

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу
Факультет автоматизації та енергетики
Кафедра інформаційно- вимірювальних технологій та
енергетичного менеджменту

Пронь Станіслав Русланович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 620.179

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розроблення установки для контролю шуму у виробничих приміщеннях

(назва роботи)

(назва освітньої програми)

Спеціальність 152- Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності)

**Робота містить результати власних досліджень, використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне
джерело:**

Здобувач освітнього ступеня

Пронь Станіслав Русланович

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник
доцент

Біліщук Віктор Борисович..., канд. техн. наук,

(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий
ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ІВТЕМ

Доц. _____ **Цих В. С.**
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

м. Івано-Франківськ – 2026

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
 Факультет автоматизації та енергетики
 Кафедра інформаційно- вимірювальних технологій та енергетичного
 менеджменту
 Освітній рівень перший бакалаврський
 Спеціальність 152-Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри ІВТЕМ

В. С. Цих
 « » 06. 2026 р.

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Пронь Станіслав Русланович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1.Тема роботи: Розроблення установки для контролю шуму у виробничих приміщеннях

Керівник роботи, т Біліщук Віктор Борисович., к. т. н., доцент
 (прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «13»05. 2026року
 № 215/7

2. Строк подання студентом закінченого проекту (роботи) 15.06.2026 р.

3.Вихідні дані до проекту (роботи): об'єкт контролю – виробничі приміщення;

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):_аналіз методів контролю; теоретичне обґрунтування вибраного методу; розроблення структурної схеми установки; розроблення електричної принципової схеми установки; метрологічний аналіз; розроблення заходів охорони праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):_ 1. БР.МТ-09.00.00.001. Схеми розташування точок виміру

2. БР.МТ -09.00.00.002. Схема вимірювання шуму у вільному звуковому полі. 3. БР.МТ -09.01.02.000ЕЗ: Фільтр з вибіркоким підсилювачем. Схема електрична принципова. 4. БР.МТ -09.01.01.000. Підсилювач. Схема електрична принципова . 5. БР.МТ -09.01.02.000 СК: Блок. Фільтрів. Складальне креслення. 6. БР.МТ -09.01.02.001. Плата

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Кривенко Г.М.		

7. Дата видачі завдання_15.05.2026 р. _

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строки виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
	Аналіз методів контролю	15.05.26 – 20.05.26	
	Теоретичне обґрунтування методу	20.05.26– 25.05.26	
	Розроблення структурної схеми установки	25.05.26– 26.05.26	
	Розроблення електричної принципової схеми установки	27.05.26– 30.05.26	
	Розроблення конструкції вузлів	30.05.26– 05.06.26	
	Метрологічний аналіз	05.06.26– 10.06.26	
	Розроблення заходів охорони праці	10.06.26– 15.06.26	

Здобувач освітнього ступеня

_____ Пронь С.Р.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____

Біліщук В.Б.

(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота: 76 с., 9 рис., 8 табл., додатки,
17 джерела, 7 аркушів креслень.

Розглянуто характеристики та класифікація шумів. Описано стандартні методи вимірювання шумових характеристик джерел шумів. Зроблено аналіз відомих методів визначення рівня шуму у виробничих приміщеннях.

Розглянуто математичний опис шуму. Удосконалено методику вимірювання шумових характеристик джерела шуму. Розраховано блок фільтра шумоміра з попереднім підсилювачем. Розроблено його друковану плату і складальне креслення.

Здійснено метрологічний аналіз методики вимірювання шумів розглянуто динамічну похибку, її суть і значення і розраховано похибку фільтра шумоміра.

Розроблено безпечні умови праці. Розраховано освітленість приміщення (лабораторії), де проводяться вимірювання рівнів шумів джерел шумів та звукопоглинальні засоби.

Ключові слова: шум, характеристики шуму, вимірювання, камера, виробничі приміщення.

ABSTRACT

Magister's work: 91 pages, 64 formulas, 10 figures, 12 tables, 4 applications, 34 sources, 8 sheets of drawings.

Object of study - liquids and solutions of surfactants.

Purpose - to develop a device for measuring the surface tension at the interface liquid - air.

The method of study - mathematical modeling of bubble formation pressed into the test liquid.

The analysis of known methods for the determination of surface tension and selected method of pressed bubble chosen is the one that can give information about the surface tension for a long period of time.

Describe the device is designed to determine surface tension on the border of the contact of liquids and solutions of surfactants with air. Designed by the functional schematic and assembly drawing of device and method of using measurements of its surface tension.

Conducted a metrological evaluation of methods which used and the developed device and determine its aggregate error. Shows the safety rules and describes the threats to the health of the operator during operation of the device for measuring the surface tension at the interface liquid - air.

Keywords: surface tension, squeeze the bubble method, surfactants, device measurements.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Аналіз методів вимірювання шумових характеристик джерел шуму	9
1.1 Метод вільного звукового поля	13
1.2 Метод відбитого звукового поля	15
1.3 Метод зразкового джерела шуму.....	17
1.4 Орієнтовний метод зміни шумових характеристик.....	17
2 Удосконалення методики вимірювання шуму в умовах	21
2.1 Математичні методи опису шуму.....	21
2.1.1 Закони розподілу імовірностей випадкових функцій.....	21
2.1.2 Математичне очікування випадкової функції.	28
2.1.3 Дисперсія випадкової функції.....	31
2.1.4 Енергетичний спектр випадкового процесу чи спектр Хінчина-Вінера.	32
2.2 Розробка удосконаленої методики	38
2.3 Розробка електричної принципової схеми фільтра шумоміра	45
2.3.1 Розрахунок підсилювача шумових сигналів	45
2.3.2 Розрахунок фільтра шумоміра	57
2.4 Розробка конструкції блоку фільтра шумоміра	63
3 Метрологічний аналіз удосконаленої методики вимірювання шуму.....	72
3.1 Теоретичні основи метрологічного аналізу розробленого методу	72
3.2 Розрахунок похибки блоку фільтра.....	77
4 Охорона праці	91
5.1 Значення охорони праці для забезпечення безпечності та здорових умов праці	91
5.2 Аналіз потенційних небезпек і шкідливостей.....	92
5.3 Забезпечення безпечних та здорових умов праці	93
5.4 Розрахунок штучної освітленості	97

Висновки

Перелік посилань на джерела

Додатки

ВСТУП

Питання боротьби з шумом в теперішній час має велике значення у всіх областях техніки, особливо в машинобудуванні, на практиці, в енергетиці. Шум на виробництві наносить велику шкоду, шкідливо діючи на організм людини і понижуючи виробничість праці. Втома робочих і операторів із-за сильного шуму збільшує число помилок при роботі, сприяє виникненню травм. Нерідко і в побуті людина підпадає дії шуму недопустимо високих рівнів. Тому боротьба з шумом представляється важливою задачею. Дійсно, людське вухо, в термінах електроніки, є нелінійним перетворювачем звукових коливань і відіграє роль складного смугового фільтра (навіть цілого комплексу фільтрів): гучність низькочастотних, середньочастотних і високочастотних тональних звуків з однаковим рівнем звукового тиску в суб'єктивному сприйнятті буде різною (тон середньої частоти здається голоснішим, ніж тони низької та високої частот). Головною проблемою на шляху отримання конкретних кількісних оцінок став, так сказати, людський фактор, бо шум - явище більш психофізичне, ніж чисто фізичне. Тому для кількісних оцінок шуму необхідно було прийняти до уваги не тільки фізичні якості самого явища, але і його сприйняття людиною і вплив на організм. Врахувати психофізику шуму в його кількісних оцінках можна тільки дослідним шляхом.

Міжнародні стандарти, що визначають засоби і методи вимірювання шуму, появились відносно недавно - в кінці 60-х років. Але вони стали результатом клопітливої тривалої праці багатьох досліджувачів.

На початку 30-х років групою американських вчених були проведені важливі практичні дослідження залежності суб'єктивної гучності звуку від його частоти. Результатом цих досліджень стало

сімейство кривих, які показують різницю рівнів інтенсивності звуку для чистих тонів, які здаються однаково голосними. В подальшому ці криві отримали назву контурів гучності (друга назва - криві Флетчера-Менсона).

Отже шум - це будь-який небажаний для людини звук. В якості звуку ми сприймаємо пружні коливання, що поширюються хвилеподібно у твердому, рідкому і газоподібному середовищі. Звукові хвилі виникають при порушенні стаціонарного стану середовища внаслідок дії на неї будь-якої збуреної сили. Частинки середовища при цьому починають коливатися відносно положення рівноваги, причому швидкість таких коливань значно менша швидкості поширення хвилі (швидкості звуку).

Звукове поле - це область простору, в якому поширюються звукові хвилі. В кожній точці звукового поля тиск і швидкість руху частинок повітря змінюються в часі. Різниця між миттєвим значенням повного тиску і середнім тиском, яке спостерігається в не збудженому середовищі, називається звуковим тиском.

Величини звукового тиску і інтенсивності звуку, з якими приходится мати справу в практиці боротьби з шумом, можуть змінюватися у широких межах. Ясно, що користуватися такими цифрами не зручно. Найбільше ж важлива та обставина, що вухо людини здатне реєструвати відносну зміну інтенсивності, а не абсолютну. Відчуття людини, яке виникає при різному роді збудженнях, частково при шумі, пропорційні логарифму якості енергії збуджувача. Тому були введені логарифмічні величини - рівні звукового тиску і інтенсивності.

Шуми (рівень звукового тиску) вимірюють шумомірами, які розрізняють за класами (є чотири класи шумомірів). Одною із вимог до шумомірів представляється наявність в ньому технічних засобів частотного аналізу шуму. На практиці переважно обмежуються аналізом шуму в октавних смугах частот, і більшість сучасних шумомірів мають влаштовані октавні фільтри, які дозволяють проводити такий аналіз.

У приладобудуванні джерелами шуму можуть бути: машини і

механізми - механічний шум; електромагнітні пристрої - електромагнітний шум; витік рідин і газів - аерогідродинамічний шум.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ШУМОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЖЕРЕЛ ШУМУ

Шумом називається будь-який небажаний для людини звук, який заважає сприйняттю корисних сигналів. В якості звуку сприймаються пружні коливання, що розповсюджуються хвилеподібно у твердому, рідкому та газоподібному середовищі. Звукові хвилі виникають при порушенні стаціонарного стану середовища внаслідок дії на нього будь-якої збуджуючої сили.

Шуми класифікують наступним чином:

1) За характером спектра. В свою чергу шуми поділяються на:

а) широкосмугові з неперервним спектром, ширина яких більша за одну октаву;

б) тональні, в спектрі яких є виразні дискретні тони;

2) За часовими характеристиками шуми поділяються на:

а) постійні, рівень звуку яких за 8-годинний робочий день змінюється в часі не більше ніж на 5 дБ А при вимірюваннях на часовій характеристиці “Повільно” шумоміра за ДСТУ ГОСТ 17187-81;

б) непостійні, рівень звуку яких за 8-годинний робочий день змінюється в часі більше ніж на 5 дБ А при вимірюваннях на часовій характеристиці “Повільно” шумоміра [1].

Непостійні шуми поділяються на:

- коливні, рівень звуку яких безперервно змінюється в часі;

- перервні, рівень звуку яких ступінчасто змінюється (на 5 дБ А і більше), причому тривалість інтервалів, під час яких рівень залишається постійним, складає 1с і більше;

- імпульсні, що складаються з декількох звукових сигналів, кожний з яких тривалістю менше ніж 1с.

Звук як фізичне явище представляє собою механічне коливання збудженого середовища, який сприймає людина через орган слуху в

діапазоні частот від 16 Гц до 20 кГц, що називають звуковим діапазоном.

Під час звукових коливань у повітрі створюються області пониженого і підвищеного тиску, які визначають звуковий тиск. Звуковим тиском називають різницю між миттєвим значенням повного тиску і середнім тиском у незбуреному середовищі.

Для частотної характеристики шуму звуковий діапазон по частоті розбивають на смуги з визначеним відношенням верхньої граничної частоти f_v до нижньої f_n . При подвоєнні частоти висота звуку у будь-якому інтервалі частот змінюється на одну і ту ж саму величину, яка називається октавою.

Октавна смуга - це смуга частот, в якій верхня гранична частота f_v рівна подвійній нижній частоті f_n , тобто $f_v/f_n=2$.

Октавна смуга характеризується середньгеометричною частотою $f_{cp} = \sqrt{f_n \cdot f_v}$. Деколи використовується і півоктавна смуга, коли $f_n/f_v=\sqrt{2}$, або частіше триоктавна $f_n / f_v = \sqrt[3]{2}$

При поширенні звукової хвилі у просторі в середовищі відбувається перенос енергії. Кількість перенесеної енергії визначається інтенсивністю звуку. Інтенсивність звуку - середній потік енергії в будь-якій точці середовища за одиницю часу, що відноситься до одиниці площі поверхні, нормальною до напрямку поширення хвилі.

Характеристикою джерела шуму служить звукова потужність P , яка визначається загальною кількістю звукової енергії, що випромінює джерело шуму у навколишній простір за одиницю часу. [2]

Найменша інтенсивність I_0 і звуковий тиск P_0 , які сприймає людина, називається порогом слуху.

Порогові значення I_0 і P_0 залежать від частоти звуку. Слуховий орган людини сприймає у вигляді слухового звуку коливання середовища, що мають частоту від 16 до 20000 Гц.

Звук частотою від 20000 Гц і вище називають ультразвуком.

Ультразвуковий діапазон частот розділяють на низькочастотні коливання (від $1,2 \cdot 10^4$ до $1,0 \cdot 10^5$ Гц), що поширюються повітряним і контактним шляхом, та високочастотні коливання (від $1,0 \cdot 10^5$ до $1,0 \cdot 10^9$ Гц), що поширюються тільки контактним шляхом.

Інфразвук представляє собою механічні коливання, що поширюються у середовищі з частотами нижче ніж 16 Гц. В повітрі інфразвук мало поглинається і тому може поширюватися на більшу відстань, ніж ультразвук. [2]

При звуковому тиску $2 \cdot 10^2$ Па і інтенсивності звуку 10 Вт/м^2 виникають больові відчуття (больовий поріг). Між порогом слуху і больовим порогом лежить область слуху. Різниця між больовим порогом і порогом слуху дуже велика. Тому вчений А.Г.Белл запропонував логарифмічну шкалу. Логарифмічна величина, що характеризує інтенсивність шуму або звуку отримала назву рівня інтенсивності L шуму або звуку, яка вимірюється у безрозмірних величинах бел (Б):

$$L = \lg (I/I_0) \quad (1.1)$$

де I - інтенсивність звуку у даній точці;

I_0 - інтенсивність звуку, що відповідає порогу слуху.

Вухо людини реєструє на величину в 10 раз меншу, ніж бел, тому поширення отримала одиниця децибел (дБ), яка рівна 0,1 Б [3].

Для постійних шумів нормування ведеться по граничному спектру шуму. Граничним спектром називається сукупність нормативних рівнів звукового тиску у восьми октавних смугах частот із середньгеометричними частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

Для орієнтовної оцінки допускається в якості постійного широкопasmового шуму на робочих місцях приймати рівень звуку в дБА, що визначається по так званій шкалі А шумоміра з корекцією, яка полягає в тому, що вводяться поправки, що враховують залежність чутливості слуху від частоти звуку.

Основними фізичними характеристиками шуму є: звуковий тиск, інтенсивність звуку і частота. Допускається застосовувати інші шумові характеристики, установлені стандартами на норми і методи виміру шумових характеристик для машин конкретних виглядів. Для машин, звукова потужність яких не може бути визначена, а також для машин, що укомплектовують тільки на підприємствах-споживачах, як шумову характеристику допускається використовувати рівні звукового тиску в октавних смугах зі середньгеометричними частотами 63—8000 Гц у контрольних точках. У число контрольних точок (не менш трьох) повинне входити робоче місце оператора.

Існує 4 стандартних методів визначення шумових характеристик джерел шуму [4]:

1) метод вільного звукового поля; застосовується в заглушених камерах з твердою підлогою і в приміщеннях з великим звукопоглинанням або у відкритому просторі;

2) метод відбитого звукового поля; використовується в ревербераційних камерах;

3) метод зразкового джерела шуму; застосовується в звичайних приміщеннях, цехах і у ревербераційних камерах;

4) орієнтовний метод зміни шумових характеристик на відстані 1 м від зовнішнього контуру джерела шуму; використовується в приміщеннях із великим звукопоглинанням, у відкритому просторі.

Кожний з цих методів має свою особливість визначення шумових характеристик джерел шуму. Найбільш точними являються перші два, причому основним методом визначення шумових характеристик джерел шуму представляється випробування у вільному звуковому полі. Проаналізуємо призначення перелічених методів визначення рівня звукової потужності.

Методики вимірювання шумів та розміщення точок вимірювання шумів зображені на арк. БР.МТ-09.00.00.001.

1.1 Метод визначення шумових характеристик джерел шуму в заглушеній камері

Вільне звукове поле характерне тим, що на досить великій відстані r від джерела, більшій довжини звукової хвилі λ і розмірів джерела, звукові хвилі поширюються так, що інтенсивність звуку убиває назад пропорційно квадрату відстані від джерела. Рівень звукового тиску знижується на 6 дБ при подвоєнні відстані від джерела:

$$I_1 = P/S_1 = P/(4\pi r_1^2); \quad (1.2)$$

$$I_2 = P/(4\pi r_2^2) = P/[4\pi(2r_1)^2]; \quad (1.3)$$

$$\Delta L = 10 \lg(I_1/I_2) = 10 \lg 4 = 6 \text{ дБ}. \quad (1.4)$$

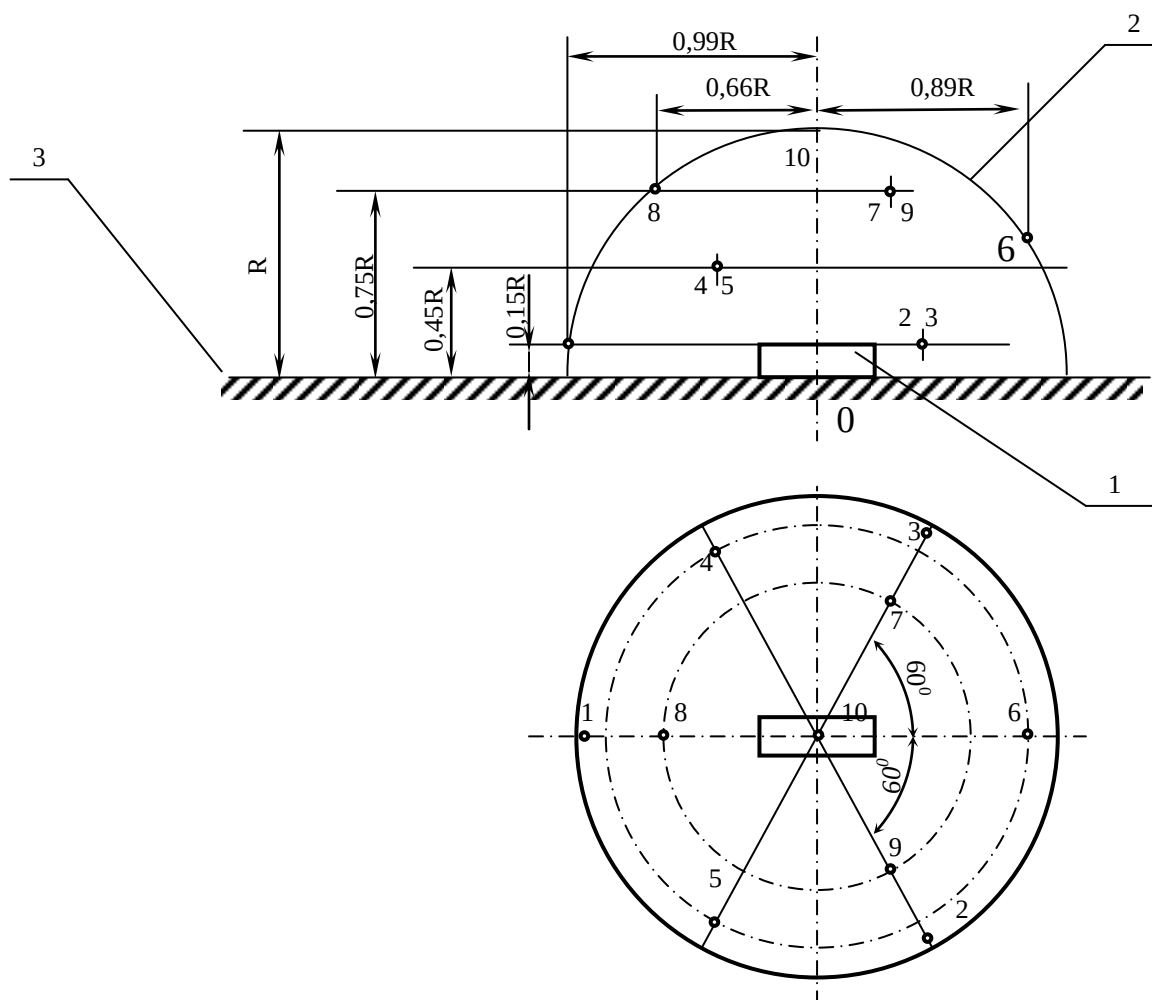
де P – звуковий тиск; S – площа вимірювальної поверхні; r – відстань від джерела шуму до точки вимірювання, $r_2 = 2r_1$.

Для створення умов вільного звукового поля, якщо немає можливості проводити вимірювання у відкритому просторі, створюють спеціально заглушені камери, що дозволяють здійснювати вимірювання незалежно від зовнішніх умов. Заглушеною камерою називається звуко- і віброізолюване приміщення, у якому є умови, близькі до умов поширення звуку у вільному просторі. У дод. А на рис. А1 показана одна з діючих заглушених камер. Внутрішня поверхня камер облицьовується спеціальними звуковбирними клинами, що забезпечують плавний перехід від малого акустичного опору повітря в камері до великого акустичного опору стін. У результаті майже цілком поглинається падаючий на стіни звук (відбивання відсутнє).

Випробувальне джерело шуму встановлюють на підлозі заглушеної камери із звуковідбиваючою (твердою) площиною чи поміщують у середині камери зі звукопоглинаючою площиною. Точки виміру розташовують на вимірювальній поверхні.

Вимірювальна поверхня — це умовна поверхня, що оточує машину з усіх боків (у камері зі звукопоглинаючою площиною) чи закінчується на

звуковідбиваючій площині камери. Як вимірювальну поверхню приймають сферу в камерах зі звукопоглинаючою площиною і напівсферу – у камерах зі звуковідбиваючою площиною (рис. 1.1).



R – радіус напівсфери; 1 – випробувальне джерело шуму; 2 – вимірювальна поверхня; 3 – звуковідбиваюча площина

Рисунок 1.1 – Схема розташування точок вимірювання на напівсферичній вимірювальній поверхні

Радіус сферичної чи напівсферичної вимірювальної поверхні повинен бути більшим чи дорівнювати подвоєному максимальному розміру паралелепіпеда, ($R \geq 2l_{\max}$), але не меншим ніж 1м. Паралелепіпед, що огинає джерело шуму, установлень на твердій площині, — це умовна поверхня, що також оточує джерело шуму і закінчується на

звуківідбиваючій площині. Розміри паралелепіпеда повинні приблизно відповідати габаритним розмірам джерела шуму. При визначенні їх не слід враховувати частини джерела, що істотно не випромінюють звукової енергії (важелі, кінці валів і т.п.), але варто враховувати траєкторії шуму, описувані частинами джерела, що рухаються при роботі.

Розміри вимірювальної поверхні повинні бути такі, щоб точки виміру були розташовані в зоні вільного звукового полюси камери. Точки виміру розміщують так, як вказано на рис. 1.1.

Шуканий рівень звукової потужності L_p визначають за результатами вимірів середнього рівня звукового тиску L_{cp} на вимірювальній поверхні S (m^2) (див. додаток А), за якої звичайно приймається площа півсфери, тобто $S=2\pi r^2$

(r — відстань від центра джерела до точок вимірів):

$$L_p=L_{cp}+10\lg(S/S_0), \quad (1.5)$$

де $S_0=1 m^2$.

Аналогічно визначається корегований рівень звукової потужності L_{pA} .

$$L_p=L_{Acp}+10\lg(S/S_0). \quad (1.6)$$

де L_{Acp} —середній рівень звуку на вимірювальній поверхні.

