрібні характеристики. Та як слідство перетворювач АЦП стає складнішим і дорожче. Розрядність і швидкість перетворення пов'язані один з іншим. Якщо ми виграємо в одному показнику, наприклад розрядність то програємо в іншому, в даному випадку швидкість перетворення знижується.[10]

АЦП прямого перетворення вперше були створені в 1960-1970 роках, а у вигляді інтегральних схем в 1980-х. В середньому мають розрядність 6-8 біт при швидкості до 1. Архітектура АЦП наведена на рисунку 3.11.

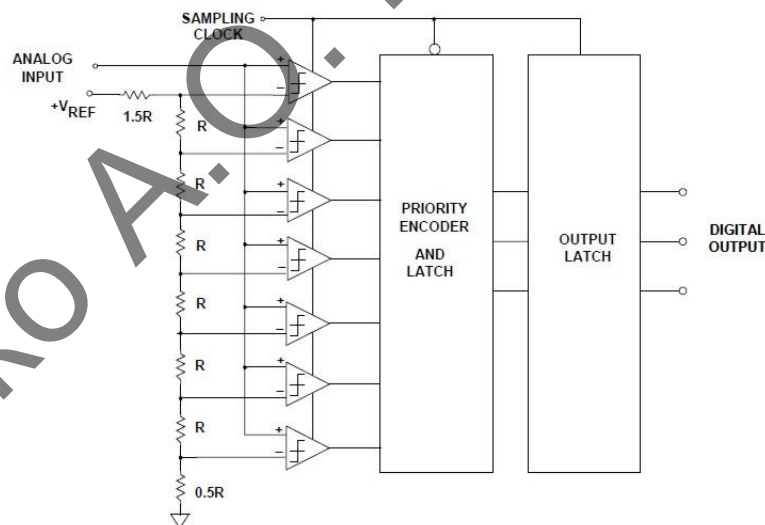


Рисунок 3.11 – Структурна схема АЦП прямого перетворення.

Принцип дії АЦП: вхідний сигнал надходить одночасно на всі «плюсові» входи компараторів, а на «мінусові» подається ряд напруг, одержуваних з опорного шляхом ділення резисторами R . Для схеми на рис. 2.1 цей ряд буде

таким: $(1/16, 3/16, 5/16, 7/16, 9/16, 11/16, 13/16) U_{ref}$, де U_{ref} - опорна напруга АЦП [11].

Переваги: висока швидкість перетворення (5–20 МГц);

Недоліки: велика споживана потужність (обумовлюється великою кількістю компараторів).

Для ультразвукових сенсорів де розрядність 2^1 , на першому місці стоїть швидкість відповіді. Наприклад для датчики відстані дана схема АЦП більш приваблива, але в тому випадку якщо відсутні обмеження по енергоефективності [12].

Якщо потрібно точно оцифрувати сигнал, АЦП паралельного перетворення не підходить. Точу що розрядність в порівнянні з АЦП послідовного наближення або АЦП з балансуванням заряду.

Крім АЦП паралельного перетворення існують АЦП конвеєрного типу та комбіновані які складаються з АЦП (різною архітектурою).

АЦП послідовного наближення реалізує алгоритм «зважування», ґрунтується цей принцип на книзі Фібоначчі — «Liber Abaci» (1202 р.). У своїй книзі «Liber Abaci» Фібоначчі розглянув «завдання про вибір найкращої системи зважування гирь», тобто про знаходження такого ряду гирь, який би вимагав для знаходження ваги предмета мінімальної кількості зважувань на важільних вагах. Рішенням цього завдання є «двійковий» набір гирь [13].

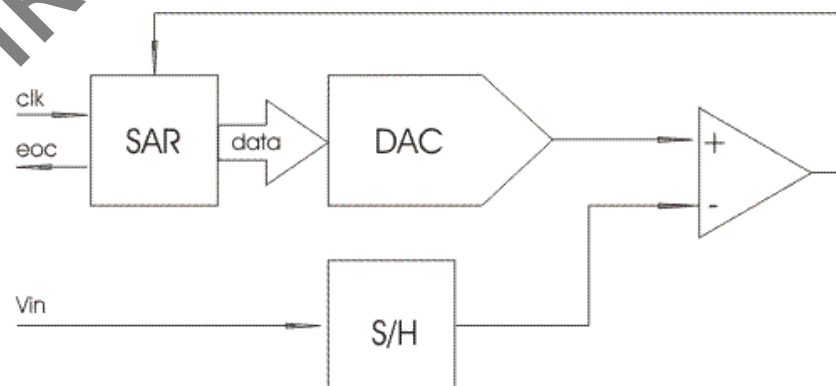


Рисунок 3.12 – Структурна схема АЦП послідовного наближення.

АЦП послідовного наближення складається з 4-ох вузлів:

1. Компаратор. Він порівнює вхідну величину сигналу і опорне значення напруги (на рис. 2. позначений трикутником).
2. ЦАП (*Digital to Analog Converter, DAC*). Він генерує опорне значення напруги на основі поступаючого на вхід цифрового коду.
3. Регістр послідовного наближення (*Successive Approximation Register, SAR*). Він здійснює алгоритм послідовного наближення, генеруючи поточне значення коду, що подається на вхід ЦАП. За його назвою названа вся ця архітектура АЦП.
4. Схема вибірки-зберігання (*S/H*). Для роботи АЦП важливо, щоб вхідна напруга зберігала незмінну величину протягом всього циклу перетворення. Однак реальний сигнал має властивість змінюватися в часі. Схема вибірки-зберігання «запам'ятовує» поточне значення аналогового сигналу, і зберігає його незмінним протягом усього циклу роботи пристрою.

Переваги: головна перевага такого типу АЦП достатньо висока швидкість перетворення. Зараз існує АЦП (послідовного наближення) 24 розрядні, наприклад, *AD7766* і *AD7767*, не дивлячись на те що одна мікросхема коштує 85\$.

Цей тип АЦП останні 30 років не використовують для знімання з ультразвукової п'єзо головки, наприклад в УЗІ. Це зв'язано з тим що цей тип дуже сильно залежить від опорної напруги [3]. Тому використовували рідкий азот для охолодження, щоб стабілізувати опорну напругу (постійна температура рідкого азоту -195,75 °C). Також це було зв'язано з появою нового типу АЦП з балансуванням заряду[14].

Самий розповсюджений тип АЦП який встановлюють в більшість вимірювальної техніки, це дельта – сігма АЦП. Інколи цей тип АЦП називають АЦП з балансуванням заряду. Його використовують в більшості

вимірювальної лабораторної техніки (газовий хроматограф, мікротітратор, колориметр газовий, спектрофотометр, денситометр, електрофорез (газового типу)) [15]. Структурна схема сігма-дельта АЦП(рис. 3.13).

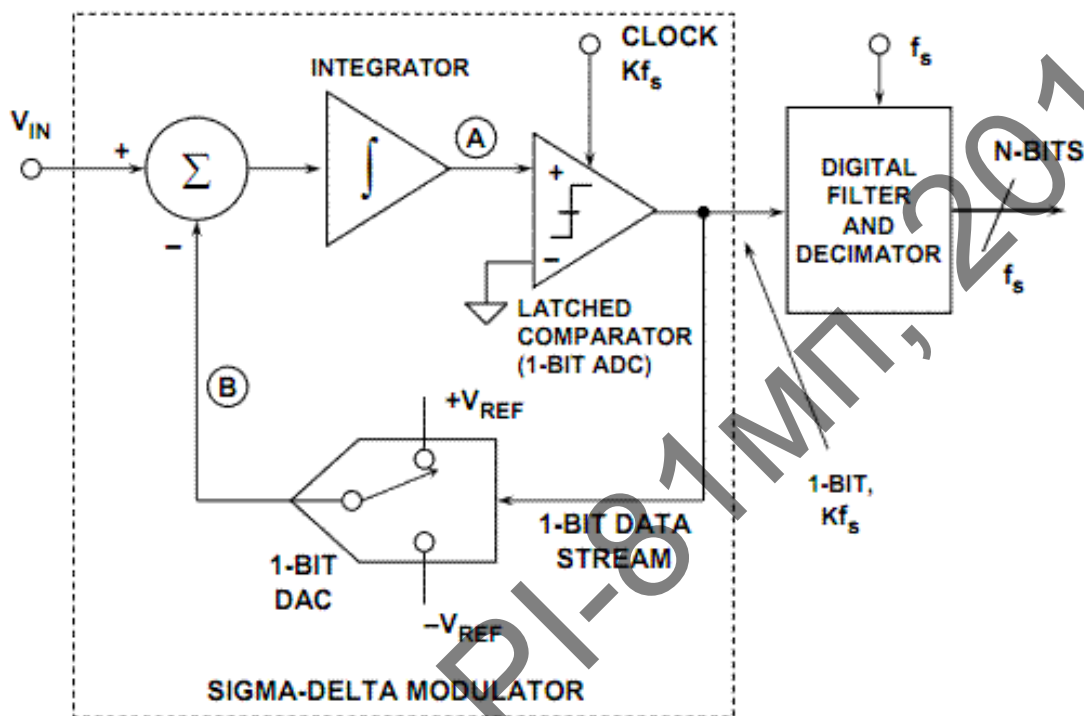


Рисунок 3.13 – Структурна схема АЦП послідовного наближення.

Даний типом АЦП з балансування заряду, більш складний чим АЦП з паралельним чи послідовним наближенням. Його сенс в тому що вхідна напруга порівнюється з напругою яка накоплена інтегратором. На вхід інтегратора подаються імпульси з різною полярністю, в залежності від результату порівняння. Даний тип АЦП представляє собою систему яка слідкує за напругою на виході інтегратора та відслідковує вхідну напругу яка подається на АЦП (рис. 3.14).

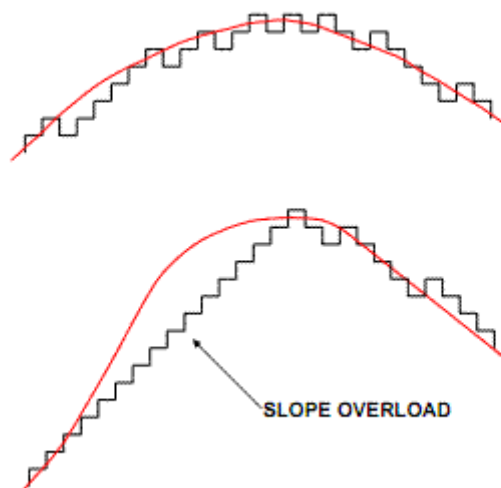


Рисунок 3.14 – Сигма-дельта АЦП, як стежить система

Результатом роботи буде потік нулів та одиниць на виході компаратора, який потім пропускається через цифровий ФНЧ, в результаті ми отримаємо N -бітний результат (рис. 3.15).

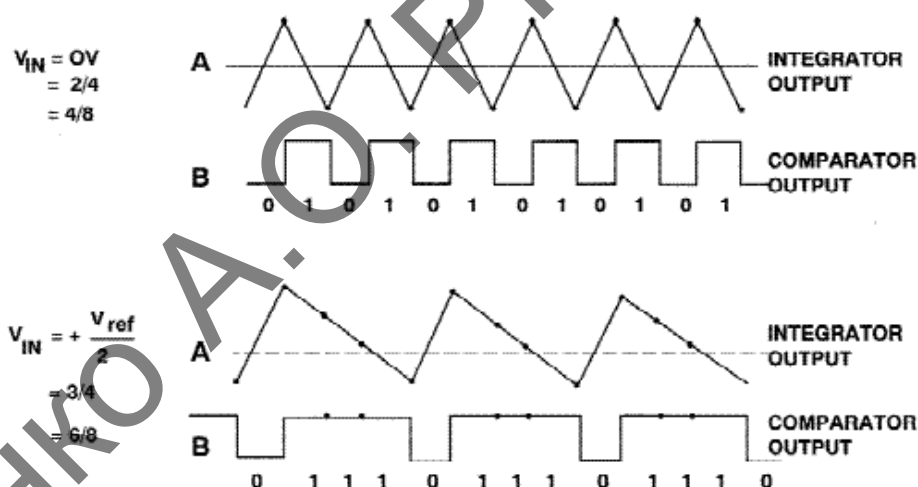


Рисунок 3.15 –Сигнали в АЦП при різних рівнях сигналу на вході.

Головною перевагою АЦП є те що він може бути дуже точним, це обумовлено тим що він має крайнє низький власний рідень шуму [16]. Хоча щоб досягнути високої точності треба щоб частота зрізу цифрового фільтру була як можна нижче, в багато разів менше частоти роботи сігма-дельта

модулятора. Тому АЦП з балансування заряду має низьку швидкість перетворення.[18]

З урахуванням всіх переваг та недоліків методів реалізації АЦП, було використано тип аналого-цифрового перетворювача — дельта-сігма. Який вмонтований і знаходиться в осцилографі який ми використовуємо OWON PDS5022S.