1.2 Метод визначення шумових характеристик джерел шуму в ревербераційній камері

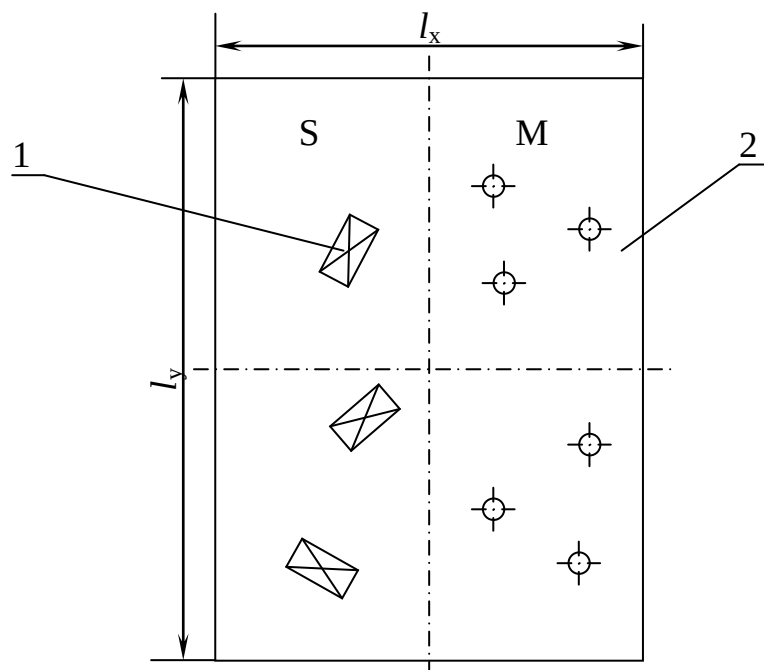
У тих випадках, коли не потрібно знання характеристик спрямованості випромінювання шуму, шумові характеристики визначають у відбитому звуковому полі. Таке поле характеризується сталістю рівнів звукового тиску в різних точках приміщень, у якості яких звичайно використовують ревербераційні камери чи звичайні гучні приміщення.

Ревербераційна камера представляє собою приміщення об'ємом 60—1000 m^3 з непаралельними внутрішніми огороженнями (додаток А, рис.А2), поверхня яких є гарним відбивачем звуку (коефіцієнт

звукопоглинання а не перевищує 0,05).

Випробувальне джерело встановлюється в одному або декількох положеннях, на відстані не менше 1,5 м від стін ревербераційної камери. Точки вимірювання розміщуються в області відбитого звукового поля. Розміщення точок зображене на рис. 1.2.

Розміри приміщення розраховуються згідно [5].



S – місця розташування джерел шуму; M – точки виміру;

P – обертаючий розсіювач; 1 – випробувальне джерело шуму;

2 – ревербераційна камера

Рисунок 1.2 – Схема розташування точок виміру шумових характеристик у ревербераційній камері

Рівень звукової потужності (дБ) розраховують згідно формули

$$L_p = L_{cp} + 10 \lg(A/A_0) - 6, \quad (1.7)$$

де L_{cp} – середній рівень звукового тиску в камері; A – еквівалентна площа звукопоглинання камери, m^2 , що визначається експериментально по вимірах часу реверберації T_p приміщення і дорівнює $A = 0,16V/T_p$ (V – обсяг приміщення, m^3); $A_0 = 1 m^2$.

Час реверберації T_p – час, протягом якого рівень звукового тиску в приміщенні зменшується на 60 дБ після припинення дії джерела шуму.

1.3 Метод визначення шумових характеристик джерел шуму в ревербераційному приміщенні

Випробувальне джерело встановлюють у середині випробувальної площадки, на звуковідбиваючій площині. Точки вимірювання розташовують на вимірювальній поверхні.

У якості вимірювальної поверхні приймають напівсферу або вимірювальну поверхню, яка розміщена на одній і тій же вимірювальній відстані d від випробувального джерела шуму. Точки виміру розміщують так, як вказано на рис. 1.3.

При цьому наближеному методі рівень звукової потужності машини визначають шляхом порівняння шуму машини із шумом зразкового джерела, рівень звукової потужності $L_{p, \text{звор}}$ якого відомий. Вимірювши середні рівні звукового тиску машини $L_{\text{ср}}$ і зразкового джерела $L_{\text{звор}}$ у тих самих точках, рівень звукової потужності (дБ) потім розраховують за формулою

$$L_p = L_{p, \text{звор}} + L_{\text{ср}} - L_{\text{звор}} . \quad (1.8)$$

1.4 Метод визначення шумових характеристик джерел шуму

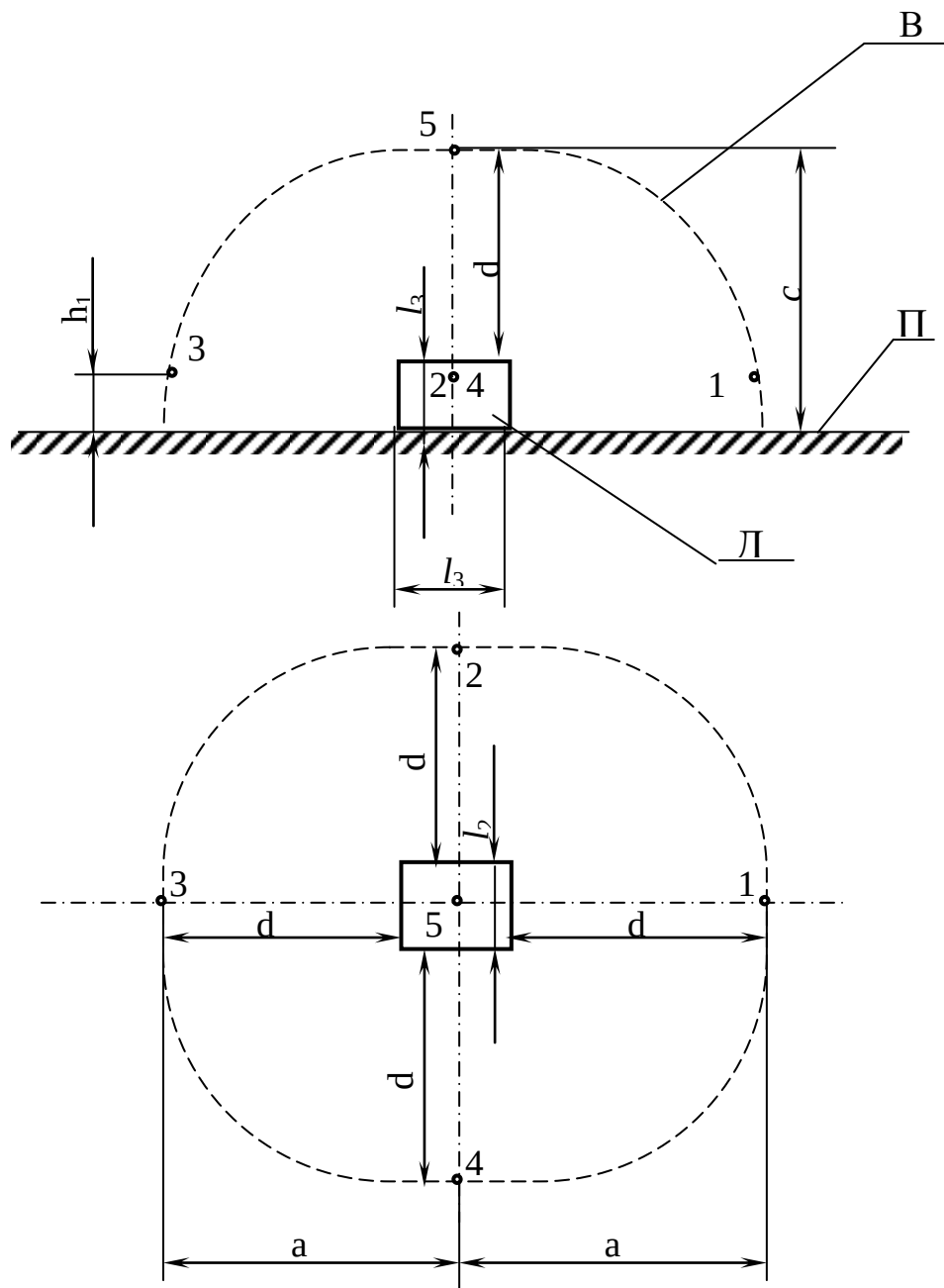
Суть методу полягає в тому, що встановлюють випробувальне джерело в середині випробувальної площадки, на звуковідбиваючій площині. Точки виміру розташовують на вимірювальній поверхні так, як вказано на рис. 1.3.

В якості вимірювальної поверхні приймають напівсферу, або вимірювальну поверхню, яка розміщена на одній і тій же вимірювальній відстані d від випробувального джерела шуму.

Всі величини, які необхідні для подальших вимірювань та розрахунків, знаходяться згідно [4].

Даний метод представляється орієнтовним. Він використовується в

основному для визначення рівня звукової потужності великих машин.



S – вимірювальна поверхня; 1-5 – точки вимірювань; D – джерело шуму;
 l_1, l_2, l_3 – розміри паралелепіпеда, що огинає джерело шуму; d –
 вимірювальна відстань; a, b, – розміри вимірювальної поверхні; h_1 –
 відстань від випробувальної площадки до точки виміру; B – вимірювальна
 площадка

Рисунок 1.3 – Схема розташування точок виміру характеристик шуму згідно орієнтовного методу на півсферичній вимірювальній поверхні

Рівень звукової потужності (дБ) визначають за формулою

$$L_p = L_{cp} + 10 \lg (S/S_0) , \quad (1.9)$$

де L_{cp} – середній рівень звукового тиску на вимірювальній поверхні S , що визначається згідно [4].

Згідно з порівняльною характеристикою (див. додаток В) методів вимірювання шумових характеристик джерел шумів можемо сказати, що методи між собою дуже подібні. У кожному методі є багато переваг і недоліків.

Перший метод визначення шумових характеристик джерел шуму в заглушеній камері, так само як і метод визначення шумових характеристик джерел шуму в ревербераційній камері, передбачає вимірювання шуму, при дотриманні ідеальних умов, шумомірами, що застосовуються в якості зразкових засобів вимірювання. Також у цих методах для вимірювання використовуються шумоміри для точних лабораторних і натуральних вимірювань.

В даному розділі було розглянуто характеристики та класифікація шумів. Також описано стандартні методи вимірювання шумових характеристик джерел шумів. Ці методи значною мірою відрізняються один від одного в залежності від умов контролю, вимог до характеру, точності отриманої інформації. За допомогою даних методів здійснюється контроль механізмів (машин, двигунів та ін) при їх експлуатації на випромінювання допустимих рівнів шуму, безпечних для людини. Вимірювання шуму проводять з метою визначення рівнів звукового тиску на робочих місцях і відповідність їх діючим нормам, а також для розробки і оцінки ефективності різних засобів по зниженню шуму.

Основним пристроєм для вимірювання шумів представляється шумомір. В залежності від точності шумоміри розділяють на 4 класи. В середині шумоміра вмонтовано фільтр, за допомогою якого можна визначити спектр шуму. Для більш детального дослідження джерел шуму часто застосовують октавні фільтри і вузькосмугові аналізатори.

1.5 Постановка задачі на бакалаврську роботу

На основі проведеного аналізу методів вимірювання шуму потрібно теоретично обґрунтувати метод вимірювання шуму, тобто зробити математично метод опису шуму, встановити закони розподілу імовірностей випадкових функцій, визначити математичне очікування та дисперсію випадкової функції. Виходячи з теоретичного обґрунтування розробити удосконалену методику контролю шуму, електричну принципову схему фільтра шумоміра з його розрахунком та розробити конструкцію блоку фільтра шумоміра.

Здійснити метрологічний аналіз удосконаленої методики вимірювання шуму та визначити похибки блоку фільтра.

Зробити аналіз потенційних небезпек і шкідливостей та розробити забезпечення безпечних та здорових умов праці із розрахунку штучної освітленості.

2 УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИМІРЮВАННЯ

2.1 Математичні методи опису шуму

Процес реєстрації сигналу шумів вимагає попереднього знання характерних ознак шуму. Використання цих ознак дозволяє вирішити задачу виявлення - відповісти на запитання про наявність чи відсутність шуму. Звичайно відповідь носить імовірнісний характер, тобто існує визначена імовірність і помилкове рішення.

З погляду математика шум – це випадкова функція, що у результаті досвіду може прийняти той чи інший конкретний вид, який саме - заздалегідь невідомо.

Конкретний вид, прийнятий випадковою функцією в результаті досвіду, називається реалізацією випадкової функції. Випадкову функцію не можна зобразити у вигляді графіка, накреслити можна лише її конкретну реалізацію. Аргументом випадкової функції можуть бути не тільки часові, але і просторові координати. На практиці зустрічаються також випадкові функції, що залежать не від одного аргументу, а від декількох.

Розглянемо деякі математичні методи опису шуму, використовуючи як аргумент узагальнену координату χ , що в одних випадках може являти собою часову координату t , а в інших - просторові координати x і y [3].

2.1.1 Закони розподілу ймовірностей випадкових функцій

Статистичні властивості шуму в загальному випадку описуються багатомірними законами розподілу.

Нехай маємо випадкову функцію $U(\chi)$, дві конкретні реалізації якої $U_1(\chi)$ і $U_2(\chi)$ зображені на рис. 2.1.

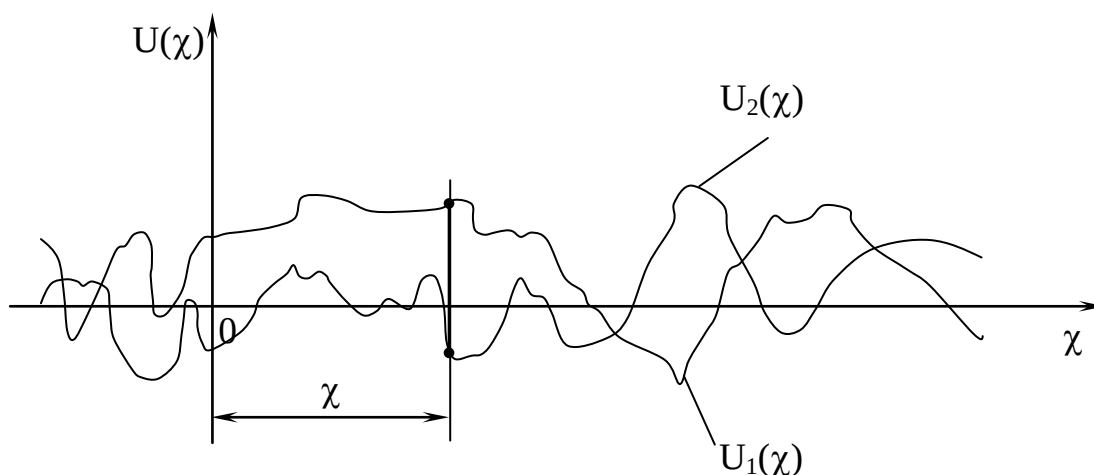


Рисунок 2.1 – Реалізації випадкової функції

Якщо зафіксувати значення аргументу χ , то випадкова функція при цьому фіксованому аргументі буде являти собою випадкову величину, що називають перетином випадкової функції. Ця випадкова величина U може приймати будь-які значення, заздалегідь невідомо - які саме.

Припускаючи, що імовірність попадання випадкової величини U у середину малого інтервалу dU пропорційна величині інтервалу, можна охарактеризувати її цією імовірністю.

$$dP = \psi(U)dU, \quad (2.1)$$

чи значенням коефіцієнта пропорційності - функцією

$$\psi(U) = \frac{dP}{dU}, \quad (2.2)$$

яку називають щільністю розподілу імовірностей випадкової величини U , чи, оскільки U є перетин випадкової функції, одномірним законом розподілу ймовірностей випадкової функції [11].

Так як безперервна випадкова величина U обов'язково має яке-небудь конкретне значення в проміжку від $-\infty$ до $+\infty$ тобто імовірність перебування її в цьому проміжку дорівнює одиниці, маємо наступну умову для функції $\psi(U)$:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(U) dU = 1, \quad (2.3)$$

яку називають умовою нормування [11].

Одномірний закон розподілу $\psi(U)$ не є вичерпною характеристикою випадкової функції $U(\chi)$. Він характеризує розподіл ймовірностей тільки для даного, хоча і довільного, значення аргументу і не відповідає на запитання про розподіл випадкових величин U для різних χ .

Більш повною характеристикою випадкової функції є двовимірний закон розподілу $\psi(U_1, U_2)$ - це закон розподілу системи двох випадкових величин $U_1=U(\chi_1)$ і $U_2=U(\chi_2)$, тобто двох довільних перетинів випадкової функції. Визначити двовимірний закон розподілу можна, задаючи імовірність dP того, що одна випадкова величина має значення, укладене між U_1 і $U_1 + dU_1$, а інша - між U_2 і $U_2 + dU_2$,

$$dP = \psi(U_1, U_2) dU_1 dU_2, \quad (2.4)$$

тоді

$$\psi(U_1, U_2) = \frac{dP}{dU_1 dU_2}, \quad (2.5)$$

причому

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \psi(U_1, U_2) dU_1 dU_2 = 1; \quad (2.6)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(U_1, U_2) dU_2 = \psi(U_1). \quad (2.7)$$

Тому що U_1 і U_2 є функціями χ_1 і χ_2 , закон розподілу іноді представляють у вигляді $\psi(U_1, U_2, \chi_1, \chi_2)$ чи відповідно $\psi(U, \chi)$.

Можна необмежено збільшувати кількість аргументів і одержувати усе більш вичерпні характеристики випадкової функції - багатомірні закони розподілу [11]. Однак оперувати з такими громіздкими характеристиками вкрай незручно.

Крім того, одержання настільки повних характеристик

досліджуваних процесів, виявляється дуже складною задачею. Тому на практиці приходится використовувати неповний набір ймовірних характеристик, обмежуючи, наприклад, одномірним чи двовимірним законом розподілу.

Закони розподілу здебільшого невідомі, однак при дуже загальних додаткових умовах у багатьох випадках вони добре апроксимуються нормальним чи Гаусовим законом розподілу [12].

В одномірному випадку щільність розподілу ймовірностей для нормального закону дорівнює

$$\psi(U) = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \right) \cdot e^{-\frac{(U-\bar{U})^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.8)$$

де σ^2 - параметр нормального закону;

$\bar{U}$ - середнє значення U , яке називають центром розсіювання.

Величина, що визначає півширину частини кривої, описуваною функцією $\psi(U)$, що включає в себе всі точки, що знаходяться вище рівня 0,606 від максимального значення, рівного $1/\sqrt{2\pi\sigma^2}$ при $U = \bar{U}$. Тому що

$$\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-a^2 x^2} dx = \frac{\sqrt{\pi}}{a}, \quad (2.9)$$

то функція $\psi(U)$ задовольняє умові нормування, тобто

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(U) dU = 1. \quad (2.10)$$

Для зручності відхилення U від середнього значення $\bar{U}$ часто виражають в одиницях величини σ , що називають стандартним чи середньоквадратичним відхиленням,

$$z = (U - \bar{U}) / \sigma = \Delta U / \sigma = u / \sigma, \quad (2.11)$$

де $\Delta U = u = U - \bar{U}$ - центроване значення випадкової величини [12].

Тоді

$$\psi(z) = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \right) \cdot e^{-\frac{z^2}{2}}, \quad (2.12)$$

причому $\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(z) dz = 1$.

Двовимірний нормальний розподіл має щільність розподілу ймовірностей вигляду

$$\psi(U_1, U_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-r^2}} \cdot e^{-\frac{1}{2(1-r^2)} \left[\left(\frac{U_1 - \bar{U}_1}{\sigma_1} \right)^2 - 2r \left(\frac{U_1 - \bar{U}_1}{\sigma_1} \right) \left(\frac{U_2 - \bar{U}_2}{\sigma_2} \right) + \left(\frac{U_2 - \bar{U}_2}{\sigma_2} \right)^2 \right]}, \quad (2.13)$$

чи

$$\psi(z_1, z_2) = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-r^2}} \cdot e^{-\frac{1}{2(1-r^2)} [z_1^2 - 2rz_1z_2 + z_2^2]}, \quad (2.14)$$

де σ_1, σ_2 - стандартні відхилення випадкових величин (перетинів випадкової функції) U_1 і U_2 ;

$\bar{U}_1, \bar{U}_2$ - середні значення випадкових величин U_1 і U_2 ;

r - коефіцієнт кореляції випадкових величин U_1 і U_2 , визначення якого приводиться нижче.

Функції $\psi(U_1, U_2)$ і $\psi(z_1, z_2)$ зв'язані співвідношенням

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \psi(U_1, U_2) dU_1 dU_2 = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \psi(z_1, z_2) dz_1 dz_2 = 1. \quad (2.15)$$

Якщо $r = 0$, то

$$\psi(z_1, z_2) = \frac{1}{2\pi} \cdot e^{-\frac{1}{2}[z_1^2 + z_2^2]} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}[z_1^2]} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}[z_2^2]}. \quad (2.16)$$

У цьому випадку двовимірна щільність розподілу ймовірностей може бути представлена у вигляді добутку двох одномірних функцій

$$\psi(z_1, z_2) = \psi(z_1) \psi(z_2),$$

що істотно спрощує її дослідження.

Разом з нормальним законом розподілу при аналізі шумів, що

пройшли через вузькосмуговий фільтр, використовується розподіл Релея, для якого

$$\psi(U) = \begin{cases} (U / \sigma_k^2) e^{-U^2 / (2\sigma_k^2)} & \text{при } U > 0 \\ 0 & \text{при } U \leq 0 \end{cases} . \quad (2.17)$$

Тому що

$$\int_0^{\infty} x^n e^{-ax^2} dx = \frac{\Gamma[(n+1)/2]}{2a^{(n+1)/2}} , \quad (2.18)$$

де Γ – гамма-функція, то при $n = 1$ і $a = 1/(2\sigma_k^2)$

$$\int_0^{\infty} x e^{-ax^2} dx = \frac{\Gamma(1)}{2a} = \frac{1}{2a} = \sigma_k^2 . \quad (2.19)$$

Отже,

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(U) dU = 1 . \quad (2.20)$$

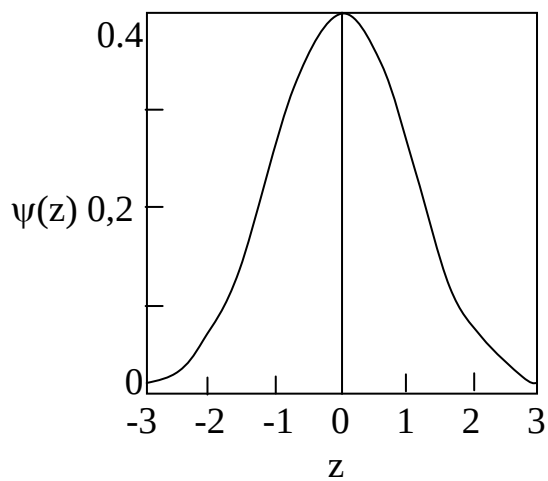
Відповідно, якщо позначити , то

$$\psi(z) = (z / \sigma_k) e^{-z^2 / 2} . \quad (2.21)$$

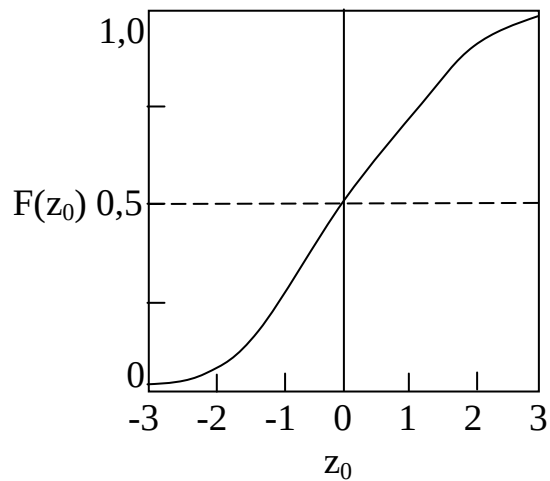
Вигляд функцій для нормального і релеєвского (при $\sigma_k = 1$) розподілів представлений на рис.2.2.

I

a)

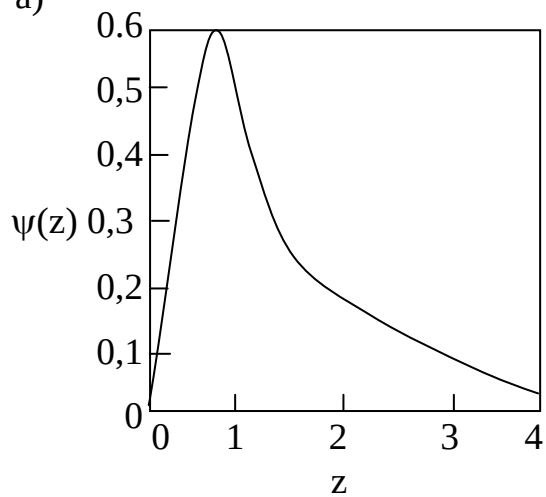


б)



II

a)



б)

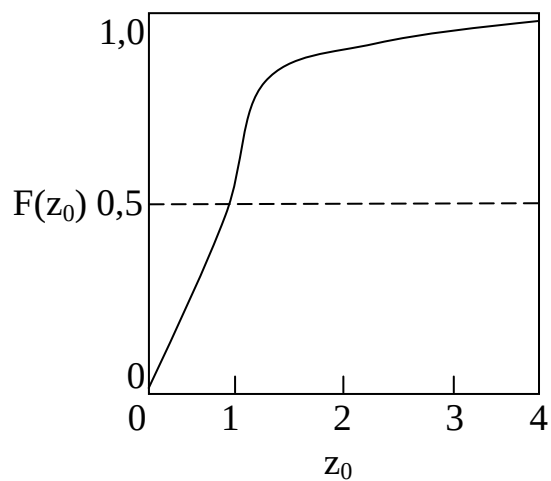


Рисунок 2.2 – Щільності розподілу ймовірностей (а) і функції розподілу ймовірностей (б) для нормального (I) і релеєвського (II) законів розподілу ймовірностей випадкових функцій

Імовірність того, що перетин випадкової функції $U(\chi)$ для аргументу χ , рівна U , не перевершить значення U_0 , дорівнює

$$P\{U < U_0\} = \int_{-\infty}^{U_0} \psi(U) dU . \quad (2.22)$$

Функцію, що задає цю імовірність, називають функцією розподілу ймовірностей перетину випадкової функції

$$F(U_0) = P\{U < U_0\} = \int_{-\infty}^{U_0} \psi(U) dU . \quad (2.23)$$

Отримане співвідношення встановлює зв'язок функції розподілу з щільністю розподілу ймовірностей перетину випадкової функції.

Очевидні також наступні співвідношення:

$$1 - F(U_0) = P\{U > U_0\} = \int_{U_0}^{+\infty} \psi(U) dU ; \quad (2.24)$$

$$F(+U_0) - F(-U_0) = P\{-U_0 < U < +U_0\} = \int_{-U_0}^{+U_0} \psi(U) dU . \quad (2.25)$$

Останнє співвідношення, що визначає імовірність того, що перетин випадкової функції $U(\chi)$ для аргументу χ , рівне U , буде знаходитися в межах від $-U_0$ до $+U_0$.

Дійсно, для нормального закону, коли $\psi(z)$ - парна функція, знайдемо

$$P\{-z_0 < z < +z_0\} = 2 \int_0^{z_0} \psi(z) dz = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{z_0} e^{-z^2/2} dz , \quad (2.26)$$

де $z = (U - \bar{U}) / \sigma$.

Отриманий вираз, який називається інтегралом імовірності Гауса, табульований.

Іноді інтегралом імовірності називають функцію

$$\text{erf}(z_0) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{z_0} e^{-z^2} dz = \Phi(\sqrt{2}z_0) . \quad (2.27)$$

Тому що в загальному випадку можна записати

$$F(U_2) - F(U_1) = P\{U_1 < U < +U_2\} = \int_{U_1}^{U_2} \psi(U) dU, \quad (2.28)$$

то при $U_1 = 0$ $F(U_1) = F(0)$. Якщо $\psi(U) = \psi(-U)$, коли $F(0) = 1/2$, знайдемо

$$F(U_2) - 0.5 = \int_0^{U_2} \psi(U) dU. \quad (2.29)$$

Отже, з огляду на те, що для нормального закону

$$\int_0^{z_0} \psi(z) dz = 0.5\Phi(z_0), \quad (2.30)$$

одержимо

$$0.5\Phi(z_0) = F(z_0) - F(0) = F(z_0) - 0.5. \quad (2.31)$$

Функція розподілу ймовірностей, що визначає імовірність того, що перетин випадкової функції не перевершить значення z_0 , дорівнює

$$F(z_0) = 0.5 [1 + \Phi(z_0)]. \quad (2.32)$$

Вигляд цієї функції для нормального і релеєвського законів розподілу представлений на рис.2.2 [11].

Часто найбільш доступними і достатніми для опису імовірнісних характеристик випадкових функцій є їхні числові параметри чи так називані моменти розподілу - математичне очікування, дисперсія і кореляційна функція.

2.1.2 Математичне очікування випадкової функції

Математичне очікування випадкової функції $U(\chi)$ представляє собою деяку середню (невипадкову) функцію, навколо якої різним чином розташовуються конкретні реалізації випадкової функції.

При кожному значенні аргументу середня функція дорівнює середньому значенню (математичному очікуванню) відповідного перетину випадкової функції.

Середнє значення перетину випадкової функції (середнє значення випадкової величини) $\bar{U}$ дорівнює сумі добутків усіх можливих значень випадкової величини (перетину випадкової функції) на імовірність цих значень, тобто Для неперервної випадкової величини

$$\bar{U} = \int_{-\infty}^{+\infty} U \psi(U) dU . \quad (2.33)$$

Математичне очікування випадкової функції можна знайти, обчислюючи $\bar{U}$ для різних значень аргументу χ [12].

При експериментальних дослідженнях імовірнісних характеристик шуму звичайно використовується інший спосіб усереднення – усереднення за аргументом χ . Середнє значення аргументу дорівнює

$$\bar{U}_{\text{арг}} = \lim_{X \rightarrow \infty} \frac{1}{2X} \int_{-X}^{+X} U(\chi) d\chi , \quad (2.34)$$

де $U(\chi)$ - одна з реалізацій випадкової функції, задана в інтервалі $\pm X$; $2X$ - досить великий інтервал, що теоретично прагне до нескінченності, а практично величина його настільки велика, що результати вимірів істотно не відрізняються від результатів, отриманих усередині ще більшого інтервалу.

У загальному випадку середнє значення для кожної реалізації буде своє і може значно відрізняється від математичного очікування випадкової функції, обчисленого як середнє з безлічі реалізацій. Однак для особливого класу випадкових функцій, що одержали назву ергодичних, середнє значення аргументу на досить великій ділянці спостереження з імовірністю, як завгодно близькою до одиниці, дорівнює середньому за багатьма спостереженнями $\bar{U} = \bar{U}_{\text{арг}}$.

2.1.3 Дисперсія випадкової функції

Дисперсія випадкової функції $U(\chi)$ представляє собою деяку не випадкову функцію, значення якої для кожного χ дорівнює дисперсії

перетину випадкової функції.

Дисперсією перетину випадкової функції (дисперсією випадкової величини) $\overline{\Delta U^2}$ називається середнє значення квадрата відхилення випадкової величини від її середнього значення

$$\overline{\Delta U^2} = \overline{(U - \bar{U})^2} = \int_{-\infty}^{+\infty} (U - \bar{U})^2 \psi(U) dU . \quad (2.35)$$

Дисперсію випадкової функції можна знайти, обчислюючи $\overline{\Delta U^2}$ для різних χ .

Так як

$$\begin{aligned} \overline{\Delta U^2} &= \int_{-\infty}^{+\infty} (U - \bar{U})^2 \psi(U) dU = \int_{-\infty}^{+\infty} U^2 \psi(U) dU - 2 \int_{-\infty}^{+\infty} \bar{U} U \psi(U) dU + \\ &+ \int_{-\infty}^{+\infty} \bar{U}^2 \psi(U) dU = \bar{U}^2 - 2\bar{U}\bar{U} + (\bar{U})^2 = \bar{U}^2 - (\bar{U})^2, \end{aligned} \quad (2.36)$$

то при $\bar{U} = 0$

$$\overline{\Delta U^2} = \bar{U}^2 . \quad (2.37)$$

Величина $\sqrt{\overline{\Delta U^2}}$ називається середньоквадратичним відхиленням (значенням) випадкової величини – перетину випадкової функції [12].

Для стаціонарної випадкової функції дисперсія, обчислена по безлічі реалізацій є постійною, тобто є просто числом, що прийнято називати дисперсією по ансамблі, у цьому випадку $\overline{\Delta U^2} = \text{const}$.

Дисперсія випадкової функції може також обчислюватися як середнє значення аргументу χ

$$\overline{\Delta U^2}_{\text{арг}} = \lim_{X \rightarrow \infty} \frac{1}{2X} \int_{-X}^{+X} [U(\chi) - \bar{U}]^2 d\chi . \quad (2.38)$$

У випадку ергодичної випадкової функції дисперсії, обчислені як середнє значення аргументу і по ансамблі, співпадають: $\overline{\Delta U^2} = \overline{\Delta U^2}_{\text{арг}}$.

Для нормального закону розподілу за середньоквадратичним значенням є стандартне відхилення σ , а дисперсією — σ^2 . Дійсно, у цьому випадку маємо

$$\overline{\Delta U^2} = \int_{-\infty}^{+\infty} (U - \bar{U})^2 \psi(U) dU = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \int_{-\infty}^{+\infty} (U - \bar{U})^2 e^{-(U - \bar{U})^2 / (2\sigma^2)} dU . \quad (2.39)$$

Якщо $z = (U - \bar{U}) / \sigma$, то

$$\overline{\Delta z^2} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sigma^2 \int_{-\infty}^{+\infty} z^2 e^{-z^2/2} dz = \frac{\sigma^2}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{2\Gamma(3/2)}{2(0,5)^{1,5}} = \frac{\sigma^2}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\sqrt{\pi}/2}{1/(2\sqrt{2})} = \sigma^2 , \quad (2.40)$$

так як

$$\int_0^{\infty} z^n e^{-az^2} dz = \frac{\Gamma[(n+1)/2]}{2a^{(n+1)/2}} , \quad (2.41)$$

а гамма-функція $\Gamma((n+1)/2)$ при $n=2$ дорівнює $\sqrt{\pi}/2$.

2.1.4 Енергетичний спектр випадкового процесу чи спектр Хінчина-Вінера

Випадковий процес представляє собою безліч (ансамбль) випадкових функцій, що володіють різною формою і різною внутрішньою структурою, тобто різним спектром. Завжди можна обчислити спектр для кожної конкретної реалізації випадкової функції, користуючись рядом Фур'є, однак усереднення комплексної спектральної щільності по всіх реалізаціях приведе до нульового спектра через випадковість і незалежність фаз спектральних складових у різних реалізаціях. Навіть для однієї випадкової функції розкладання Фур'є не має змісту, тому що представлення його у вигляді суми гармонійних коливань з амплітудами $2\tilde{U}(x)dx$ і обчислення спектральної щільності $\tilde{U}(x)$ приводить знову до випадкової функції, оскільки кожна комплексна амплітуда є випадковою величиною [6].

Отже, безпосередній спектральний аналіз випадкової функції не

дозволяє виявити, якого роду коливання переважають у даному процесі, яка його внутрішня структура, тому що спектральна щільність такого процесу сама є випадковою функцією.

У зв'язку з цим вводиться поняття спектральної щільності дисперсії випадкової функції, оскільки дисперсія представляє собою не випадкову функцію, а її розподіл по частотах визначає спектральний розподіл середнього квадрата заданої випадкової функції. Спектральну щільність дисперсії називають також спектральною щільністю шуму і представляють у вигляді:

$$E(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\overline{\Delta u^2}}{\Delta x} = \frac{d\overline{u^2}}{dx}, \quad (2.42)$$

звідки

$$\overline{u^2} = \int_0^{\infty} E(x) dx, \quad (2.43)$$

де

$$u = \Delta U = U - \bar{U}. \quad (2.44)$$

Дисперсія випадкової функції може бути розкладена на нескінченно велике число елементарних доданків $\overline{du^2} = E(x)dx$, кожне з яких представляє собою дисперсію, що приходить на елементарний інтервал частот dx , що прилягає до частоти x .

Якщо спектральна щільність шуму не залежить від частоти, то шум називають білим, якщо ж залежність від частоти має місце, то шум називають пофарбованим.

Ця термінологія запозичена з фізичної оптики, де біле світло представляється у вигляді набору електромагнітних коливань усіх частот, а фарбування світла залежить від наявності переважних (по енергії) частот у спектрі коливань.

Для визначення спектральної щільності шуму можуть використовуватися наступні співвідношення [6]:

$$\overline{u^2} = \int_0^{\infty} E(\omega) d\omega ; \quad (2.45)$$

$$\overline{u^2} = \int_{-\infty}^{+\infty} E_1(x) dx ; \quad (2.46)$$

$$\overline{u^2} = \int_{-\infty}^{+\infty} E_1(\omega) d\omega , \quad (2.47)$$

де

$$E(\omega) = E(x) \frac{dx}{x\omega} = \frac{E(x)}{2\pi} ; \quad (2.48)$$

$$E_1(x) = E(x) / 2 ; \quad (2.49)$$

$$E_1(\omega) = E(\omega) / 2 ; \quad (2.50)$$

$$\omega = 2\pi x . \quad (2.51)$$

Область інтегрування в деяких із приведених співвідношень розширена на інтервал від $-\infty$ до $+\infty$, тобто в розгляд введені негативні частоти.

Співвідношення між функціями $E(x)$, $E_1(x)$, $E(\omega)$, $E_1(\omega)$ ілюструються кривими на рис.2.3.

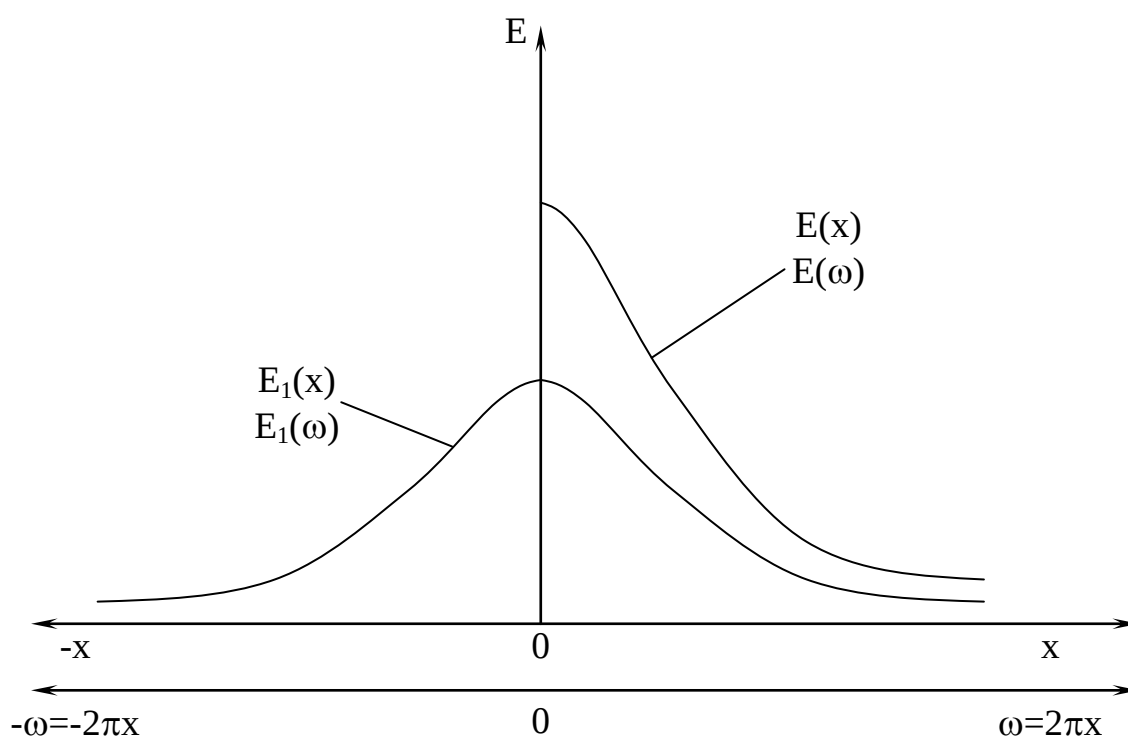


Рисунок 2.3 – Різні функції спектральної щільності шуму

Формально встановлений зв'язок між дисперсією і спектральною щільністю шуму може бути істотно поглиблений, якщо знайти залежність спектральної щільності шуму від функції кореляції випадкового процесу. Неважко зрозуміти можливі причини такої залежності. Дійсно, чим більше взаємозв'язок між перетинами випадкової функції, що знаходяться один від одного на значній відстані, тим, мабуть, більш повільно розвивається процес, не випробовуючи різких змін у проміжках між розглянутими перетинами. Отже, у цьому випадку очікується, що в спектральному розподілі дисперсії випадкового процесу відсутні складові на високих частотах. Навпаки, якщо розташовані досить близько один від одного перетину випадкової функції зв'язані між собою слабо, можна чекати швидких змін дисперсії процесу, тобто наявності значної потужності його у високочастотній області спектру [6].

Для встановлення необхідної нам залежності припустимо, що задана стаціонарна і ергодична випадкова функція $U(\chi)$, визначена при всіх значеннях аргументу χ . Нехай функція $U(\chi)$ має дуже велику, але кінцеву довжину в інтервалі від $-X$ до $+X$, тобто вона представляє собою "врізану" функцію, обумовлену співвідношенням

$$U_X(\chi) = \begin{cases} U(\chi) & \text{при } |\chi| \leq X \\ 0 & \text{при } |\chi| > X \end{cases} \quad (2.52)$$

Функція автокореляції розглянутої $U_X(\chi)$, визначена як середнє значення аргументу, дорівнює

$$K(\Delta\chi) = \lim_{X \rightarrow \infty} \frac{1}{2X} \int_{-X}^{+X} u_X(\chi) u_X(\chi + \Delta\chi) d\chi, \quad (2.53)$$

де $u_X(\chi)$ і $u_X(\chi + \Delta\chi)$ - центровані значення функцій $U_X(\chi)$ і $U_X(\chi + \Delta\chi)$.

Функції $u_X(\chi)$ і $u_X(\chi + \Delta\chi)$ можна представити у вигляді інтегралів Фур'є:

$$u_X(\chi) = \int_{-\infty}^{+\infty} \tilde{u}_X(x) e^{j2\pi x \chi} dx ; \quad (2.54)$$

$$u_X(\chi + \Delta\chi) = \int_{-\infty}^{+\infty} \tilde{u}_X(x_1) e^{j2\pi x_1 (\chi + \Delta\chi)} dx_1 . \quad (2.55)$$

Функція $E_1(\chi)$ називається енергетичним спектром випадкового процесу. Ця назва стає зрозумілим, якщо врахувати, що при $\Delta\chi=0$

$$K(\Delta\chi) = K(0) = \overline{u^2} = \overline{\Delta U^2} = \overline{(U - \bar{U})^2} , \quad (2.56)$$

тобто представляє собою дисперсію процесу.

Оскільки

$$K(\Delta\chi) = \int_{-\infty}^{+\infty} E_1(x) e^{j2\pi x \Delta\chi} dx , \quad (2.57)$$

то

$$\overline{u^2} = \int_{-\infty}^{+\infty} E_1(x) dx , \quad (2.58)$$

звідки випливає, що

$$E_1(x) = \frac{d\overline{u^2}}{dx} , \quad (2.59)$$

представляє собою спектральну щільність дисперсії - дисперсію, що приходить на одиничний інтервал частот. Якщо процес розвивається в часі, а випадковою функцією $u(t)$ є електрична напруга чи струм, то середній квадрат цієї функції можна розглядати як середню потужність, яка виділяється в опорі 1 Ом. Спектральна щільність середньої потужності - це середня потужність, що припадає на частотний інтервал 1 Гц, тобто потужність, помножену на час. Тому спектральну щільність дисперсії процесу часто називають енергетичним спектром чи спектром потужності [6].

Однак, якщо мова йде, наприклад, про спектр флуктуації потоку випромінювання, що є потужністю, можна використовувати назву – спектр Хінчина-Вінера, тому що саме Хінчин і Вінер показали, що автокореляційна функція й енергетичний спектр випадкового процесу є парою перетворень Фур'є [6]:

$$E_1(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} K(\Delta\chi) e^{-j2\pi x \Delta\chi} d(\Delta\chi) ; \quad (2.60)$$

$$K(\Delta\chi) = \int_{-\infty}^{+\infty} E_1(x) e^{j\pi x \Delta\chi} dx . \quad (2.61)$$

З огляду на різні визначення спектральної щільності шуму, а також парність кореляційної функції для стаціонарного випадкового процесу, можна знайти визначення спектральної щільності і вигляду перетворень Хінчина-Вінера, які представлені у додатку Г.

2.2 Розробка удосконаленої методики вимірювання шуму

Для розробки удосконаленої методики вимірювання шуму розглянемо метод визначення шумових характеристик джерел шуму в заглушеній камері.

Нехай даний метод поширюється на машини, технологічне устаткування й інші джерела шуму (далі — джерела шуму) розміром до 50 м, що створюють у повітряному середовищі усі види шумів згідно [7].

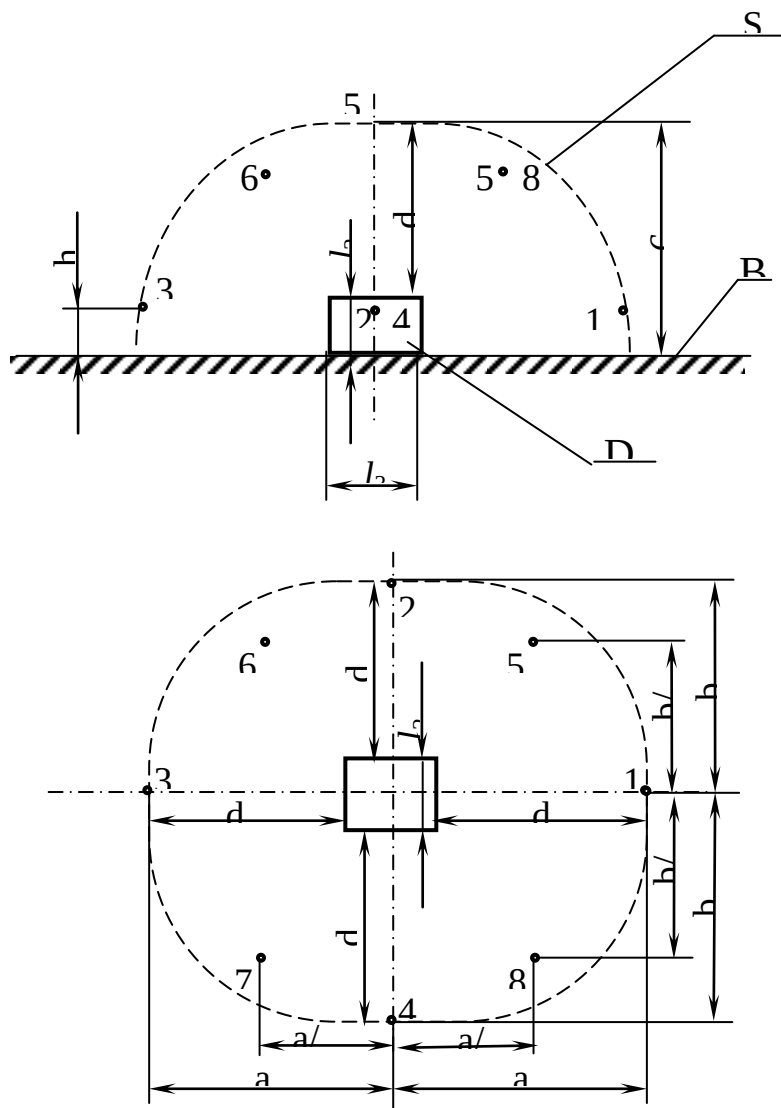
За допомогою цього методу вимірювання можна визначати рівні звукової потужності в смугах частот, корегованого по характеристиці А рівня звукової потужності і показника спрямованості випромінювання джерел шуму у вільному звуковому полі.

Вимірювання будемо проводити: у заглушених камерах; на відкритих площадках над звуковідбиваючою площиною.

Вимірювання рівнів звукового тиску здійснюємо в октавних смугах частот зі середньгеометричними частотами від 125 до 8000 Гц; триоктавних смугах частот зі середньгеометричними частотами від 100 до 10000 Гц, чи в більш вузьких смугах частот, а також у рівнях звуку. Умови вимірювання будемо вважати такими, як у точному методі згідно [8].

Врахуємо, що розміри відкритої площадки, розміри підлоги заглушеної камери чи розміри випробувальної площадки в закритому приміщенні повинні бути достатні, щоб розмістити в центрі випробовуване джерело шуму і навколо нього – точки вимірювань.

Умови вимірювань на відкритих площадках не потрібно перевіряти, якщо відстань від точок вимірів до сторонніх предметів, що відбивають звук, і обмежуючих поверхонь перевищує подвоєні розміри вимірювальних поверхонь: a і b (рис. 2.4) чи подвоєного радіуса вимірювальної поверхні R . У всіх інших випадках варто проводити перевірку умов вільного звукового поля.



S – вимірювальна поверхня; 1-8 – точки вимірювань;

l_1, l_2, l_3 – розміри паралелепіпеда, що огинає джерело шуму;

d – вимірювальна відстань;

a, b, c – характеристичні розміри вимірювальної поверхні

Рисунок 2.4 - Схема розташування точок виміру на півсферичній вимірювальній поверхні.