3.2.2 Розробка кронштейну для фіксації п'єзокераміки

Для даного експерименту було розроблено кронштейн/тримач в САПР *SolidWorks* 2020 та надруковано на 3д принтері деталь «Кришка» з ABS пластику (ілюстрація деталі на рисунку 3.16), яка фіксуватиме відстань між ними.



Рисунок 3.16 — Кронштейн для фіксації п'єзокераміки

Під час розробки деталі, відстань між давачами 60 мм, але з урахуванням людського фактору відстань між ними скоротилась до 59,5 мм., тому в розрахунках враховувалась реальна відстань між давачами в 59,5 мм.. Кресленик деталі «Кришка » відображений в Додатку Б.

Для кріплення п'єзокераміки використовувалась стальна трубка 12X18H10T ГОСТ 14162-79 з зовнішнім діаметром 4 мм., та товщиною стінки 1 мм.. Експериментальним методом виявлено що довжина кожної трубки 110 мм. $\pm 5\%$. Через кожну стальну трубку проведений екранований провід НВЗ ГОСТ17515-72 до якого припаяна п'єзокераміка діаметром 12 мм. та товщиною в 2,5 мм. з допомогою припою РОЗЕ.[19]

З урахуванням того що, в експерименті буде фігурувати вода з під крану, у якій присутні розчини солей, було вирішено покрити п'єзокераміку епоксидною смолою виробника *Sigma*. Епоксидна смола буде виконувати декілька функцій:

- Фіксація п'єзокераміки до сталюї трубки;
- Ізоляція п'єзокераміки від електронної постійної складової;
- Епоксидний шар навколо п'єзокераміки виконую антикорозійну функцію.

Фіксація сталюих трубок в кронштейні «Кришка» з *ABS* пластику, відбувається за допомогою клею «Момент» від виробника ООО Секунда.

3.2.3 Розробка кавітаційної ємності

З урахуванням того що в стакані буде створюватися кавітація, в якості ємності, було обрано лабораторний стакан від виробника *SIMAX* з об'ємом в 800 мл., з артикулом AS82-15Y, виробництво Чехія.

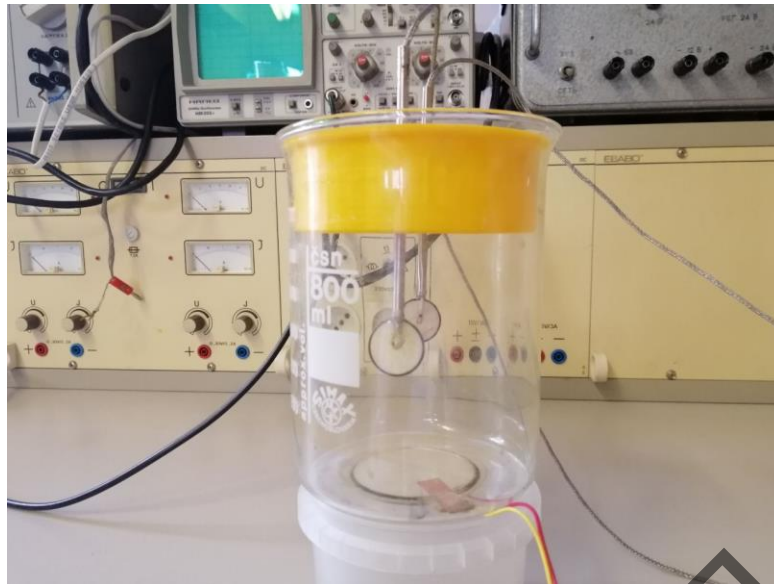


Рисунок 3.17 — Лабораторний стакан виробництва SIGMA

Кавітацію буде створювати п'єзовипромінювач, який виконантй з матеріалу PZT5A(характеристики приведені в табл. 3.1), буде розміщена під стаканом на дні. Фіксація п'єзопластини відбувається за допомогою епоксидної смоли від виробника ФОП «Химконтакт-Эпокси».

Табл. 3.1 – Технічні параметри п'єзокераміки з матеріалу PZT5A

Параметри	PZT5A
Тангенс кута діелектричних втрат	0,0002
Коефіцієнт електромеханічного зв'язку (K_{33})	0,60
П'єзоелектричний модуль	$171 * 10^{-12} \text{ C/N}$
Температура точки Кюрі	365°C
Механічна добротність	75

3.2.4 Вимірювальні п'єзодавачі

У рідинах застосовують різні за принципом роботи і конструкцією п'єзодавачі звукового тиску. Найпростіші, а, одже, і найдешевші, варіанти конструкцій п'єзодавачі показані на рисунку 3.18. Принцип їх роботи базується на прямому п'єзоефекті. Основу конструкції складає п'єзокерамічний елемент у формі диску або трубки з металізованими твірними, або циліндру з

металізованими основами які виконують роль двох обкладинок. Під дією тиску на обкладинках з'являється різниця потенціалів.

За наявності кавітації у спектральному складі цього сигналу присутні вищі гармоніки, кратні робочій частоті ультразвукової установки, і субгармонічні складові, кратні половині робочої частоти[20]. Крім того, ще однією компонентою спектру є білий шум – процес, який має рівномірний енергетичний спектр на всіх частотах.

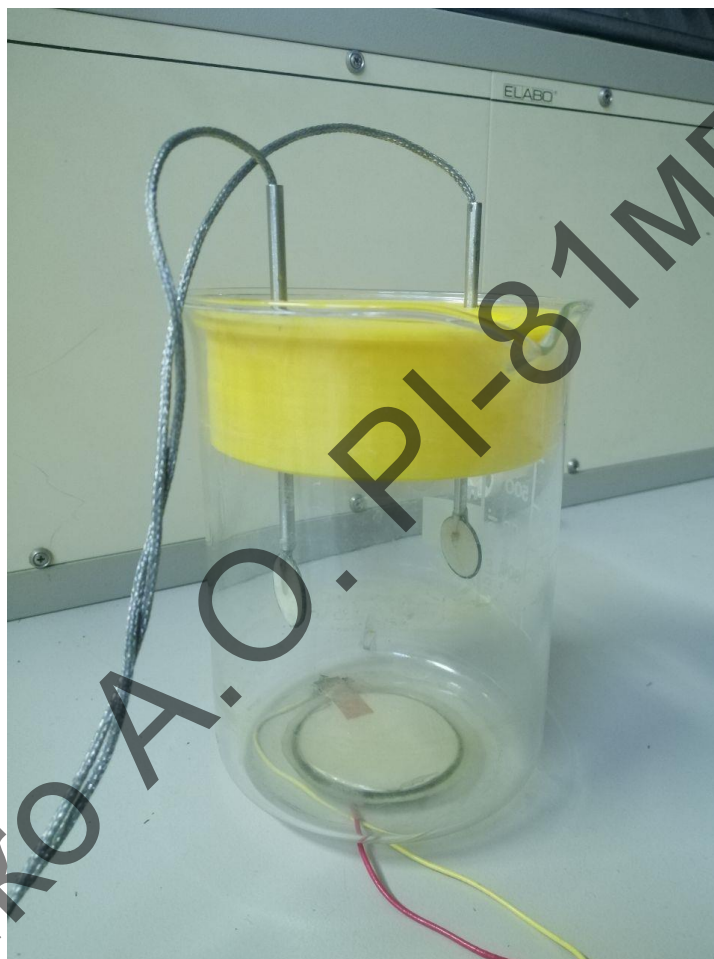


Рисунок 3.18 – Конструкція п'єзодавачів

Вимірювальні п'єзодавачі повинні відповідати жорсткішим вимогам, ніж звичайні, що використовуються для індикації звукового тиску або для відносних вимірювань. П'єзодавачі не повинні спотворювати звукове поле в тому місці, де їх розміщують, а якщо цього неможливо уникнути, то повинні бути відомі кількісні поправки на вплив п'єзодавачів[21]. Щоб не вносилися спотворення, розміри п'єзодавачів повинні бути в 5-10 разів менше довжини хвилі

ультразвуку в середовищі. Оскільки в рідинах вже на 10 кГц (на початку ультразвукового діапазону) довжина хвилі дорівнює близько 15 см, а на 1 МГц – 0,15 см, то зрозуміло, що в більшій частині ультразвукового діапазону створити ненаправлений п'єзодавачі практично неможливо. П'єзодавачі повинні в мінімально залежати від зміни температури і статичного тиску, а також мати низький рівень еквівалентних шумів (у 3-5 разів менше вимірювального сигналу)[22]. Крім того п'єзодавачі повинні мати рівномірну частотну характеристику в діапазоні частот вимірюваних акустичних сигналів. У рідинах у діапазоні до 200 кГц застосовують в основному ненаправлені п'єзодавачі, у діапазоні вище 200 кГц – майже завжди спрямовані[23].

3.2.5 Генератор сигналів для п'єзокераміки що створює кавітацію

В якості генератора сигналів для випромінювача який створює кавітацію, було обрано ГЗ-109 (рис. 3.19), з технічними характеристиками які представлені в таблиці 3.2.



Рисунок 3.19 — Низько частотний генератор сигналів ГЗ-109

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики з техпаспорта для низько частотного генератора сигналів ГЗ-109

Диапазон частот	20 Гц - 200 кГц (4 поддиапазона)	
Основная погрешность установки частоты, %:	$\pm[2 + (50/f)]$ (20-200 Гц); $\pm[1 + (50/f)]$ (200 Гц-20 кГц); $\pm[1 + (50/f)]$ (20-200 кГц)	
Нестабильность частоты	$\pm 10 \times 10^{-4}$ (за 15 мин); $\pm 50 \times 10^{-4}$ (за 3 ч)	
Выходное напряжение	"выход I" (несимметричный)	15 В (50 Ом), 0-60 дБ (с дискретностью через 10 дБ);
	"выход II" (симметричный)	5 В (5 Ом), 15 В (50 Ом), 50 В (600 Ом), 150 В (5000 Ом)
Погрешность установки выходного напряжения ("выход I")	Установка опорного уровня	$\pm 4\%$
	Аттенюатор	$\pm 6\%$
Коэффициент гармоник:	"выход I", %:	1 (20-200 Гц); 0.5 (200 Гц - 20 кГц); 1 (20-200 кГц)
	"выход II"	2%

3.2.6 Генератор що створюватиме імпульси випромінювача

Для генерації керуючих імпульсів був обраний генератор Г5-54(рис. 3.20) в якого є можливість в ручному режимі «пускати» імпульси та регулювати тривалість імпульсу. Технічні характеристики представлені в таблиці 3.3.

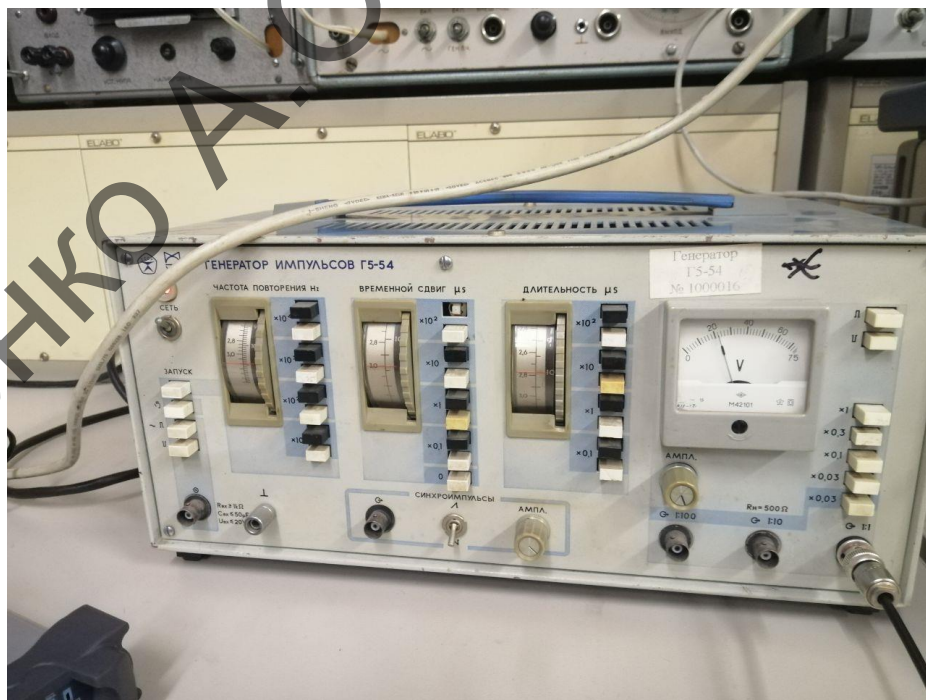


Рисунок 3.20 — Генератор імпульсів Г5-54

Таблиця 3.3 – Характеристики з техпаспорта для генератора імпульсів Г5-

54

Параметры	Значения
Основные технические характеристики	
Частота (период) повторения	0,01 Гц-100 кГц
Погрешность установки частоты	0,1F
Максимальная амплитуда импульса	50 В (500 Ом)
Погрешность установки амплитуды	0.1U+Kx1 В
Длительность импульсов	0,1-1000 мкс
Неравномерность вершины импульса и исходного уровня в паузе между импульсами	менее 5 %
Временной сдвиг основного импульса относительно синхрои импульса	0-1000 мкс
Потребляемая мощность	50 В*А
Габариты	370x227x185 мм.
Масса	6 кг

Для заповнення імпульсу, який був згенерований генератором Г5-54, був використаний генератор 2GA5201-1E з функцією VCA від виробника ООО Siemens (рис. 3.21).