Для того, щоб врахувати відбитий звук від сторонніх предметів, нам необхідно ввести постійну величину. Ця постійна повинна визначатися для кожної октавної смуги чи для октавної смуги із середньгеометричною

частотою 500 Гц при вимірюванні рівня звуку. Величину K визначимо за допомогою методу зразкового джерела шуму згідно [8].

Для дослідження слід використовувати зразкове джерело шуму, рівні звукової потужності в октавних смугах L_{PR} і корегований рівень звукової потужності L_{PAR} якого відомі.

Зразкове джерело шуму встановлюємо на місці випробовуваного джерела шуму. Проводимо вимірювання звукового тиску при роботі зразкового джерела в смугах частот і рівнів звуку на обраній для випробовуваного джерела шуму вимірювальної поверхні в тих же вимірювальних точках.

Обчислюємо рівні звукової потужності в смугах частот L_P чи корегований рівень звукової потужності зразкового джерела шуму L_{PA} .

Постійну величину K обчислюємо за формулою

$$K = L_P - L_{PR} \quad (2.62)$$

у смугах частот, дБ, і для корегованого рівня звукової потужності, дБА.

Якщо постійна K перевищує 2 дБ, то впливає, що необхідно, по-перше, вибрати меншу вимірювальну поверхню, але так, щоб вона не була в межах ближнього поля випробовуваного джерела шуму, і визначити для неї нову постійну K , по-друге, зменшити вплив відбитого від сторонніх предметів і огорожень звуку, збільшивши загальне звукопоглинання в приміщенні за допомогою звукопоглинаючих облицювань, по-третє, застосувати інший випробувальний простір.

Умови вільного звукового поля задовольняють вимогам удосконаленого методу при визначенні показника спрямованості, якщо постійна величина K дорівнює чи менша ніж 1 дБ.

Здійснимо підготовку до вимірювань. Для цього випробовуване джерело шуму встановлюємо в середині випробувальної площадки, на звуковідбиваючій площині. Режим вибираємо таким чином, щоб точки вимірювання лежали поза зоною ближнього поля джерела шуму, і там, де забезпечені умови вільного звукового поля. Вимірювальна відстань d

становить 1 м ($d=1\text{м}$)

Всі наступні розрахунки здійснюємо подібно до розрахунків згідно [8]. Напівсферичну вимірювальну поверхню використовуємо при вимірах показника спрямованості, а також якщо вимірювальна відстань d перевищує в 1,5 рази максимальний розмір огинаючого паралелепіпеда, ($d > 1,5l_{\max}$). а радіус R вимірювальної півсфери більший чи дорівнює подвоєному максимальному розміру огинаючого паралелепіпеда ($R > 2l_{\max}$).

Площу вимірювальної півсфери обчислюємо за формулою

$$S = 2\pi R^2 \quad (2.63)$$

Характеристичні розміри вимірювальної поверхні, розташованої на відстані d від джерело шуму, огинаючого паралелепіпеда (рис.2.4), обчислюємо по формулах

$$a=0.5l_1+d; b=0.5l_2+d; c=l_3+d, \quad (2.64)$$

де l_1, l_2 — розміри паралелепіпеда, що огинає джерело шуму, м;

l_3 — висота паралелепіпеда, що огинає джерело шуму, м;

d - вимірювальна відстань, м.

Площа вимірювальної поверхні в м^2 варто визначаємо за формулою

$$S = 4(ab + bc + ac) \frac{(a + b + c)}{(a + b + c + 2d)} . \quad (2.65)$$

Встановлюємо, що кількість точок виміру дорівнює 8. Розташовуємо їх так, як зазначено на рис. 2.4.

Точки виміру 1 - 4 розташовані на висоті h_1 , що повинна бути не меншою ніж 0,15 м. Висоту h_1 обчислюємо за формулою

$$h_1 = 0.25(b + c - d) . \quad (2.66)$$

Точки виміру 5 - 8 розташовуємо на висоті h_2 , що не повинна перевищувати висоти над звуковідбиваючою площиною. Висоту h_2 обчислюємо за формулою

$$h_2 = 0.75(b + c - d) \quad (2.67)$$

Врахуємо, що розмір b_1 не повинний перевищувати розмір b , який

обчислюємо за формулою

$$b_1 = 0.5(b + c - d) \quad (2.68)$$

На напівсферичній вимірювальній поверхні будемо використовувати ті ж точки вимірювання, при обчисленні координатів яких замінюючи величини b , c , d величиною R .

При визначенні показника спрямованості точки виміру розташовуємо на півсфері у визначеній площині з кутовими інтервалами не більш 30° .

Результати вимірювань здійснюємо подібно до того, як викладено вище.

Середній рівень звукового тиску в смугах частот (L_m) у дБ чи середній рівень звуку (L_{Am}) у дБА на вимірювальній поверхні обчислюємо за формулою

$$L_m = 10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_i} \right), \quad (2.69)$$

де L_i — рівень звукового тиску в смузі частот, дБ, чи рівень звуку, дБА, у i -й точці виміру;

n - кількість точок виміру на вимірювальній поверхні;

K - постійна величина, яка враховує вплив відбитого звуку в смузі частот, дБ.

Якщо значення L_i розрізняють не більш, ніж на 5 дБ (дБА), то величину L_m обчислюємо за формулою

$$L_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i - K, \quad (2.70)$$

Рівень звукової потужності в смугах частот L_p , дБ чи корегований рівень звукової потужності l_{pa} , дБА обчислюємо за формулою

$$L_p = L_m + 10 \lg S / S_0, \quad (2.71)$$

де L_m — середній рівень звукового тиску в смузі частот чи середній рівень звуку на вимірювальній поверхні;

S — площа вимірювальної поверхні, m^2 ; $S_0 = 1 m^2$.

Показник спрямованості в смугах частот чи за рівнем звуку G у дБ (дБА) обчислюємо за формулою

$$G = L_i - L_m + 3, \quad (2.72)$$

де L_i — рівень звукового тиску в смузі частот (рівень звуку у вимірювальній точці, дБ (дБА);

L_m — середній рівень звукового тиску в смузі частот чи рівень звуку на вимірювальній півсфері, дБ (дБА).

При вимірюваннях у приміщенні чи у відкритих площадках врахуємо вплив навколишнього середовища, тобто температуру повітря ($\pm 10^\circ\text{C}$). Проводити вимірювання на відкритих площадках забороняється під час випадання атмосферних опадів і при швидкості вітру більш 5 м/с.

Шум перешкод, наприклад, від аеродинамічних потоків поблизу мікрофона, від вібрацій, переданих на вимірювальні прилади, від впливу електричних чи магнітних полів чи інших джерел шуму повинні вимірюватися в тих же величинах і вимірювальних точках, що і шум випробовуваного джерела.

Апаратуру в цьому методі будемо використовувати для виміру рівнів звукового тиску і рівнів звуку - це шумоміри 1-го або 2-го класу згідно [9]. зі смуговими електричними фільтрами чи вимірювальними трактами з характеристиками, що відповідають цим стандартам. Мікрофон шумоміра призначений для вимірів у вільному звуковому полі.

Акустичне й електричне калібрування шумоміра проводитимемо до і після проведення вимірів. Похибка застосовуваного для акустичного калібрування джерела шуму не повинна перевищувати $\pm 0,5$ дБ.

Безпосередньо при вимірюваннях мікрофон встановлюємо у точці вимірювань й орієнтуємо у напрямку випробовуваного джерела шуму. Між мікрофоном і випробовуваним джерелом шуму не повинні знаходитися люди чи предмети, що спотворюють звукове поле. Відстань між мікрофоном і спостерігачем повинне бути не менше ніж 0,5 м.

Встановимо на шумомірі тимчасову характеристику S (повільно).

Якщо покази шумоміра коливаються в межах 5 дБ, то необхідно відраховувати середнє значення рівнів.

При вимірюваннях не можна допускати наближення мікрофона менше ніж на 1 м до джерела шуму, тоді вимірювальна відстань може бути більшою 1 м ($d > 1$ м).

Якщо різниця між максимальними і мінімальними рівнями звуку в точках вимірів 1 - 8 перевищує 8 дБА, то число точок вимірювання необхідно подвоїти.

2.3 Розроблення електричної принципової схеми фільтра шумоміра

2.3.1 Розроблення підсилювача шумових сигналів

Електрична схема, в тому числі і підсилювач, повинні бути розраховані на пропускання шумового сигналу в широкій смузі частот від інфразвукових до ультразвукових частот.

Для підсилення шумового сигналу, прийнятого приймачем шумового сигналу (наприклад, мікрофон) до необхідного рівня реєстрації вторинним приладом потрібен широкосмуговий підсилювач з коефіцієнтом підсилення по напрузі

$$K_H = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} ; \quad (2.73)$$

де $U_{\text{вих}}$ - вихідна напруга підсилювача, яка повинна бути не меншою, ніж нижня межа необхідного рівня реєстрації вторинним приладом, $U_{\text{вих}} = 2\text{В}$;

$U_{\text{вх}}$ - величина вхідного сигналу з приймача, $U_{\text{вх}} = 0,02\text{В}$;

$K_H \geq 100 = 40$ дБ.

Визначимо орієнтовну кількість каскадів m підсилювача. При цьому можна вважати, що кожний каскад підсилювача при під'єднанні транзистора по схемі із спільним емітером може забезпечити підсилення приблизно на

20 дБ. Це означає, що наш підсилювач повинен бути двокаскадним (рис.2.5).

Для широкосмугових підсилювачів використовують високочастотні транзистори з високою граничною частотою підсилення струму $f_{гр}$. Транзистори (причому для нас повинні бути малої потужності) вибираємо так, щоб виконувалась умова:

$$f_b \leq 0,1f_{гр}. \quad (2.74)$$

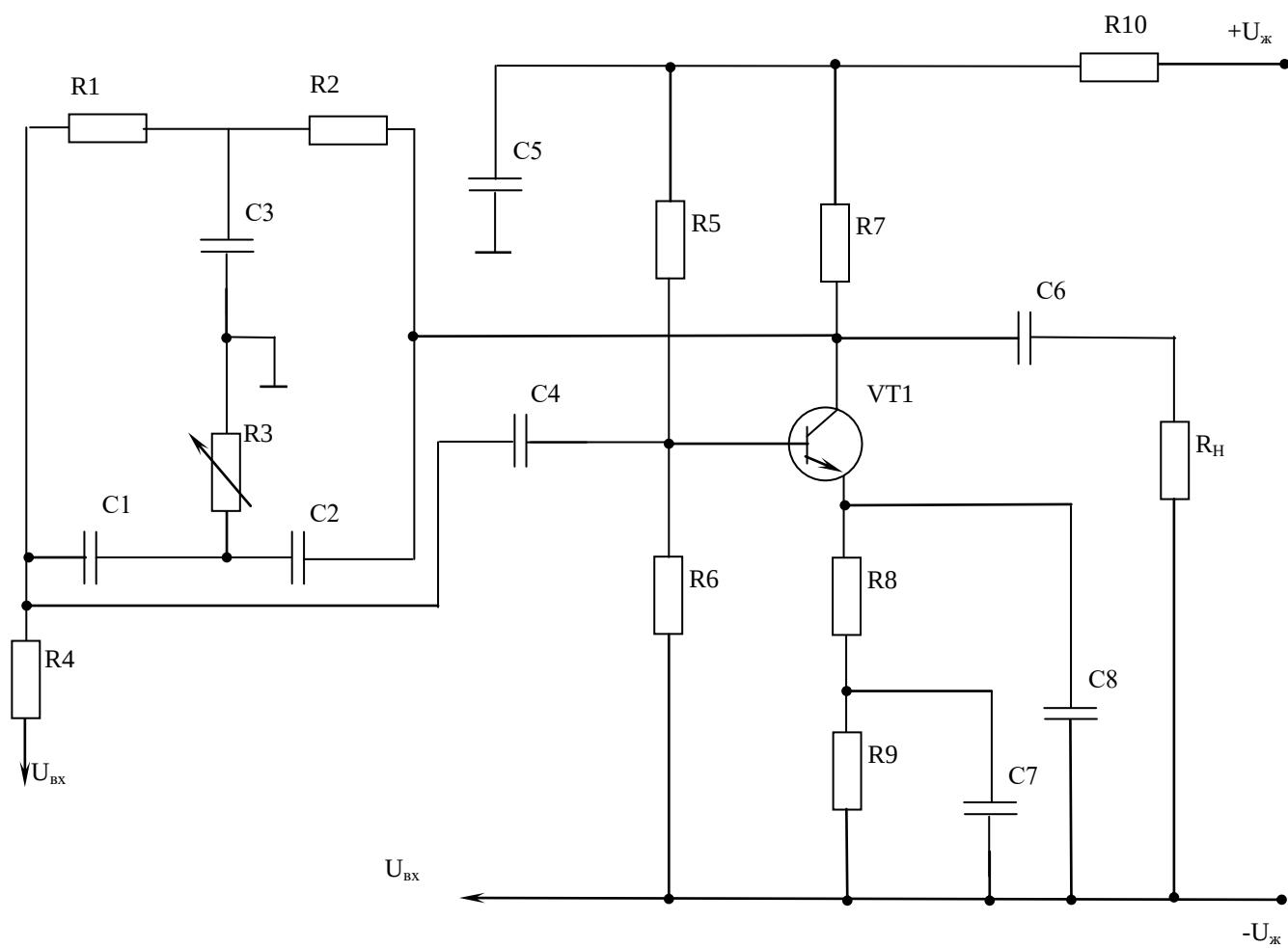
Оскільки в нас робоча частота шумів може досягти в ультразвуковому діапазоні $f_{роб} = 0,15$ МГц, то вона повинна бути для надійності середньою в частотному діапазоні $f_n \dots f_b$ підсилювача. Тоді $f_b \approx 0.05$ МГц. Отже

$$f_b \geq 10f_{гр} = 1 \text{ МГц}.$$

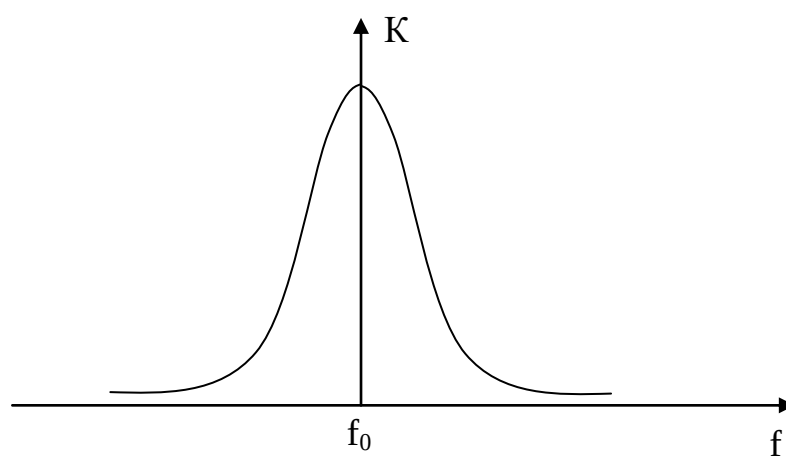
З отриманих результатів вибираємо транзистор типу КТ 315, який може працювати до $f_{гр} = 250$ МГц, а мінімальний коефіцієнт підсилення по струму $h_{2IE} = 20$ [10].

На рис. 2.5, а зображена схема вибіркового підсилювача із подвійним Т-подібним фільтром в ланцюзі від'ємного зворотного зв'язку. На квазірезонансній частоті f_0 фільтр вносить максимальне згасання в сигнал, що проходить з вихода на вхід. Тому глибина від'ємного зворотного зв'язку практично дорівнює нулю і підсилення сигналу є максимальним. На частотах, що відрізняються від квазірезонансної, згасання, що вносить фільтр, зменшується. При цьому підсилюється від'ємний зворотній зв'язок і відповідно зменшується підсилення сигналу. Частотна характеристика такого підсилювача (рис. 2.5, б) нагадує резонансну характеристику коливного контуру, і, відповідно, приведена схема по своїм властивостям подібна до вибіркового підсилювача з навантаженням у вигляді коливного контуру. Для того, щоб запобігти впливу малого внутрішнього опору джерела вхідної напруги на фільтр, між входом підсилювача і фільтром включають розв'язуючий резистор R4

(рис. 2.5, а), величина опору якого складає (1...2) МОм [10].



a



б

Рисунок 2.5 – Електрична схема фільтра шумоміра

Прагнучи до підвищення вибіркової RC-підсилювачів, необхідно пам'ятати, що зі збільшенням еквівалентної добротності фільтра помітно зростає нестабільність коефіцієнта підсилення, вибіркової і резонансної частоти. Тому при конструюванні підсилювача низкою, частоти з високою вибірковою необхідно подбати про стабільність його елементів (особливо RC-фільтра) стосовно змін температури й інших факторів. Останнім часом вибіркові RC-підсилювачі будуються, головним чином, на інтегральних мікросхемах [10].

2.4 Розробка конструкції блоку фільтра шумоміра

Друкований монтаж - досягнення науки п'ятидесятих років двадцятого століття. Промислове освоєння нових радіотехнічних засобів і матеріалів, малогабаритних вакуумних, напівпровідникових і інших радіотехнічних приладів, а також технологічних процесів сприяло бурхливому розвитку техніки друкованих схем.

У нашій країні друкований монтаж застосовується з 1956 року. Досвід показує, що друкований монтаж має значні переваги перед об'ємним монтажем.

До друкованої плати вимагають наступне [11]:

- 1) Поверхня друкованої плати не повинна мати здуттів, сторонніх включень, відколів, вибоїв, тріщин і розшарувань матеріалу підстави, що знижують електричний опір і міцність ізоляції. Допускаються одиночні вкраплення металу і сліди його видалення на вільних від провідників ділянках, поверхневі відколи і просвітління діелектрика, ореоли, що виникають у результаті механічної обробки, якщо відстань від провідника до зазначеного дефекту складає не менше ніж 0.3 мм. Допускаються також окремі дефекти діелектрика виявлені після травлення і передбачені технічними умовами на фольгу ванні матеріали.

2) Друковані провідники повинні бути з рівними краями. В окремих випадках допускаються нерівності по краях провідників, що не зменшують мінімальної ширини провідників і відстані між ними, передбачені кресленням. Відхилення розмірів контактної площадки від креслення по ширині чи довжині можливо, але при цьому відстань до найближчих провідників чи контактних площадок у будь-якому місці повинне бути не менш мінімальних величин, обговорених у кресленні.

3) Товщина шару міді, обложеної на всіх ділянках друкованої плати, повинна бути в межах 40 - 100 мкм, а на лініях землі, екранах і провідниках, що лежать по краях плати, вона допускається до 150 мкм.

4) Для запобігання впливу зовнішнього середовища при тривалому збереженні перед зборкою на друковані плати наносять технологічне захисне покриття, що віддаляється після зборки і пайки, перед покриттям електроізоляційним лаком уже зібраної плати.

5) З метою підвищення механічної твердості плати (друкована плата, що складається з матеріалів з різними коефіцієнтами температурного розширення, а також має отвір, природно, піддана корозії) необхідно, щоб відношення її довжини до ширини не перевищувало 4:1.

6) Плата повинна мати маркування з указівкою індексу чи креслярського номера плати, а також дату виготовлення.

При монтажі радіоелектронної чи електронно-обчислювальної апаратури на друкованих платах полегшуються багато технологічних процесів, підвищується щільність розміщення елементів, знижується імовірність помилок монтажу, а в готовій апаратурі спрощується пошук несправностей.

Основні принципи конструювання друкованої плати.

Вихідним параметром при конструюванні друкованої плати є крок координатної сітки. За допомогою координатної сітки регламентуються основні геометричні розміри друкованої плати. Як правило, центри усіх отворів на друкованих платах розташовуються у вузлах координатної

сітки. Її основний крок 2.5 мм, розмір плати складає 100×75 мм [12]

При компонованні друкованої плати прагнуть досягти максимального заповнення її поверхні навісними елементами і розмістити їхній так, щоб забезпечити найкоротші зв'язки між ними, виконувани друкованими провідниками. Одночасно варто пам'ятати, що друкована плата виконує роль шасі, і потрібно обмежити її габарити з метою досягнення заданої міцності. Розміри визначаються відомчими нормативами і ОСТ. За даними цих документів максимальний розмір друкованої плати не повинний перевищувати 240×360 мм. Перевага при розробці віддається малогабаритним платам, тому що великогабаритні друковані плати мають малу механічну міцність і складні у виготовленні.

Товщина плати, як правило, відповідає товщині фольгованого діелектрика і вибирається в залежності від вимог, пропонованих до конструкції виробу, методу виготовлення плати, ваги і габаритів встановлюваних елементів і не перевищує 3 мм.

Перехідним елементом від отвору, у яке вставляється висновок встановлюваного елемента, до друкованого провідника є контактна площадка. Площа контактних площадок варто максимально збільшувати, передбачаючи формування кільцевого пояса навколо отвору в місці з'єднання друкованого провідника з контактною площадкою. Збільшення площі контактних площадок запобігає відрив їхній у процесі виготовлення плат і поліпшує якість пайкових з'єднань.

Мінімальні розміри контактних площадок приймаються відповідно до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Мінімальні розміри контактних площадок.

Номінальний діаметр отвору, мм	0.6	0.8	1.0	1.3	1.6	2.0
Мінімальний діаметр контактної площадки, мм	1.8	2.3	2.5	2.8	3.1	3.5

При практичних розрахунках ширини провідників користаються

спеціальними таблицями залежності ширини провідника від перегріву і токового навантаження для конкретного фольгованого матеріалу.

При розрахунку зазорів між провідниками вважаємо, що електрична міцність повинна бути не менше 1 кВ/мм. При розрахунку ширини провідників і зазорів між ними необхідно враховувати також ємність між сусідніми провідниками. Також існують залежності, що приводяться в спеціальних таблицях.

Друкована плата перед установкою на них радіоелементів повинна бути відповідним чином підготовлена. Якщо на плату нанесене покриття, що консервує, то безпосередньо перед установкою радіоелементів і виконанням монтажнозбірних операцій його видаляють спирто-бензиновою сумішшю, бавовняним тампоном.

У разі потреби лудіння контактних площадок на них пензликом наносять флюс, а саме лудіння роблять електропаяльником. Марка припою для лудіння контактних площадок повинна, відповідати марці припою, застосовуваного при пайку радіоелементів.

У разі потреби підпайки до одного контакту декількох елементів на друковану плату попередньо встановлюють контактні штирі, чи пелюстки трубчасті заклепки-пістони. Усі контакти встановлюють у місцях, зазначених на кресленні. Буртики контактних штирів з боку друкованих провідників паяють. Пістони також заливають припоєм. Пайку контактних штирів і заливання припоєм пістонів роблять не пізніше 48 год після їхньої установки на плату.

Після лудіння й установки контактних штирів друковану плату відмивають від залишків флюсу.

Установка елементів на друковану плату. Для підвищення продуктивності праці при пайку всі елементи повинні бути заздалегідь установлені своїми виводами в монтажні отвори друкованих плат і закріплені в них.

На одnobічній платі, яку ми маємо, навісні елементи розташовують

тільки з одного боку, незалежно від їхніх габаритів і призначення - усі навісні елементи встановлюють паралельно поверхні плати з боку, протилежної розміщенню друкованих провідників.

Виводи елементів вставляють в отвори друкованої плати. У кожному отворі можна розміщати вивід тільки одного елемента.

Виводи елементів, що надходять на зборку і монтаж, рихтують, зачищають і, якщо потрібно, лудять, а потім формують відповідно до вимог ТУ і конструкторської документації.

Вимоги до формування виводів елементів, установлюваних на друковані плати, такі ж, як при об'ємному монтажі: у місцях введення в корпус не повинне виникати механічних напруг. Якщо спеціальні вказівки в ТУ чи кресленнях відсутні, відстань від корпусу елемента до осі вигнутого виводу приймається рівним 2 мм.

Відстань між корпусом елемента і краєм друкованої плати, якщо воно не обговорено в кресленні, повинне бути не менш 1 мм, а відстань між виводом елемента і краєм плати - не менш 2 мм. Відстань між корпусами сусідніх елементів чи між корпусами і виводами сусідніх елементів вибирають у залежності від умов тепловідводу і припустимої різниці потенціалів між ними, але не менш 0,5 мм.

Попереднє формування виводів елементів, що припаюються до контактних площадок внахльостку, здійснюють так, щоб були витримані розміри, зазначені в ТУ на елементи. Як правило, розмір контактуючої поверхні повинний бути 1,5-2 мм. Виключення складають ИМС у металостіклових корпусах із планарними виводами, для яких цей розмір повинний бути не менш 0,5 мм. Формування круглих чи стрічкових виводів елементів і обтиснення стрічкових виводів роблять монтажним інструментом чи пристосуваннями таким чином, щоб виключалися механічні навантаження на місця кріплення виводів до корпусу.

При формуванні виводів не допускається їхнє механічне ушкодження, порушення захисного покриття, вигин у місцях спаю й в

ізоляторів, скручування щодо осі корпусів, розтріскування скляних ізоляторів і пластмасової герметизації корпусів. Ручне формування виводів і установка елементів на друковані плати повинні вироблятися таким чином, щоб у процесі контролю проглядалося маркірування номіналів на корпусах елементів. При автоматизованому і напівавтоматичному формуванні виводів і установці елементів допускається довільне розташування маркірування.

Радіоеlementи і вузли апаратури з великою кількістю виводів закріплюються на платі в залежності від їхніх конструктивних особливостей і механічної міцності плати.

Установку елементів на друковану плату рекомендується починати з менших по розмірах. Всі елементи встановлюють таким чином, щоб луджена частина виводу виходила з монтажного отвору. При установці на плату елементів з діаметром виводів до 0,3 мм їх підгинають до контактної площадки під кутом 45° . Довжина підігнутого убік виводу повинна бути не менш 0,6 мм. При установці елементів з діаметром виводів від 0,3 до 0,8 мм варто підгинати їх уздовж друкованого провідника, якщо в конструкторській документації немає інших указівок.

Всі елементи повинні щільно прилягати своїми корпусами до друкованої плати, щоб вивід, підпаяний до друкованого провідника, при натисканні на корпус елемента не відривався його від плати. Цього досягають натягом виводів перед їх загином.

Пайка елементів на друковану плату здійснюється наступним чином. Елементи кріплять до друкованої плати пайкою виводів у її монтажні отвори електричним паяльником потужністю 20-60 Вт, заточеним таким чином, щоб кут при вершині складав $25-30^\circ$.

Температура нагрівання стрижня паяльника $280-300^\circ \text{C}$.

Пайку роблять короткочасним дотиком на 2-3 зі стрижня паяльника з запасом припою до контактної площадки і кінця виводу. Паяльник віднімають відразу після розплавлювання припою і заповнення їм отвору і

зазорів між висновком елемента і контактною площадкою.

Для запобігання перегріву радіоелементів і відшаровування фольги від поверхні плати стежать за тим, щоб час зіткнення паяльника з вузлом, що піддається пайці, не перевищувало 3 с. З тією же метою застосовують тепловідводи з мідними губками, що накладають на дротові виводи в безпосередній близькості від корпусу радіоелемента.

Після пайки надлишок виводу елемента відрізається гострозубцями. При цьому зрізаний торець виводу елемента повинний бути видний. Довжина обрізаної ділянки виводу не повинна перевищувати 0,6-2 мм. При обрізанні надлишків виводу не допускається механічне порушення паяного з'єднання.

Пайку виводів елементів дозволяється виконувати з двох сторін друкованої плати при дотриманні ТУ на елементи. Для закріплення друкованих плат і їхнього повороту в процесі монтажу застосовують спеціальні пристосування.

Елементи діаметром виводів 0,8 мм і менш можуть розпаюватися на контактні площадки внахльостку. При цьому виводи резисторів, конденсаторів, діодів і мікросхем не повинні виходити за межі відведених для них контактних площадок. Якщо довжина виводу від корпусу елемента до місця пайки внахльостку перевищує 7 мм, необхідно закріпити його на проміжній колодці.

З'єднання пайкою виводів елементів один з одним варто робити після попереднього їхнього закріплення механічним способом. Для цього роблять повний оборот дротового виводу елемента навколо виводу, розташованого в монтажному отворі. Після цього виводи обжимають і пропаюють.

Технологія виготовлення плати.

Плата модуля введення аналогових сигналів виготовлена зі склотекстоліту на фенольній основі (ФС-2-35-1.5). Мідна фольга, використовувана для плакування діелектрика, виготовлена (зроблена)

гальванічним способом і має чистоту не менш 99.5%. Товщина фольги 35 мкм. Якість фольгованих діелектриків установлюється спеціальними технічними чи умовами державними стандартами.

При виготовленні друкованої плати використані хімічний спосіб. Після травлення виконується свердління і металізація отворів.

Для свердління і зенкування отворів застосовується одношпиндельний верстат із програмним керуванням типу КП-7511.

Після свердління виконується операція металізації отворів. Якість друкованих плат багато в чому залежить від якості металізації отворів. Спочатку проводиться сенсibilізація й активація поверхні отворів, що підлягають металізації, а потім хімічна металізація.

Хімічна металізація проводиться в спеціальних установках, де передбачені наступні операції :

1) хімічне знежирення заготівель з наступним промиванням і сушінням повітрям;

2) сенсibilізація заготівель у розчині двухлористого олова з наступним промиванням і сушінням теплим повітрям;

3) активізація заготівель у розчині хлористого палладія з наступним промиванням у ванні і сушінням теплим повітрям.

Після хімічної металізації виконується операція гальванічної металізації. Як електролітичний розчин використовується борфтористоводородний електроліт.

Режим металізації вибирається таким, щоб забезпечити товщину шаруючи обложеної міді в отворах 25-40 мк.

Для травлення використовується розчин хлорного заліза з питомою вагою 1.36-1.40 г/мл, температура травлення 25-50°C, час травлення 10-15 хв.

Після ретельного промивання від залишків розчину, що труїть, і сушіння виконується операція освітлення срібла (5-10 хв).

Після промивання в гарячій воді і сушіння, плати проходять

механічну доробку, потім обробку по контурі і розкриття отворів не підметів металізації. Друковані провідники покриваються шаром лаку, що консервує.

Для збереження і транспортування плати упаковують у поліетиленові і поліхлорвінілові мішки, а потім картонні чи коробки спеціальну тару.

В даному розділі було розглянуто математичний опис шуму. Також удосконалено методику вимірювання шумових характеристик джерела шуму у заглушених камерах і на відкритих площадках. В методі вимірювання шуму здійснено шумоміром другого класу, тобто для точних лабораторних вимірювань. В шумомірі звук, що приймається мікрофоном, перетворюється в електричні коливання, які підсилюються і потім, пройшовши через фільтр, реєструється індикатором. Діапазон сумарних рівнів шуму звичайно складають 30-130 дБ при частотних границях 20 - 20000 Гц. Вимірювання шуму на робочих місцях промислових центрів виробляють на рівні вуха працюючого при включенні не менше ніж $2/3$ встановленого обладнання.

В цьому розділі розрахований один з блоків фільтра шумоміра - фільтр, а саме фільтр з попереднім підсилювачем. Розроблено його друковану плату і складальне креслення.

3 МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ УДОСКОНАЛЕНОЇ МЕТОДИКИ ВИМІРЮВАННЯ ШУМІВ

3.1 Теоретичні основи метрологічного аналізу розробленого методу

Якщо засіб вимірювань працює у динамічному режимі, тобто в режимі вимірювання змінних у часі величин або ж вимірювання сталих часі величин при дуже короткому часі вимірювання, недостатньому для закінчення перехідного процесу у вимірювальному колі, виникають так звані динамічні похибки. Останні зумовлені інерційними властивостями засобу вимірювань і тому їх значення залежать від швидкості зміни вимірюваної величини при вимірюванні змінних у часі величин або від часу вимірювання, якщо цей час співмірний з часом перехідного процесу вимірювального кола при дуже малому часі вимірювання сталих величин.

Якщо за аналогією зі статичними похибками розглядати динамічну похибку як наслідок неідентичності дійсної передаточної функції $W_d(s)$ та номінальної $W_{ном}(s)$, то для оцінки динамічної похибки можна використати операторні рівняння ВП. Тоді, зокрема, зображення за Лапласом зведеної до входу динамічної похибки можна записати [14]

$$\Delta x_{дин}(s) = \frac{Y(s)}{W_{ном}(s)} - X(s) = \frac{W_d(s)X(s)}{W_{ном}(s)} - X(s), \quad (3.1)$$

або

$$\Delta x_{дин}(s) = W_{\delta}(s)X(s), \quad (3.2)$$

де $W_{\delta}(s) = \left[\frac{W_d(s)}{W_{ном}(s)} - 1 \right]$ - передаточна функція похибки перетворювача.

Вимірювальним перетворювачем (ВП) називають засіб вимірювальної техніки, що реалізує вимірювальне перетворення (засіб вимірювальної техніки, призначений для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, зручній для передачі, для подальшого

перетворення, оброблення та зберігання, але не придатній для безпосереднього сприйняття спостерігачем).

Зауважимо, що для номінально безінерційного перетворювача передаточна функція похибки набере вигляд

$$W_{\delta}(s) = \left[\frac{W_d(s)}{k_0} - 1 \right], \quad (3.3)$$

де k_0 - коефіцієнт перетворення в статичному режимі.

Якщо вхідна величина $X(t)$ змінюється порівняно повільно, коли динамічні похибки будуть незначними, то, розклавши $W_{\delta}(s)$ в ряд, динамічну похибку як функцію часу можна записати у вигляді

$$\Delta x_{\text{дин}}(t) = a_0 X(t) + a_1 X'(t) + a_2 X''(t) + \dots + a_n X^n(t). \quad (3.4)$$

Найзручнішим методом визначення коефіцієнтів, які є складовими динамічної похибки, є метод Кінга, згідно з яким

$$a_0 = \lim_{s \rightarrow 0} [W_{\delta}(s)]; \quad (3.5)$$

$$a_1 = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s} [W_{\delta}(s) - a_0]; \quad (3.6)$$

$$a_n = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s^n} [W_{\delta}(s) - a_0 - a_1(s) - \dots - a_{n-1}(s)^{n-1}]. \quad (3.7)$$

Для синусоїдного вхідного сигналу, коли $X(t) = X_m \sin(\omega t + \varphi)$, динамічна похибка також буде синусоїдною функцією часу з амплітудою $X_{\text{max}}(\omega)$ та фазовим зсувом $\varphi_{\Delta}(\omega)$, тобто

$$\Delta x_{\text{дин}}(t) = \Delta X_{\text{max}}(\omega) \sin[\omega t + \varphi + \varphi_{\Delta}(\omega)]. \quad (3.9)$$

Амплітуда та фаза комплексної динамічної похибки може бути визначена з її комплексної амплітудно-фазочастотної характеристики $K_{\delta}(j\omega)$ як

$$\Delta X_{\text{max}}(\omega) = |K_{\delta}(j\omega)| X_{\text{max}}; \quad \varphi_{\Delta}(\omega) = \arg K_{\delta}(j\omega). \quad (3.10)$$

Вираз для $\Delta x_{\text{дин}}(t)$ є часовою характеристикою миттєвого значення динамічної похибки, визначеної як різниця між існуючими одночасно значеннями вхідного та зведеного до входу вихідного сигналів (рис.3.1).

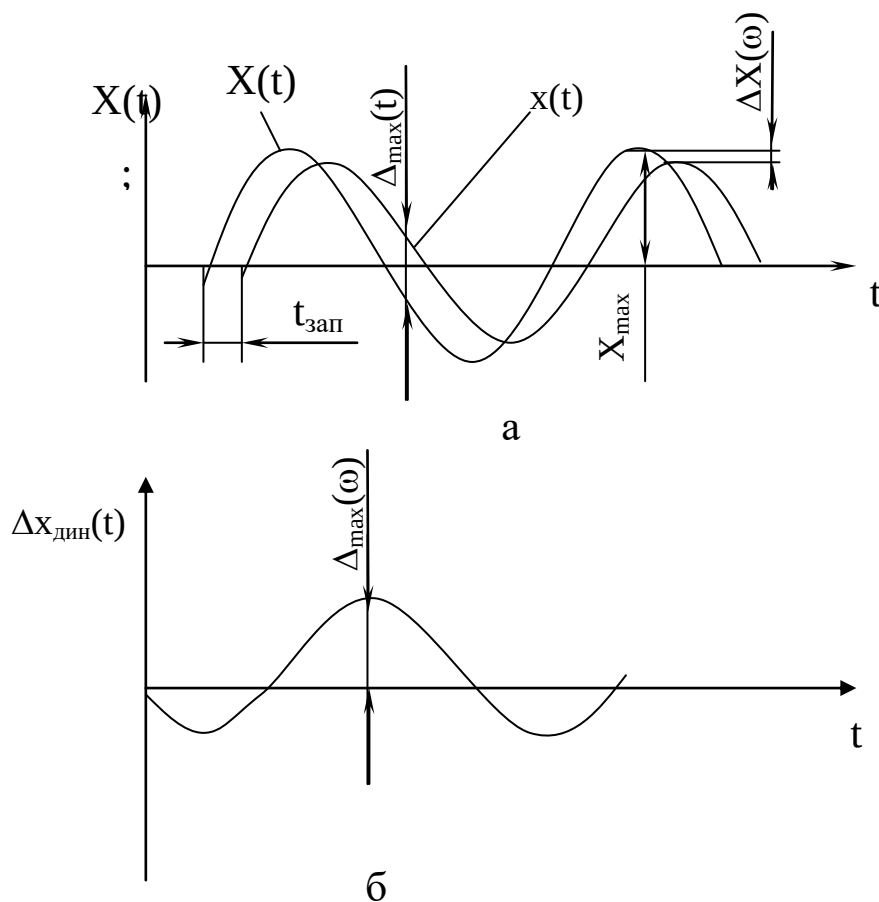


Рисунок 3.1 - Визначення динамічних похибок ВП

Здебільшого миттєве значення не враховують і вимірюваним параметром є амплітуда, динамічну похибку визначають як різницю між миттєвим значенням сигналу $X(t)$ та миттєвим значенням суміщеного з ним за фазою зведеного до входу сигналу $x(t)$. Амплітудна динамічна похибка в останньому випадку може бути визначена як [13]

$$\Delta X(\omega) = \frac{Y_{\text{max}}}{K_{\text{ном}}(\omega)} - X_{\text{max}} = \left[\frac{K_d(\omega)}{K_{\text{ном}}(\omega)} - 1 \right] X_{\text{max}}, \quad (3.11)$$

а відносна амплітудна похибка

$$\delta_x(\omega) = \frac{\Delta X(\omega)}{X_{\text{max}}} = \frac{K_d(\omega)}{K_{\text{ном}}(\omega)} - 1 = \frac{|K_d(\omega)|}{|K_{\text{ном}}(\omega)|} - 1. \quad (3.12)$$

Важливими параметрами, що характеризують динамічні властивості ВП, є час перетворення та гранична частота перетворення.

Часом перетворення називають такий час t_n , після закінчення якого динамічна похибка буде дорівнювати допустимому значенню $\Delta x_{\text{дин.доп}}$. Відповідно граничною частотою перетворення $\omega_{\text{гр}}$ називають таку частоту перетворюваного сигналу, за якої динамічна похибка дорівнюватиме допустимому значенню.

Характеристики динамічних похибок перетворювачів першого порядку наведені в додатку Г.

Зупинимось на динамічних похибках перетворювачів другого порядку. Оскільки передаточна функція такого перетворювача має вигляд

$$W_d(s) = \frac{k_0}{\frac{a_2}{a_0}s^2 + \frac{a_1}{a_0}s + 1} = k_0 \frac{1}{\frac{s^2}{\omega_0^2} + 2\frac{\beta}{\omega_0}s + 1}, \quad (3.13)$$

то при його використанні як безінерційного, для якого $K_{\text{ном}}=k_0$, передаточна функція відносної динамічної похибки

$$W_\delta(s) = \frac{1}{\frac{s^2}{\omega_0^2} + 2\frac{\beta}{\omega_0}s + 1} - 1 = \frac{s^2 + 2\beta\omega_0s}{s^2 + 2\beta\omega_0s + \omega_0^2}, \quad (3.14)$$

а комплексний коефіцієнт динамічної похибки

$$K_\delta(j\omega) = -\frac{-\omega^2 + 2\beta\omega_0j\omega}{\omega_0^2 - \omega^2 + 2\beta\omega_0j\omega}. \quad (3.15)$$

Для вхідного збурення у вигляді одиничного стрибка зміна в часі динамічної похибки

якщо $\beta < 1$

$$\Delta x_{\text{дин}}(t) = \frac{e^{-\beta\omega_0 t}}{\sqrt{1-\beta^2}} \sin\left(\sqrt{1-\beta^2}\omega_0 t + \arctg \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{\beta}\right); \quad (3.16)$$

якщо $\beta > 1$

$$\Delta X_{\text{дин}}(t) = -\frac{e^{-\beta\omega_0 t}}{\sqrt{1-\beta^2}} \operatorname{sh}\left(\sqrt{1-\beta^2}\omega_0 t + \operatorname{arctg}\frac{\sqrt{1-\beta^2}}{\beta}\right); \quad (3.17)$$

якщо $\beta=1$

$$\Delta X_{\text{дин}}(t) = -e^{\omega_0 t}(1 + \omega_0 t). \quad (3.18)$$

Враховуючи складність виразу для $\Delta x_{\text{дин}}(t)$ $\beta < 1$, можна скористатись модулем цього виразу як мірою граничного значення цієї похибки

$$\Delta x_{\text{дин.гр}}(t) = \frac{e^{\beta\omega_0 t}}{\sqrt{1-\beta^2}}. \quad (3.19)$$

3.2 Розрахунок похибки фільтра шумоміра

Розрахунок похибки фільтра шумоміра будемо проводити у такій послідовності:

- визначення основної похибки номінальних значень резисторів і конденсаторів;
- визначення додаткової похибки внаслідок зміни температури.

Проаналізуємо елементи фільтра (табл.3.1), для якого визначаємо похибки [11, 16].

Таблиця 3.1 - Типи, похибки і значення коефіцієнтів елементів фільтра шумоміра

Елемент схеми	Номінальне значення	Температурний коефіцієнт, ТКЕ, %/°C	Основна похибка елемента, %	Тип елемента
C1	0,33 мкФ	0,01	0,5	K77-1
C2	0,33 мкФ	0,01	0,5	K77-1
C3	0,68 мкФ	0,01	0,5	K77-1
R1	25,5 кОм	0,0025	0,1	МЛТ-0,125

R2	25,5 кОм	0,0025	0,1	МЛТ-0,125
R3	15 кОм	0,015	0,5	СП-51В
R4	2 МОм	0,0025	0,1	МЛТ-0,125

Отже, за результатами табл. 3.1 розрахуємо основну абсолютну похибку фільтра:

$$\Delta_i = \delta_i \cdot N_{\text{НОМ}i}; \quad (3.20)$$

$$\Delta_1 = \delta_1 \cdot N_{\text{НОМ}1} = 0,5 \cdot 0,33/100 = 0,00165;$$

$$\Delta_2 = \delta_2 \cdot N_{\text{НОМ}2} = 0,5 \cdot 0,33/100 = 0,00165;$$

$$\Delta_3 = \delta_3 \cdot N_{\text{НОМ}3} = 0,5 \cdot 0,68/100 = 0,0034;$$

$$\Delta_4 = \delta_4 \cdot N_{\text{НОМ}4} = 0,1 \cdot 25,5/100 = 0,0255;$$

$$\Delta_5 = \delta_5 \cdot N_{\text{НОМ}5} = 0,1 \cdot 25,5/100 = 0,0255;$$

$$\Delta_6 = \delta_6 \cdot N_{\text{НОМ}6} = 0,5 \cdot 15/100 = 0,075;$$

$$\Delta_7 = \delta_7 \cdot N_{\text{НОМ}7} = 0,1 \cdot 2/100 = 0,002.$$

Знаходимо середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_i = \frac{\Delta_i}{z}, \quad (3.21)$$

де z - коефіцієнт Стюдента. Важаємо, що u на нормальний закон розподілу, тоді $z=1,96$ [15].

Отже, знайдемо середньо квадратичне відхилення:

$$\sigma_1 = \frac{\Delta_1}{1,96} = \frac{0,00165}{1,96} = 0,00084;$$

$$\sigma_2 = \frac{\Delta_2}{1,96} = \frac{0,00165}{1,96} = 0,00084;$$

$$\sigma_3 = \frac{\Delta_3}{1,96} = \frac{0,0034}{1,96} = 0,00173;$$

$$\sigma_4 = \frac{\Delta_4}{1,96} = \frac{0,0255}{1,96} = 0,01301;$$

$$\sigma_5 = \frac{\Delta_5}{1,96} = \frac{0,0255}{1,96} = 0,01301;$$

$$\sigma_6 = \frac{\Delta_6}{1,96} = \frac{0,075}{1,96} = 0,03826;$$

$$\sigma_7 = \frac{\Delta_7}{1,96} = \frac{0,002}{1,96} = 0,00102.$$

Тепер нам необхідно знайти сумарну середньоквадратичну похибку. Для цього використовуємо формулу для випадкових величин:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\Sigma \sigma_i^2} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2 + \sigma_5^2 + \sigma_6^2 + \sigma_7^2}; \quad (3.22)$$

Підставляємо значення у формулу (3.22):

$$\begin{aligned} \sigma_{\Sigma} &= \sqrt{[(8,4)^2 + (8,4)^2 + (17,3)^2 + (130,1)^2 + (130,1)^2 + (382,6)^2 + (10,2)^2] \cdot 10^{-8}} = \\ &= 425,15 \cdot 10^{-4} = 0,042515 \end{aligned}$$

Знаходимо значення сумарної абсолютної похибки:

$$\Delta_{\Sigma} = \sigma_{\Sigma} \cdot z; \quad (3.23)$$

$$\Delta_{\Sigma} = 0,042515 \cdot 1,96 = 0,0833;$$

Знаходимо сумарну відносну похибку блоку фільтра.

$$\delta_{\Sigma} = \frac{\Delta_{\Sigma}}{U_{\text{ном}}}; \quad (3.24)$$

Отже знаходимо:

$$\delta_{\Sigma} = \frac{0,0833}{7} = 0,0119.$$

Розрахунок додаткової похибки провидимо аналогічно до розрахунку основної похибки. Сам розрахунок проведено у додатку Е. Згідно результатів розрахунку отримаємо, що $\delta_{\Sigma_d} = 0,035\%$.

Похибку підсилювача фільтра шумоміра проаналізуємо наступним чином.

Нелінійність коефіцієнта підсилювача h_{21E} транзистора КТ315 А в діапазоні зміни $I_b = 0..20$ мА становить 3,6 %. Оскільки в розрахунковому підсилювачі на основі транзистора КТ 315 А базовий струм становить $I_b = 0,05$ мА, то пропорційна йому нелінійність коефіцієнта h_{21E} буде становити приблизно 0,05 %. Відповідно такою буде і похибка К від

нелінійності нашого широкосмугового підсилювача.

В даному розділі розглянуто динамічну похибку, її суть і значення. Також розраховано дві похибки фільтра шумоміра, основну, яка становить $\delta_{\Sigma} = 1,19 \%$, і додаткову, яка становить $\delta_{\Sigma_d} = 0,035\%$.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Значення охорони праці для забезпечення безпечності та здорових умов праці

Охорона праці вивчає та виявляє вплив на організм людини небезпечних факторів, які в свою чергу можуть спричинити травми або негативний вплив на організм людини. Одним із небезпечних факторів представляється шум. Питання боротьби з шумом в теперішній час мають велике значення у всіх областях техніки, особливо в машинобудуванні, на практиці, в енергетиці. Шум на виробництві наносить велику шкоду, шкідливо діючи на організм людини і понижуючи виробничість праці. Втома робочих і операторів із-за сильного шуму збільшує число помилок при роботі, сприяє виникненню травм. Нерідко і в побуті людина підпадає дії шуму недопустимо високих рівнів.

В залежності від рівня і характеру шуму, його продовжуваності, а також від індивідуальних особливостей людини шум може виявляти різну дію. Шум, навіть коли він невеликий, здійснює велику навантаження на нервову систему людини, показуючи на неї психологічну дію. Під дією шуму в першу чергу знижується слухова чутливість на високих частотах. Сильний шум шкідливо відображається на здоров'ї і працездатності людей. Людина, яка працює при шумі, привикає до нього, але довга дія сильного шуму викликає загальну втому, може привести до погіршення слуху, а деколи навіть до глухоти, порушується процес травлення, відбувається зміна об'ємів внутрішніх органів. Тому боротьба з шумом представляється важливою задачею.

Часто неекономічно, а деколи практично неможливо зменшити шум до допустимих величин загальнотехнічних заходів. Для того, щоб зменшити вплив шуму на людину, то часто використовують індивідуальні

засоби захисту, що дозволяє запобігти професійним захворюванням робочих. До таких засобів захисту відносять вкладиші, навушники і шоломи.

Основним завданням охорони праці і є забезпечення нормальних умов праці, в яких здоров'ю людини не загрожує небезпека. Охорона праці є системою законодавчих актів та відповідних соціально-економічних, гігієнічних, технічних та організаційних заходів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці.

4.2 Аналіз потенційних небезпек і шкідливостей

В якості звуку ми сприймаємо пружні коливання, що поширюються хвилеподібно у твердому, рідкому і газоподібному середовищі. Звукові хвилі виникають при порушенні стаціонарного стану середовища внаслідок дії на неї будь-якої збуреної сили. Частинки середовища при цьому починають коливатися відносно положення рівноваги, причому швидкість таких коливань значно менша швидкості поширення хвилі (швидкості звуку).