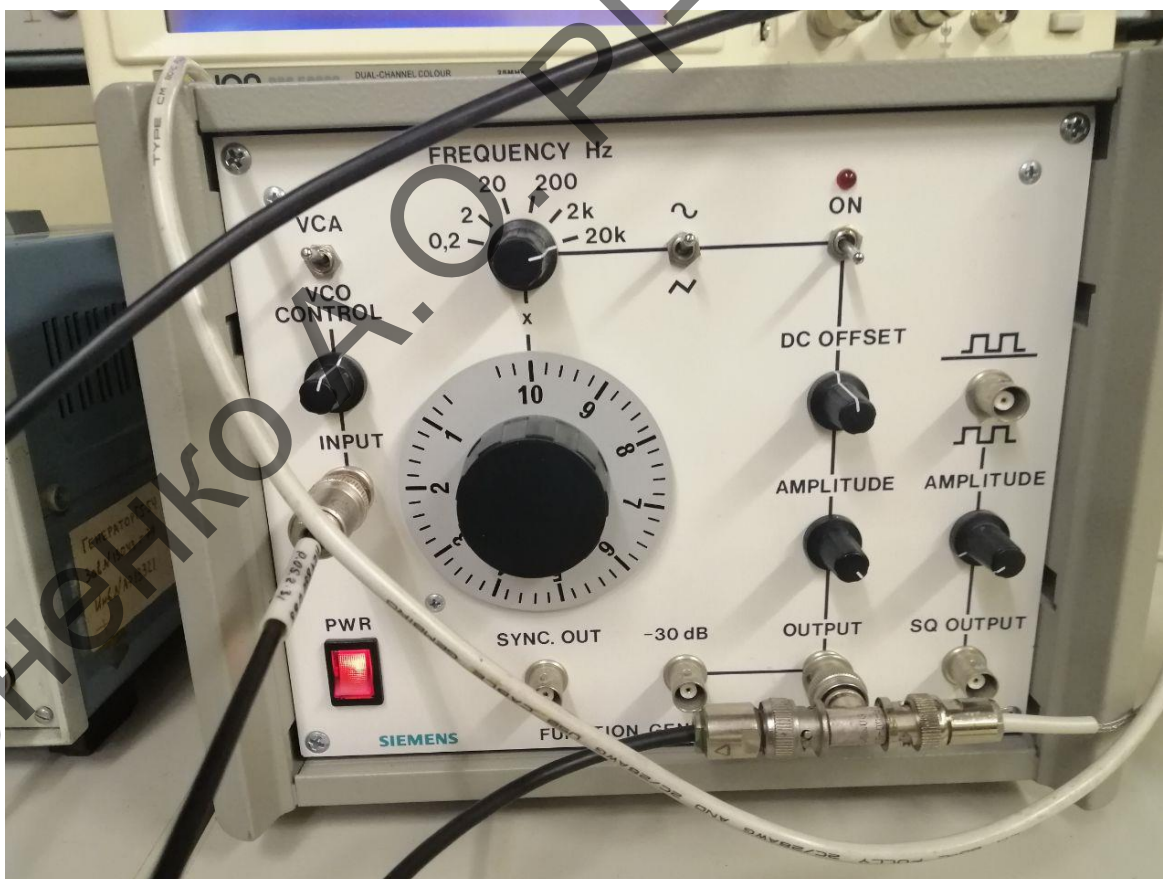


Рисунок 3.21 — Генератор сигналів 2GA5201-1E

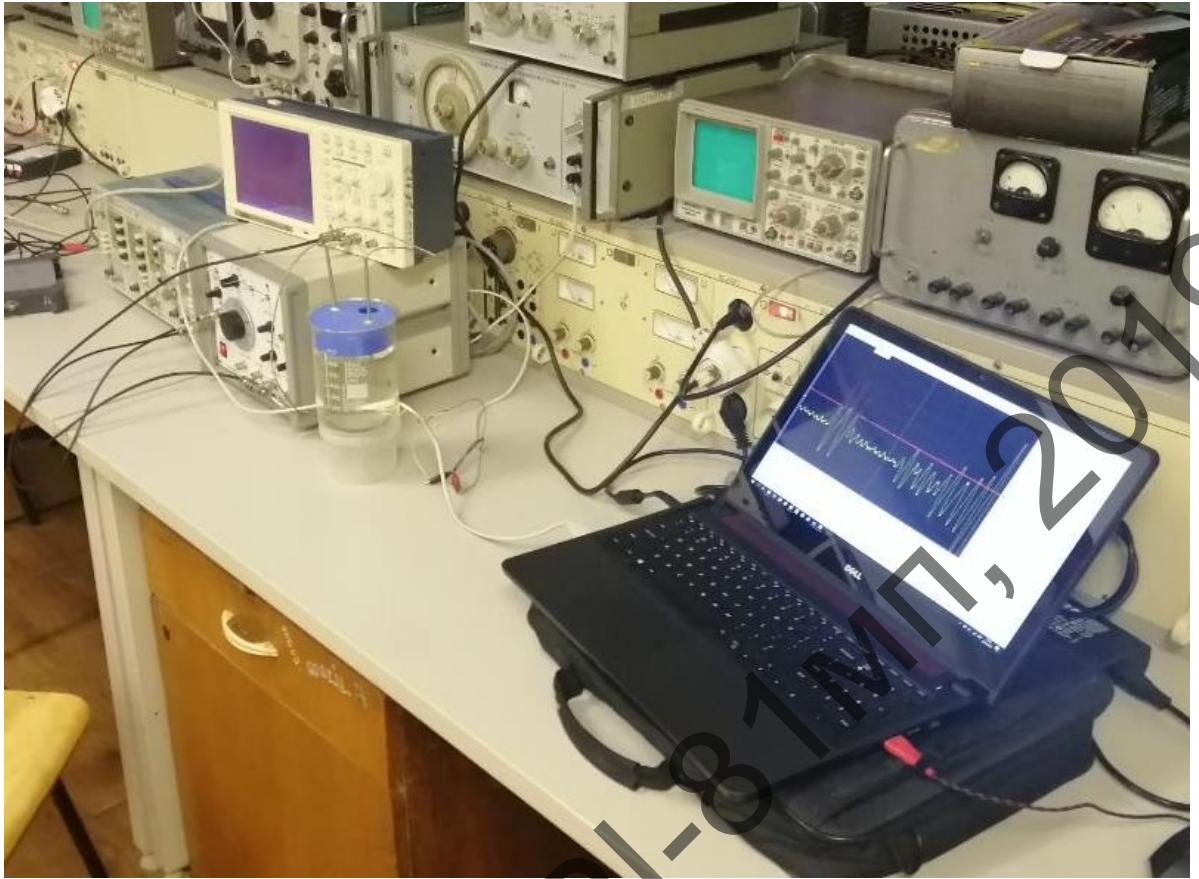


Рисунок 3.23 — Вимірювальний стенд

На основі отриманих даних про прилади які необхідні у вимірюванні, відобразимо як ці прилади зв'язані один з одним на рис. 3.23

3.3 Обробка результатів

За відсутності кавітації, у спектрі сигналу п'єзодавача (рис. 3.24) присутні коливання від вимірювального випромінювача які пройшли через середовище. На даній осцилограмі в часовій області видно сигнал що випромінювався, пауза що відповідає часу проходження та сигнал отриманий на вимірювальному п'єзодавачі.

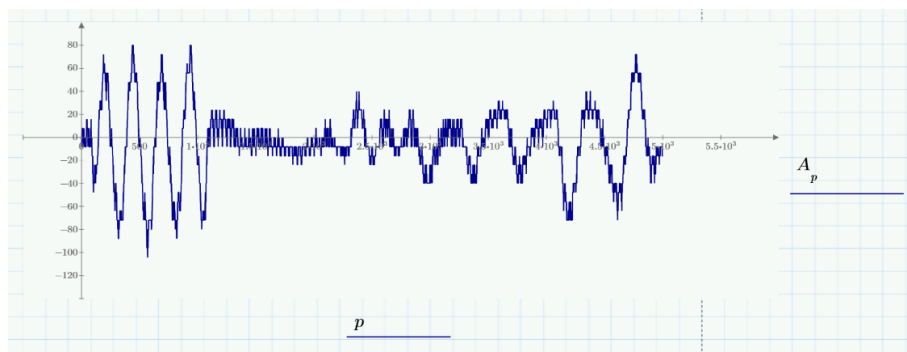


Рисунок 3.24— Сигнал з п'єзодавача без впливу кавітації

Коли кавітація присутня, сигнал від п'єзодавача розпізнати неможливо (рис. 3.25). Давач фіксує сигнал з випромінювача, шум кавітації а також збуджується коливання давача на резонансних частотах. Враховуючи те що потужність сигналу від п'єзодавача значно менше ніж потужність випромінювача, сигнал без фільтрації розпізнати в часовій області неможливо.

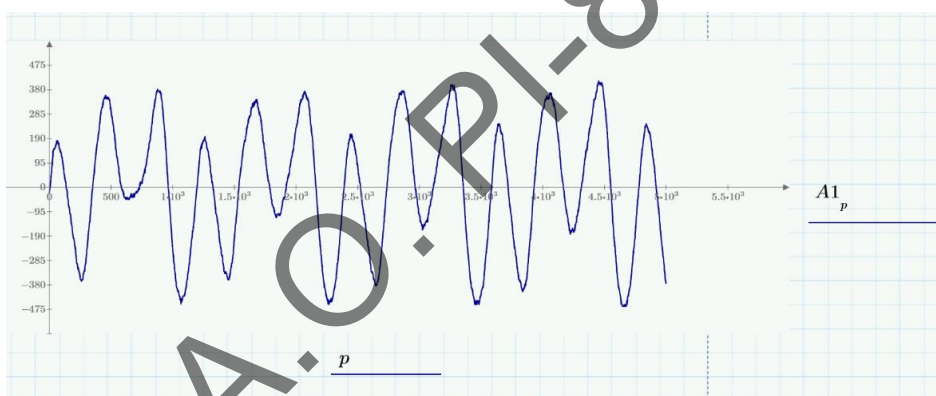


Рисунок 3.25 — Сигнал з п'єзодавача під впливом кавітації

Було використано два фільтри, смуго-пропускаючий фільтр та режекторний фільтр, тому кожен з них мають ряд переваг та недоліків. Характеристики цифрових фільтрів (ЦФ) часто задаються в частотній ділянці [25]. Для частотно-вибіркових фільтрів, таких як фільтри нижніх частот (ФНЧ), фільтри високих частот (ФВЧ), смугові фільтри (СФ) або режекторні фільтри (РФ), специфікації часто формулюються у вигляді схем допусків. Приклад подібних схем для ЦФ наведено на рис. 3.26(а) (для ФВЧ) і рис. 3.26(б) (для СФ). Горизонтальні лінії позначають межі допустимих відхилень. У смузі пропускання

амплітудна характеристика має пікове відхилення $\pi \delta$, а в смузі заглушення – максимальне відхилення δ_c [26].

Ширина смуги переходу визначає, наскільки різкою є характеристика фільтра. У цій ділянці амплітудна характеристика монотонно зменшується від смуги пропускання до смуги заглушення[27]. Інтерес становлять такі ключові параметри: δ_{π} – відхилення в смузі пропускання; δ_z – відхилення в смузі заглушення; f_{π} – гранична частота смуги пропускання; f_z – гранична частота смуги заглушення.