Звукове поле - це область простору, в якому поширюються звукові хвилі. В кожній точці звукового поля тиск і швидкість руху частинок повітря змінюються в часі. Різниця між миттєвим значенням повного тиску і середнім тиском, яке спостерігається в незбудженому середовищі, називається звуковим тиском.

Величини звукового тиску і інтенсивності звуку, з якими приходится мати справу в практиці боротьби з шумом, можуть змінюватися у межах: по тиску до 10^8 раз, по інтенсивності до 10^{16} раз. Ясно, що користуватися такими цифрами не зручно. Найбільше ж важлива та обставина, що вухо людини здатне реєструвати на відносну зміну інтенсивності, а не на абсолютну. Відчуття людини, яке виникає при різному роді збудженнях, частково при шумі, пропорційні логарифму

якості енергії збуджувача. Тому були введені логарифмічні величини - рівні звукового тиску і інтенсивності.

Таблиця 4.1 Аналіз потенційних небезпек для здоров'я людини.

Вид небезпеки	фактичні значення	Гранично допустимі значення	Характер дії на людину
Шум	63 125 250 500 1000 2000 4000 8000	94 87 82 78 75 73 71 70	Відчуття втоми, часткова втрата слуху, роздратування, розлад нервової системи
Вібрація	80	75	Головна біль, втома, віброхвороба
Електричний струм	U=380В I=10А, f=50 Гц	U<42В I<0,05А, f=50 Гц	Електротравми різного ступеня

4.3 Забезпечення безпечних та здорових умов праці

Для того, щоб забезпечити безпечних та здорових умов праці робітників на їх робочих місцях, необхідно в першу чергу дотримуватися всіх норм і правил техніки безпеки. Деякі шкідливі для людини фактори працівник може або запобігти, або знешкодити. Але є і такі шкідливі фактори, вплив яких можливо тільки зменшити. Цими факторами можуть бути шум, вібрація тощо.

Таким чином для зниження шуму створеного на робочих місцях внутрішніми джерелами, а також шуму, що проникає із середини слід:

- ослабити шум самих джерел (застосування екранів, звукоізолюючих кожухів);

- знизити ефект сумарної дії відбитих звукових хвиль (звукопоглинаючі поверхні конструкцій);
- застосовувати раціональне розміщення оснащення;
- використовувати архітектурно-плановані і технологічні рішення ізоляцій джерелів шуму.

Вухо людини може сприймати як слухові тільки ті коливання, частоти яких знаходяться в межах 20 Гц - 20 кГц. Нижче 20 Гц знаходяться відповідно області нечуттєвих людиною інфра- і ультразвука.

До основних засобів по боротьбі з інфразвуком можна віднести:

- збільшення швидкості машин, що забезпечує перевід максимуму випромінювання в область слухових частот;
- збільшення жорсткості конструкцій більших розмірів;
- знешкодження низькочастотних вібрацій.

Необхідно відмітити, що традиційні методи боротьби з шумом за допомогою звукоізоляції і звукопоглинання мало ефективні при інфразвучі. В цьому випадку необхідно боротися з таким виробничим фактором в джерелі його виникнення.

Ультразвук також шкідливо впливає на організм людини. У працівників, що працюють з ультразвуковими установками нерідко спостерігається функціональне порушення нервової системи, зміна тиску, склад і властивості крові. Ультразвук може діяти на людину як через повітряне середовище, так і через рідке і тверді (контактна дія на руки).

Захист від дії ультразвуку через повітря може бути забезпечений:

- використанням в устаткуванні більш високих робочих частот, для яких допустимі рівні звукового тиску більші;
- виготовленням устаткування, що випромінює ультразвук в звукоізованому виконанні (типу кожухів із сталі, слоїв резини та ін.);
- пристроєм екранів, в тому числі прозорих, між устаткуванням і робочим;
- розміщення ультразвукових установок в спеціальних приміщеннях

або кабінах, якщо переліченими вище засобами неможливо отримати відповідний ефект.

Захист від дії ультразвука при контактному опроміненні складається в повному винятку безпосереднього доторкання робочого з інструментом, оскільки така дія дуже шкідлива.

При застосуванні засобів індивідуального захисту значно покращуються умови праці робітників. Це зумовлено тим, що при використанні цих засобів, наприклад, вкладиші, навушники, шоломи, шум набагато менше впливає на людину, тобто зменшується інтенсивність шуму. Це призводить відповідно до покращення самопочуття робітників.

Самий найкращий спосіб зменшити шум на слуховий орган людини - це навушники. В промисловості широко застосовують навушники. Вони щільно облягають вушну раковину і підтримуються дугоподібною пружиною. В таблиці приведена акустична характеристика цих навушників.

Таблиця 4.2 - Акустична характеристика навушників

Середньгеометричні частоти смуг, Гц	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Пониження рівня звукового тиску, дБ	7	11	14	22	35	47	38

Для досягнення нормальних умов праці у випробовуваних лабораторіях повинна забезпечуватися наявність необхідної кількості службових та санітарно-побутових приміщень (табл. 4.3)

Таблиця 4.3 - Номенклатура санітарно-побутових приміщень

Лабораторія, кількість працівників	Назва санітарно-побутового приміщення	Норма площі на одного працівника, м ²	Необхідна площа, м ²	Фактична площа, м ²
Випробувальна лабораторія	Гардеробна	0,82	24,6	21,5
	Душова	0,2	6	7,8

рія, 30	Туалет для чоловіків	0,09	2,7	3
	Туалет для жінок	0,14	4,2	4,5
	Побутові приміщення	0,9	27	26

При організації і проведення випробувань повинні бути забезпечені відповідні метеорологічні умови в робочій зоні випробовуваних приміщень. Метеорологічні умови або мікроклімат у випробовуваних приміщеннях визначається такими параметрами: температурою повітря, відносною вологістю, швидкості руху повітря у лабораторії, барометричним тиском.

Таблиця 4.4 - Нормативні характеристики метеорологічних умов у випробовуваних приміщеннях

Випробувальна лабораторія	Категорія важкості фізичних робіт	Період року	Температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Лабораторія	Легка Ia	Теплий	23,5	400	0,1
		Холодний	22-24	40-60	0,1

Для забезпечення нормальних метеорологічних умов і чистоти повітря у приміщенні використовують вентиляцію. Вентиляція досягається витяжкою забрудненого повітря з приміщення і подачею в нього свіжого повітря. За способом переміщення повітря вентиляція буває природньою і механічною. При очищенні повітря у лабораторіях переважно застосовують механічну вентиляцію.

Таблиця 4.5 - Характеристика системи вентиляції

Випробовувальне приміщення	Вид вентиляції	Вентиляційне обладнання	Кратність повітряного обміну
Лабораторія	Витяжна (кондиціонер)	К-23000	4

У відповідності із санітарними нормами і правилами всі складальні, випробовувальні, побутові, адміністративні та інші приміщення повинні мати природне і штучне освітлення. Для штучного освітлення використовують лампи розжарення, галогенні лампи і газорозрядні лампи. Характеристика штучного освітлення приведена в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 - Характеристика штучної освітленості робочих місць.

Випробувальне приміщення	Освітленість, лк				Тип світильника
	загальна	комбінована	аварійна	евакуаційна	
Лабораторія	50	-	5	0,5	ДРЛ

5.4 Розрахунок штучної освітленості

Раціональне висвітлення виробничих ділянок є одним з найважливіших факторів попередження травматизму і професійних захворювань. Правильно організоване висвітлення створює сприятливі умови праці, підвищує працездатність і продуктивність праці.

Освітленість на робочому місці повинна бути такою, щоб працюючий міг без напруги зору виконувати свою роботу при припустимому з народногосподарської точки зору витратою засобів, матеріалів і електроенергії.

Тому що в дійсному дипломному проекті розглядається питання іспиту машин, приладів, двигунів на випромінювання припустимої норми шумів, то приведемо розрахунок штучного висвітлення для приміщення, де будуть досліджуватися джерела шумів. Розміри приміщення: довжина 7м, ширина 5м, висота 3м.

Розрахунок освітленості виконаємо методом коефіцієнта використання. Цей метод використовується для розрахунку загального рівномірного висвітлення горизонтальних поверхонь виробничих приміщень при відсутності затемнень.

Розрахунок висвітлення методом коефіцієнта використання виконується по формулі:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot z}{N \cdot \eta} \quad (5.1)$$

де Φ - необхідний світловий потік ламп у кожному світильнику, лм;

E - нормативна мінімальна освітленість, лк, визначається по таблиці 3.10 [17, 21];

k - коефіцієнт запасу, вибирається по таблиці 3.13 [17];

S - освітлювана площа, кв м;

z - коефіцієнт мінімальної освітленості, величина якого знаходиться в межах від 1.1 до 1.5 (при оптимальних відносинах відстані між світильниками до розрахункової висоти для ламп накаливання і ДРЛ $z=1.15$ і для люмінесцентних ламп $z=1.1$);

N - число світильників у приміщенні;

η - коефіцієнт використання світлового потоку.

Приймаємо: $E=300$ лк; $k=1.5$; $z=1.1$

Для висвітлення приміщення застосовуємо газорозрядні лампи.

Освітлювана площа приміщення визначається по формулі:

$$S = A \cdot B, \quad (5.2)$$

де S - освітлювана площа, кв м;

A - довжина приміщення, м;

В - ширина приміщення, м.

$$S=7 \times 5=35 \text{ кв м}$$

Розміщення світильників у приміщенні при системі загального висвітлення залежить від розрахованої висоти їхнього підвісу h , що звичайно задається розмірами приміщень. Найбільш вигідне співвідношення відстані між світильниками до розрахункової висоти підвісу:

$$\lambda = \frac{L}{h} \quad (5.3)$$

приймається по таблиці 3.14 [13] у залежності від типової кривої сили світла світильника. Для люмінесцентних ламп при косинусоїдальній типової кривої вибираємо $\lambda = 1.4$.

Знаходимо розрахункову висоту підвісу по наступній формулі:

$$h = H - h_{зс} - h_{рп}, \quad (5.4)$$

де H - висота приміщення, м;

$h_{зс}$ - висота звису світильника (від перекриття), м;

$h_{рп}$ - висота робочої поверхні над підлогою, м.

Приймаємо: $H=3$ м, $h_{зс}=0.7$ м, $h_{рп}=0.8$ м.

$$h=3-0.7-0.8=1.5 \text{ м}$$

Відстань між світильниками визначаємо з формули (5.3):

$$L = \lambda \cdot h \quad (5.5)$$

$$L=1.4 \times 1.5=2.1 \text{ м}$$

Визначаємо кількість світильників для установки в приміщенні:

$$N = \frac{S}{L^2}, \quad (5.6)$$

$$N = \frac{35}{2.1^2} = 7.9 \approx 8$$

Для визначення коефіцієнта використання η знаходимо індекс приміщення i :

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (5.7)$$

де A і B - відповідно довжина і ширина приміщення, м;

h - розрахункова висота підвісу, м.

$$i = \frac{7 \cdot 5}{1.5 \cdot (7 + 5)} = 1.9.$$

Отримане значення i округляємо до найближчого табличного значення і приймаємо $i=1.5$.

По таблиці 3.15 [17] оцінюємо коефіцієнти відображення поверхонь приміщення: стелі - ρ_C , стін - ρ_{CT} , робочої поверхні - ρ_p . Приймаємо: $\rho_C=70\%$, $\rho_{CT}=50\%$, $\rho_p=30\%$.

За отриманим значенням i і ρ по таблиці 3.16 [16] визначаємо величину коефіцієнта використання світлового потоку для обраного світильника.

Вибираємо світильник типу ПВЛМ - Д, для якого $\eta=73\%$.

По формулі (5.1) визначаємо необхідний світловий потік ламп у кожному світильнику:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 35 \cdot 1.5 \cdot 1.1}{8 \cdot 0.73} = 2967.$$

По таблиці 3.20 [17] вибираємо необхідну лампу. Тип обраної лампи - ЛХБЦ40-4. У світильнику будуть установлені дві таких лампи.

Короткі технічні дані лампи ЛХБЦ40-4:

потужність - 40 Вт;

напруга - 103 В;

світловий потік після 100 год горіння - 2000 лм.

ВИСНОВКИ

В першому розділі було розглянуто характеристики та класифікація шумів. Також описано стандартні методи вимірювання шумових характеристик джерел шумів. Ці методи значною мірою відрізняються один від одного в залежності від умов контролю, вимог до характеру, точності отриманої інформації. За допомогою даних методів здійснюється контроль механізмів (машин, двигунів та ін) при їх експлуатації на випромінювання допустимих рівнів шуму, безпечних для людини. Вимірювання шуму проводять з метою визначення рівнів звукового тиску на робочих місцях і відповідність їх діючим нормам, а також для розробки і оцінки ефективності різних засобів по зниженню шуму.

Основним пристроєм для вимірювання шумів представляється шумомір. В залежності від точності шумоміри розділяють на 4 класи. В середині шумоміра вмонтовано фільтр, за допомогою якого можна визначити спектр шуму. Для більш детального дослідження джерел шуму часто застосовують октавні фільтри і вузькосмугові аналізатори.

В другому розділі було розглянуто математичний опис шуму. Також удосконалено методику вимірювання шумових характеристик джерела шуму у заглушених камерах і на відкритих площадках. В методі вимірювання шуму здійснено шумоміром другого класу, тобто для точних лабораторних вимірювань. В шумомірі звук, що приймається мікрофоном, перетворюється в електричні коливання, які підсилюються і потім, пройшовши через фільтр, реєструється індикатором. Діапазон сумарних рівнів шуму звичайно складають 30-130 дБ при частотних границях 20 - 20000 Гц. Вимірювання шуму на робочих місцях промислових центрів виробляють на рівні вуха працюючого при включенні не менше ніж $\frac{2}{3}$ встановленого обладнання.

В другому розділі також розрахований один з блоків фільтра

шумоміра - фільтр, а саме фільтр з попереднім підсилювачем. Розроблено його друковану плату і складальне креслення.

В розділі метрологічного аналізу методики вимірювання шумів розглянуто динамічну похибку, її суть і значення. Також розраховано похибку фільтра шумоміра ($\delta_{\Sigma} = 1,19\%$).

В четвертому розділі розглянуті безпечні умови праці, при яких працюючий зможе безпечно працювати на своєму робочому місці. Також розраховано освітленість приміщення (лабораторії), де проводяться вимірювання рівнів шумів джерел шумів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. ДСТУ 4212:2003 Вимірювачі рівня звуку. загальні технічні вимоги та методи випробувань

2. Гігієна праці : підручник/ [Ю.І. Кундієв, О.П. Яворовський, А.М. Шевченко та ін.] ; за ред. Ю.І. Кундієва, О.П. Яворовського. - К. : Медицина, 2011. - 904 с.

3. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

4. ДСТУ ГОСТ 12.1.028:2019. Система стандартів безпеки праці. шум визначення шумових характеристик джерел шуму. орієнтовний метод.

5. ДСТУ EN ISO 3741 (Акустика. Визначення рівнів звукової потужності та рівнів звукової енергії джерел шуму за звуковим тиском. Точні методи для ревербераційних камер).

6. Теорія сигналів [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: А. О. Попов. – Електронні текстові данні. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 268 с.

7. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку

8. ДСТУ 3010-95 Устаткування для кондиціювання повітря та вентиляції. Методи визначення шумових характеристик кондиціонерів

9. ДСТУ ГОСТ 31337:2007 (ISO 15744:, NEQ) Шум машин. Машини ручні неелектричні. Технічний метод вимірювання шуму.

10. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Електроніка і мікросхемна техніка: Підручник. 2-е вид. / за ред. Соскова А.Г.— К.: Каравела, 2009.— 416 с.

11. Задерейко О.В., Панов Л.І., Циганов О.В. Конструювання і технологія радіоелектронної апаратури: Навч. посіб. - О.: Наука і техніка,

2007. - 122

12. Кісіль І.С. Конструювання вимірювальних приладів. – Івано-Франківськ: Факел, 2004 – 327 с.

13. Микитин Г. В. Основи метрології. – Львів: СПОЛОМ, 2008 р.– 296 с.

14. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник/ За ред. проф.Є.С. Поліщука. – Львів: Видавництво «Бескiй Бiт», 2003. – 544 с.

15. Кісіль І.С. Метрологія, точність і надійність засобів вимірювання: Навчальний посібник для студентів ВУЗів. – Івано-Франківськ: Факел, 2002. – 400 с.

16. Довідник з напівпровідникових приладів. Лавриненко В.Ю. Вид. 8-е, перероб. – К.: Техніка, 1977.- 376 с.

17. Практикум із охорони праці: навчальний посібник / В.Ц. Жидецький, В.С. Джигирей, В.М. Сторожук [та ін.]; за ред. канд. техн. наук, доцента В.Ц. Жидецького. – Львів: Афіша, 2004. – 352 с.

18. Купчик В. П. Основи охорони праці. – Львів: Афіша, 2000. – 178 с.

19. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

20. Кривенко Г.М. Електронний курс "Основи охорони праці", сертифікат електронного курсу №000177 від 30.06.2021

21. Кривенко Г. М., Стеліга І. І., Лялюк-Вітер Г. Д., Шиманський В. Я. Охорона праці: практикум. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2017. 205 с.

22. Кривенко Г. М., Семчук Я. М., Стеліга І. І., Лялюк-Вітер Г. Д., Шиманський В. Я.. Охорона праці: методичні вказівки до виконання розділу "Охорона праці" випускної кваліфікаційної роботи бакалавра. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2021. 84 с.

23. Основи охорони праці : метод. вказівки / Г.М. Кривенко, І.І. Стеліга, В.Я. Шиманський, Г.Д. Лялюк-Вітер. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2021. – 29 с.

24. А.О. Попов. Теорія сигналів [Електронний ресурс] : навч. посіб

/ КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: А.О. Попов. – Електронні текстові данні. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 268 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

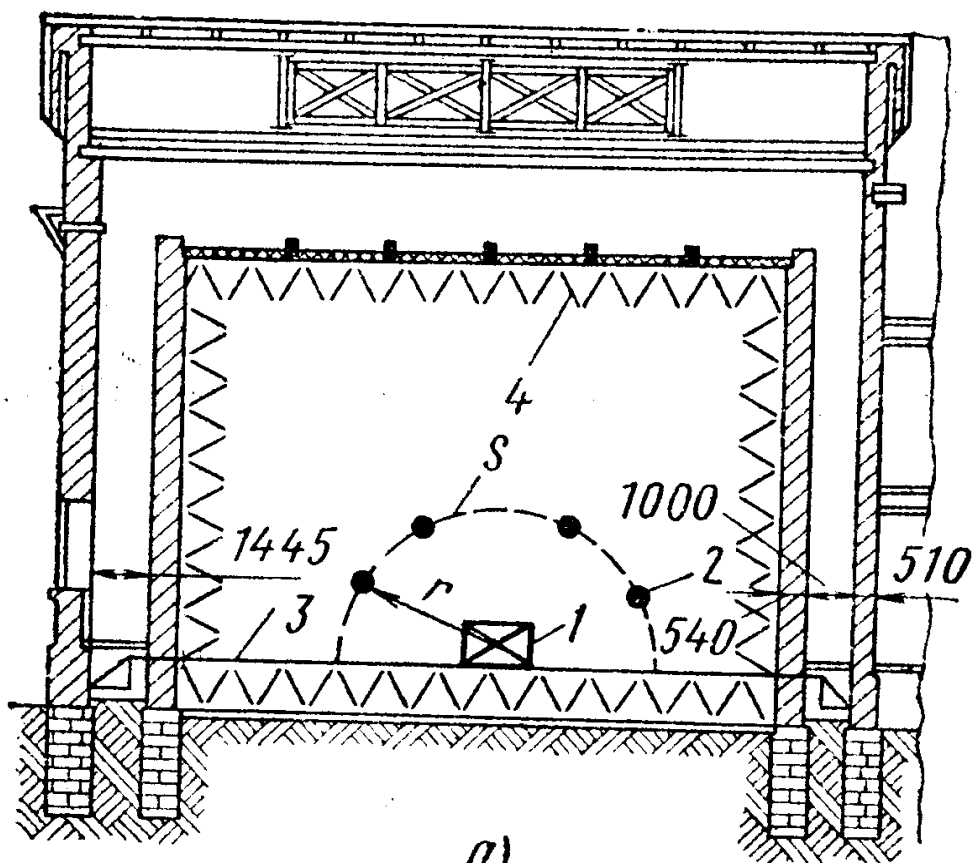


Рисунок А1 – Вимірювання шумових характеристик у заглушеній камері

Продовження додатку А

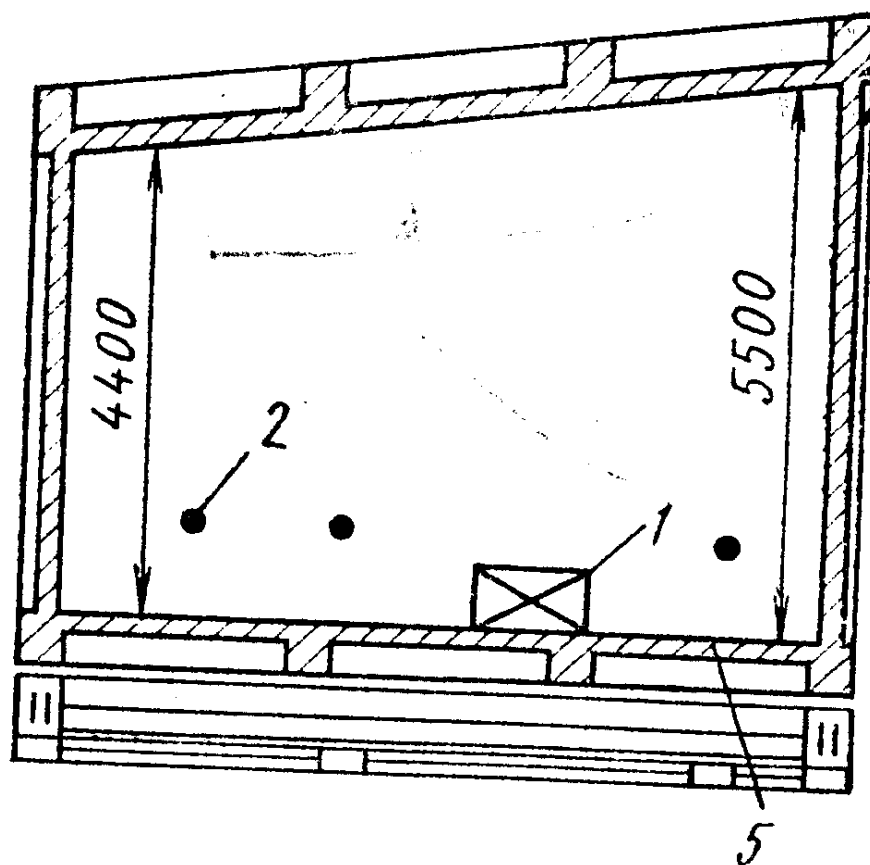


Рисунок А2 – Вимірювання шумових характеристик у
ревербераційній камері

Додаток Б
Порівняльна характеристика методів вимірювання шумових
характеристик джерел шумів

Особливості методу	Точний метод. Визначення шумових характеристик джерел шуму в заглушеній камері	Точний метод. Визначення шумових характеристик джерел шуму в ревербераційній камері	Технічний метод. Визначення шумових характеристик джерел шуму в вільному звуковому полі над звуковідбиваючою площиною	Технічний метод. Визначення шумових характеристик джерел шуму в ревербераційній камері
1	2	3	4	5
Вид шуму	Всі види шумів як по часовому складу так і по часовим характеристикам	Постійні шуми, широкополосні або тональні	Всі види шумів	Постійні шуми, широкополосні або тональні
Здійснення вимірювань	В заглушеній камері з звукопоглинаючою і звуковідбиваючою поверхнею	В ревербераційній камері	В вільному звуковому полі над звуковідбиваючою площиною	У ревербераційній камері
Визначення характеристик шуму	Рівень звукової потужності в смугах частот і корегованого по характеристиці А рівня звукової потужності; показника направленості випромінювання джерел шуму	Рівень звукової потужності в смугах частот джерела шуму	Рівень звукової потужності в смугах частот; корегованого по характеристиці А рівня звукової потужності і показника направленості випромінювання джерел шуму у вільному звуковому полі	Рівень звукової потужності в смугах частот; корегованого по характеристиці А рівня звукової потужності і показника направленості випромінювання джерел шуму у ревербераційній камері