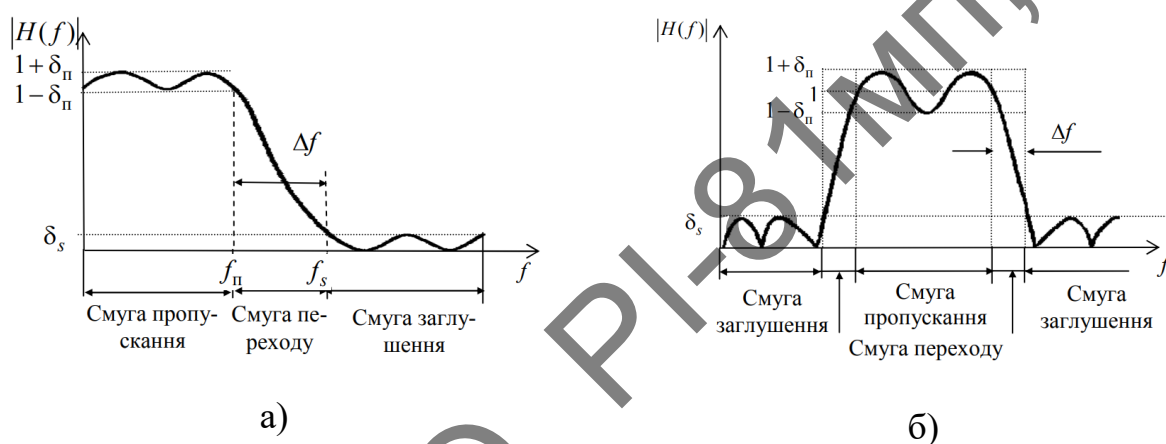


Рисунок 3.26 — а) Схема допусків для фільтра нижніх частот, б) Схема допусків для смугового фільтра

Граничні частоти іноді нормують до частоти дискретизації $\frac{f}{f_c}$. Але частіше в специфікації використовуються стандартні одиниці частоти, тобто Гц або кГц. Відхилення в смузі пропускання визначають нерівномірність у смузі пропускання, а відхилення в смузі заглушення – загасання в смузі заглушення. Відхилення в смузі пропускання і смузі заглушення можуть виражатися як звичайними числами, так і в децибелах[28]. Отже, мінімальне загасання в смузі заглушення A_s і максимальна нерівномірність у смузі пропускання A_{π} в децибелах для СІХ-фільтрів записуються так:

$$A_s = -20 \lg \delta_s,$$

$$A_{\pi} = 20 \lg (1 + \delta_{\pi}).$$

Величина $\Delta f = f_s - f_n$ називається смугою переходу фільтра. Ще один важливий параметр – це порядок фільтра N , який визначає кількість коефіцієнтів фільтра[29].

При специфікації фазової характеристики цифрових фільтрів у багатьох випадках достатньо вказати, що фазове спотворення суттєве або що бажана лінійна фазова характеристика. У той же час, у деяких застосуваннях, де фільтри використовуються для вирівнювання або компенсації фазової характеристики системи або як фазообертачі, фазову характеристику задавати потрібно.

Оскільки у СІХ-фільтрів ФЧХ завжди лінійна, то в специфікації вимог для нерекурсивних фільтрів вимоги до ФЧХ не вказуються. 1 Н() f f Смуга пропускання δ Δf Смуга переходу Смуга заглушення Смуга заглушення $1 + \delta$ $1 - \delta$ 30 У більшості випадків указані параметри повністю визначають частотну характеристику СІХ-фільтра[30].

Існують і інші специфікації, які можуть становити практичний інтерес, наприклад, специфікація максимального прийнятного порядку фільтра. Таке обмеження вводиться у випадку, якщо можлива швидкість обробки – фіксована[31].

Обробку результатів будемо проводити в середовищі *Mathcad Prime* з використанням додаткового модулю *Mathematic filter*.

Для розпізнавання сигналу з давача в режимі кавітації від випромінювача який працює на частоті в 40 кГц., було використано смуго-пропускаючий фільтр з параметрами, на нижній частотах 190 кГц. на високих частотах 200 кГц. та режекторний фільтр або смуго-подавляючий фільтр з частотами від 20 кГц. до 200 кГц.

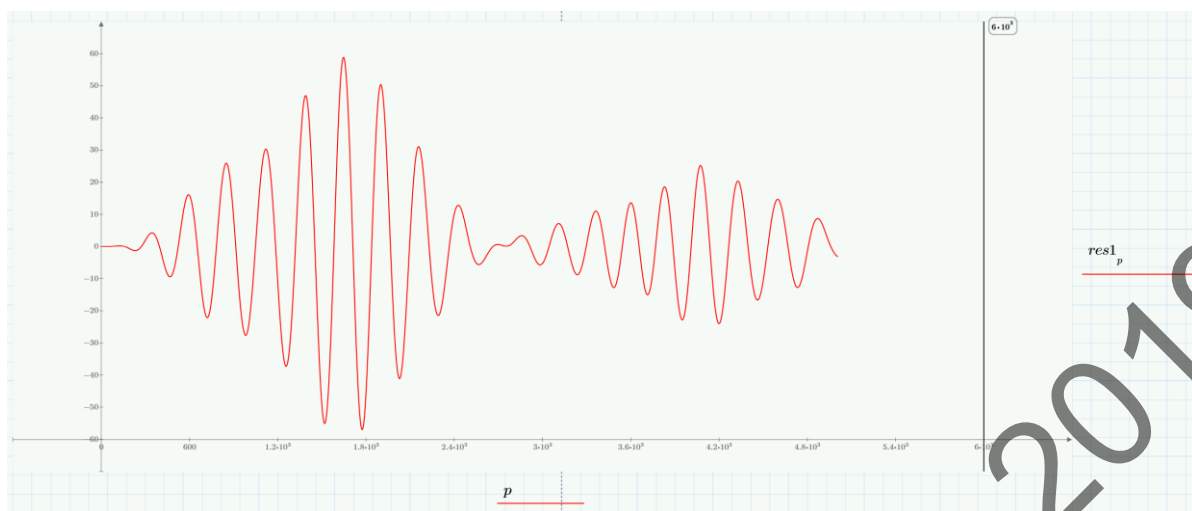


Рисунок 3.26 — Оброблений сигнал з рівнем кавітації в 17В
Проведені розрахунки представлено в додатку А.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ЗВУКУ В РЕЖИМІ АКУСТИЧНОЇ КАВІТАЦІЇ

4.1 Попередні результати

Перше дослідження було проведено без кавітації (табл.5), з цілю перевірити правильність установки. Отримані результати швидкості звуку отримувалися за параметру, до відстань між давачем та сенсором 59,5 мм.

Для порівняння було виміряно швидкість звуку з кавітацією, рівень кавітації виставлявся довільно, результати наведено в таблиці.

Для оцінки достовірності результатів розраховано середньоквадратичне відхилення. Середньоквадратичне відхилення визначається як квадратний корінь з дисперсії випадкової величини:

$$\sigma = \sqrt{D[X]}$$

Середньоквадратичне відхилення вимірюється в одиницях виміру самої випадкової величини і використовується при розрахунку стандартної помилки середнього арифметичного, при побудові довірчих інтервалів, при статистичній перевірці гіпотез, при вимірюванні лінійного взаємозв'язку між випадковими величинами.

Крім того, середньоквадратичним відхиленням називають математичне сподівання квадрата різниці істинного значення випадкової величини і її оцінки для деякого методу оцінки. Якщо оцінка не зміщена (вибіркове середнє - якраз не зміщена оцінка для випадкової величини), то ця величина дорівнює дисперсії цієї оцінки.

Оцінка стандартного відхилення на підставі зміщеною оцінки дисперсії (іноді званої просто вибіркової дисперсією):

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Це в буквальному сенсі середньоквадратичне різниць виміряних значень і середнього.

Таблиця 4.1 – Швидкість звуку в рідині з довільним рівнем кавітації.

Номер вимірювання	Час (с)	Швидкість (м/с)
1	3,85E-05	1544,56
2	4,79E-05	1241,96
3	4,79E-05	1241,96
4	3,86E-05	1541,37
5	4,79E-05	1241,96
6	4,46E-05	1331,90
7	4,67E-05	1272,73
8	4,05E-05	1466,9
9	4,50E-05	1320,68
10	5,18E-05	1147,71

Середня швидкість звуку в рідині без кавітації 1332,47(4) м/с.

Середньоквадратичне відхилення 106,07(7) м/с.

Таблиця 4.2 – Швидкість звуку в рідині без кавітації.

Номер вимірювання	Час (с)	Швидкість (м/с)
1	3,83E-05	1552,61
2	4,07E-05	1459,09
3	4,07E-05	1458,37
4	4,08E-05	1456,24
5	4,07E-05	1461,24
6	4,06E-05	1463,39
7	4,07E-05	1458,37
8	4,07E-05	1459,0
9	4,31E-05	1378,1
10	4,20E-05	1416,09

Середня швидкість звуку в рідині без кавітації 1453,98(9) м/с.

Середньоквадратичне відхилення 14,45 м/с.

Поставляючи різницю в швидкості звуку з кавітацією та без кавітації

Різниця середньої швидкості звуку з кавітацією та без кавітації перевищує середньоквадратичне відхилення. Тому можна зробити висновок що відмінність в швидкості звука не випадкова, а пов'язано з кавітацією.

4.2 Залежність швидкості звуку від рівня кавітації

Під час вимірювання, ми змінювали рівень кавітації збільшуючи амплітуду сигналу, що подається на п'єзокераміку, що створює кавітацію. Вимірювання відбувалося при напругах: 17В, 22В, 27В, 35В.

В результаті проведених вимірювань, при різній напрузі на кавітаційну п'єзокераміку результати приведені в таблиці 6-10:

Таблиця 4.3 – Швидкість звуку в рідині з режимом кавітації в 17В.

Номер вимірювання	Час (с)	Швидкість (м/с)
1	4,61E-05	1289,81
2	4,35E-05	1367,35
3	4,37E-05	1358,62
4	4,75E-05	1251,35
5	5,17E-05	1149,04
6	4,42E-05	1343,91
7	5,08E-05	1170,25
8	4,16E-05	1429,68
9	4,31E-05	1378,1
10	4,09E-05	1451,27

Середня швидкість звуку в рідині без кавітації 1318,9(4) м/с.

Середньоквадратичне відхилення 97,06(2) м/с.

Таблиця 4.4 – Швидкість звуку в рідині з режимом кавітації в 22В.

Номер вимірювання	Час (с)	Швидкість (м/с)
1	5,22E-05	1139,81
2	5,06E-05	1173,94
3	4,66E-05	1275,45
4	4,99E-05	1190,35
5	4,33E-05	1371,13
6	5,00E-05	1188,93
7	5,06E-05	1174,40

8	4,54E-05	1308,50
9	4,59E-05	1294,29
10	5,22E-05	1138,50

Середня швидкість звуку в рідині без кавітації 1225,53(5) м/с.

Середньоквадратичне відхилення 76,2(1)м/с.

Таблиця 4.5 – Швидкість звуку в рідині з режимом кавітації в 27В.

Номер вимірювання	Час (с)	Швидкість (м/с)
1	5,05E-05	1176,26
2	5,25E-05	1132,01
3	5,59E-05	1063,71
4	5,36E-05	1108,02
5	4,09E-05	1452,69
6	5,26E-05	1130,72
7	4,87E-05	1221,59
8	4,60E-05	1293,17
9	4,21E-05	1411,40
10	4,56E-05	1303,3

Середня швидкість звуку в рідині без кавітації 1195,2(9) м/с.

Середньоквадратичне відхилення 125,2(2)м/с.

Таблиця 4.6 – Швидкість звуку в рідині з режимом кавітації в 34В.

Номер вимірювання	Час (с)	Швидкість (м/с)
1	5,49774E-05	1082,26

2	4,54717E-05	1308,50
3	5,17423E-05	1149,93
4	4,32151E-05	1376,83
5	5,64153E-05	1054,67
6	4,51122E-05	1318,93
7	5,90114E-05	1008,28
8	5,10234E-05	1166,13
9	5,10234E-05	1166,13
10	5,90114E-05	1008,28

Середня швидкість звуку в рідині без кавітації 1163,9(9) м/с.

Середньоквадратичне відхилення 125,5(1) м/с.

4.3 Обробка результатів

Провівши ряд вимірювань можна зробити висновки що, при збільшенні напруги на п'єзовипромінювачі, швидкість звуку в рідині знижується що ілюструє рис. 4.1

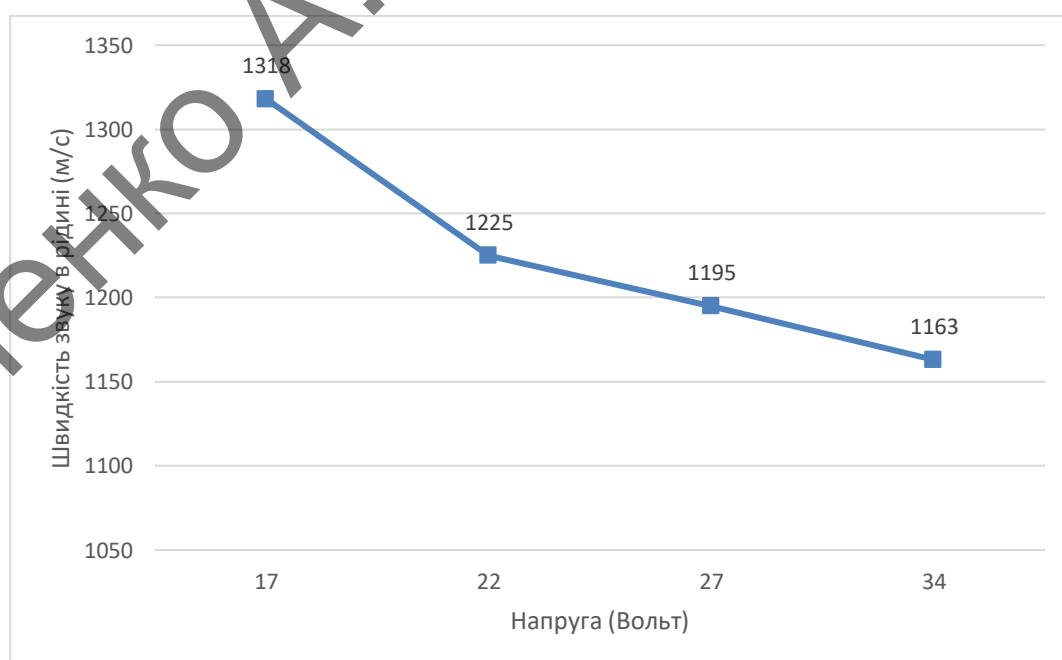


Рисунок 4.1 — Залежність швидкості звуку в рідині, відносно рівня кавітації.

$$c = \sqrt{\frac{1}{\beta \rho}} \quad (5)$$

де, c — швидкість звуку, ρ — густина рідини, β — адіабатичне стискання середовища.

Зниження швидкості звуку в рідині при різних режимах кавітації відбувається, по причині утворення бульбашок повітря в кавітаційній області, тобто за рівнянням Ейлера(5) змінюється середня густина рідини в стакані.

З найменшим відхиленням отриманні експериментальні данні апроксимуються поліномом другого ступеня.

$$v(u) = 1,458 \cdot 10^3 + (-11,123 \cdot u) + (0,07 \cdot u^2)$$

Виконаємо апроксимація для отриманих точок(рис. 4.2)

Лістинг програми знаходиться в Додатку Б.

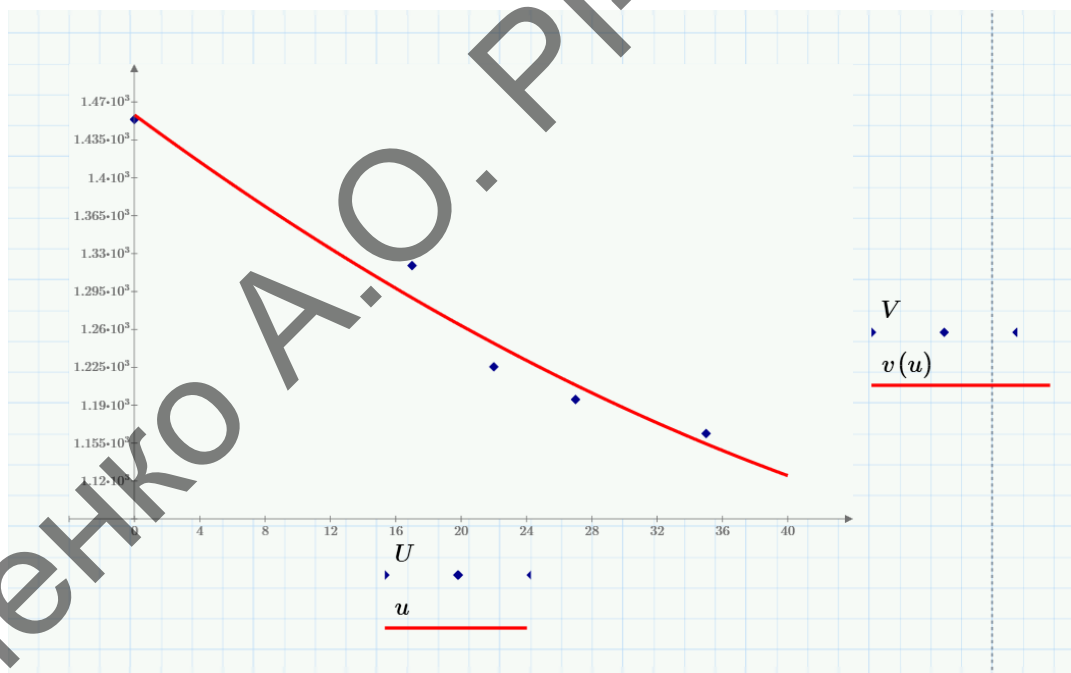


Рисунок 4.2 — Інтерполяція отриманих результатів.

Швидкість звуку в рідині при кавітації падає, тому під час режиму кавітації, створюються бульбашки з повір'ям, які порівнюючи з рідиною без режиму кавітації, змінюють загальну густину рідини.

При збільшенні рівня кавітації кількість та розмір бульбашок збільшується, як наслідок зменшується густина в рідині.

Черненко А.О. РІ-81МП, 2019

5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Даний розділ має на меті проведення маркетингового аналізу стартап проекту задля визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження.

5.1 Опис ідеї проекту

В межах цього підрозділу аналізується зміст ідеї, можливі напрямки застосування, основні вигоди які може отримати користувач товару та відмінності від існуючих аналогів та замінників.

Таблиця 5.1 Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка системи яка досліджує швидкість звуку імпульсним методом	Бізнес (верстати для виготовлення продукції)	Система вимірювання швидкості звуку в режимі кавітації, яка основана на імпульсно-фазовому методі.
	Державні та приватні підприємства, заводи по виготовленню продукції	

Перевагою системи компенсації вібрацій є:

- Робота в широкому діапазоні частот.
- Простота кріплення на корпус технологічного обладнання.
- Динамічне відслідковування резонансних частот та їх подавлення.

В якості конкурента даній ідеї зниження рівня вібрацій можна розглянути:

- віброізолюючі опори ОВ-31МП від компанії GB TRADE;

— датчики кріплення Vibrofix Techno від компанії Vibrofix;

Таблиця 5.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту.

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	Методи конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Вібро-опори OB-31M П	Антивібраційні кріплення Vibrofix Techno			
1	Технологічність	✓	✓	✓			✓
2	Екологічність	✓					✓
3	Висока продуктивність	✓					✓
4	Ергономічність	✓		✓			✓
5	Економічність			✓	✓		
6	Надійність	✓	✓			✓	

Розроблювана система оснащена вібромотором, який створюватиме компенсаційні вібрації, давачем вібрацій, який фіксує рівень вібрації в технологічному обладнанні та мікроконтролером, який оброблює інформацію, що

надходить від давача, а потім підлаштовує частоту, з якою працює вібромотор створюючи тим самим компенсацію резонансних частот.

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводиться аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту.

Для забезпечення компенсації вібрацій необхідна технологія яка забезпечить компенсацію резонансних частот технологічного обладнання. При виборі технології потрібно обрати між технологією динамічного віброгасіння та віброізоляцією.

Таблиця 5.3 Технологічна здійсненність проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технології	Доступність технології
1	Система компенсації ві-	Динамічне ві-	Так	Так
2	брацій	Віброізоляція	Так	Ні
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: динамічне віброгасіння				

Провівши аудит технологій, які допоможуть зменшити рівень вібрацій в технологічному обладнанні, було обрано технологію динамічного віброгасіння, що дозволить зменшити рівень вібрацій об'єкта шляхом введення в систему додаткового віброгасувача. Віброгасувач жорстко кріпиться на корпус віброуючого об'єкта, в кожний момент часу збуджуючи коливання, котрі знаходяться в протифазі з коливаннями об'єкта, тим самим зменшуючи резонанс на резонансній частоті. Віброізоляція в основі, якої віброізоляційний матеріал, який встановлюється між двома об'єктами. Загашування вібрацій відбувається у обмеженому діапазоні частот, діапазон частот залежить від жорсткості віброізолятора, дана технологія менш ефективна на резонансній частоті, ніж динамічне віброгасіння.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Проведемо аналіз ринкового середовища: складемо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 5.4, 5.5).

Таблиця 5.4 Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Новий функціонал пристрою конкурентів	Впровадження нового функціоналу чи технології у систему компенсації вібрацій, аналогічного до розроблюваного у цьому проекті	Вихід з ринку

Таблиця 5.5 Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Новий функціонал у проекті що розробляється	Додавання нових технологій та можливостей у проект, що розроблюється	Розроблення цього функціоналу

Проведемо аналіз пропозиції: визначимо загальні риси конкуренції на ринку (табл. 5.6).

Таблиця 5.6 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Тип конкуренції – монополістична	Одне підприємство майже зайняло усю нішу	Значний

За рівнем конкурентної боротьби – національне	Дане підприємство відомо по усьому світу	Значний
За галузевою ознакою – внутрішньогалузева	Конкуренція виконується в рамках однієї галузі	Значний
Конкуренція за видами товарів – невідомо		
За характером конкурентних переваг – цінова	Товар даного підприємства має дуже високу вартість	Значний
За інтенсивністю – невідомо		

Проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції у галузі (табл.5.7).

Таблиця 5.7 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Віброізолюючі опори GB TRADE OB-31МП. Антивібраційні кріплення Vibrofix Techno	Розробники пристроїв для бездротової передачі даних	Невідомо	Невідомо	Невідомо

Висновки	Маючи монополне положення на ринку розробник цього пристрою не буде приділяти уваги розробці конкретно цього пристрою	Є можливість виходу на ринок	Невідомо	Невідомо	Невідомо
----------	---	------------------------------	----------	----------	----------

За результатами аналізу можна зробити висновок, що працювати на даному ринку можна, незважаючи на конкурентну ситуацію. Для поширення продукту він повинен володіти рядом факторів, які відрізняють його від існуючого конкурента.

Перелічимо фактори конкурентоспроможності (табл.5.8).

Таблиця 5.8 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Ефективність	Дана розробка найбільш ефективна для продавлення вібрацій на резонансних частотах.
2	Універсальність	Можливість гасити вібрацію на заданій частоті, у широкому діапазоні частот.
3	Швидкодія	Пристрій нічим не поступається в плані швидкодії у конкурентів

Проведемо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл.5.9).

Таблиця 5.9 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів – конкурентів у порівнянні з проектом, що розробляється
----------	-------------------------------	--------------	---

			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Ефективність	20							✓
2	Універсальність	17						✓	
3	Швидкодія	15				✓			

Проведемо SWOT-аналіз стартап-проекту (табл.5.10).

Таблиця 5.10 SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: ефективність; універсаль- ність; швидкодія;	Слабкі сторони: не- відома компанія; Відсутність стартового капіталу;
Можливості: розширення функціо- налу завдяки новим тех- нологіям;	Загрози: Продукти-замінники;

З огляду на SWOT-аналіз можна прийти до висновку що нема потреби розробляти альтернативи ринкового впровадження цього проекту.

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визна-
чення стратегії охоплення ринку, а саме опис цільових груп потенцій-
них споживачів (табл. 5.11).

Таблиця 5.11 Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи	Готовність споживачів	Орієнтовний попит в	Інтенсивність конкуренції в	Простота входу
	потенційних клієнтів	сприйняти продукт	межах цільової групи	сегменті	у сегмент

1	Компанії по виробництву технологічного обладнання	Готові	Високий	У сегменті не значна конкуренція	Легко
2	Підприємства які готові модернізувати і удосконалювати своє технологічне обладнання	Готові	Високий	У сегменті не значна конкуренція	Легко

Які цільові групи обрано: компанії по виробництву технологічного обладнання, підприємства які використовують технологічне обладнання

Для роботи в обраних сегментах ринку сформулюємо базову стратегію розвитку (табл. 5.12).

Таблиця 5.12 Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції	Базова стратегія ринку
1	Диференційований маркетинг	Ефективність, універсальність, швидкодія	Стратегія спеціалізації

Виберемо конкурентну поведінку (табл.5.13).

Таблиця 5.13 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопроходцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента?	Стратегія конкурентної поведінки

1	Так	Так	Ні	Заняття конкурентної ніші
---	-----	-----	----	---------------------------

Розробимо стратегію позиціонування, що полягає формуванні ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект (табл.5.14).

Таблиця 5.14 Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	Універсальність	Підтримування технологічності пристрою, та розширення частотного діапазону	Ефективність розробки. Найбільш ефективний для продавлення вібрацій на резонансних частот	Немає

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Сформуємо маркетингову концепцію товару, який отримає споживач (табл. 5.15), та опишемо три рівні моделі товару (табл. 5.16).