Продовження додатку Б

1	2	3	4	5
При виконанні всіх умов вимірювання забезпечує можливість	Максимального середнього квадратичного відхилення рівня звукової потужності в смугах частот і корегованого по характеристиці А рівня звукової потужності	Максимального середнього квадратичного відхилення рівня звукової потужності в смугах частот і корегованого по характеристиці А рівня звукової потужності	Максимального середнього квадратичного відхилення рівня звукової потужності в смугах частот і корегованого по характеристиці А рівня звукової потужності	Максимального середнього квадратичного відхилення рівня звукової потужності в смугах частот і корегованого по характеристиці А рівня звукової потужності
Вимірювання проводяться	- в октавних смугах частот із середньгеометрич-	- в октавних смугах частот із середньгеометрич-	- в октавних смугах частот із середньгеометрич-	- в октавних смугах частот із середньгеометрич-

	ними частотами 125-8000 Гц; - в триоктавних смугах частот із середньгеометричними частотами 100-10000 Гц або в більш вузьких смугах частот а також в рівнях звуку	ними частотами 125-8000 Гц; - в триоктавних смугах частот із середньгеометричними частотами 100-10000 Гц	ними частотами 125-8000 Гц; - в триоктавних смугах частот із середньгеометричними частотами 100-10000 Гц або в більш вузьких смугах частот а також в рівнях звуку	тотами 125-8000 Гц; - в триоктавних смугах частот із середньгеометричними частотами 100-10000 Гц або в більш вузьких смугах частот а також в рівнях звуку
--	--	---	--	--

Продовження додатку Б

1	2	3	4	5
Апаратура	Шумоміри 0-го і 1-го класів з полосовими електричними фільтрами	Шумоміри 0-го і 1-го класів з полосовими електричними фільтрами	Шумоміри 1-го і 2-го класів з полосовими електричними фільтрами	Шумоміри 1-го і 2-го класів з полосовими електричними фільтрами
Призначення мікрофона шумоміра	Для вимірювання у вільному звуковому полі	Для вимірювання у дифузійному звуковому полі	Для вимірювання у вільному звуковому полі	Для вимірювання у дифузійному звуковому полі
Умови вимірювання полягають у визначенні	- об'єму заглушеної камери; - коефіцієнту звукопоглинання; - враховується шум завад	- об'єму ревербераційної камери; - коефіцієнт звукопоглинання поверхні камери та стінок; - зміна температури на $\pm 10^{\circ}\text{C}$ - враховується шум завад	- розміри відкритої площадки та розміри випробувальної площадки в закритому приміщенні; - визначення постійної К, що враховує вплив відбитого звуку на результат вимірювань - зміна температури на $\pm 10^{\circ}\text{C}$ - шум завад - швидкість вітру менше 5 м/с	- об'єм ревербераційної камери та розміри випробувальної площадки в закритому приміщенні; - середній коефіцієнт звукопоглинання поверхні камери та стінок; - зміна температури на $\pm 10^{\circ}\text{C}$ - враховується шум завад

Продовження додатку Б

1	2	3	4	5
Кількість	20 – сферична	6	8 і більше	

точок вимірювань	поверхня; 10 - півсферична			
Розміщення точок	На вимірювальній поверхні	В області відбитого звукового поля	На вимірювальній поверхні	В області звукового поля
Тип вимірювальної поверхні	Сфера в камерах із з звукопоглинаючою поверхнею, півсфера – в камерах із звуко-відбиваючою поверхнею	Стінки ревербераційної камери	Півсфера або вимірювальна поверхня, яка розміщена на одній і тій же відстані d від джерела шуму	Стінки випробувального приміщення
При підготовці до вимірювань визначають	Площу вимірювальної поверхні (сферичної, півсферичної)	Середнє квадратичне відхилення для кожної смуги частот; $\min$ кількість положень джерела шуму	Площу вимірювальної поверхні (півсферичної)	Середнє квадратичне відхилення для кожної смуги частот
Результати вимірювань	-середній рівень звукового тиску в смугах частот; - рівень звукової потужності - поправка на температуру і звуковий тиск -показник направленості випромінення джерела шуму	-середній рівень звукового тиску в смугах частот; - рівень звукової потужності	-середній рівень звукового тиску в смугах частот; - рівень звукової потужності -показник направленості випромінення джерела шуму	-середній рівень звукового тиску в смугах частот; - рівень звукової потужності

ДОДАТОК В
ВИЗНАЧЕННЯ СПЕКТРАЛЬНОЇ ЩІЛЬНОСТІ

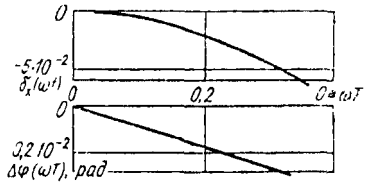
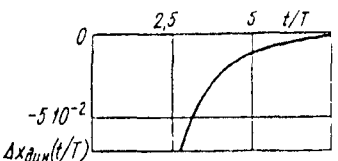
Таблиця В1 – Визначення спектральної щільності і вигляду перетворень Хінчина-Вінера

Спектральна густина та її зв'язок з дисперсією	Перетворення Хінчина-Вінера
--	-----------------------------

$\bar{U}^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} E_1(\kappa) d\kappa$	$\begin{aligned} E_1(\kappa) &= \int_{-\infty}^{+\infty} K(\Delta\chi) e^{-j2\pi\kappa\Delta\chi} d(\Delta\chi) = \\ &= 2 \int_0^{+\infty} K(\Delta\chi) \cos 2\pi\kappa\Delta\chi d(\Delta\chi) \\ K(\Delta\chi) &= \int_{-\infty}^{+\infty} E_1(\kappa) e^{j2\pi\kappa\Delta\chi} d\kappa = \\ &= 2 \int_0^{\infty} E_1(\kappa) \cos 2\pi\kappa\Delta\chi d\kappa \end{aligned}$
$\begin{aligned} E(\kappa) &= 2E_1(\kappa) \\ \bar{U}^2 &= \int_0^{\infty} E(\kappa) d\kappa \end{aligned}$	$\begin{aligned} E(\kappa) &= 2 \int_{-\infty}^{+\infty} K(\Delta\chi) e^{-j2\pi\kappa\Delta\chi} d(\Delta\chi) = \\ &= 4 \int_0^{+\infty} K(\Delta\chi) \cos 2\pi\kappa\Delta\chi d(\Delta\chi) \\ K(\Delta\chi) &= \int_0^{\infty} E(\kappa) \cos 2\pi\kappa\Delta\chi d\kappa \end{aligned}$
$\begin{aligned} E_1(\omega) &= \frac{E_1(\kappa)}{2\pi} \\ \bar{U}^2 &= \int_{-\infty}^{+\infty} E_1(\omega) d\omega \end{aligned}$	$\begin{aligned} E_1(\omega) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} K(\Delta\chi) e^{-j\omega\Delta\chi} d(\Delta\chi) = \\ &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} K(\Delta\chi) \cos \omega\Delta\chi d(\Delta\chi) \\ K(\Delta\chi) &= \int_{-\infty}^{+\infty} E_1(\omega) e^{j\omega\Delta\chi} d\omega = \\ &= 2 \int_0^{\infty} E_1(\omega) \cos \omega\Delta\chi d\omega \end{aligned}$
$\begin{aligned} E(\omega) &= 2E_1(\omega) \\ \bar{U}^2 &= \int_0^{\infty} E(\omega) d\omega \end{aligned}$	$\begin{aligned} E(\omega) &= \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} K(\Delta\chi) e^{-j\omega\Delta\chi} d(\Delta\chi) = \\ &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} K(\Delta\chi) \cos \omega\Delta\chi d(\Delta\chi) \\ K(\Delta\chi) &= 4 \int_0^{\infty} E(\omega) \cos \omega\Delta\chi d\omega \end{aligned}$

Характеристики динамічних похибок перетворювачів першого порядку

Частотні		Часові (для одиничного вхідного збурення)
Математичний вираз	Графіки	
Реальний диференціальний $W_{\Delta}(s) = -\frac{1}{1 + Ts}$ $\delta_x(\omega T) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega T)^2}} - 1$ $\Delta\varphi(\omega T) = -\arctg\omega T$		$\Delta x_{dyn}(t/T) = -e^{-t/T}$
Реальний диференціальний як безінерційний $W_{\Delta}(s) = -\frac{Ts}{1 + Ts}$ $\delta_x(\omega T) = \frac{\omega T}{\sqrt{1 + (\omega T)^2}} - 1$ $\Delta\varphi(\omega T) = \frac{\pi}{2} - \arctg\omega T$		$\Delta x_{dyn}(t/T) = -e^{-t/T} - 1$
Реальний інтегровальний $W_{\Delta}(s) = -\frac{Ts}{1 + Ts}$ $\delta_x(\omega T) = \frac{\omega T}{\sqrt{1 + (\omega T)^2}} - 1$		$\Delta x_{dyn}(t/T) = -e^{-t/T} - 1$

$\Delta\varphi(\omega T) = \frac{\pi}{2} - \arctg\omega T$		
Реальний інтегровальний як безінерційний $W_{\Delta}(s) = -\frac{1}{1 + Ts}$ $\delta_x(\omega T) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega T)^2}} - 1$ $\Delta\varphi(\omega T) = -\arctg\omega T$		$\Delta x_{\text{дин}}(t/T) = -e^{-t/T}$ 

Додаток Д

Визначення характеристичних розмірів вимірювальної поверхні для визначених розмірів джерела шуму

Напівсферичну вимірювальну поверхню використовуємо при вимірах показника спрямованості, а також якщо вимірювальна відстань d перевищує в 1,5 рази максимальний розмір огинаючого паралелепіпеда, ($d > 1,5l_{\max}$). а радіус R вимірювальної півсфери більший чи дорівнює подвоєному максимальному розміру огинаючого паралелепіпеда ($R > 2l_{\max}$). У нас джерело шуму має наступні розміри: $l_{\max}=l_1=1,5$ м; $l_2=0,7$ м; $l_3=0,8$. Згідно цих розмірів $d > 2,25$. Приймаємо, що вимірювальна відстань $d=2,5$ м.

Характеристичні розміри вимірювальної поверхні, розташованої на відстані d від джерело шуму, огинаючого паралелепіпеда (рис.2.4), обчислюємо по формулах

$$a=0.5l_1+d; b=0.5l_2+d; c=l_3+d, \quad (1)$$

де l_1, l_2 — розміри паралелепіпеда, що огинає джерело шуму, м;

l_3 — висота паралелепіпеда, що огинає джерело шуму, м;

d - вимірювальна відстань, м.

Згідно формули (1) обчислюємо:

$$a=0.5 \cdot 1,5+2,5= 3,25 \text{ м}; b=0.5 \cdot 0,7+2,5=2,85 \text{ м}; c=0,8+2,5=3,3 \text{ м}.$$

Площу вимірювальної поверхні в м^2 визначаємо за формулою

$$S = 4(ab + bc + ac) \frac{(a + b + c)}{(a + b + c + 2d)} . \quad (2)$$

$$S = 4 \cdot (3,25 \cdot 2,85 + 2,85 \cdot 3,3 + 3,25 \cdot 3,3) \frac{(3,25 + 2,85 + 3,3)}{(3,25 + 2,85 + 3,3 + 2 \cdot 2,5)} = 76,75 \text{ м}^2.$$

Встановлюємо, що кількість точок виміру дорівнює 8. Розташовуємо їх так, як зазначено на рис.2.4.

Точки виміру 1 - 4 розташовані на висоті h_1 , що повинна бути не меншою ніж 0,15 м. Висоту h_1 обчислюємо за формулою

$$h_1 = 0.25(b + c - d) , \quad (3)$$

$$h_1 = 0,25 \cdot (2,85 + 3,3 - 2,5) = 0,9125 .$$

Точки виміру 5 - 8 розташовуємо на висоті h_2 , що не повинна перевищувати висоти над звуковідбиваючою площиною. Висоту h_2 обчислюємо за формулою

$$h_2 = 0.75(b + c - d), \quad (4)$$

$$h_2 = 0,75 \cdot (2,85 + 3,3 - 2,5) = 2,74 .$$

Врахуємо, що розмір b_1 не повинний перевищувати розмір b , який обчислюємо за формулою

$$b_1 = 0.5(b + c - d), \quad (5)$$

$$b_1 = 0,5 \cdot (2,85 + 3,3 - 2,5) = 1,825 .$$

На напівсферичній вимірювальній поверхні будемо використовувати ті ж точки вимірювання, обчислення координатів яких здійснено вище (див. аркуш БР.МТ-09.00.00.002).

Додаток Е

Визначення додаткової похибки фільтра шумоміра внаслідок зміни навколишньої температури.

Таблиця 3.1 - Типи, похибки і значення коефіцієнтів елементів фільтра шумоміра

Елемент схеми	Номінальне значення	Температурний коефіцієнт, ТКЕ, %/°C	Основна похибка елемента, %	Тип елемента
C1	0,33 мкФ	0,01	0,5	K77-1
C2	0,33 мкФ	0,01	0,5	K77-1
C3	0,68 мкФ	0,01	0,5	K77-1
R1	25,5 кОм	0,0025	0,1	МЛТ-0,125
R2	25,5 кОм	0,0025	0,1	МЛТ-0,125
R3	15 кОм	0,015	0,5	СП-51В
R4	2 МОм	0,0025	0,1	МЛТ-0,125

За результатами табл. 3.1 розд. 3.2 розрахуємо додаткову абсолютну похибку фільтра:

$$\Delta_i = \delta_i \cdot N_{\text{НОМ},i}; \quad (1)$$

$$\Delta_1 = \delta_1 \cdot N_{\text{НОМ},1} = 0,01 \cdot 0,33 / 100 = 0,000033;$$

$$\Delta_2 = \delta_2 \cdot N_{\text{НОМ},2} = 0,01 \cdot 0,33 / 100 = 0,000033;$$

$$\Delta_3 = \delta_3 \cdot N_{\text{НОМ},3} = 0,01 \cdot 0,68 / 100 = 0,000068;$$

$$\Delta_4 = \delta_4 \cdot N_{\text{НОМ},4} = 0,0025 \cdot 25,5 / 100 = 0,00064;$$

$$\Delta_5 = \delta_5 \cdot N_{\text{НОМ},5} = 0,0025 \cdot 25,5 / 100 = 0,00064;$$

$$\Delta_6 = \delta_6 \cdot N_{\text{НОМ},6} = 0,015 \cdot 15 = 0,00225;$$

$$\Delta_7 = \delta_7 \cdot N_{\text{ном.7}} = 0,0025 \cdot 2/100 = 0,00005.$$

Знаходимо середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_i = \frac{\Delta_i}{z}, \quad (2)$$

де z - коефіцієнт Стюдента. Важаємо, що у на нормальний закон розподілу, тоді $z=1,96$ [12].

Отже, знайдемо середньо квадратичне відхилення:

$$\sigma_1 = \frac{\Delta_1}{1,96} = \frac{0,000033}{1,96} = 0,0000168;$$

$$\sigma_2 = \frac{\Delta_2}{1,96} = \frac{0,000033}{1,96} = 0,0000168;$$

$$\sigma_3 = \frac{\Delta_3}{1,96} = \frac{0,000068}{1,96} = 0,000035;$$

$$\sigma_4 = \frac{\Delta_4}{1,96} = \frac{0,00064}{1,96} = 0,00033;$$

$$\sigma_5 = \frac{\Delta_5}{1,96} = \frac{0,0255}{1,96} = 0,01301;$$

$$\sigma_6 = \frac{\Delta_6}{1,96} = \frac{0,00225}{1,96} = 0,00115;$$

$$\sigma_7 = \frac{\Delta_7}{1,96} = \frac{0,00005}{1,96} = 0,000026.$$

Тепер нам необхідно знайти сумарну середньоквадратичну пихибку. Для цього використовуємо формулу для

випадкових величин:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum \sigma_i^2} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2 + \sigma_5^2 + \sigma_6^2 + \sigma_7^2}; \quad (3)$$

Підставляємо значення у формулу (3.22):

$$\begin{aligned} \sigma_{\Sigma} &= \sqrt{[(0,168)^2 + (0,168)^2 + (0,35)^2 + (3,3)^2 + (3,3)^2 + (11,5)^2 + (0,26)^2] \cdot 10^{-8}} = \\ &= 12,42 \cdot 10^{-4} = 0,001242 \end{aligned}$$

Знаходимо значення сумарної абсолютної похибки:

$$\Delta_{\Sigma} = \sigma_{\Sigma} \cdot z; \quad (4)$$

$$\Delta_{\Sigma} = 0,001242 \cdot 1,96 = 0,002434;$$

Знаходимо додаткову сумарну відносну похибку блоку фільтра.

$$\delta_{\Sigma_d} = \frac{\Delta_{\Sigma}}{U_{\text{ном}}}; \quad (5)$$

Отже знаходимо:

$$\delta_{\Sigma_d} = \frac{0,002434}{7} = 0,00035.$$

ВИСНОВКИ

В першому розділі було розглянуто характеристики та класифікація шумів. Також описано стандартні методи вимірювання шумових характеристик джерел шумів. Ці методи значною мірою відрізняються один від одного в залежності від умов контролю, вимог до характеру, точності отриманої інформації. За допомогою даних методів здійснюється контроль механізмів (машин, двигунів та ін) при їх експлуатації на випромінювання допустимих рівнів шуму, безпечних для людини. Вимірювання шуму проводять з метою визначення рівнів звукового тиску на робочих місцях і відповідність їх діючим нормам, а також для розробки і оцінки ефективності різних засобів по зниженню шуму.

Основним пристроєм для вимірювання шумів представляється шумомір. В залежності від точності шумоміри розділяють на 4 класи. В середині шумоміра вмонтовано фільтр, за допомогою якого можна визначити спектр шуму. Для більш детального дослідження джерел шуму часто застосовують октавні фільтри і вузькосмугові аналізатори.

В другому розділі було розглянуто математичний опис шуму. Також удосконалено методику вимірювання шумових характеристик джерела шуму у заглушених камерах і на відкритих площадках. В методі вимірювання шуму здійснено шумоміром другого класу, тобто для точних лабораторних вимірювань. В шумомірі звук, що приймається мікрофоном, перетворюється в електричні коливання, які підсилюються і потім, пройшовши через фільтр, реєструється індикатором. Діапазон сумарних рівнів шуму звичайно складають 30-130 дБ при частотних границях 20 - 20000 Гц. Вимірювання шуму на робочих місцях промислових центрів виробляють на рівні вуха працюючого при включенні не менше ніж $\frac{2}{3}$ встановленого обладнання.

В другому розділі також розрахований один з блоків фільтра шумоміра - фільтр, а саме фільтр з попереднім підсилювачем. Розроблено його друковану плату і складальне креслення.

В розділі метрологічного аналізу методики вимірювання шумів розглянуто динамічну похибку, її суть і значення. Також розраховано похибку фільтра шумоміра ($\delta_{\Sigma} = 1,19\%$).

В четвертому розділі розглянуті безпечні умови праці, при яких працюючий зможе безпечно працювати на своєму робочому місці. Також розраховано освітленість приміщення (лабораторії), де проводяться вимірювання рівнів шумів джерел шумів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. ДСТУ 4212:2003 Вимірювачі рівня звуку. загальні технічні вимоги та методи випробувань
2. Гігієна праці : підручник/ [Ю.І. Кундієв, О.П. Яворовський, А.М. Шевченко та ін.] ; за ред. Ю.І. Кундієва, О.П. Яворовського. - К. : Медицина, 2011. - 904 с.
3. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
4. ДСТУ ГОСТ 12.1.028:2019. Система стандартів безпеки праці. шум визначення шумових характеристик джерел шуму. орієнтовний метод.
5. ДСТУ EN ISO 3741 (Акустика. Визначення рівнів звукової потужності та рівнів звукової енергії джерел шуму за звуковим тиском. Точні методи для ревербераційних камер).
6. Теорія сигналів [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: А. О. Попов. – Електронні текстові дані. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 268 с.
7. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку
8. ДСТУ 3010-95 Устаткування для кондиціонування повітря та вентиляції. Методи визначення шумових характеристик кондиціонерів
9. ДСТУ ГОСТ 31337:2007 (ISO 15744:, NEQ) Шум машин. Машини ручні неелектричні. Технічний метод вимірювання шуму.
10. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Електроніка і мікросхемо техніка: Підручник. 2-е вил. / за ред.

Соскова А.Г.– К.: Каравела, 2009.–416 с.

11. Задерейко О.В., Панов Л.І., Циганов О.В. Конструювання і технологія радіоелектронної апаратури: Навч. посіб. - О.: Наука і техніка, 2007. - 122

12. Кісіль І.С. Конструювання вимірювальних приладів. – Івано-Франківськ: Факел, 2004 – 327 с.

13. Микитин Г. В. Основи метрології. – Львів: СПОЛОМ, 2008 р.–296 с.

14. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник/ За ред. проф.Є.С. Поліщука. – Львів: Видавництво «Бескін Біт», 2003. – 544 с.

15. Кісіль І.С. Метрологія, точність і надійність засобів вимірювання: Навчальний посібник для студентів ВУЗів. – Івано-Франківськ: Факел, 2002. – 400 с.

16. Довідник з напівпровідникових приладів. Лавриненко В.Ю. Вид. 8-е, перероб. – К.: Техніка, 1977.- 376 с.

17. Практикум із охорони праці: навчальний посібник / В.Ц. Жидецький, В.С. Джигирей, В.М. Сторожук [та ін.]; за ред. канд. техн. наук, доцента В.Ц. Жидецького. – Львів: Афіша, 2004. – 352 с.

18. Купчик В. П. Основи охорони праці. – Львів: Афіша, 2000. – 178 с.

19. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

20. Кривенко Г.М. Електронний курс "Основи охорони праці", сертифікат електронного курсу №000177 від 30.06.2021

21. Кривенко Г. М., Стеліга І. І., Лялюк-Вітер Г. Д., Шиманський В. Я. Охорона праці: практикум.Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2017. 205 с.

22. Кривенко Г. М., Семчук Я. М., Стеліга І. І., Лялюк-Вітер Г. Д., Шиманський В. Я.. Охорона праці: методичні вказівки до виконання розділу "Охорона праці" випускної кваліфікаційної роботи бакалавра. Івано-

Франківськ: ІФНТУНГ, 2021. 84 с.

23. Основи охорони праці : метод. вказівки / Г.М. Кривенко, І.І. Стеліга, В.Я. Шиманський, Г.Д. Лялюк-Вітер. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2021. – 29 с.