Таблиця 5.15 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги Перед конкурентами
1	Подавлення вібрацій на резонансних частотах.	Зменшення вібрацій за рахунок динамічного віброгасіння.	Універсальність; швидкодія; ефективність;

Таблиця 5.16 Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
1. Товар за задумом	Динамічне гасіння вібрацій.
Товар у реальному виконанні	Ефективність
	Універсальність
	Швидкодія
	Якість: висока
	Пакування: коробка
3. Товар із підкріпленням	Марка: vibro
	До продажу: невідомо
	Після продажу: невідомо

Товар буде захищатися від копіювання маркою бренду.

Визначимо цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на товар (табл.5.17).

Таблиця 5.17 Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар
1	до 20 тис. ум. од.	До 15 тис ум. од.	Високий	5000 – 20000 ум. од.

Визначимо оптимальну систему збуту (табл.5.18).

Таблиця 5.18 Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Невідома	Інтернет-магазин	Невідома	Інтернет-магазин

Розробимо концепцію маркетингових комунікацій (табл.5.19).

Таблиця 5.19 Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Невідома	Інтернет, магазини	Можливості	Донести про	Донесення про

		електро- ніки	проекту	можливо- сті проє- кту	можливості та сильні сторони проекту
--	--	------------------	---------	------------------------------	---

За результатами проведеного аналізу можна зробити висновок, що є можливість ринкової комерціалізації проекту оскільки на ринку є попит на таку продукцію.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Основною метою даного розділу є забезпечення комфортних та безпечних умов праці при виконанні науково-дослідної роботи за темою магістерської дисертації – визначення швидкості звука в рідинах в режимі акустичної кавітації.

Оскільки, при виконанні науково-дослідної роботи в лабораторному середовищі використовуються джерела УЗ випромінювання вихідною потужністю не більше 10 Вт, то питання захисту персоналу від негативної дії цих випромінювань не розглядається.

В даному розділі запропоновані технічні рішення, та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії і визначені основні заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Основана увага приділена питанню забезпечення безпеки при застосуванні засобів обчислювальної техніки.

6.1 Визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників при виконанні науково-дослідної роботи

В магістерській дисертації досліджується швидкість звука в ємкості, під час кавітації води. Для цього використовується високочутлива п'єзокераміка, а знятий сигнал проходить через програмно-апаратний тракт обробки. Отриманий сигнал обробляється в середовищі MatCad.

Оскільки основу роботи складають дослідження із використанням електронно-обчислювальних машин (ЕОМ), а також лабораторного устаткування, існує небезпека ураження електричним струмом. Під час експериментальних досліджень можливий негативний вплив електромагнітного випромінювання. Має місце також пожежна небезпека з причин електричного характеру.

Небезпечні та шкідливі фактори при проведенні наукових досліджень:

- небезпека ураження електричним струмом;
- наявність електромагнітного випромінювання ВДТ ПЕОМ;

- недостатня освітленість робочого місця;
- незадовільні параметри мікроклімату у робочій зоні;
- підвищений рівень шуму.

6.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії

6.2.1 Електробезпека.

Приміщення лабораторії, що розглядається, знаходиться в будівлі з 4-х провідною 3-х фазною електромережею із зануленням. Температура в робочому приміщенні не перевищує $+30^{\circ}\text{C}$, а вологість повітря не перевищує 60%. Також відсутнє хімічно активне середовище, що руйнує ізоляцію та електричні матеріали або струмопровідний пил. У приміщенні можливий одночасний дотик людини до корпусів електрообладнання і до заземлених металоконструкцій будівлі. Таким чином, згідно з ПУЕ, умови приміщення за рівнем електробезпеки можна віднести до приміщень з підвищеним рівнем електробезпеки.

Електроустаткування, що використовується в дослідницькій роботі, живиться від мережі напругою до 220 В. Воно належить до класів I та II за електрозахистом (ДСТУ ІЕС 61140:2015). Апаратура для визначення характеристик досліджуваних зразків відноситься до I класу за електрозахистом, тобто трьохпровідний шнур з нульовим проводом. Провід для під'єднання до джерела живлення має заземлюючу жилу і вилку із заземлюючим контактом.

У процесі експлуатації електронно-обчислювального обладнання можливе доторкання до частин електроустаткування, які перебувають під напругою. Оцінка небезпеки дотику до струмоведучих частин полягає у визначенні сили струму, що протікає через тіло людини, і порівнянні її із допустимим значенням відповідно до ПУЕ-2017. У загальному випадку допустима величина струму, що протікає через тіло людини, залежить від схеми підключення

електроустаткування до електромережі, роду і величини напруги живлення, схеми включення.

Таблиця 6.1 – Гранично допустимі значення напруги дотику

t (сек)	до 0,1	0,2	0,5	0,7	0,9	Від 1,0 до 5,0
$U_{\text{доп.дот}}$ (В)	500	400	200	130	100	65

Для правильного визначення необхідних засобів та заходів захисту від ураження електричним струмом необхідно знати допустимі значення напруг доторкання та струмів, що проходять через тіло людини.

Основними причинами ураження людей електричним струмом є доторкання до відкритих струмоведучих частин, до струмопровідних елементів обладнання, які виявилися під напругою в результаті порушення ізоляції. Нижче наведені групи технічних рішень щодо запобігання електротравм згідно ПУЕ. «Правила улаштування електроустановок. Розділ 1 Загальні правила. Гл.1.7 Заземлення і захисні заходи електробезпеки»:

- технічні рішення із запобігання електротравм від контакту із нормально струмоведучими елементами електрообладнання: надійна ізоляція нормально струмоведучих елементів електроустаткування; застосування закритих клемових з'єднань; розведення електромережі в приміщеннях у каналах стін;
- технічні рішення щодо запобігання електротравм при переході напруги на електропровідні нормально не струмовідні елементи устаткування (аварійний режим роботи електрообладнання, наприклад, пробій робочої ізоляції): занулення, тобто навмисне електричне з'єднання нормально не струмоведучих елементів електроустаткування із заземленою нейтраллю електромережі за допомогою нульового дроту і автоматичне вимкнення живлення. При аварійному режимі спрацьовує захист від короткого

замикання (автомат максимального струмового захисту чи плавкий запобіжник) і пошкоджене електрообладнання відключається від електромережі.

Розрахунок захисного відключення електромережі при аварійному режимі роботи електрообладнання.

Виконаємо розрахунок електромережі на вимикаючу здатність при короткому замиканні (КЗ). Струм КЗ можна знайти за формулою:

$$I_{kz} = \frac{U_F}{R_0 + R_F + Z_{TR}}, \quad (6.1)$$

де $U_F = 220V$ — напруга фазного проводу; $R_0 = 30m$ — опір нульового проводу; $R_F = 70m$ — опір фазного проводу; $Z_{TR} = 0,10m$ — еквівалентний опір трансформатора. Після обчислення (4.4) отримаємо, що $I_{kz} = 21,78A$.

Для надійного спрацювання автомату струмового захисту з електромагнітним розпилювачем його струм повинен бути в 1,4 рази менше струму короткого замикання ($I_{kz} < 100A$).

Отже, струм спрацювання автомату повинен бути менше 15,6 А. Цим умовам відповідають автомати струмового захисту, що встановлені у робочому приміщенні (струм спрацювання 10 А і час спрацювання $< 0,1$ с).

Розрахуємо напругу дотику до корпусів електрообладнання при його аварійному режимі роботи:

$$U_{K_{max}} = I_{kz} \cdot R_0 = 21,78 \cdot 3 = 65,3V \quad (6.2)$$

Відповідно до ГОСТ 12.1.038-88 (табл. 5.1) максимально допустима напруга дотику при часі спрацювання автомату струмового захисту $< 0,1$ с дорівнює 500В.

6.2.2 Мікроклімат робочої зони

Для нормалізації мікроклімату, згідно з ДСН 3.3.6.042-99. «Державні санітарні норми параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях»,

приміщення обладнане системою опалення, а також системою кондиціювання повітря з індивідуальним регулюванням температури та об'єму повітря, що подається, у відповідності до СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование». Для захисту від перегрівання в теплий період року та радіаційного охолодження — в зимовий, приміщення обладнане жалюзі і екранами.

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях» параметри мікроклімату, що нормуються: температура ($t, ^\circ\text{C}$) і відносна вологість ($W, \%$) повітря, швидкість руху повітря ($V, \text{м/с}$).

Оптимальні та допустимі параметри мікроклімату для умов, що розглядаються (категорія робіт та період року) наведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 — Параметри мікроклімату

Період року	Оптимальні			Допустимі		
	$t, ^\circ\text{C}$	$W, \%$	$V, \text{м/с}$	$t, ^\circ\text{C}$	$W, \%$	$V, \text{м/с}$
Теплий	23-25	40-60	0,1	22-28	55	0,2-0,1
Холодний	22-24	40-60	0,1	21-25	75	$\leq 0,1$

Фактичні параметри мікроклімату в робочій зоні відповідають приведеним вище нормам ДСН 3.3.6.042–99.

6.2.3 Виробниче освітлення

Для збереження тривалої працездатності, підвищення продуктивності праці суттєвим є забезпечення норм освітленості на робочому місці. Величина освітленості регламентується нормами ДБН В.2.5-28-2018. Приміщення з ЕОМ, відповідно до ДБН В.2.5–28–2018. «Природне і штучне освітлення. Норми проектування», відноситься до класу кабінетів інформатики та обчислювальної техніки. Розряд і підрозряд зорової роботи Б-2.

Нормування штучного освітлення також здійснюється згідно ДБН В.2.5-28-2018. Для загального освітлення використовують головним чином люмінесцентні лампи, що обумовлено їхніми перевагами. Для розрахунку штучного освітлення застосовують метод коефіцієнта використання потоку:

$$\Phi = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{N \cdot C}, \quad (6.3)$$

де Φ — світловий потік; E — нормована мінімальна освітленість; K — коефіцієнт запасу; S — освітлювана площа; Z — коефіцієнт нерівномірності освітлення; C — коефіцієнт використання випромінюваного світильниками світлового потоку на розрахунковій площі; N — число світильників.

Згідно ДБН В.2.5-28-2018 визначаємо норму освітленості.

$$E = 300 \text{ лк}; K = 1,4; S = 6,4 \cdot 4 = 25,6 \text{ м}^2; Z = 1,2.$$

Необхідна кількість люмінесцентних ламп визначається по формулі:

$$N = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{\Phi \cdot C}, \quad (6.4)$$

Найбільш прийнятними для приміщення є люмінесцентні лампи ЛД (денного світла) потужністю 40 Вт. Нормальний світловий потік лампи ЛД-40 дорівнює $\Phi=2340$ люмен (лм). Величиною i , індексом приміщення можна встановити залежність від площі приміщення і висоти підвісу:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (6.5)$$

де $A=5\text{м}$ — довжина приміщення; $B=4\text{м}$ — ширина приміщення; h — висота підвісу.

$$h = H - h_p - h_c, \quad (6.6)$$

де $H=2,75 \text{ м}$ — висота приміщення; $h_p=0,8 \text{ м}$ — висота робочої поверхні; $h_c=0,4 \text{ м}$ — висота від стелі до нижньої частини лампи.

При обрахунку виходить $h=1,55\text{м}$, а $i=1,58$.

Коефіцієнт використання світлового потоку на розрахунковій площі $C=0,3$.

У підсумку число світильників виходить рівним $N=1,84$

Для штучного освітлення в робочому приміщенні достатньо використати 2 люмінесцентні лампи денного світла ЛД 40, зі світловим потоком $\Phi=2340$ лм кожна.

Освітленість робочого приміщення де проводиться науково-дослідна робота відповідає нормам вказаним у ДБН В.2.5-28-2006.

6.2.4 Виробничий шум

Для умов, що розглядаються в проекті і характеру роботи, який можна класифікувати як роботу програміста обчислювальної машини у лабораторії для теоретичних робіт та обробки даних, рівні шуму визначені ДСН 3.3.6.037-99. «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности». Допустимі рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот представлені у табл. 4.4.

Таблиця 6.3 — Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму

Характер роботи	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах частот із середньгеометричними значеннями (Гц)									Допустимий рівень звуку (ДБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Програміст	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

обчис- люваль- ної ма- шини										
--------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Джерелами шуму в умовах робочого приміщення, що розглядається в роботі є вентилятори охолодження внутрішніх систем персонального комп'ютера (вентилятори блоку живлення, радіатора процесора та відеокарти) і система кондиціювання повітря.

Очікувані рівні звукового тиску і рівень звуку відповідно до шумових характеристик цих джерел (ШХ):

- рівень шуму, створюваний внутрішніми елементами ПК дорівнює 35 дБ;
- рівень шуму системи кондиціювання на низьких/високих частотах дорівнює 25/30 дБ.

Оскільки рівні звуку потенційних джерел шуму нижчі допустимих, умови робочого приміщення відповідають вимогам вказаним у ДСН 3.3.6.037-99.

6.2.5 Організація робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ

Вимоги до робочого місця робіт з використанням ЕОМ регламентує нормативний документ ДСанПіН 3.3.2.007-98 та ДСТУ ISO 9241-62004 «Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі. Частина 6. Вимоги до робочого середовища.»

Конструкція робочого столу відповідає сучасним вимогам ергономіки і забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного обладнання (дисплея, клавіатури, принтера) і документів.

Дисплей розташований на оптимальній відстані від очей користувача з урахуванням розміру літерно-цифрових знаків і символів. Розташування дисплея забезпечує зручність зорового спостереження у вертикальній площині під

кутом $+30^0$ до нормальної лінії погляду працюючого. Клавіатура розташована на поверхні столу на відстані 100...300 мм від краю. У конструкції клавіатури передбачений опорний пристрій, який дає змогу змінювати кут нахилу поверхні клавіатури у межах $5...15^0$. Таке положення клавіатури зручне для праці обома руками.

Працівники з ЕОМ підлягають обов'язковим попереднім медичним оглядам під час влаштування на роботу і періодичним – один раз на два роки комісією у складі терапевта, невропатолога та офтальмолога. Медогляди мають на меті перевірку стану здоров'я працівника і виявлення відсутності у нього медичних протипоказань, які перешкоджають виконанню роботи з ПК.

Згідно з ДСТУ 1241:6-2004 та ДСанПіН 3.3.2.007-98 характер трудової діяльності відповідає роботі оператора електронно-обчислювальних машин – роботі, яка пов'язана з обліком інформації одержаної з дисплея за попереднім запитом, або тієї, що надходить з нього, супроводжується перервами різної тривалості, пов'язана з виконанням іншої роботи і характеризується як робота з напруженням зору, невеликими фізичними зусиллями, нервовим напруженням середнього ступеня та виконується у вільному темпі.

Тривалість регламентованих перерв під час роботи з ЕОМ становить 15 хвилин через кожні дві години роботи.

6.2.6 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Безпека у надзвичайних ситуаціях регламентується ПЛАС («Положенням щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій»). Одним з основних складових ПЛАС є розробка технічних рішень та організаційних заходів щодо оповіщення, евакуації та дії виробничого персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації.

6.2.7 Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення персоналу при НС

Для підвищення безпеки в надзвичайних ситуаціях (НС) пропонується встановлення системи оповіщення (СО) виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення НС, наприклад при пожежі, здійснюється відповідно до вимог НАПБ А.01.003-2009.

Необхідність обладнання виробничих приміщень певним типом СО визначається згідно з додатком Е до ДБН В.1.1-7-2016 "Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва".

При обладнанні виробничих будівель системою оповіщення, їх необхідно поділяти на зони оповіщування з урахуванням об'ємно-планувальних рішень будинків, шляхів евакуації, поділення на протипожежні відсіки тощо, а також з урахуванням вимог, що наведені в примітці 1 таблиці Е.1 додатка Е до ДБН В.1.1-7-2016.

Оповіщування про НС та управління евакуацією людей здійснюється одним з наступних способів або їх комбінацією:

- поданням звукових і (або) світлових сигналів в усі виробничі приміщення будівлі з постійним або тимчасовим перебуванням людей;
- трансляцією текстів про необхідність евакуації, шляхи евакуації, напрямки руху й інші дії, спрямовані на забезпечення безпеки людей;
- трансляцією спеціально розроблених текстів, спрямованих на запобігання паніці й іншим явищам, що ускладнюють евакуацію;
- розміщенням знаків безпеки на шляхах евакуації згідно з ДСТУ ISO 6309;
- ввімкненням евакуаційних знаків "Вихід";
- ввімкненням евакуаційного освітлення та світлових показників напрямку евакуації;
- дистанційним відкриванням дверей евакуаційних виходів;
- зв'язком оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) із зонами оповіщування.

Повинен бути забезпечений розподіл пріоритетів щодо повідомлень для виробничого персоналу у такій послідовності:

I – (найвищий) повідомлення оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) під час пожежі, або у разі виникнення будь-якої іншої НС;

II – повідомлення, які записані на будь-якому носії та вмикаються автоматично від спрацювання систем пожежної автоматики, або за сигналом оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста);

III – службові повідомлення, що не стосуються організації та управління евакуацією людей.

У багатоповерхових виробничих будівлях, які поділені на протипожежні відсіки по вертикалі, СО повинна вмикатися одразу для всього протипожежного відсіку, де виникла пожежа. Затримку часу оповіщення про НС для інших вертикальних протипожежних відсіків будинку слід передбачати з урахуванням злиття потоків людей на шляхах евакуації.

Для трансляції мовних повідомлень необхідно використовувати повідомлення, які записані заздалегідь на відповідному носії інформації.

Текст мовного повідомлення повинен бути записаний українською мовою. Необхідність запису тексту мовного повідомлення та його транслявання іншими мовами визначається призначенням виробничих приміщень. Тривалість трансляції одного мовного повідомлення не повинна перевищувати 1 хвилини.

Пульт управління СО необхідно розміщувати у приміщенні пожежного поста, диспетчерської або іншого спеціального приміщення (в разі його наявності). Ці приміщення повинні відповідати вимогам ДБН В.2.5-56-2014.

У місцях, де є небезпека механічного ушкодження оповіслювачів, повинен бути забезпечений їх захист, що не порушує працездатності оповіслювачів.

Вимоги до світлових показників "Вихід" приймаються відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 "Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення".

Вимоги до евакуаційного освітлення приймаються відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 "Природне та штучне освітлення".

СО в режимі "Тривога" повинна функціонувати протягом часу, необхідного для евакуації людей з будинку, але не менше 15 хвилин.

Електропостачання СО здійснюється за I категорією надійності згідно з "Правила устроюства електроустановок" (ПУЕ) від двох незалежних джерел енергії: основного - від мережі змінного струму, резервного - від акумуляторних батарей тощо.

Звукові оповісшувачі повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 54-3:2003 "Системи пожежної сигналізації. Частина 3. Оповісшувачі пожежні звукові".

Мовні оповісшувачі повинні відтворювати нормально чути частоти у діапазоні від 200 до 5000 Гц. Світлові оповісшувачі, які працюють у режимі спалахування, повинні бути червоного кольору, мати частоту мигтіння в межах від 0,5 Гц до 5 Гц та розташовуватись у межах прямої видимості з постійних робочих місць.

6.2.8 *Обов'язки та дії персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації*

У разі виявлення ознак НС працівник, який їх помітив, повинен:

- негайно повідомити про це службою зв'язку органів ДСНС, вказати при цьому адресу кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, а також своє прізвище;

- повідомити про пожежу керівника, адміністрацію, пожежну охорону підприємства;

- організувати оповіщення людей про НС;

- вжити заходів щодо евакуації людей та матеріальних цінностей;

вжити заходів щодо ліквідації наслідків НС з використанням наявних засобів.

Керівник та пожежна охорона установи, яким повідомлено про виникнення пожежі, повинні :

- перевірити, чи викликані підрозділи ДСНС;
- вимкнути у разі необхідності струмоприймачі та вентиляцію;
- у разі загрози життю людей негайно організувати їх евакуацію та їх рятування, вивести за межі небезпечної зони всіх працівників, які не беруть участь у ліквідації НС;
- перевірити здійснення оповіщення людей про НС;
- забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у ліквідації НС;
- організувати зустріч підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій, надати їм допомогу у локалізації та ліквідації НС.

Після прибуття на НС підрозділів ДСНС повинен бути забезпечений безперешкодний доступ їх до місця, де виникла НС.

6.2.9 Пожежна безпека

Відповідно до ДСТУ Б.В.1.1.-36:2016 робоче приміщення лабораторії відноситься до категорії В по вибухопожежній небезпеці. Відповідно до та ДНАОП 0.00-1.32-01 клас робочих зон приміщення лабораторії по пожежо-небезпеці - П-Па. Можливими причинами пожежі в приміщенні є несправність електроустаткування, коротке замикання проводки, і порушення протипожежного режиму (використання побутових нагрівальних приладів, паління).

У зв'язку з цим, відповідно до вимог ПБЕ та ПУЕ, необхідно передбачити наступні заходи:

- постійний контроль стану засобів пожежогасіння;

- застосування автоматичних установок пожежної сигналізації;
- організація за допомогою технічних засобів, включаючи автоматичні, своєчасного оповіщення та евакуації людей.
- контроль за станом ізоляції струмоведучих дротів;
- заборонено паління в приміщенні;
- неприпустимість знаходження у приміщенні горючих і вибухонебезпечних речовин;
- допуск до роботи осіб, які в установленому порядку пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань з пожежної безпеки.

Для гасіння пожежі в робочому приміщенні лабораторії (клас пожежі „Е”-наявність електрообладнання під напругою) використовуються вогнегасники ОП-1 — “Момент” (2 шт.). Додатково в коридорі розташовані вогнегасники ОХП-10. Також на сходовій клітці розташований пожежний кран. Така кількість первинних засобів пожежогасіння відповідає вимогам ДСТУ 3675-98 та ISO3941-2007, якими передбачене обов’язкова наявність двох вогнегасників до 100 м² площі підлоги для приміщення типу конструкторське бюро.

Будинок має два евакуаційних виходів: через головний хід і додатковий евакуаційний вихід. Шляхи евакуації відповідають установленим нормам. Двері відкриваються назовні. Коридор веде до двох сходових кліток, одна з яких виходить безпосередньо на вулицю, а друга має вихід на вулицю через вестибюль і головний вхід. Сходова клітка виконана з не палих матеріалів. Сходи мають природне бічне освітлення і штучне евакуаційне освітлення. Сходові площадки ширше коридорів. Усі співробітники ознайомлені з планом евакуації.

Дотримано усі вимоги СНиП 2.09.02-85 по вогнестійкості будинку і ширині евакуаційних проходів і виходів із приміщень назовні. Значення основних параметрів шляхів евакуації приведені в табл.6.5.

Таблиця 6.5 — Характеристики і норми евакуиходів

Параметр	Фактичне значення	Норма
Висота дверних прорізів	2,0 м	Не менше 2 м
Ширина дверних прорізів	0,8 м	Не менше 0,8 м
Ширина проходу для евакуації	Більше 1,5 м	Не менше 1 м
Ширина коридору	2 м	Не менше 2 м
Число виходів з коридору	2	Не менше 2
Ширина сходового маршу	1,2 м	Не менше 1 м
Висота поруччя сходів	1 м	Не менше 0,9 м

У приміщенні є план евакуації. Мінімальний час евакуації в разі виникнення пожежі відповідає вимогам СНиП 2.01.02-85, а максимальне видалення робочих місць від евакуаційних виходів вимогам СНиП 2.09.02-85.

У приміщенні виконуються усі вимоги по пожежній безпеці відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2004 “Правила пожежної безпеки в Україні”.

6.2.10 Основні вимоги щодо плану евакуації при пожежі

В даному підрозділі розглянемо план евакуації при пожежі, адже це одне з найнебезпечніших НС, яке може трапитись під час виробничого процесу.

Захист людей у разі пожежі є найважливішим завданням усієї системи протипожежного захисту. Вирішення цього завдання, в першу чергу, потребує впровадження ефективних евакуаційних заходів на випадок виникнення пожежі. Вирішення цього завдання досить складне, оскільки має власну

специфіку та здійснюється іншими шляхами, ніж захист будівельних конструкцій чи матеріальних цінностей.

Виходи вважаються евакуаційними, якщо вони ведуть із приміщень:

- першого поверху безпосередньо назовні або через вестибюль, коридор, сходову клітку;
- будь якого поверху, крім першого, у коридор, що веде на внутрішню сходову клітку або безпосередньо на зовнішні відкриті сходи;
- у сусіднє приміщення на тому ж поверсі, яке забезпечене виходами, зазначеними у попередніх пунктах;
- цокольного, підвального, підземного поверху назовні безпосередньо через сходову клітку або коридор, що веде на сходову клітку, яка має вихід назовні.

Текстова частина плану евакуації, яка представляє собою таблицю з переліком та послідовністю дій у разі пожежі для конкретних посадових осіб і працівників, затверджується керівником об'єкту. План евакуації необхідно розташовувати на видному місці, а його положення повинні систематично відпрацьовуватись на практиці.

Також дуже важливо забезпечити протидимний захист робочих приміщень і особливо шляхів евакуації людей. Протидимний захист забезпечується обмеженням розповсюдження продуктів горіння по будівлях та приміщеннях, примусовим видаленням диму. Ці задачі вирішуються за допомогою об'ємно-планувальних та конструктивних рішень при проектуванні об'єктів, деякими технологічними прийомами в процесі будівництва, завдяки використанню спеціальних пристроїв і вентиляційних систем, які призначені для видалення диму зниження температури і конденсації продуктів горіння.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі отримано і наведено експериментальні результати, що стосуються методів вимірювання швидкості звуку в рідині в режимі кавітації.

1. Розглянуто методи вимірювання швидкості звуку, встановлено, що при вимірюванні швидкості звуку при кавітації більш придатний імпульсно-фазовий метод.
2. На основі імпульсно-фазового методу запропоновано спосіб вимірювання швидкості звуку в рідинах в режимі кавітації. Запропоновано застосовувати цифрову фільтрацію сигналу з пієзодавача з метою усунення коливань, що збуджуються кавітацією.
3. Експериментально встановлено, що при виникненні кавітації швидкість звуку зменшується. При збільшенні напруги в 2 рази швидкість звуку зменшується на 18%.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Сивов Ю.А.,— Определение скорости звука методом Акустического резонанса/ К.Б. Коротченко — Томск: Томский политехнический университет, Вид-во «Наука», 2013. – 137 с..
2. Методы исследования скорости звука — samlib.ru [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://samlib.ru/o/oz/skorost_svuka.shtml
3. Резонанс — wikipedia.org [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D1%81>
4. Швидкість звуку — wikipedia.org [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%B2%D0%B8%D0%B4%D0%BA%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%B7%D0%B2%D1%83%D0%BA%D1%83
5. Федорченко А. М.,— Теоретична механіка. — Київ : Вища школа, 1975. — 516 с.
6. Аналого-цифровое преобразование для начинающих [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/post/125029/>
7. Сигма-дельта АЦП [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://we.easyelectronics.ru/blog/Theory/2551.html>
8. Розина Е. Ю. Кавитационный режим звукокапиллярного эффекта //Акуст. вісн.— 2003.— 6, N 1.— С. 48–59.
9. Лабораторное оборудование [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Лабораторное_оборудование.
10. Стационарные считыватели RFID, Стационарные RFID ридеры, стационарные терминалы сбора данных RFID [Электронный ресурс]. -Режим доступа: http://rfid-m.ru/schitivateli/rfid_stacionarnye-schityvateli.php
11. Ультразвук в медицине [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://medysyna.com/ultrazvuk-v-meditcini/>

12. Борьба с шумами АЦП [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.compel.ru/lib/ne/2015/9/3-cozdaem-portativnyie-apparatyi-uzi-na-baze-sovremennyih-analogovyih-mikroshem>
13. Зубков, О. В. Метод высокоточного измерения скорости распространения ультразвуковых колебаний в движущихся средах / О. В. Зубков, К. Н. Полтавский, Г. И. Сидоров // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – 2/9 (56). – С. 89-110.
14. Карпман, В. И. Нелинейные волны в диспергирующих средах / В. И. Карпман. – М.: Наука. – 1973. – 45 с.
15. Розенберг Л. Д. Кавитационная область // Мощные ультразвуковые поля / Под ред. Л. Д. Розенберга. – М.: Наука, 1968. – С. 223–265.
16. Накоряков, В. Е. Распространение волн в газо- и жидкостных средах. / В. Е. Накоряков, Б. Г. Покусаев, И. Р. Шрейберг // Новосибирск. Изд-во ИФТ АН СССР. – 1983. – 237 с.
17. Мэзон, У. Физическая акустика / У. Мэзон // Методы и приборы ультразвуковых исследований, М.: Мир. – 1966. – Т.1 – С. 327-397.
18. Розенберг Л. Д. Мощные ультразвуковые поля / Л. Розенберг, издательство: Наука, 1968. — 268 с.
19. Воллернер Н. П. Радіоприймальні пристрої: Навч. посібник. – К. : Вища шк., 1993. – 391с. – Рос. ISBN 5-11-004060-5
20. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. – М.: Сов.энцикл., 1979. – 400с.
21. Hsieh D. Y., Plesset M. S. On the propagation of sound in a liquid containing gas bubbles // Phys.Fluids. – 1961. – 4, N 8. – P. 970–975.
22. Бэтчелор Г. К. Волны сжатия в суспензии газовых пузырьков в жидкости // Механика: Сб. переводов иностранных статей. – 1968. – 3(109). – С. 65–89.

23. Ноздрев, В.Ф. Молекулярная акустика [Текст] : учеб. / В.Ф. Ноздрев, Н.В. Федорищенко. – М. : Высшая школа, 1974. – 288с. – Библиогр. : с. 286 – 288.
24. Патент України на винахід UA92949, МПК – 2011.01. Спосіб вимірювання швидкості поширення ультразвукових коливань у середовищах, що рухаються [Текст] / Сидоров Г.И. (Украина) G01N29/02; заявл. 05.01.2009 ; опубл. 27.12.2010, Бюл. No 24.– 3 с.
25. Красненко, Н.П. Акустическое зондирование атмосферы [Текст] / Н.П. Красненко. – Новосибирск : Наука, 1986. – 168
26. Behrend O. A. K., Schubert H. Influence of continuous phase viscosity on emulsification by ultrasound // Ultrason. Sonochem.– 2000.– 7, N 2.– P. 77–85.
27. Перник А.Д. Проблемы кавитации. – Л.: Судостроение, 1966. – 439с.
28. Шутилов В.А. Основы физики ультразвука: Учеб. пособие. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1980. – 280 с.
29. Neppiras E.A. Acoustic cavitation // Phys. Repts. – 1980. – V. 61, N 3. – P. 159 – 251.
30. Козырев С.П. Гидроабразивный износ металлов при кавитации. – М.: Машиностроение, 1971. – 240 с.
31. Юдаев В.Ф. Гидромеханические процессы в роторных аппаратах с модуляцией проходного сечения потока обрабатываемой среды // Теор. основы хим. технол. – 1994. – Т. 28, № 6. – С. 581 – 590.

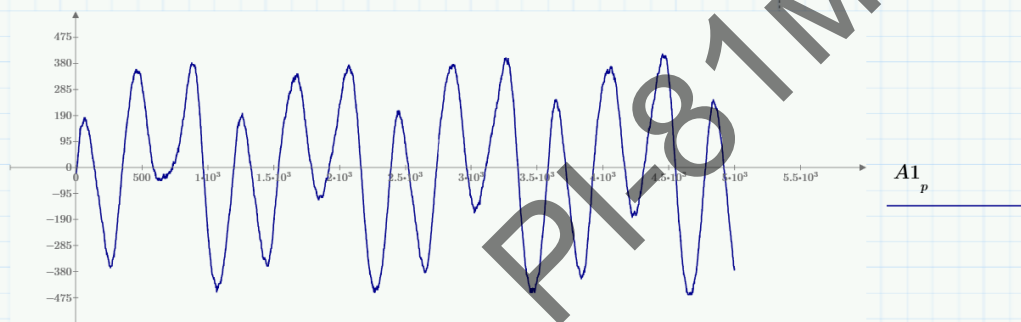
ДОДАТОК А

```
A:=READTEXT("D:\1.txt","delimited","\t","9-")
```

```
A1:=READTEXT("D:\2.txt","delimited","\t","9-")
```

```
p:=0..5008
```

```
A=
[ -8 |
  -8 |
   0 |
  -8 |
  -8 |
   0 |
   8 |
   0 |
   8 |
   0 |
   8 |
   8 |
   : ]
```



```
FR:=dft(A)
```

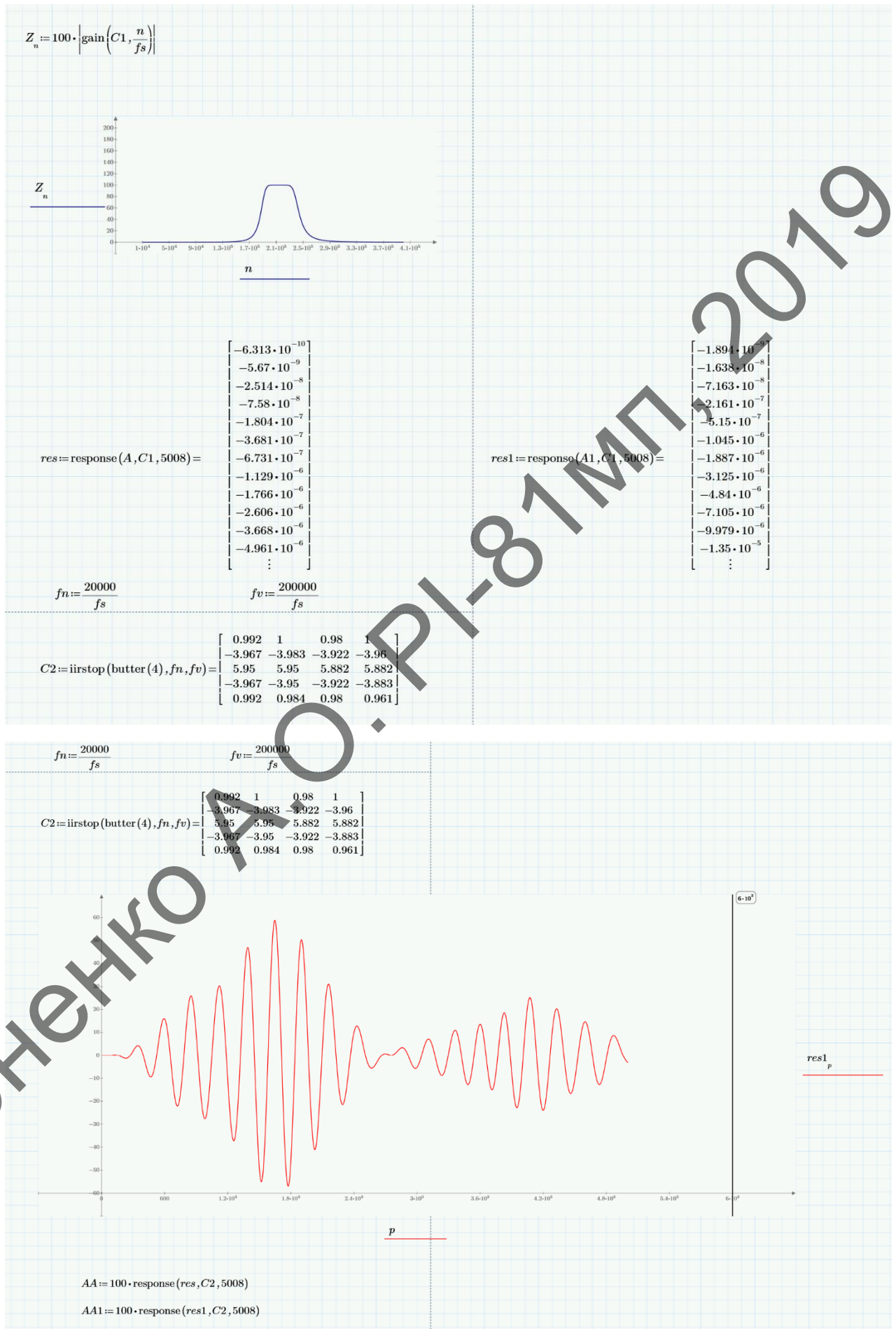
```
N:=4
```

```
fs:=52.6*106
```

```
f1:=190000/fs=0.004    f2:=240000/fs=0.005
```

```
C1:=iirpass(butter(N),f1,f2)
```

```
C1=
[ 8.898*10-6  1  8.869*10-6  1 ]
[ 0          -3.994  0  -3.988 ]
[ -1.78*10-5  5.984 -1.774*10-5  5.964 ]
[ 0          -3.985  0  -3.966 ]
[ 8.898*10-6  0.995  8.869*10-6  0.989 ]
```





ДОДАТОК Б

Напруга на випромінювачі

$$U := \begin{bmatrix} 0 \\ 17 \\ 22 \\ 27 \\ 35 \end{bmatrix}$$

Швидкість звуку

$$V := \begin{bmatrix} 1453.9 \\ 1318.9 \\ 1225.5 \\ 1195.3 \\ 1163.9 \end{bmatrix}$$

$$c := \text{polyfitc}(U, V, 2) = \begin{bmatrix} \text{"Term"} & \text{"Coefficient"} & \text{"Std Error"} & \text{"95\% CI Low"} & \text{"95\% CI High"} & \text{"VIF"} & \text{"T"} & \text{"P"} \\ \text{"Intercept"} & 1.458 \cdot 10^3 & 28.473 & 1.336 \cdot 10^3 & 1.581 \cdot 10^3 & \text{NaN} & 51.209 & 1.906 \cdot 10^{-4} \\ \text{"A"} & -11.123 & 3.383 & -25.68 & 3.434 & 9.579 & -3.288 & 0.959 \\ \text{"AA"} & 0.07 & 0.095 & -0.341 & 0.481 & 9.579 & 0.732 & 0.27 \end{bmatrix}$$

експериментальні точки та їх інтерполяція

$$v(u) := c_{1,1} + c_{2,1} \cdot u + c_{3,1} \cdot u^2$$

$$u := 0, 0.5 \dots 40$$