24. А.О. Попов. Теорія сигналів [Електронний ресурс] : навч. посіб
/ КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: А.О. Попов. – Електронні текстові данні. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 268 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Вимірювання шумових характеристик

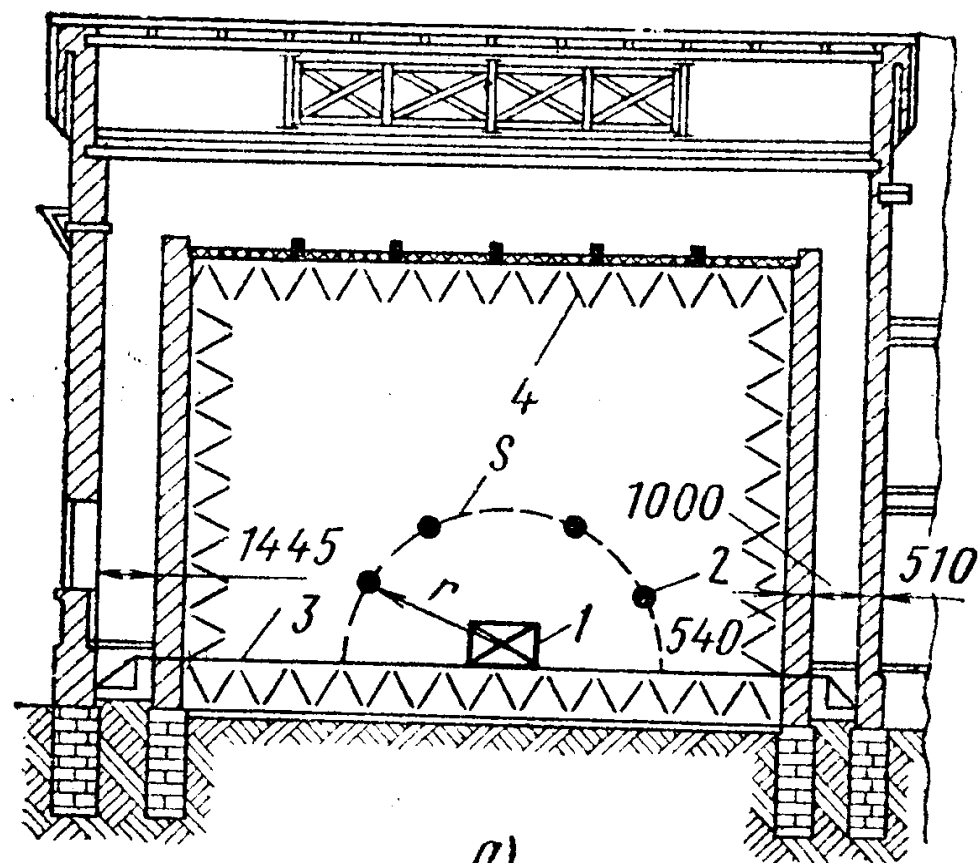


Рисунок А1 – Вимірювання шумових характеристик у заглушеній камері

Продовження додатку А

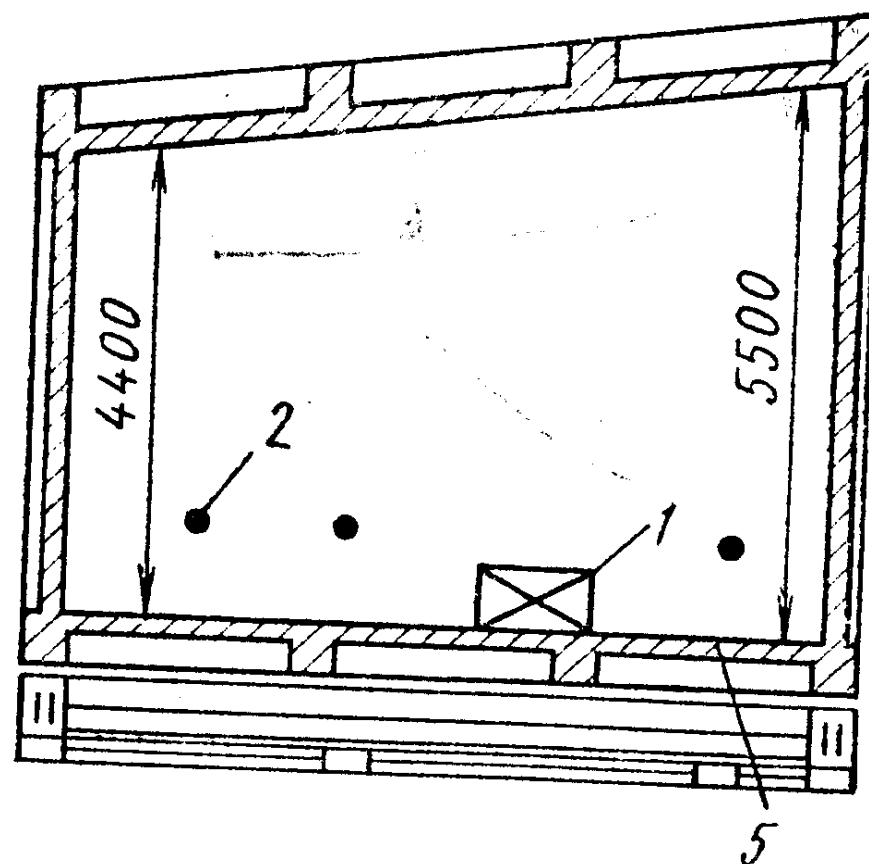


Рисунок А2 – Вимірювання шумових характеристик у ревербераційній камері

Додаток Б

Порівняльна характеристика методів вимірювання шумових характеристик джерел шумів

Особливості методу	Точний метод. Визначення шумових характеристик джерел шуму в заглушеній камері	Точний метод. Визначення шумових характеристик джерел шуму в ревербераційній камері	Технічний метод. Визначення шумових характеристик джерел шуму в вільному звуковому полі над звуковідбиваючою площиною	Технічний метод - визначення шумових характеристик джерел шуму у ревербераційному приміщенні	Орієнтовний метод. Визначення шумових характеристик джерел шуму
1	2	3	4	5	6
Вид шуму	Всі види шумів як по часовому складу так і по часовим характеристикам	Постійні шуми, широкополосні або тональні	Всі види шумів	Постійні шуми, широкополосні або тональні	Всі види шумів
Здійснення вимірювань	В заглушеній камері з звукопоглинаючою і звуковідбиваючою поверхнею	В ревербераційній камері	В вільному звуковому полі над звуковідбиваючою площиною	У ревербераційному приміщенні	В місцях експлуатації, у приміщеннях, на відкритих площадках
Визначення характеристики шуму	Рівень звукової потужності в смугах частот і корегованого по характеристиці А рівня звукової потужності; показника направленості випромінювання джерел шуму	Рівень звукової потужності в смугах частот джерела шуму	Рівень звукової потужності в смугах частот; корегованого по характеристиці А рівня звукової потужності і показника направленості випромінювання джерел шуму у вільному звуковому полі	Рівень звукової потужності в смугах частот; корегованого по характеристиці А рівня звукової потужності джерела шуму	Рівень звукової потужності в смугах частот; корегованого по характеристиці А рівня звукової потужності джерела шуму

Продовження додатку Б

1	2	3	4	5	6
При виконанні всіх умов вимірювання забезпечує можливість	Максимального середнього квадратичного відхилення рівня звукової потужності в смугах частот і корегованого по характеристиці А рівня звукової потужності	Максимального середнього квадратичного відхилення рівня звукової потужності в смугах частот і корегованого по характеристиці А рівня звукової потужності	Максимального середнього квадратичного відхилення рівня звукової потужності в смугах частот і корегованого по характеристиці А рівня звукової потужності	Максимального середнього квадратичного відхилення рівня звукової потужності в смугах частот і корегованого по характеристиці А рівня звукової потужності	Максимального середнього квадратичного відхилення рівня звукової потужності в смугах частот і корегованого по характеристиці А рівня звукової потужності
Вимірювання проводяться	- в октавних смугах частот із середньгеометричними частотами 125-8000 Гц; - в триоктавних смугах частот із середньгеометричними частотами 100-10000 Гц або в більш вузьких смугах частот а також в рівнях звуку	- в октавних смугах частот із середньгеометричними частотами 125-8000 Гц; - в триоктавних смугах частот із середньгеометричними частотами 100-10000 Гц	- в октавних смугах частот із середньгеометричними частотами 125-8000 Гц; - в триоктавних смугах частот із середньгеометричними частотами 100-10000 Гц або в більш вузьких смугах частот а також в рівнях звуку	- в октавних смугах частот із середньгеометричними частотами 125-8000 Гц; - в триоктавних смугах частот із середньгеометричними частотами 100-10000 Гц або в більш вузьких смугах частот	- в октавних смугах частот із середньгеометричними частотами 0,125-8кГц; - в триоктавних смугах частот із середньгеометричними частотами 100-10000 Гц або в більш вузьких смугах частот а також в рівнях звуку. Допускаються вимірювання на більш низьких чи високих частотах

Продовження додатку Б

1	2	3	4	5	6
Апаратура	Шумоміри 0-го і 1-го класів з полосовими електричними фільтрами	Шумоміри 0-го і 1-го класів з полосовими електричними фільтрами	Шумоміри 1-го і 2-го класів з полосовими електричними фільтрами	Шумоміри 1-го і 2-го класів з полосовими електричними фільтрами	Шумоміри 2-го і 3-го класів з полосовими електричними фільтрами
Призначення мікрофона шумоміра	Для вимірювання у вільному звуковому полі	Для вимірювання у дифузійному звуковому полі	Для вимірювання у вільному звуковому полі	Для вимірювання у дифузійному звуковому полі	Для виміру у вільному звуковому полі – при вимірах на відкритих площадках; для виміру у відбиваючому звуковому полі – при вимірах у приміщенні
Умови вимірювання полягають у визначенні	- об'єму заглушеної камери; - коефіцієнту звукопоглинання; - враховується шум завод	- об'єму ревербераційної камери; - коефіцієнт звукопоглинання поверхні камери та стінок; - зміна температури на $\pm 10^{\circ}\text{C}$ - враховується шум завод	- розміри відкритої площадки та розміри випробувальної площадки в закритому приміщенні; - визначення постійної К, що враховує вплив відбитого звуку на результат вимірювань - зміна температури на $\pm 10^{\circ}\text{C}$ - шум завод - швидкість вітру менше 5 м/с	- об'єм ревербераційної камери та приміщень; - середній коефіцієнт звукопоглинання - зміна температури на $\pm 10^{\circ}\text{C}$ - враховується шум завод	- розміри відкритої площадки та розміри випробувальної площадки - визначення постійної К, що враховує вплив відбитого звуку на результат вимірювань - зміна температури на $\pm 10^{\circ}\text{C}$ - шум завод - швидкість вітру менше 5 м/с

Продовження додатку Б

1	2	3	4	5	6
Кількість точок вимірювань	20 – сферична поверхня; 10 - півсферична	6	8 і більше	6	5 і більше
Розміщення точок	На вимірювальній поверхні	В області відбитого звукового поля	На вимірювальній поверхні	В області відбитого звукового поля	На вимірювальній поверхні
Тип вимірювальної поверхні	Сфера в камерах із з звукопоглинаючою поверхнею, півсфера – в камерах із звуковідбиваючою поверхнею	Стінки ревербераційної камери	Півсфера або вимірювальна поверхня, яка розміщена на одній і тій же відстані d від джерела шуму	Стінки випробувального приміщення	Півсфера або вимірювальна поверхня, яка розміщена на одній і тій же відстані d від джерела шуму
При підготовці до вимірювань визначають	Площу вимірювальної поверхні (сферичної, півсферичної)	Середнє квадратичне відхилення для кожної смуги частот; $\min$ кількість положень джерела шуму	Площу вимірювальної поверхні (півсферичної)	Середнє квадратичне відхилення для кожної смуги частот	Площу вимірювальної поверхні
Результати вимірювань	-середній рівень звукового тиску в смугах частот; - рівень звукової потужності - поправка на температуру і звуковий тиск -показник направленості випромінювання джерела шуму	-середній рівень звукового тиску в смугах частот; - рівень звукової потужності	-середній рівень звукового тиску в смугах частот; - рівень звукової потужності -показник направленості випромінювання джерела шуму	-середній рівень звукового тиску в смугах частот; - рівень звукової потужності	-середній рівень звукового тиску в смугах частот; - рівень звукової потужності

Характеристики динамічних похибок перетворювачів першого порядку

Частотні		Часові (для одиничного вхідного збурення)
Математичний вираз	Графіки	
Реальний диференціальний $W_{\Delta}(s) = -\frac{1}{1 + Ts}$ $\delta_x(\omega T) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega T)^2}} - 1$ $\Delta\varphi(\omega T) = -\arctg\omega T$		$\Delta x_{dyn}(t/T) = -e^{-t/T}$
Реальний диференціальний як безінерційний $W_{\Delta}(s) = -\frac{Ts}{1 + Ts}$ $\delta_x(\omega T) = \frac{\omega T}{\sqrt{1 + (\omega T)^2}} - 1$ $\Delta\varphi(\omega T) = \frac{\pi}{2} - \arctg\omega T$		$\Delta x_{dyn}(t/T) = -e^{-t/T} - 1$
Реальний інтегрувальний $W_{\Delta}(s) = -\frac{Ts}{1 + Ts}$ $\delta_x(\omega T) = \frac{\omega T}{\sqrt{1 + (\omega T)^2}} - 1$ $\Delta\varphi(\omega T) = \frac{\pi}{2} - \arctg\omega T$		$\Delta x_{dyn}(t/T) = -e^{-t/T} - 1$
Реальний інтегрувальний як безінерційний $W_{\Delta}(s) = -\frac{1}{1 + Ts}$ $\delta_x(\omega T) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega T)^2}} - 1$ $\Delta\varphi(\omega T) = -\arctg\omega T$		$\Delta x_{dyn}(t/T) = -e^{-t/T}$

Додаток Д

Визначення характеристичних розмірів вимірювальної поверхні для визначених розмірів джерела шуму

Напівсферичну вимірювальну поверхню використовуємо при вимірах показника спрямованості, а також якщо вимірювальна відстань d перевищує в 1,5 рази максимальний розмір огинаючого паралелепіпеда, ($d > 1,5l_{\max}$). а радіус R вимірювальної півсфери більший чи дорівнює подвоєному максимальному розміру огинаючого паралелепіпеда ($R > 2l_{\max}$). У нас джерело шуму має наступні розміри: $l_{\max} = l_1 = 1,5$ м; $l_2 = 0,7$ м; $l_3 = 0,8$. Згідно цих розмірів $d > 2,25$. Приймаємо, що вимірювальна відстань $d = 2,5$ м.

Характеристичні розміри вимірювальної поверхні, розташованої на відстані d від джерело шуму, огинаючого паралелепіпеда (рис.2.4), обчислюємо по формулах

$$a = 0.5l_1 + d; b = 0.5l_2 + d; c = l_3 + d, \quad (1)$$

де l_1, l_2 — розміри паралелепіпеда, що огинає джерело шуму, м;

l_3 — висота паралелепіпеда, що огинає джерело шуму, м;

d - вимірювальна відстань, м.

Згідно формули (1) обчислюємо:

$$a = 0.5 \cdot 1,5 + 2,5 = 3,25 \text{ м}; b = 0.5 \cdot 0,7 + 2,5 = 2,85 \text{ м}; c = 0,8 + 2,5 = 3,3 \text{ м}.$$

Площу вимірювальної поверхні в м^2 визначаємо за формулою

$$S = 4(ab + bc + ac) \frac{(a + b + c)}{(a + b + c + 2d)}. \quad (2)$$

$$S = 4 \cdot (3,25 \cdot 2,85 + 2,85 \cdot 3,3 + 3,25 \cdot 3,3) \frac{(3,25 + 2,85 + 3,3)}{(3,25 + 2,85 + 3,3 + 2 \cdot 2,5)} = 76,75 \text{ м}^2.$$

Встановлюємо, що кількість точок виміру дорівнює 8. Розташовуємо їх так, як зазначено на рис.2.4.

Точки виміру 1 - 4 розташовані на висоті h_1 , що повинна бути не меншою ніж 0,15 м. Висоту h_1 обчислюємо за формулою

$$h_1 = 0.25(b + c - d) , \quad (3)$$

$$h_1 = 0,25 \cdot (2,85 + 3,3 - 2,5) = 0,9125 .$$

Точки виміру 5 - 8 розташовуємо на висоті h_2 , що не повинна перевищувати висоти над звуковідбиваючою площиною. Висоту h_2 обчислюємо за формулою

$$h_2 = 0.75(b + c - d), \quad (4)$$

$$h_2 = 0,75 \cdot (2,85 + 3,3 - 2,5) = 2,74 .$$

Врахуємо, що розмір b_1 не повинний перевищувати розмір b , який обчислюємо за формулою

$$b_1 = 0.5(b + c - d), \quad (5)$$

$$b_1 = 0,5 \cdot (2,85 + 3,3 - 2,5) = 1,825 .$$

На напівсферичній вимірювальній поверхні будемо використовувати ті ж точки вимірювання, обчислення координатів яких здійснено вище (див. аркуш ДП.ПНК-71.00.00.00).

Додаток Е

Визначення додаткової похибки фільтра шумоміра внаслідок зміни навколишньої температури.

Проаналізуємо елементи фільтра (табл.3.1, розд. 3.2), для якого визначаємо похибку [14,15].

Таблиця 3.1 - Типи, похибки і значення коефіцієнтів елементів фільтра шумоміра

Елемент схеми	Номінальне значення	Температурний коефіцієнт, ТКЕ, %/°C	Основна похибка елемента, %	Тип елемента
C1	0,33 мкФ	0,01	0,5	K77-1
C2	0,33 мкФ	0,01	0,5	K77-1
C3	0,68 мкФ	0,01	0,5	K77-1
R1	25,5 кОм	0,0025	0,1	МЛТ-0,125
R2	25,5 кОм	0,0025	0,1	МЛТ-0,125
R3	15 кОм	0,015	0,5	СП-51В
R4	2 МОм	0,0025	0,1	МЛТ-0,125

За результатами табл. 3.1 розд. 3.2 розрахуємо додаткову абсолютну похибку фільтра:

$$\Delta_i = \delta_i \cdot N_{\text{НОМ},i}; \quad (1)$$

$$\Delta_1 = \delta_1 \cdot N_{\text{НОМ},1} = 0,01 \cdot 0,33/100 = 0,000033;$$

$$\Delta_2 = \delta_2 \cdot N_{\text{НОМ},2} = 0,01 \cdot 0,33/100 = 0,000033;$$

$$\Delta_3 = \delta_3 \cdot N_{\text{НОМ},3} = 0,01 \cdot 0,68/100 = 0,000068;$$

$$\Delta_4 = \delta_4 \cdot N_{\text{НОМ},4} = 0,0025 \cdot 25,5/100 = 0,00064;$$

$$\Delta_5 = \delta_5 \cdot N_{\text{НОМ},5} = 0,0025 \cdot 25,5/100 = 0,00064;$$

$$\Delta_6 = \delta_6 \cdot N_{\text{НОМ},6} = 0,015 \cdot 15 = 0,00225;$$

$$\Delta_7 = \delta_7 \cdot N_{\text{ном}7} = 0,0025 \cdot 2/100 = 0,00005.$$

Знаходимо середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_i = \frac{\Delta_i}{z}, \quad (2)$$

де z - коефіцієнт Стюдента. Важаємо, що у на нормальний закон розподілу, тоді $z=1,96$ [1].

Отже, знайдемо середньо квадратичне відхилення:

$$\sigma_1 = \frac{\Delta_1}{1,96} = \frac{0,000033}{1,96} = 0,0000168;$$

$$\sigma_2 = \frac{\Delta_2}{1,96} = \frac{0,000033}{1,96} = 0,0000168;$$

$$\sigma_3 = \frac{\Delta_3}{1,96} = \frac{0,000068}{1,96} = 0,000035;$$

$$\sigma_4 = \frac{\Delta_4}{1,96} = \frac{0,00064}{1,96} = 0,00033;$$

$$\sigma_5 = \frac{\Delta_5}{1,96} = \frac{0,0255}{1,96} = 0,01301;$$

$$\sigma_6 = \frac{\Delta_6}{1,96} = \frac{0,00225}{1,96} = 0,00115;$$

$$\sigma_7 = \frac{\Delta_7}{1,96} = \frac{0,00005}{1,96} = 0,000026.$$

Тепер нам необхідно знайти сумарну середньоквадратичну похибку. Для цього використовуємо формулу для випадкових величин:

$$\sigma_\Sigma = \sqrt{\Sigma \sigma_i^2} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2 + \sigma_5^2 + \sigma_6^2 + \sigma_7^2}; \quad (3)$$

Підставляємо значення у формулу (3.22):

$$\begin{aligned} \sigma_\Sigma &= \sqrt{[(0,168)^2 + (0,168)^2 + (0,35)^2 + (3,3)^2 + (3,3)^2 + (11,5)^2 + (0,26)^2] \cdot 10^{-8}} = \\ &= 12,42 \cdot 10^{-4} = 0,001242 \end{aligned}$$

Знаходимо значення сумарної абсолютної похибки:

$$\Delta_\Sigma = \sigma_\Sigma \cdot z; \quad (4)$$

$$\Delta_{\Sigma} = 0,001242 \cdot 1,96 = 0,002434;$$

Знаходимо додаткову сумарну відносну похибку блоку фільтра.

$$\delta_{\Sigma_d} = \frac{\Delta_{\Sigma}}{U_{\text{ном}}}; \quad (5)$$

Отже знаходимо:

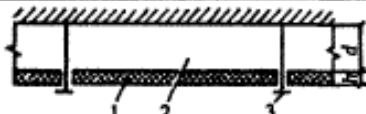
$$\delta_{\Sigma_d} = \frac{0,002434}{7} = 0,00035.$$

Додаток Ж

Характеристика акустичних плит

Таблиця Ж1 – Характеристика акустичних плит

Марка і характеристика плити	Середня щільність, кг/м³	Тов- щина плити h, мм	Пові- тря- ний про- мі- жок d, мм	Реввербаційний коефіцієнт звукопоглинання $\alpha_{плит}$ в октавній смузі з середньгеометричною частотою, Гц							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000



1 — акустична плита; 2 — повітряний проміжок; 3 — елемент кріплення

ПА / О мінерально-ватяні акустичні з ненаскрізною перфорацією по квадрату діаметром 4 мм (коєфі- цієнт перфорації 13 %), розмірами 500x500 мм	150	20	0	0,02	0,03	0,17	0,68	0,98	0,86	0,45	0,2
			50	0,02	0,05	0,42	0,98	0,90	0,79	0,45	0,19
ПА / С мінерально-ватяні акустичні, обробка "наб- ризком" розмірами 500x500 мм	150	20	0	0,02	0,05	0,21	0,66	0,91	0,95	0,89	0,70
			50	0,02	0,12	0,36	0,88	0,94	0,84	0,80	0,65
			100	0,07	0,17	0,64	0,99	0,93	0,98	0,9	0,83
"Акмігран", "Акмініт" мінерально-ватяні розмірами 300x300 мм	400	20	0	0,02	0,11	0,30	0,85	0,9	0,78	0,72	0,59
			50	0,01	0,2	0,71	0,88	0,81	0,71	0,79	0,65
			200	0,3	0,48	0,71	0,70	0,79	0,77	0,62	0,59
"Сілактор" розмірами 450x450 мм	350	45	0	0,10	0,25	0,45	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95
ПА мінерально-ватяні плоскі самонесучі офакту- рені шириною 500, 900, 1000 мм, довжиною 1000, 1500, 1800, 2000 мм	125—150	40—50	0	0,28	0,43	0,83	1,0	1,0	0,85	0,8	0,75
			180	0,5	0,7	0,85	0,93	0,98	0,95	0,84	0,8
"Вініпор" еластичний (в рулоні)	180	35	0	—	—	0,065	0,12	0,19	0,45	0,89	0,89
"Вініпор" (напівжорсткий)	120	30	0	—	0,15	0,25	0,56	0,85	1,0	1,0	1,0
		50	0	0,06	0,23	0,46	0,93	1,0	1,0	1,0	1,0
		50	50	0,12	0,28	0,63	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
		50	150	0,15	0,33	0,83	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
ПП-80, ППМ, ПММ звукопоглинаючі напів- жорсткі	80	30	0	—	0,08	0,3	0,64	0,89	0,95	0,83	0,73
		50	50	—	0,21	0,4	0,72	0,98	0,79	0,75	0,75
			0	—	0,14	0,52	0,9	0,99	0,42	0,82	0,78
			50	—	0,2	0,61	0,9	0,94	0,92	0,78	0,76

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Прим.
				Документація		
A2			БР.МТ-09.01.00.00 СК	Підсилювач		
				Складальне креслення		
A2			БР.МТ-09.01.00.00 ЕЗ	Схема електрична		
				Принципова		
				Деталі		
		1	БР.МТ-09.01.00.001	Плата	1	
				Стандартні вироби		
		3		Гайка М2-6Н8.019	2	
		4		Шайба 2,65Г,019	2	
				Інші вироби		
				Конденсатори		
		6		К 21-9-П33-330пФ,±5%	2	C14,C15
				ОЖО 465.047 ТУ		
		7		К 77-1-П100-0,1мкФ,±5%	2	C2,C6
				ОЖО 461.132 ТУ		
		8		К 77-1-М150-0,22мкФ,±0,5%	1	C4
				ОЖО 461.132 ТУ		
		9		К 77-1-П100-0,33мкФ,±0,5%	2	C1,C5
				ОЖО 461.132 ТУ		
		10		К 77-1-М150-0,68мкФ,±0,5%	1	C3
				ОЖО 461.132 ТУ		
		11		К76-4-25В-5,6 мкФ,±5%	4	C8,C9,
				ОЖО 461.085 ТУ		C13,C16
		12		К50-16-16В-68 мкФ,+80-20%	2	C11,C12
				ОЖО 461.085 ТУ		
		13		К50-16-16В-470мкФ,+80-20%	2	C7,C10
				ОЖО 468.111 ТУ		
				Резистори		
		14		МЛТ-0,125Вт-100 Ом, ±5%	2	R14,R17
				ОЖО 467.180 ТУ		
				БР.МТ-09.01.00.000		
Зм.	Арк.	№ докум.	Під.	Дата	Підсилювач вибірковий	
Розробив	Пронь.					
Перевірив	Біліщук					
Т.контр.						
Н.контр.	Чуйко.					
Затвер.	Цих				ІФДТУНГ	
					Літ	Лист
						1
						2

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема бакалаврської роботи: Розроблення установки для контролю шуму у виробничих приміщеннях.

Обсяг ПЗ в аркушах: 100 с..

Перелік креслень графічної частини:

1. БР.МТ-09.00.00.001. Схеми розташування точок виміру
2. БР.МТ -09.00.00.002. Схема вимірювання шуму у вільному звуковому полі
3. БР.МТ -09.01.02.000ЕЗ: Фільтр з вибіркоким підсилювачем. Схема електрична принципова
4. БР.МТ -09.01.01.000. Підсилювач. Схема електрична принципова
5. БР.МТ -09.01.02.000 СК: Блок. Фільтрів. Складальне креслення.
6. БР.МТ -09.01.02.001. Плата

Дата закінчення виконання роботи: 15.06.2026 р.

Підпис: