

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри електронної техніки

Вовна О.В.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«__» _____ 2021 р.

Випускна кваліфікаційна робота

магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка та дослідження спектрально-акустичної інформаційно-вимірювальної системи визначення меж геологічних середовищ»

Виконала: студентка 2 курсу, групи ІВТзм-19

(шифр групи)

спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності)

Іваннікова Олена Миколаївна

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник завідувач кафедри ЕТ, д.т.н., проф.

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

О.В. Вовна

(підпис)

Рецензент _____

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

(підпис)

Рецензент _____

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

(підпис)

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

Студент _____

(підпис)

Покровськ – 2021 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки

(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____

(дата)

з оцінкою _____

Секретар ДЕК _____

(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота

_____магістра_____

Тема: «Розробка та дослідження спектрально-акустичної інформаційно-вимірювальної системи визначення меж геологічних середовищ»

Спецчастина: _____

Виконавець, студентка

гр. ІВТзм – 19

_____Іваннікова О.М.

(підпис, дата, П.І.П)

Керівник

_____проф. Вовна О.В.

(підпис, дата, П.І.П)

Консультанти:

_____проф. Зорі А.А.

(підпис, дата, П.І.П)

_____проф. Вовна О.В.

(підпис, дата, П.І.П)

_____доц. Лактіонов І.С.

(підпис, дата, П.І.П)

_____ст. викл. Тюрін Є.А.

(підпис, дата, П.І.П)

Нормоконтроль

_____проф. Вовна О.В.

(підпис, дата, П.І.П)

Покровськ – 2021

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

Кафедра Електронна техніка

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування

(шифр і назва)

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри електронної техніки

Вовна О.В.

« _____ » 2021 року

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Іваннікова Олена Миколаївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка та дослідження спектрально-акустичної інформаційно-вимірювальної системи визначення меж геологічних середовищ
керівник проекту (роботи) Вовна Олександр Володимирович, д.т.н., проф.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 29.01.2021 року № 35

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи)_____

Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз технічних характеристик об'єкту; математична модель вимірювального каналу; обґрунтування та розробка структури інформаційно-вимірювальної системи; розробка структурної та принципової схем інформаційно-вимірювальної системи

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	д.т.н., проф., зав. каф. ЕТ Вовна О.В.		
2	д.т.н., проф., зав. каф. ЕТ Вовна О.В.		
3	д.т.н., проф., проф. каф. ЕТ Зорі А.А.		
4	к.т.н., доц., доц. каф. ЕТ Лактіонов І.С.		
А	ст. викл каф. ОП Тюрін Є.А.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз стану інформаційно-вимірювальних систем визначення меж геологічних середовищ		
2	Обґрунтування та розробка структури інформаційно-вимірювальної систем визначення меж геологічних середовищ		
3	Розробка аналогового блоку вимірювального каналу системи визначення меж геологічних середовищ		
4	Розрахунок метрологічних характеристик вимірювального каналу системи визначення меж геологічних середовищ		
5	Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві		

Студент _____
(підпис)

Іваннікова О.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Вовна О.В.
(прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада П.І.Б.	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Іваннікова, О.М. Розробка та дослідження спектрально-акустичної інформаційно-вимірювальної системи визначення меж геологічних середовищ / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка. – ДВНЗ «ДонНТУ», Покровськ, 2021.

Пояснювальна записка: 77 стор., 23 рис., 1 табл., 21 посилання.

Обґрунтовано та розроблено структуру інформаційно-вимірювальної систем визначення меж геологічних середовищ, яка для підвищення інформативності та збільшення площі зондування складається з двох каналів. Для обробки результатів вимірювання розроблено математичний опис розповсюдження сейсмічної хвилі в пружних середовищах, що дозволяє вимірювати параметри середовища та визначати межі геологічних зсувів. Обґрунтовано рекомендації щодо розташування апаратури інформаційно-вимірювальної системи визначення меж геологічних середовищ. Обґрунтовано та виконано інженерний розрахунок блоків та вузлів аналогового вимірювального каналу систем визначення меж геологічних середовищ. Виконана оцінка метрологічних характеристик аналогового вимірювального каналу системи визначення меж геологічних середовищ. Результати розрахунку показують, що розроблений вимірювальний канал має максимальне значення абсолютної похибки вимірювання за напругою не більше 15 мВ у діапазоні зміни від 0 до 5 В. Відносне значення похибки вимірювання складає 0,3 %, це показує, що розроблений вимірювальний канал має кращі метрологічні показники ніж у прототипів системи (0,5 %).

Ключові слова: вимірювання, акустичний сигнал, спектр, геологічне середовище, межа, похибка.

ABSTRACT

Ivannikova, O.M. Development and research of the spectral-acoustic information-measuring system for determining of the geological environments boundaries / Graduation qualification work for obtaining an educational degree 'Master' in specialty 152 'Metrology and information-measuring technique'. – SHEI 'DonNTU', Pokrovsk, 2021.

Explanatory note: 77 p., 23 fig., 1 table, 21 references.

The structure of information-measuring systems for determining the boundaries of geological environments is substantiated and developed, which consists of two channels to increase informativeness and increase the area of sounding. To process the measurement results, a mathematical description of the propagation of a seismic wave in elastic media has been developed, which allows to measure the parameters of the medium and to determine the boundaries of geological landslides. Recommendations on the location of the equipment of the information-measuring system for determining the boundaries of geological environments are substantiated. The engineering calculation of blocks and units of the analog measuring channel of systems for determining the boundaries of geological environments is substantiated and performed. The assessment of metrological characteristics of the analog measuring channel of the system for determining the boundaries of geological environments is performed. The calculation results show that the developed measuring channel has a maximum value of absolute measurement error at a voltage of not more than 15 mV in the range from 0 to 5 V. The relative value of the measurement error is 0.3%, which shows that the developed measuring channel has the best metrological indicators than the system prototypes (0.5%).

Key words: measurement, acoustic signal, spectrum, geological environment, limit, error.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ СТАНУ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ ГЕОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ.....	12
1.1 Аналіз методів, що застосовуються для дослідження надр.....	12
1.2 Принцип дії спектрально- акустичного метода.....	15
1.3 Спектральне профілювання під час здійснення сейсмічної розвідки..	22
1.4 Аналіз параметрів акустичних інформаційно-вимірювальних систем	26
1.4.1 Станції сейсмічної розвідки для малої глибини, що працюють на суші.....	26
1.4.2 Акустичні та ультразвукові станції для реєстрації сейсмічних коливань у свердловинах.....	28
1.5 Аналіз недоліків існуючих систем і постановка задачі дослідження..	29
2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМ ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ ГЕОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ.....	31
2.1 Математичний опис розповсюдження сейсмічної хвилі в пружних середовищах.....	31
2.2 Розробка структурної схеми вимірювального каналу системи визначення меж геологічних середовищ.....	34
2.3 Обґрунтування вибору приймача акустичної хвилі.....	36
2.3.1 Аналіз характеристик і параметрів п'єзоматеріалів приймачів акустичних хвиль.....	36
2.3.2 Характеристики і параметри п'єзоелектричних перетворювачів..	37
2.3.3 Умови розташування та встановлення приймачів акустичної хвилі.....	38
2.4 Висновки.....	39

3 РОЗРОБКА АНАЛОГОВОГО БЛОКУ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ ГЕОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ.....	40
3.1 Розрахунок елементів схеми вхідного диференційного підсилювача.	40
3.2 Вибір атенюатора з цифрових переключенням діапазонів.....	43
3.3 Розрахунок елементів схеми режекторного фільтра.....	44
3.4 Розрахунок елементів схеми фільтра низьких частот.....	48
3.5 Розрахунок елементів схеми фільтра високих частот.....	50
3.6 Вибір схеми фільтра низьких частот високого порядку.....	53
3.7 Розрахунок елементів схеми підсилювача-суматора та компенсатора зсуву нуля.....	54
3.8 Вибір аналогового ключа.....	57
3.9 Висновки.....	62
4 РОЗРАХУНОК МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ ГЕОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ.....	63
ВИСНОВКИ.....	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	69
ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....	71

ВСТУП

Актуальність теми. У теперішній час геофізична розвідка є одним з сучасних засобів для вивчення структури та компонентного складу земних надр. Проведення дослідження явищ фізичної природи на поверхні землі, у гірничих виробках і розломах дозволяє сформувавши представлення щодо структурних особливостей та склад гірничих порід, а також наявності та кількості корисної копалини. Завдяки ефективності та дешевизні використання геофізична розвідка має дає можливість здійснювати оперативне визначення та виконувати розвідку видів мінеральної сировини. Геофізичні методи під час геологічних розвідувальних робіт постійно збільшують свою частку. Електророзвідка як одна з основних методів геофізики, що вивчає геологічну побудову верхньої частини земної кори вирішує задачу розширення використання глибинного електромагнітного зондування (30 – 70 км) для вивчення земної кори та верхньої мантії.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є підвищення метрологічних характеристик вимірювальних каналів систем визначення меж геологічних середовищ.

Для досягнення зазначеної мети в дослідженні представлені **такі задачі:**

- проаналізувати стан інформаційно-вимірювальних систем визначення меж геологічних середовищ;
- виконати обґрунтування та розробки структури інформаційно-вимірювальної систем визначення меж геологічних середовищ;
- розробити аналоговий блок вимірювального каналу системи;
- виконати розрахунок метрологічних характеристик вимірювального каналу.

Об'єкт дослідження: процеси, що протікають у вимірювальних каналах систем визначення меж геологічних середовищ.

Предмет дослідження: методи та засоби підвищення точності вимірювання меж геологічних середовищ.

Методи дослідження базуються на положеннях теорії вірогідності та математичної статистики, теорії інформаційно-вимірювальних систем та систем, теорії випадкових процесів, теорії планування наукового експерименту, комп'ютерного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Обґрунтовано та розроблено структуру інформаційно-вимірювальної систем визначення меж геологічних середовищ, яка для підвищення інформативності та збільшення площі зондування складається з двох каналів.

2. Для обробки результатів вимірювання розроблено математичний опис розповсюдження сейсмічної хвилі в пружних середовищах, що дозволяє вимірювати параметри середовища та визначати межі геологічних зсувів.

3. Обґрунтовано рекомендації щодо розташування апаратури інформаційно-вимірювальної системи визначення меж геологічних середовищ.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Обґрунтовано та виконано інженерний розрахунок блоків та вузлів аналогового вимірювального каналу систем визначення меж геологічних середовищ.

2. Виконана оцінка метрологічних характеристик аналогового вимірювального каналу системи визначення меж геологічних середовищ. Результати розрахунку показують, що розроблений вимірювальний канал має максимальне значення абсолютної похибки вимірювання за напругою не більше 15 мВ у діапазоні зміни від 0 до 5 В. Відносне значення похибки вимірювання складає 0,3 %, це показує, що розроблений вимірювальний канал має кращі метрологічні показники ніж у прототипів системи (0,5 %).

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати кваліфікаційної роботи магістра одержані автором самостійно. Автором особисто: розроблено структуру інформаційно-вимірювальної систем визначення меж геологічних середовищ; математичний опис розповсюдження

сейсмічної хвилі в пружних середовищах; рекомендації щодо розташування апаратури інформаційно-вимірювальної системи визначення меж геологічних середовищ.

Апробація результатів роботи. Основні розділи роботи пройшли апробацію на наукових семінарах кафедри електронної техніки ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (м. Покровськ, 2019 – 2021 рр.).

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Структура кваліфікаційної роботи магістра визначена загальною схемою наукового дослідження, метою досліджень та шляхами її досягнення. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, основних висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи містить 77 сторінки машинописного тексту, зокрема 70 сторінок основного тексту, 23 рисунки, 1 таблиця та список використаних джерел із 21 найменування.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ ГЕОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ

1.1 Аналіз методів, що застосовуються для дослідження надр

Фізичні властивості меж, що виявляються, є ключовим моментом під час застосування геофізичного та геологічного методів. Одним з таких методів є буріння. Під час вибурювання керна та дослідженні меж виявляють зміни величини зерна, речового складу порід, кольору, міцності, а також фактів зламу керна і т.д. Проте буріння – це дуже дорогий та непрактичний метод.

За допомогою геофізики виявляються тільки ті межі, що відповідають властивостям фізичного поля, що використовується. Під час застосування електричних розвідувальних методів виявляються межі, що розділяють середовища, яке має різні електромагнітні властивостями порід. Це такі електромагнітні властивості, як електропровідність (величина, що зворотна питомому електричному опору – ρ), електрохімічна активність – α , діелектрична (ε) та магнітна (μ) проникливість. У таблиці 1.1 [1] наведено значення питомого електричного опору (Ом·м) для мінералів і гірничих порід.

Таблиця 1.1 – Електричні опори мінералів і гірничих порід

Мінерал	ρ , Ом·м	Мінерал	ρ , Ом·м
Граніт	10^8	Галька	$2 \cdot 10^4 - 2 \cdot 10^6$
Габбро	$10^7 - 10^9$	Глина	$2 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^5$
Мармур	$10^3 - 10^8$	Сланець	$6,4 \cdot 10^4 - 6,5 \cdot 10^6$

З аналізу значень в табл. 1.1 можна зробити висновок, що величини електричних опорів мінералів і гірничих порід змінюється в досить широких межах. Це пояснюється тим, що дуже невелика кількість мінералів може проводити електричний струм. Більшість гірничих порід проводять

електричний струм тому, що з'єднання іонів у водах, які насичують тріщини і пори цих порід. Отже величина опору сильно залежить від мінералізації вод, а також від вологості та пористості.

Електрохімічна активність – це властивість порід щодо створення природних постійних електричних полів. Зазначені електричні поля виникають під час окислювально-відновних реакцій, що пов'язано з наявністю та рухом у породах розчинів, які мають різні концентрації, а також хімічний склад.

Значення α вимірюється в мілівольтах, його величина складає від 10 до 15 мВ для чистих пісків, а для скельних порід α близько до нуля. Для глин α збільшується до (20 – 40) мВ, а для руд з електронно-провідними мінералами підвищується до сотень мілівольт. Проте питомий електричний опір та електрохімічна активність не залежать від багатьох природних факторів: глинястості, мінерального складу, проникності, пористості, мінералізації підземних вод, вологості та ін.

Відносна діелектрична проникність визначається за формулою [2, 3]:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_0},$$

де ε_n та ε_0 – діелектричні проникності породи та повітря.

Величина відносної діелектричної проникності показує, в скільки разів збільшується значення ємності конденсатора, якщо замість повітря між його обкладками розмістити породу, що досліджується. Значення ε змінюється від декількох одиниць (під час дослідження сухих осадових порід) до 80 (води). Ця величина залежить від вмісту води та мінерального складу породи.

Величина магнітної проникливості більшості гірничих порід практично дорівнює значенню магнітної проникливості повітря. Тільки в феромагнетиків значення відносної магнітної проникливості може сягати 10, тому параметр μ застосовується тільки під час розвідки.

Отже, під час застосування електричної розвідки складно визначити всі

межі геологічних середовищ.

Під час застосування спектрально-акустичних вимірювачів (САВ) межі, що виявляються, є фактичними або потенціальними поверхнями розшарування. Задовго до того, як була усвідомлена фізика виявлення меж, введено визначення поверхонь з ослабленням механічного контакту, як об'єкта, що підлягає вивченню за допомогою спектрально-акустичних вимірювань. Ці поверхні виявляються відомими методами геології та геофізики тільки в окремих частинних випадках. Межа між карбонатними та теригенними породами надійно виявляється за допомогою буріння. Якщо породи, що знаходяться поруч, суттєво відрізняються значенням електропровідності, тоді застосовується методи електричної розвідки. Тонкі та надтонкі шари не можуть бути виявлені методами геофізики, зокрема спектрально-акустичними методами.

Під час застосування розвідувального буріння керн за всією поверхнею обов'язково ламається. Якщо утворення цих поверхонь має прошарки, то їх матеріал під час обертання уламків керна вимивається рідиною, що промивається, та стирається, тобто причина зламу керна є невідомою. Оскільки причину зламу керна ідентифікувати практично не вдається, то є гіпотеза, що керн ламається під час неякісного буріння. Отже, спектрально-акустичні методи є єдиним ефективним засобом, який дозволяє визначати та виявляти поверхні, що не залежить від їх походження.

Крім зазначених є ще один механізм, який формує поверхні з ослабленням механічного контакту. Поверхні з ослабленням механічного контакту утворюються під час накопичення опадів, що має назву седиментації. У холодну зиму замерзає пов'язана вода в осадових породах. Ця вода є в дрібнодисперсних середовищах, вона замерзає під час дії дуже низьких температур, що складає -30°C). Відтає ця вода під час дії досить високих температур, що становить більше $+20^{\circ}\text{C}$. Отже, якщо після холодної зими літо не буде недостатньо теплим, то під час подальшого накопичення осаду через наявність пов'язаної води, що не відтанула, дифузія верхніх порід до тих, що

знаходяться нижче не відбувається. Отже, має місце дуже чітка поверхня з ослабленням механічного контакту, яку неможливо побачити навіть під час ретельного візуального дослідження стінок свердловини.

1.2 Принцип дії спектрально-акустичного метода

Основні процеси під час утворення, поширення, приймання та реєстрації акустичних хвиль можуть описуватися лінійними математичними співвідношеннями з достатньо високою точністю. Цей підхід дозволяє виконувати дослідження різних фізичних процесів на базі розвинутої теорії лінійних систем.

Під час практичного застосування акустичних вимірювань у сейсморозвідувальних дослідженнях аналізують сигнали в часовому представленні, коли за віссю абсцис відкладають час, а за віссю ординат – амплітуда сигналу. Це обмеження може бути можливим, якщо структура сигналів обумовлює тільки процесами відображення сигналу від меж об'єкта, що досліджується, та інтерференцією між відбитками. Проте сейсмічні та акустичні сигнали зазвичай обумовлено наявністю власних коливальних процесів, а не інтерференцією між елементарними відображеннями, що є принциповою різницею. Для того, щоб це використовувати для підвищення ефективності під час інтерпретації вимірювань необхідно виконувати аналіз як у часовій, так і спектральній формі, в якій за віссю абсцис відкладають частоту, а за віссю ординат – спектральну щільність сигналу.

Процеси, які змінюються в часі є абсолютно рівноцінними в часовій та спектральній площині. Переведення сигналів із часового представлення до спектрального та навпаки здійснюється під час використання перетворення Фур'є [4]:

$$F(t) = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} A(\omega) e^{j\omega t} d\omega, \quad (1.1)$$

де $F(t)$ – опис сигналу в часовій області; $j = \sqrt{-1}$ – уявна одиниця; $\omega = 2\pi f$ – кутова частота сигналу; f – циклічна частота сигналу; $A(\omega)$ – спектральна щільність потужності, величина якої розраховується за формулою [4]:

$$A(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(t) e^{-j\omega t} dt, \quad (1.2)$$

Перетворення $F(t) \leftrightarrow A(\omega)$ є лінійними, а зображення $F(t)$ та $A(\omega)$ є абсолютно еквівалентними, кожне з цих зображень повністю описує той самий сигнал. Ця еквівалентність має місце тільки під час математичного опису. Під час апаратного спектрального перетворення та спостереження сигналу частина інформації втрачається. У цій роботі розглядається не повний спектр, що має комплексний характер. Розглядається лише його модуль – спектр амплітуд. Як приклад розглянемо синусоїдальний (гармонічний) сигнал, часове та спектральне представлення наведено на рис. 1.1.

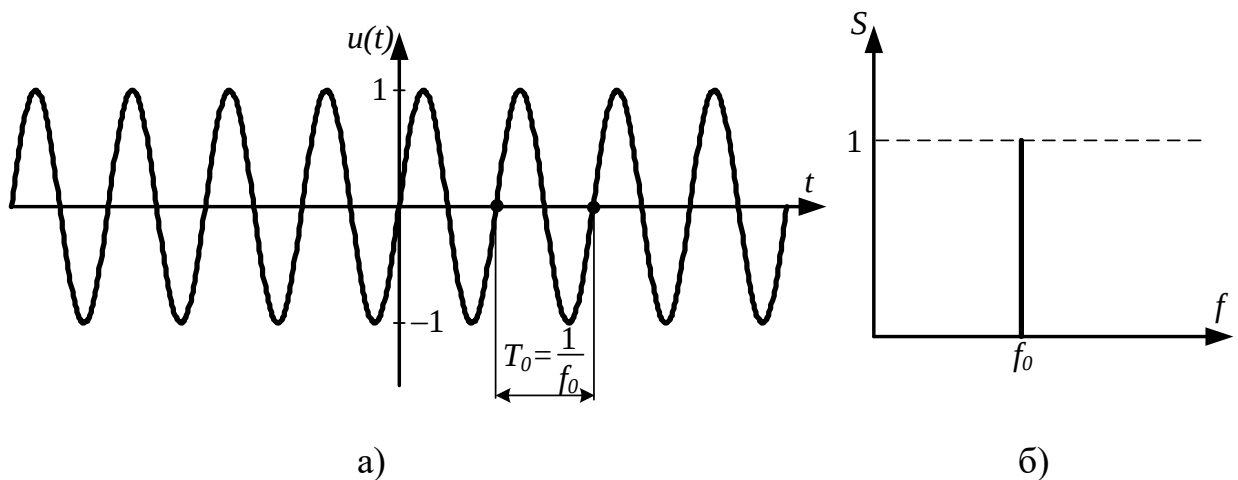


Рисунок 1.1 – Часове (а) та спектральне (б) представлення синусоїдального сигналу

Миттєве значення електричної напруги як синусоїдального сигналу змінюється за законом:

$$u(t) = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t). \quad (1.3)$$

Повністю часове зображення такого сигналу описати неможливо тому, що для ідеальної синусоїди тривалість нескінченна. Спектральне представлення синусоїдального сигналу наведено на рис. 1.1, б, яке є відрізком вертикальної лінії, що проходить через частоту f_0 синусоїдального сигналу. Висота цього відрізка відповідає одиниці спектральної щільності потужності.

Вид спектрального зображення синусоїдального сигналу повністю відповідає тому відомому моменту, що її інформаційна цінність дорівнює нулю. Синусоїда – є сигналом, у якого всі параметри не змінюються в часі протягом нескінченності, тому інформацію вона не несе. Площа, що займає її спектральне зображення, дорівнює нулю. Фізичний зміст у цій площі, що зв'язана кількістю інформації сигналу, яка зображено на спектральній площині.

Спектральне зображення синусоїдального (гармонійного) сигналу – вертикальна лінія показує той момент, що синус – це тільки один член ряду Фур'є. Цей сигнал є елементарним, його неможливо розкласти на прості складові. Сигнал синусоїди, який є незатухаючим процесом під час практичної реалізації є нездійсненим, це є математичною абстракцією. Його необхідно розглядати як основу для гармонійного затухаючого сигналу. На рис. 1.2 наведено часове представлення двох типів гармонічного сигналу, що затухає.

Зміна миттєвого значення сигналу, що наведено на рис. 1.2, а, описується таким чином [4]:

$$u(t) = U_m \cdot e^{-\alpha \cdot t} \sin(\omega \cdot t). \quad (1.4)$$

де α – коефіцієнт затухання: $\alpha = \delta \cdot T$ ($T = 1/f_0$); δ – коефіцієнт затухання,

значення якого приведено до періоду, називається декремент затухання.

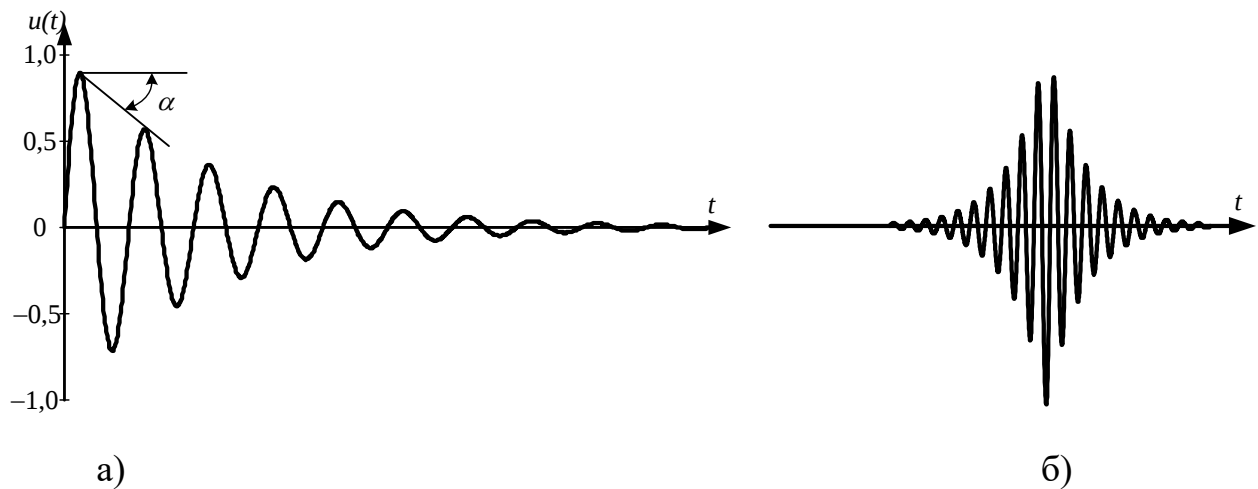


Рисунок 1.2 – Часове представлення гармонічного сигналу, що затухає

Синусоїдальний сигнал, що затухає, характеризується шпаруватістю Q , величина якої є зворотно пропорційна коефіцієнту загасання. Якщо загасання відсутнє (синусоїдальний сигнал), то значення шпаруватості дорівнює нескінченності. Якщо сигнал є аперіодический, то значення шпаруватості дорівнює $Q = 1$. Значення шпаруватості не може бути менше ніж одиниця. Значення шпаруватості розраховується таким чином [5, 6]:

$$Q = \frac{\omega}{\delta} = \frac{f_0}{\Delta f_{0,707}} = \frac{S(f_0)}{S(0)} \approx U(f_0), \quad (1.5)$$

де δ – декремент синусоїдального процесу, що затухає; $\Delta f_{0,707}$ – смуга пропускання коливальної системи, значення якої визначається на рівні 0,707; $S(f_0)$ та $S(0)$ – спектральна щільність потужності на частоті f_0 та на умовно нульовій частоті.

Сигнал, спектр якого наведено на рис. 1.2, б, є гармонійним, що загасає, але він, на відміну від того, що наведено на рис. 1.2. а, має бути плавним не тільки зменшення, але й збільшення своєї амплітуди.

На рис. 1.3 наведено спектри сигналів, часове представлення яких

наведено на рис. 1.2, відповідно. За віссю ординат представлено значення щільності спектра [7].

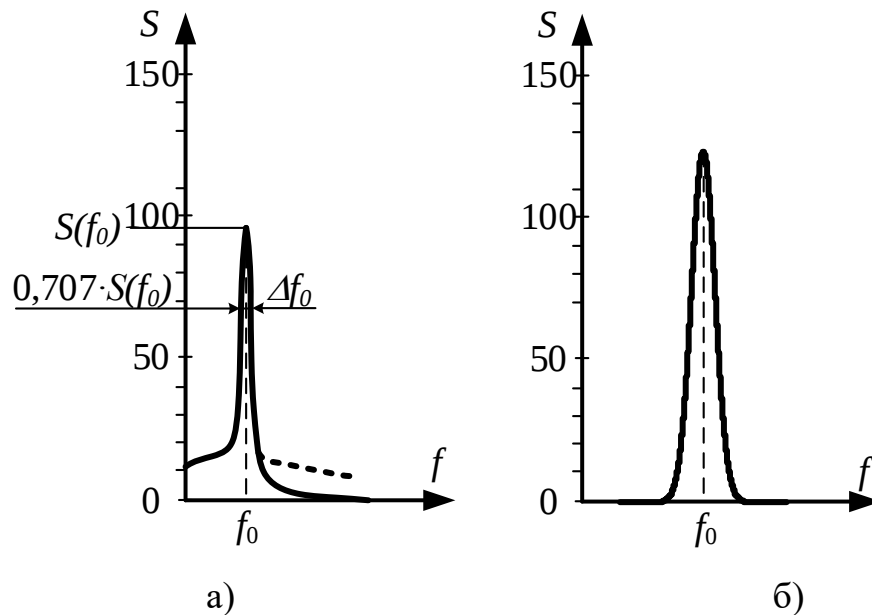


Рисунок 1.3 – Спектральне представлення сигналів, що затухають

Затухаючий синусоїдальний сигнал, строго кажучи, не є гармонійним, він є майже періодичним або квазіперіодичним. Синусоїдальний сигнал, що затухає, є гармонійним сигнал, він не має гармонік. Цей сигнал не може бути отриманий під час розкладання на більш прості його складові. Такий сигнал може бути отриманий тільки завдяки застосуванню коливальної системи.

За теорією та практикою коливальних контурів, спектр затухаючого гармонійного процесу, який отримано під час дії коливального контуру, має амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) цього коливального контуру. Різниця між спектрами обох згасаючих процесів, що наведено на рис. 1.3, а та б обумовлено тим, що сигнал на рис. 1.3, а має явно виражене коливання, а в іншому випадку він зростає плавно в амплітуді. Перш ніж розглядати причини цих відмінностей необхідно відзначити відмінність у шпаруватості Q цих сигналів, які мають однакову швидкість спаду.

Шпаруватість не є універсальним коректним з точки зору метрологічного забезпечення параметром для оцінки коливальних процесів. Параметром Q

характеризується вузький клас коливальних систем і процесів. Тільки деякі гармонійні процеси, що затухають, мають ударний початок. Якщо провести аналогію з коливальним контуром, то цей сигнал з'являється під час дії ударного збудження контуру, що має зосереджені параметрами. Сигнал, що наведено на рис. 1.3, б, виникає під час дії ударного збудження контуру, що має розподілені параметри, та цей процес шпаруватістю характеризуватися не може. Проте для характеристики коливальних процесів іншого, який є більш універсальним параметром, ніж шпаруватість, поки що не існує. Отже, для оцінки всіх коливальних процесів на якісному рівні застосовується шпаруватість Q .

Якщо є гармонійний затухаючий сигнал, то однозначно існує коливальна система, що його сформували. Якщо невідома природа зазначеної коливальної системи, то це не є підставою для того, щоб сумніватися про її існування. Цю позицію покладено до формування напрямку спектрально-акустичних вимірювань. Під час ударної дії на гірничий масив, де є велика кількість твердих об'єктів, гармонійні процеси, що затухають, свідчать про наявність коливальних систем у цих об'єктах.

Проаналізуємо вигляд спектральної характеристики під час наявності декількох коливальних систем. Під час ударного впливу відразу на кілька коливальних систем часове представлення результуючого сигналу, який є відгуком, має складну форму. Визначення параметрів цього результуючого сигналу можливо тільки в спектральній формі. На рис. 1.4 наведено випадок, коли під час удару здійснюється збудження чотирьох коливальних систем [8].

Під час підсумовування чотирьох складових отримано часове представлення сигналу, що наведено на рис. 1.5 [9 – 12]

Спектральне представлення суми чотирьох гармонійних складових наведено на рис. 1.6 має інформацію щодо власних частот f_{0i} , а також щодо шпаруватості, а від зміни співвідношень фаз між його складовими не залежить.

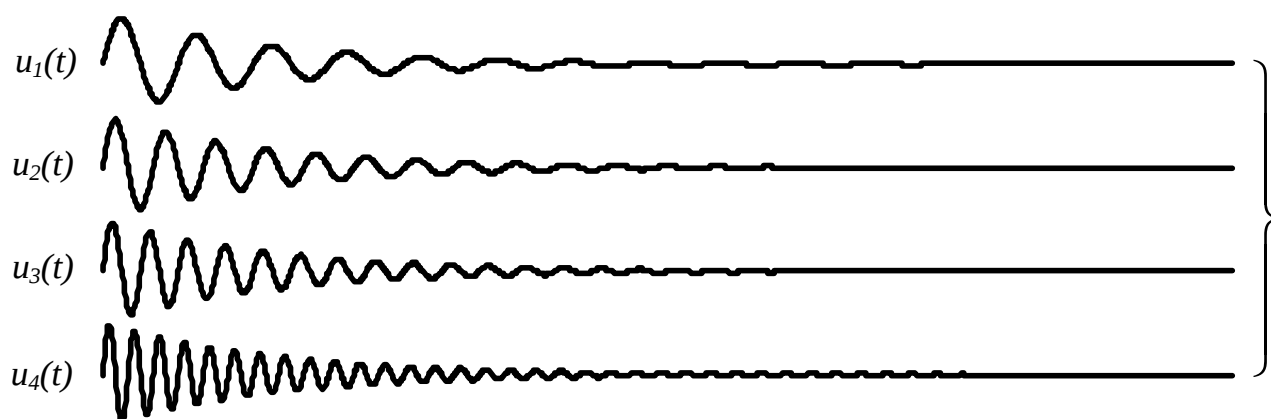


Рисунок 1.4 – Часове представлення чотирьох гармонійних складових

$$u(t) = u_1(t) + u_2(t) + u_3(t) + u_4(t)$$

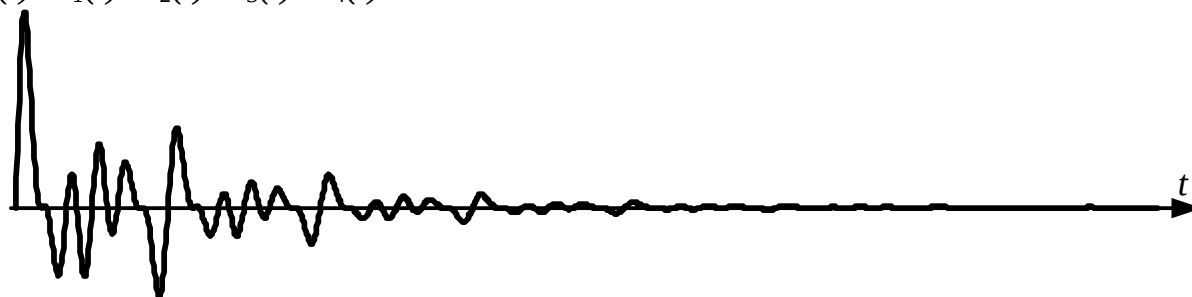


Рисунок 1.5 – Результуючий сигнал суми чотирьох гармонійних складових

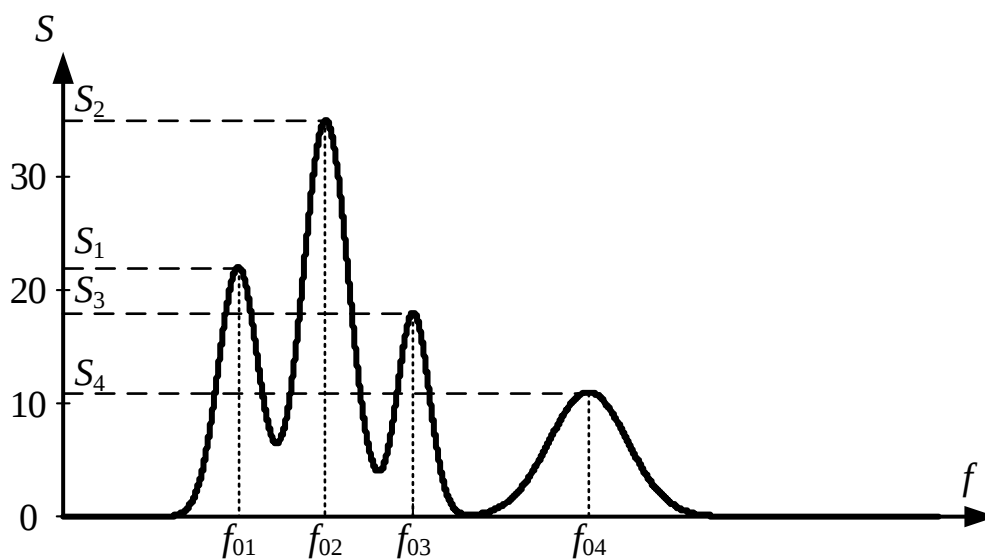


Рисунок 1.6 – Спектральне представлення сигналу, який є сумою чотирьох гармонійних складових

1.3 Спектральне профілювання під час здійснення сейсмічної розвідки

Метод спектрального сейсмічного профілювання є одним з методів спектральної сейсмічної розвідки. Багатошарова середовище за акустичними властивостями є сукупність шарів, які є резонаторами. У основу спектрально-сейсморозвідувального профілювання покладено те, що спектр відгуків від масиву від ударної дії містить інформацію щодо:

- товщини (потужності) цих шарів;
- наявності в шарах різних неоднорідностей;
- характеру меж між ними.

Основні спектрально-акустичні принципи щодо шаруватого середовища осадових порід:

1. Ударний вплив на поверхню шаруватого гірничого масиву викликає виникнення сейсмічного сигналу. Спектральний склад цього сигналу визначається характеристиками цього масиву, а саме товщиною (потужністю), що складають з його породних шарів;

2. Залежність між частотами f_{0i} гармонійних коливань, які загасають, що виникають у кожному простому та складеному породному шарі та його потужністю h_i з точністю до $\pm 10\%$ [4]:

$$f_{0i} = \frac{V_{sh}}{h_i} = \frac{2500}{h_i} [\text{Гц}], \quad (1.6)$$

де $V_{sh} \approx 2500 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ – швидкість поперечних (зсувних) пружних коливань у осадових породах.

3. Власні пружні коливання, які виникають у шаруватому масиві під час ударного впливу. Вони розповсюджуються уздовж поверхонь нашарування зі швидкістю до $V_{sh} \approx 2500 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, відбиваючись від меж, що перериваються в масиві

породні шари.

4. Межі між сусідніми породними шарами, що ідентифікується спектрально-акустичними вимірювачами. Це обумовлено проковзування за цими межами сусідніх середовищ, а не зміною величини питомої акустичного опору.

На рис. 1.7 наведено об'єкт, який сукупністю трьох структур, що вільно лежать одна на іншій. Ці структури є плоскопаралельні та нескінченно протяжних. Матеріал цих структур є однаковий та він характеризується значенням швидкості розповсюдження коливань $V_{sh} \approx 2500 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ [7].

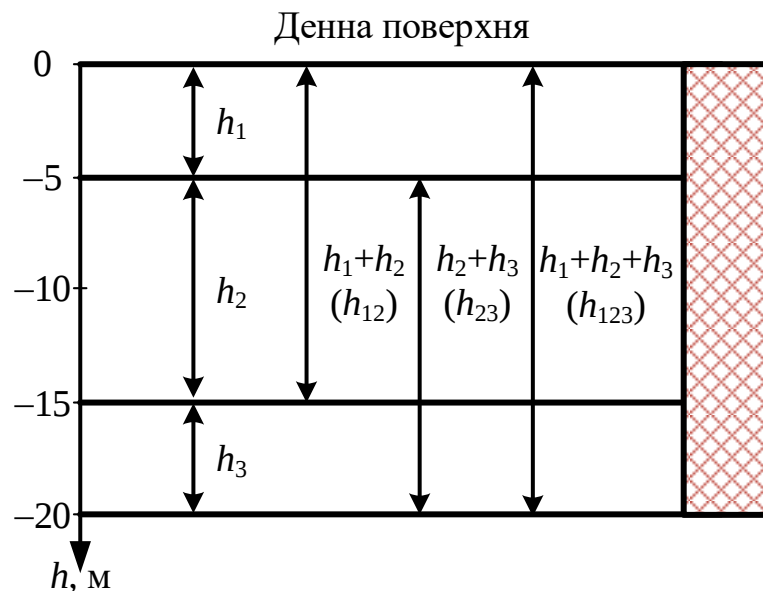


Рисунок 1.7 – Три плоско-паралельні нескінченно протяжні структури, що знаходяться одна над іншою

Межа між шарами h_2 та h_3 (на рис. 1.7 наведено жирною лінією) відрізняється від двох інших тим, що між цими шарами знаходиться мастило. Шар h_3 знаходиться на безмежному масиві з того ж матеріалу.

Під час нанесення удару по поверхні цієї структури власні пружні коливання виникнуть у трьох шарах h_1 , h_2 та h_3 , а також у складових структурах $(h_1 + h_2)$, $(h_1 + h_2 + h_3)$ та $(h_2 + h_3)$ на частотах, які відповідають цієї

потужністю.

Велика кількість власних коливальних процесів, що виникає в багатошарових середовищах повинно було б ускладнити цю задачу. Проте виявляється, що всі ці власні коливання дійсно виникають. Сейсмічний приймач, який встановлено на поверхні масиву, сприймає власні коливання тільки тих структур, до яких він примикає: h_1 , h_{12} та h_{123} . Власні коливальні процесів шарів-резонаторів, до яких сейсмічний приймач не примикає, зафіксовано не буде. Це істотно спрощує розв'язання задачі й дозволяє одержати розріз багатошарової середовища за спектрограмою сейсмічного сигналу, яка в цьому випадку буде мати вигляд, як наведено на рис. 1.8 [11].

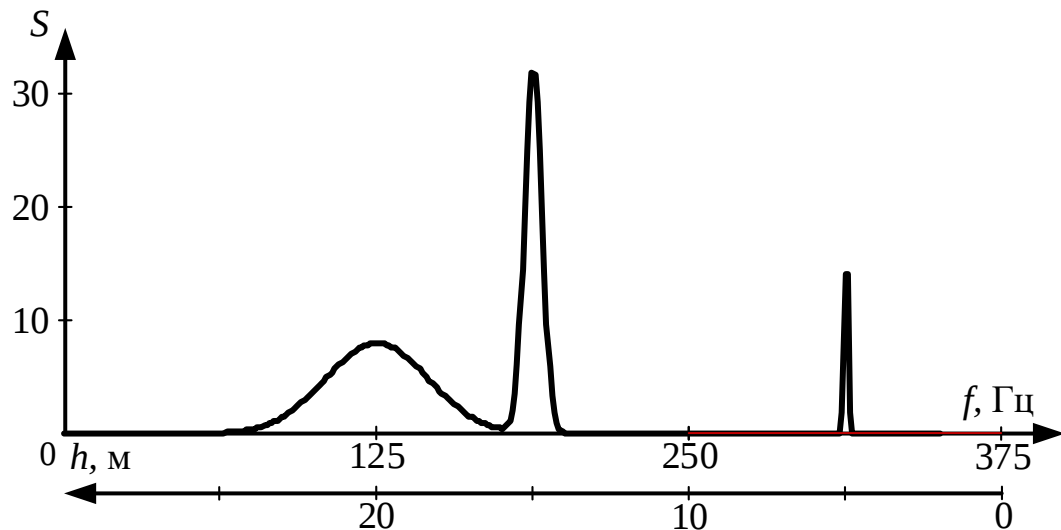


Рисунок 1.8 – Спектрограма сейсмічного сигналу

Спектрограма має дві осі абсцис: зліва направо – вісь частот f , а справа наліво – вісь потужності h . Ці осі співвідносяться між собою за величиною швидкості V_{sh} . Величина, яку відкладають за віссю ординат спектрограми та має наближене значення шпаруватості, безпосередньо пов'язаної з граничними умовами на межі шару-резонатора. Цю величину пов'язано з тертям на його поверхні. Вимірювачі градуюють за віссю ординат спектрограм у значеннях, що характеризують граничні умови на межі шар-резонатора. Значення цих граничних умов, що позначається S , визначає ступінь ослаблення механічного

контакту на площині, що поділяють сусідні шари. Чим менше значення тертя на поверхнях шару-резонатора, тим величина S . Значення тертя та S знаходяться в залежності від характеру зчеплення поверхонь шарів, тобто від наявності та величини адгезії, їх шорсткості, від сили притиску сусідніх структур між собою.

Кожна структура характеризується значенням S . Найбільше значення має показник S , що відповідає структурі h_{12} , це є наслідком наявності мастила між шарами h_2 і h_3 . Екстремум функції відповідає структурі h_1 , він дещо більше, ніж h_{123} . Так за нижньою межею притиск, що визначається власною вагою, більше, ніж на межі верхньої структури.

У природі таких чітких, різких, меж кордонів не буває. Наявність у земній товщі різного типу та роду включень, а також виклинювання й порушення розривного типу – це призводить до того, що задля підвищення величини інформативності спектрально-акустичних вимірювань використовується декілька вимірювачів, що повторюють вимірювання через деякий крок. Сукупність спектрограм – це рисунок, який містить інформацію щодо досліджуваного масиву. Це дослідження називають спектрально-сейсморозвідувальне профілювання (ССП). Рисунок, який отримано під час цього називається ССП-розрізом.

Виявлення окремих геологічних об'єктів на ССП-розрізах здійснюється під час аналізу рисунку, що утворений завдяки сукупності безлічі окремих спектральних зображень сейсмічних сигналів. Відсутність або наявність межі на окремо взятому одиничному зображенні не несе інформації.

У наочному та явному вигляді тектонічні порушення, що не виходять до поверхні, не можна побачити ніяким іншим геофізичним методом. Тектонічні порушення мають велику кількість найнесподіваніших властивостей.

1.4 Аналіз параметрів акустичних інформаційно-вимірювальних систем

1.4.1 Станції сейсмічної розвідки для малої глибини, що працюють на суші

Для вивчення верхньої частини розрізу, який має потужність від 10 до 100 м під час розв'язання гідрогеологічних, інженерно-геологічних та інших задач застосовують малоглибинні станції сейсмозвідки, які мають від 1 до 12 вимірювальних каналів. Для роботи на суші малоглибинні станції розробляють як переносними або здійснюють монтаж на кузові легкого всюдихода. У якості джерела сейсмічних коливань застосовуються удари.

Типову структурну схему сейсмічного інформаційно-вимірювального каналу наведено на рис. 1.9, де позначено: СП – сейсмічний приймач; ПЗ – пункт збудження; ПП – попередній підсилювач; К – комутатор каналів, ФНЧ – фільтр низької частоти, ФВЧ – фільтр високої частоти; РФ – режекторний фільтр, ОП – основний підсилювач; БК-блок керування; ПР – пристрій реєстрації [6].

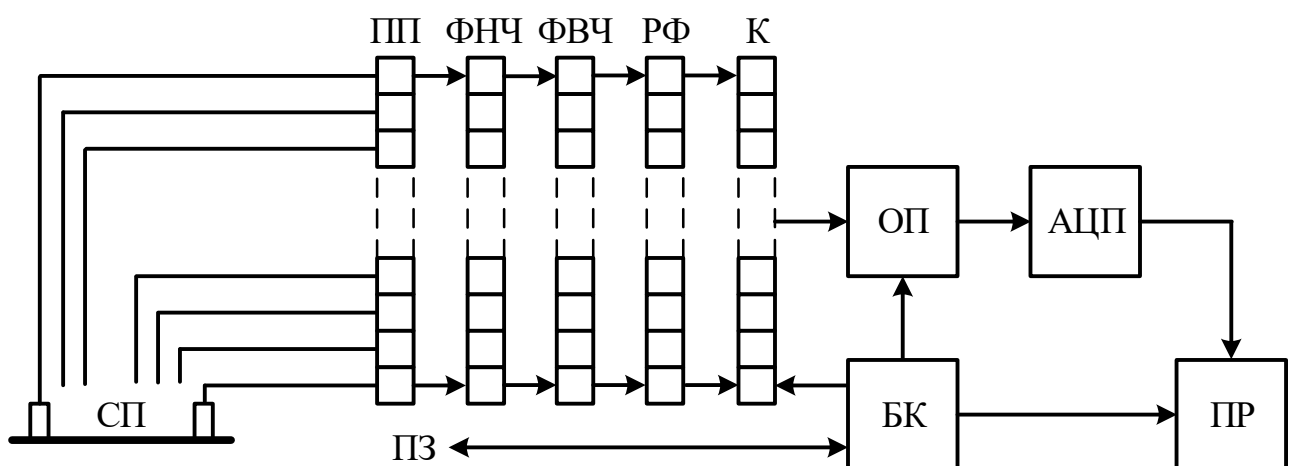


Рисунок 1.9 – Типова структурна схема сейсмічного інформаційно-вимірювального каналу

Сейсмічні коливання від одиночних або тих, що об'єднано до групи сейсмоприймачів, передаються до попередніх підсилювачі (ПП), які мають з коефіцієнт підсилення, що змінюється в межах від 30 до 100. Після підсилення здійснюється фільтрація сигналів у системі фільтрів ФНЧ, ФВЧ та РФ. Ця система має в своєму складі фільтр низької частоти (ФНЧ), фільтр високої частоти (ФВЧ) та режекторний фільтр (РФ), що застосовується для зменшення впливу перешкод від електричних мереж змінного струму з циклічною частотою 50 Гц. Вихідний сигнал фільтрів передається до комутатора *K*, який забезпечує дискретизацію сигналів за часом. Комутатор каналів одночасно реалізує функцію мультиплексування – часового ущільнення вхідних сигналів. Сейсмічні сигнали, що ущільнено в часі, подаються до єдиного на всі канал основного підсилювача ОП. Вихідні сигналу основного підсилювача передаються до входу АЦП. Потім сигнали передаються до пристрою реєстрації. Система керування – БК забезпечує синхронізацію процесів реєстрації, вимірювального контроль його правильності та узгодження реєстрації та збудження сейсмічних коливань.

Портативна сейсморозвідувальна станція «СНЦ-3».

Призначення:

Реєстрація пружних коливань під час сейсморозвідки методами відображених і заломлених хвиль з будь-яким джерелом імпульсів (ручні або механічні ударники, вибух малої потужності, вантаж, що падає, та ін.) Глибина розвідки становить до 500 м. Може здійснювати синхронне накопичення сигналів.

Застосування:

1. Геологічні дослідження під час вивчення побудови верхньої частини розрізу, структурних особливостей рудних районів та ін;
2. Інженерно-геологічні та гідрогеологічні роботи під час будівництва доріг, закладці фундаментів промислових, цивільних і військових об'єктів, прокладання ліній електропередачі.

СНЦ-3 має основні технічні характеристики:

– кількість каналів	3;
– частотний діапазон, Гц	від 16 до 1000;
– тривалість запису, мс	50;250;500;1000;
– рівень власних шумів, мкВ, у смузі частот:	
до 250 Гц	0,5;
до 1000 Гц	1;
– затримка запису, мс	від 0 до 9999,9;
– вивід інформації	запис за кожним каналом;
– режими накопичення (подання інформації)	шість розрядів;
	релейні переходи через нуль;
– живлення	
напруга, В	12 ±10%;
струм споживання, А	1,6.

1.4.2 Акустичні та ультразвукові станції для реєстрації сейсмічних коливань у свердловинах

Станції акустичного та ультразвукового діапазону застосовуються для вивчення розподілу швидкості сейсмічних хвиль, а також інших механічних властивостей порід уздовж стовбура свердловини. За допомогою цих станцій вивчають тонкі деталі стовбура свердловин. Це має велике значення для побудови особливостей хвильової картини в районі, що досліджується. Акустичні та ультразвукові каротажу застосовуються для кореляції розрізів свердловин і вивчення фізичних властивостей порід, що перетнули свердловину [4].

До складу сейсмічних станцій для акустичного та ультразвукового каротажу входить зонд, що занурюється до свердловину, кабель з'єднання, а також підсилювальний та синхронізуючий пристрій з реєстратором, який

розташовується на поверхні. До свердловини занурюється зонд, який має в своєму складі один чи декілька випромінювачів коливань звукової або ультразвукової частоти. Також до складу зонда входить один чи декілька приймачів. Як випромінювач застосовуються різні пристрої: магнітострикційні, п'єзоелектричні, електроіскрові, ударні та ін.. Як приймач зазвичай застосовують п'єзоелектричні, рідше магнітострикційні пристрої [6].

Усі випромінювачі та приймачі в зонді необхідно акустично ізолювати один від іншого. Це необхідно для того, щоб здійснювати реєстрацію тільки тих хвиль, що розповсюджуються через навколишнє середовище. Довжина бази, на якій здійснюються вимірювання, залежить від частоти коливань, що реєструються, та складає від 0,5 до 5 м. Сигнал, що надходить до приймача підсилюється підсилювачем, що розташований у зонді, він передається до поверхні. Під час дії двох і більше приймачів застосовують схему комутації, яка дозволяє за чергою підключати до кабелю електричні кола різних приймачів.

На поверхні землі розташовується підсилювач, який підсилює сигнали, а також пристрій реєстрації. Блок генератора формує імпульси, які періодично збуджує випромінювач. Період повторення імпульсів збудження вибирає більше часу для існування помітних коливань середовища під час дії одного порушення. Після кожного посилення імпульсів повторюється картина коливань.

1.5 Аналіз недоліків існуючих систем і постановка задачі дослідження

У теперішній час на практиці застосовується велика кількість різноманітних сейсмічних станцій. У більшості з цих станцій є ряд недоліків, головним з яких — застаріла елементна база. Це призводить до виникнення великої величини власних шумів апаратури, а також отримання результатів з високою величиною похибки. Досить суттєві незручності виникають під час роботи з видом запису прийнятих сигналів, що здійснюється на магнітну

стрічку або на видимий тип носія запису в вигляді графіка $u(t)$.

Істотним недоліком також є габаритні розміри сейсмічної станції. Більшість з цих станцій доводиться перевозити та встановлювати на автомобілях, що суттєво ускладнює проведення робіт з розвідки в важкодоступних місцях.

Завданням цієї роботи є розробка інформаційно-вимірювальної системи визначення меж геологічних середовищ земної кори. Ця система повинна усунути недоліки існуючих сейсмічних розвідувальних системи. Застосування системи вимірювання та обробки сигналів на основі мікроконтролерів призведе до зменшення рівня власних шумів апаратури, її габаритних розмірів, а також розширенню функціональних можливостей.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМ ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ ГЕОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ

2.1 Математичний опис розповсюдження сейсмічної хвилі в пружних середовищах

Сейсмічними хвилями називають механічні коливальні рухи, які поширюються у вигляді деформації через геологічні середовища. Відбувається зміна взаємного положення частинок середовища між собою. Два основних припущення використовуються в теорії сейсмічних хвиль:

1) середовище є пружним – після проходження хвилі частинки середовища повертаються до початкового стану рівноваги;

2) зсув є дуже малими – під час дії коливальних процесів зміни відстаней між точками середовища є малими за відношенням до абсолютної величин цих відстаней.

Зсув $\vec{U}(M)$, що має місце в точці середовища $M(x,y,z)$ під час поширення хвиль описується наступним співвідношенням [4]:

$$\vec{U}(M,t) = \vec{r}(M,t) \cdot f[t - \tau(M)], \quad (2.1)$$

де $\tau(M)$ – фіксоване значення часу; t – поточний час; f – функція, що визначає форму та інтенсивність коливання; $\vec{r}$ – вектор поляризації, який визначає напрямок зсувів.

Колівання, що записано сейсмічною апаратурою є комбінацією зсувів, а також їх похідних й інтегралів у часі, проте, цим зазвичай нехтують. Вважаючи, що процес на виході апаратури, що записує та обробляє результати вимірювання, може бути представлений виразом (2.1).

Сейсмічні хвилі розділяють на об'ємні та поверхневі. Розповсюдження та виникнення коливальних хвиль обумовлює існуванням межі розділу пружних властивостей: межі земля – повітря та ін. У сейсмічній розвідці поверхневі хвилі вважають як перешкоди.

Об'ємні хвилі виникають як під час наявності, так і під час відсутності меж і кордонів у середовищі. Об'ємні хвилі, якщо напрямок зсуву частинок співпадає з напрямком розповсюдження хвилі, то їх називають поздовжніми (P). У іншому випадку об'ємних хвиль зсув частинок здійснюється перпендикулярно до напрямку розповсюдження хвилі, ці хвилі мають назву поперечними (S). Поперечні коливання можна представити як сума хвиль SV та SH , де SV -хвилі, в яких у горизонтально-шаруватих середовищах зсув частинок відбувається за вертикальною площиною; SV -хвилі – за горизонтальною площиною.

Для об'ємних хвиль функція $f[t - \tau(M)]$ у формулі (2.1) представляється у вигляді імпульсу [4, 6]:

$$f(t - \tau) = A[t - \tau(M)] \cdot \cos \omega_0 \cdot [t - \tau(M) + \varphi(t, M)], \quad (2.2)$$

де $A[t - \tau(M)]$ – є позитивною функцією, значення якої відмінно від нуля в обмеженому часовому інтервалі, що повільно змінюється в просторі, та є тією, що огинає імпульсу, ця функція характеризує зміну інтенсивності хвилі в точці M у часі; $\cos \omega_0 \cdot [t - \tau(M) + \varphi(t, M)]$ – характеризує заповнення огинаючої та показує швидку зміну в часі знакозмінного процесу синусоїдального типу.

Під час теоретичних дослідженнях обмежуються розгляданням гармонійних коливань, а також переходять від виявлених для них закономірностей до функціоналів, до яких справедливо імпульсні хвилі, за допомогою інтеграла Фур'є.

Теоретичне визначення пружних хвиль у середовищах, що складаються з ідеально-пружних ізотропних однорідних пластів, забезпечує достатню

точність для більшості практичних завдань.

Для характеристики властивостей цих середовищ застосовують пари пружних констант, які мають наочну фізичну інтерпретацію: швидкості поздовжніх та поперечних хвиль V_P , V_S , модуль Юнга та коефіцієнт Пуассона (E та σ), пружні константи Ламе, які є модулем стиснення λ та модулем зсуву μ . Усі наведені константи пов'язано між собою такими співвідношеннями [5]:

$$E = \frac{\mu \cdot (3 \cdot \lambda + 2 \cdot \mu)}{\lambda + \mu}; \quad (2.3)$$

$$\sigma = \frac{\lambda}{2 \cdot (\lambda + \mu)}. \quad (2.4)$$

Значення V_P та V_S визначають за формулам [5]:

$$V_P = \sqrt{\frac{\lambda + 2 \cdot \mu}{\sigma}}; \quad (2.5)$$

$$V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\sigma}}. \quad (2.6)$$

Відношення значень V_P та V_S дорівнює [5]:

$$\frac{V_P}{V_S} = \sqrt{\frac{2 \cdot (1 - \sigma)}{1 - 2 \cdot \sigma}}, \quad (2.7)$$

то $0 \leq \sigma \leq 0,5$ для будь-яких ізотропних пружних середовищ швидкість поперечної хвилі практично в два рази менше ніж швидкість поздовжньої.

2.2 Розробка структурної схеми вимірювального каналу системи визначення меж геологічних середовищ

Під час проведення акустичних вимірювань зазвичай використовують схему вимірювального каналу системи визначення меж геологічних середовищ, структуру якої наведено на рис. 3.1, де позначено: ДС – джерело сигналу; П – приймач; ПР – перетворювач; РП – пристрій, що реєструє.

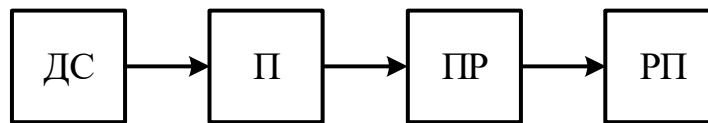


Рисунок 2.1 – Структурна схема вимірювального каналу системи визначення меж геологічних середовищ

Як джерело сигналу (ДС) застосовується залізне ковадло з молотом. Молотком б'ють по ковадлу, тим самим викликають акустичні коливання. Як приймач (П) використовується п'єзоелектричний приймач тиску. У цих приймачах застосовується прямий п'єзоэффект, де відбувається перетворення величини механічного тиску всередині середовища до електричної величини. Перетворювач (ПР) здійснює підсилення електричного сигналу, фільтрацію сигналу, який прийнятий від приймача, а також перетворення аналогового сигналу до цифрової форми. Як пристрій реєстрації може використовуватися осцилограф або спектральний аналізатор. Цей пристрій є індикатором, що представляє сигнал або в часовому, або в спектральному вигляді. Пристрій реєстрації призначено для перетворення електричного сигналу до сигналу, який сприймається органами сприйняття людини-оператора

Структурну схему інформаційно-вимірювальної системи визначення меж геологічних середовищ наведено на рис. 2.2, де позначено: ВДП – вхідний диференційний підсилювач; А – атенюатор; РФ – режекторний фільтр; ФНЧ – фільтр низьких частот; ФВЧ – фільтр високих частот; ПС КСН – підсилювач-суматор та компенсатор зсуву нуля; АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

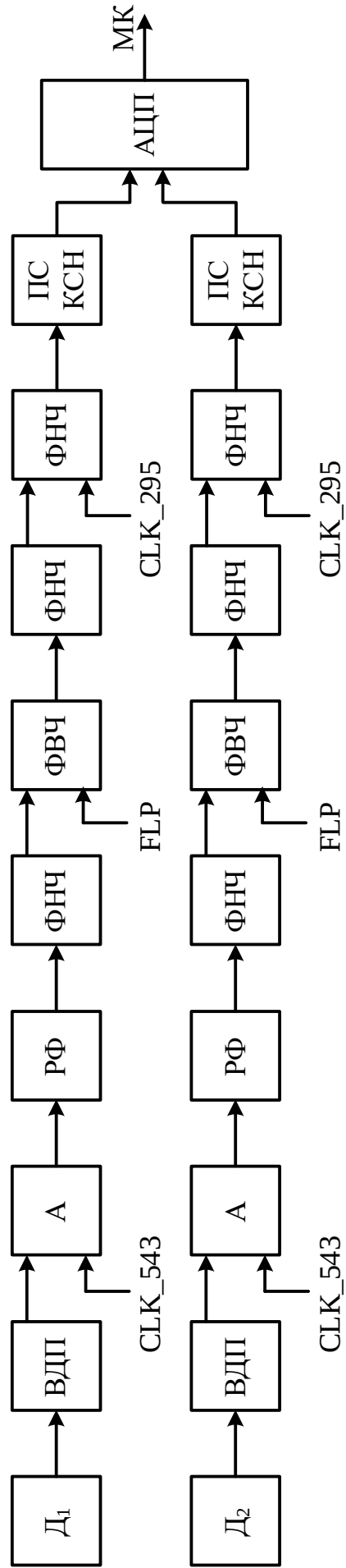


Рисунок 2.2 – Структурна інформаційно-вимірювальної системи визначення меж геологічних середовищ

МК – мікроконтролер; CLK_543 – сигнал керування роботою атенюатора; FLP – сигнал керування роботою фільтра високих частот; CLK_295 – сигнал керування роботою фільтра нижній частот.

2.3 Обґрунтування вибору приймача акустичної хвилі

Для приймання акустичних хвиль застосовується перетворення механічних коливань до електричних сигналів за допомогою електроакустичних перетворювачів (ЕАП). У ЕАП для акустичних методів вимірювального контролю зазвичай використовують п'єзоелектричний ефект. П'єзоелектричний ефект – це виникнення електричної поляризації деяких діелектриків під час їх механічних деформацій. Чутливий елемент, який зроблений з п'єзоматеріалу зазвичай виготовляють в формі пластини. До протилежної її поверхні наносять металеві електроди. Якщо п'єзопластини сприймає акустичну хвилю (імпульс тиску або зсуву), то на електродах з'являться електричні заряди внаслідок прямого п'єзоефекту.

2.3.1 Аналіз характеристик і параметрів п'єзоматеріалів приймачів акустичних хвиль

У перетворювачах сучасних акустичних пристроїв зазвичай застосовується п'єзокераміка. П'єзокераміка відносять до типу сегнетоелектриків, які мають п'єзовластивості в сотні разів більші ніж п'єзоелектриків. Найбільшого розповсюдження з п'єзокерамічних матеріалів набули цирконат-титан свинцю, тверді розчини, які мають чотирьох компонентну систему, до складу якої входить титанат свинцю та цирконат свинцю, а також ніобат літію та метаніобат свинцю.

Основною константою п'єзоелемента, яка визначає ефективність

перетворення, є коефіцієнт електромеханічного зв'язку β . Цей коефіцієнт визначається як відношення взаємної пружності електричної енергії до середнього геометричного значення пружною й електричної енергії. Для пластини, коливання якої відбувається за товщиною, значення коефіцієнта електромеханічного зв'язку розраховується за формулою [13]:

$$\beta = \sqrt{\frac{l^2}{\rho \cdot c^2 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0}}, \quad (2.8)$$

де l – п'єзоконстанта; ρ – щільність; c – швидкість звука; $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – електрична постійна; ε – відносна діелектрична проникливість матеріалу п'єзопластини; значення c та ε залежать від умов коливання пластини.

Для формули (3.8) ε вибирається для пластини, яка має закріплені грані, тобто деформація відсутня, c – під час дії постійного електричного зсуву. Для того, щоб здійснити узгодження пластини з інформаційно-вимірювальною системою необхідно забезпечити ε досить велике значення, якщо β вибирати досить велике значення.

2.3.2 Характеристики і параметри п'єзоелектричних перетворювачів

П'єзопластини є основним чутливим елементом інформаційно-вимірювальної системи. Пластина електрично з'єднана як з генератором та і з приймачем системи. Механічний зв'язок п'єзопластина має з іншими елементами системи: протектором, який є тонким прошарком, що оберігає пластину від дії зовнішніх впливів; демпфером, до якого випромінюється частина коливальної енергії та гаситься.

Отже, необхідно виконати характеристику властивості п'єзоелектричного перетворювача, як вузла, щодо його ефективності приймання акустичних хвиль. Для цього використовується комплексні передавальні функції, які

визначають зв'язок між акустичними та електричними сигналами. Передавальна функція під час приймання інформації K_{Π} визначається як відношення вихідного значення електричної напруги приймача до тиску акустичної хвилі, що надходить до приймача. Ця функція залежить від зміни частоти акустичного сигналу.

Для розв'язання більшості практичних завдань застосовуються частинні характеристики, які впливають на K_{Π} : коефіцієнт перетворення K_0 , яке є максимальним значенням модуля K_{Π} ; робоча частота f_0 , що відповідає максимуму K_0 ; смугу пропускання, що є частотним діапазон, де K_{Π} зменшується не більше ніж на 6 дБ від максимуму [13].

2.3.3 Умови розташування та встановлення приймачів акустичної хвилі

Контакт приймача з ґрунтом розглядається як коливальна система, яка має власну резонансну частоту f_0 . Під час зміни умов установки, змінюється f_0 . У залежності від f_0 змінюються й амплітудно та фазо-частотні характеристики приймачів. Неправильне розташування інформаційно-вимірювальної системи призводить до порушень сейсмічної косої за каналами. Це спотворює одержану інформацію та призводить до похибок та помилок під час інтерпретації результатів вимірювання.

Для зменшення впливів під час установки приймачі розташовують в неглибоких ямках, що є найбільш ефективно під час дослідження м'яких порід. Також приймачі стромляють на штирі до ґрунту, що дозволяє збільшити поверхню контакту. Схему розташування апаратури інформаційно-вимірювальної системи визначення меж геологічних середовищ наведено на рис. 2.3, де позначено: 1 – акустичні приймачі, 2 – випромінювач акустичної хвилі – ковадло з молотом, 3 – перетворювач і пристрій реєстрації [4, 5, 7].

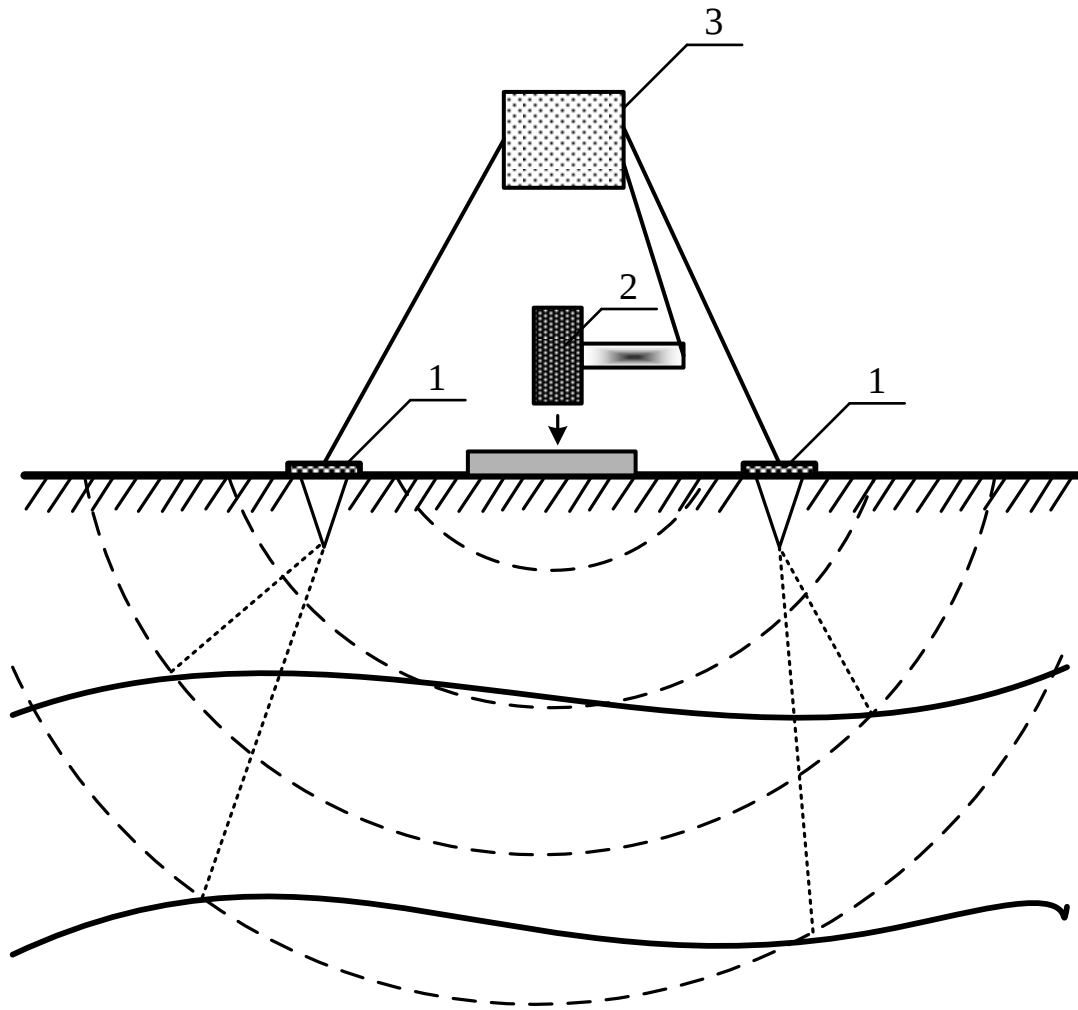


Рисунок 2.3 – Схема розташування апаратури інформаційно-виміральної системи визначення меж геологічних середовищ

2.4 Висновки

Обґрунтовано та розроблено структура інформаційно-виміральної систем визначення меж геологічних середовищ, яка для підвищення інформативності та збільшення площі зондування складається з двох каналів. Для обробки результатів вимірювання розроблено математичний опис розповсюдження сейсмічної хвилі в пружних середовищах, що дозволяє вимірювати параметри середовища та визначати межі геологічних зсувів. Також обґрунтовано рекомендації щодо розташування апаратури інформаційно-виміральної системи визначення меж геологічних середовищ.

3 РОЗРОБКА АНАЛОГОВОГО БЛОКУ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ ГЕОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ

3.1 Розрахунок елементів схеми вхідного диференційного підсилювача

Початкові данні для розрахунку схеми вхідного диференційного підсилювача:

- підсилювач повинен мати коефіцієнт підсилення за напругою $K_U = 50$ (необхідна вимога для сейсмічної розвідувальної апаратури);
- смуга пропускання частот становить від 1 Гц до 20 кГц (до цієї області потрапляє сигнал, що досліджується);
- діапазон вхідних сигналів від $U_{\min} = 50$ мкВ до $U_{\max} = 70$ мВ;
- усі резистори вибираються прецизійними, тому що мають високу стабільність параметрів під час експлуатації, номінали вибираються з лав E48,96 з точністю $\delta_R = \pm 0,5 \%$;
- номінали всіх конденсаторів вибираються з ряду E6 з точністю $\delta_C = \pm 1 \%$.

Принципову схему вхідного диференційного підсилювача наведено на рис. 3.1 [14].

Як операційні підсилювачів $DA_1 - DA_3$ використано операційний підсилювач постійного струму (ОППС) типу MAX412, який має такі параметри:

- напруга живлення, $U_{\text{ж}}$, В ± 5 ;
- напруга зсуву нуля, $U_{\text{зс0}}$, мкВ ± 120 ;
- вхідний струм, $I_{\text{вх}}$, нА 150;
- струм споживання, $I_{\text{сп}}$, мА 2,7;
- частота одиничного підсилення, $f_{\text{т}}$, МГц 28.

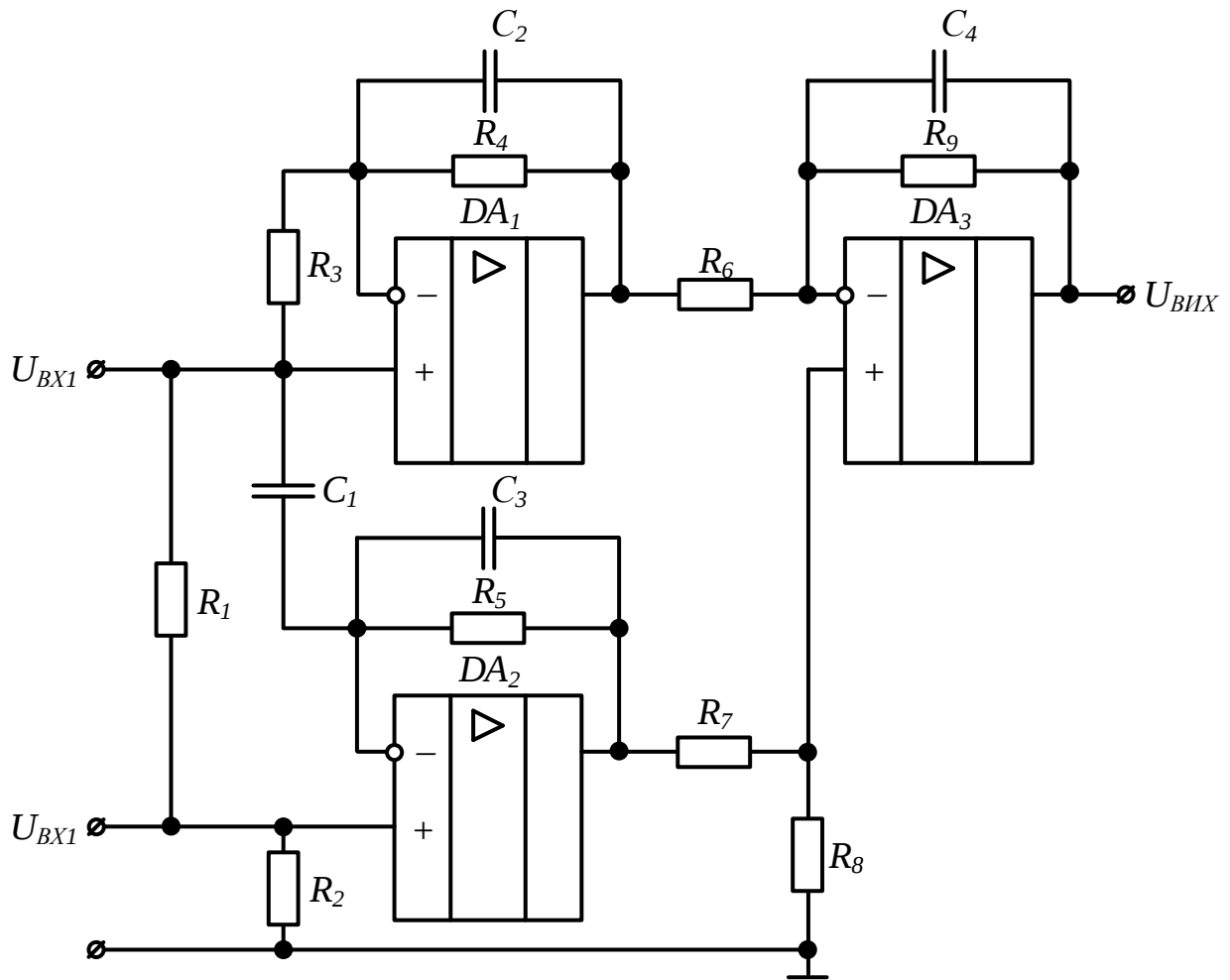


Рисунок 3.1 – Принципова схема вхідного диференційного підсилювача

Резистори R_1 та R_2 на основі вихідного опору датчика в межах від 100 кОм до 200 кОм. Приймаємо номінальне значення опорів резисторів $R_1=R_2=150$ кОм. Вибираємо резистори R_1 та R_2 типу С2–22–0,125–150 кОм $\pm$ 0,5%.

Елементи R_3 та C_1 визначають нижню частоту зрізу амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) фільтру [15]:

$$f_H = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{R_3 \cdot C_1}, \quad (3.1)$$

де $f_H=1$ Гц – нижня частота сигналу, що підсилюється.

Опору резисторів R_3 , R_6 та R_7 є навантаженням для ОППС, відповідно їх значення не повинно бути меншим ніж 2 кОм. Приймаємо номінальне значення опору резистора $R_3=4,12$ кОм, тоді з формули (3.1) отримаємо розрахункове співвідношення для ємності конденсатора:

$$C_1 = \frac{1}{2\pi \cdot f_H \cdot R_3} = \frac{1}{2\pi \cdot 1 \cdot 4,12 \cdot 10^3} = 38,6 \text{ мкФ}.$$

Вибираємо номінальне значення ємності конденсатора $C_1=47$ мкФ, типу К50-34-6,3-47мкФ.

$R_3=R_6=R_7=4,12$ кОм типу С2 –22 – 0,125 – 4,12 кОм $\pm$ 0,5%.

З умови, що коефіцієнт підсилення за напругою всього каскаду дорівнює $K_U=50$, знайдемо номінальне значення опору резистора R_4 .

$$K_{U1} = \frac{R_4}{R_3} = 5,$$

$$R_4 = K_{U1} \cdot R_3 = 5 \cdot 4,12 \cdot 10^3 = 20,6 \text{ кОм}.$$

Вибираємо номінальне значення опору резисторів $R_4=R_5=R_9=20$ кОм типу С2 –22 – 0,125 – 20 кОм $\pm$ 0,5%.

Елементи R_9 та C_4 визначають верхню частоту зрізу амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) фільтру [15]:

$$f_B = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{R_9 \cdot C_4}, \quad (3.2)$$

де $f_B = 20$ кГц – верхня частота сигналу, що підсилюється.

Номінальне значення опору резистора $R_9=20$ кОм, тоді з формули (3.2) отримаємо розрахункове співвідношення для ємності конденсатора:

$$C_4 = \frac{1}{2\pi \cdot f_B \cdot R_9} = \frac{1}{2\pi \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,398 \text{ нФ}.$$

Вибираємо номінальне значення ємності конденсаторів $C_4=C_3=C_2=0,33 \text{ нФ}$, типу К10-28-50-330 пФ.

3.2 Вибір атенюатора з цифрових переключенням діапазонів

Сигнал, що досліджується, змінюється в широких межах, тому необхідно здійснювати керування коефіцієнтом підсилення за допомогою атенюатор, принципову схему якого наведено на рис. 3.2 [16].

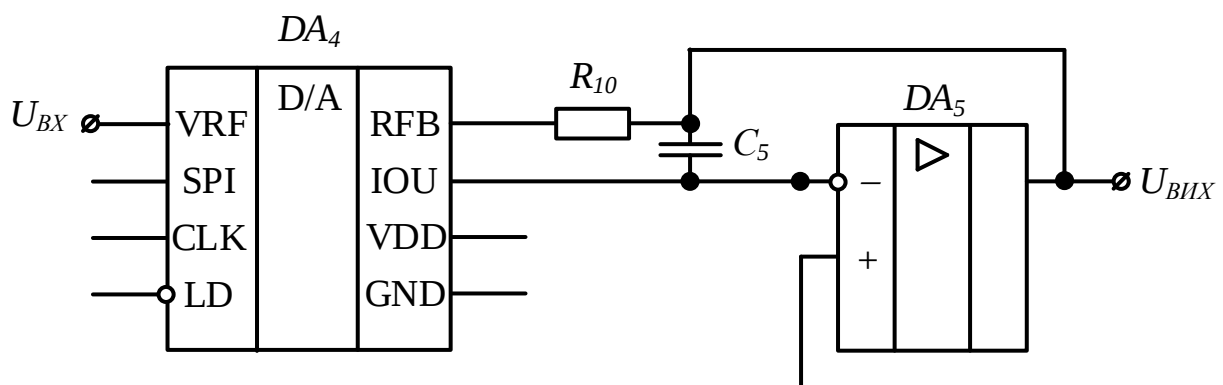


Рисунок 3.2 – Принципова схема атенюатора

Для реалізації принципової схеми атенюатора застосовується 12-бітний цифро-аналоговий перетворювач, який реалізовано на базі мікросхеми DA_4 , що має такі параметри:

- напруга живлення, $U_{\text{ж}}$, В + 5;
- величина вхідного опору, $R_{\text{вх}}$, кОм 15
- діапазон зміни коефіцієнта підсилення K , від 1 до 1/4096;
- час встановлення вихідного сигналу, t , мкс 0,25;
- інтерфейс передачі даних послідовний.

Призначення контактів:

VRF – вхід;

SPI, CLK – сигнали керування атенюатором;

RFB, IOU – вихідні сигнали;

LOAD – вхід для завантаження даних;

GND – земля.

Операційний підсилювач DA_5 застосовується типу MAX412.

Номінальні значення опору резистора R_{10} та ємності конденсатора C_5 вибираються з точністю $\delta_R = \delta_C = \pm 1\%$: $R_{10} = 51 \text{ Ом}$ типу C2 – 23 – 0,125 – 51 Ом $\pm 1\%$ та $C_5 = 15 \text{ пФ}$ типу K10– 26– 50 – 15 пФ.

3.3 Розрахунок елементів схеми режекторного фільтра

Режекторний фільтр застосовується для зменшення впливу перешкоди мережі промислової частоти $f_M = 50 \text{ Гц}$. У вимірювальному каналі, що розробляється, використаний режекторний фільтр на базі конверторів повного опору, принципову схему якого наведено на рис. 3.3 [16].

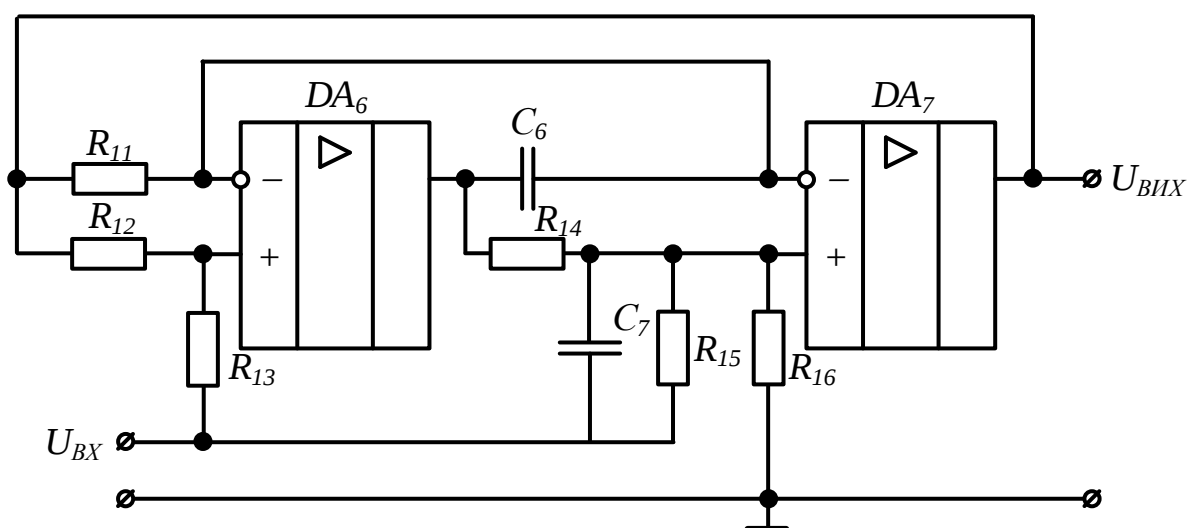


Рисунок 3.3 – Принципова схема режекторного фільтра на основі конвекторів повного опору

До переваг режекторного фільтра на основі конвекторів повного опору:

- можливі великі та малі значення добротності;
- невисока чутливість до відхилень значень від номіналів;
- простота настройки;
- велике значення добротності може отримано без надмірного розширення діапазону.

До недоліків цього типу режекторного фільтра можна віднести:

- фіксоване значення коефіцієнту підсилення за напругою, величина якого дорівнює одиниці;
- застосування необхідних резисторів, що узгоджують.

Початкові данні для розрахунку схеми режекторного фільтра на основі конвекторів повного опору:

- частота режекції, f_0 , Гц 50;
- смуга пропускання, Π , Гц 5;
- глибина режекції, dB від 40 до 50;
- коефіцієнт передачі за напругою, K_U 1;
- шпаруватість, Q 100.

Номінали опорів резисторів вибирають з точністю $\delta_R = \pm 0,5 \%$, а номінали єдностей конденсаторів вибираються з точністю $\delta_C = \pm 1 \%$.

Як операційні підсилювачів DA_6 та DA_7 застосовуються ОППС типу AD708, які мають такі параметри:

- величина напруги живлення, $U_{\text{ж}}$, В + 5;
- вхідний струм, $I_{\text{вх}}$, А $1 \cdot 10^{-9}$;
- різниця вхідних струмів, $\Delta I_{\text{вх}}$, А $5 \cdot 10^{-10}$;
- значення напруги зсуву нуля, $U_{\text{зс0}}$, В $3 \cdot 10^{-5}$;
- вхідний опір, $R_{\text{вх}}$, Ом $6 \cdot 10^7$;
- вихідний опір, $R_{\text{вих}}$, Ом 60;
- частота одиничного підсилення, f_1 , кГц 900
- коефіцієнт підсилення за напругою, K_U $1 \cdot 10^7$.

Функція передачі режекторного фільтра описується таким співвідношенням [16, 17]:

$$K(p) = \frac{p^2 + \frac{R_{12}}{C_7} \cdot \left(\frac{1}{R_{12} \cdot R_{15}} - \frac{1}{R_{13} \cdot R_{16}} \right) \cdot p + \frac{R_2}{R_{11} \cdot R_{14} \cdot R_{13} \cdot C_6 \cdot C_7}}{p^2 + \frac{1}{C_7} \cdot \left(\frac{1}{R_{15}} - \frac{1}{R_{16}} \right) \cdot p + \frac{R_2}{R_{11} \cdot R_{14} \cdot R_{13} \cdot C_6 \cdot C_7}}. \quad (3.3)$$

Частота режекції фільтра розраховується за співвідношенням:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{R_{12}}{R_{11} \cdot R_{14} \cdot R_{13} \cdot C_6 \cdot C_7}}. \quad (3.4)$$

Шпаруватість фільтра визначається за формулою:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot C_7 \cdot R_{15} \cdot R_{16}}{(R_{16} - R_{15})}. \quad (3.5)$$

Для того, щоб отримати максимальне зменшення сигналу на частоті f_0 , необхідно забезпечити виконання таких співвідношень:

$$R_{12} \cdot R_{15} = R_{13} \cdot R_{16};$$

$$R_{12} = R_{16};$$

$$R_{13} = R_{15}; \quad (3.6)$$

$$C_6 = C_7;$$

$$R_{11} = R_{14}.$$

Розраховується номінальне значення ємності конденсаторів C_6 та C_7 :

$$C \leq \frac{10}{f_0}, [\text{мкФ}]$$

тоді

$$C_6 = C_7 \leq \frac{10}{f_0} \leq \frac{10}{50} \leq 0,2 \text{ мкФ}.$$

Приймаємо номінальне значення ємності конденсаторів $C_6=C_7=0,1 \text{ мкФ}$ типу К10 – 28 – 50 – 0,1мкФ.

Введемо такі позначення:

$$R = R_{11} = R_{14};$$

$$C = C_6 = C_7.$$

Вибираємо номінальне значення опору резистора $R_{15}=200 \text{ кОм}$, тоді з (3.4) та (3.5) розраховано значення опорів резисторів R_{11} та R_{14} [16, 17]

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{\frac{R_{12}}{R_{13} \cdot (\omega_0 \cdot C)^2}} = \sqrt{\frac{Q}{(Q - R_{15} \cdot \omega_0 \cdot C) \cdot (\omega_0 \cdot C)^2}} = \\ &= \sqrt{\frac{100}{(100 - 200 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}) \cdot (2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6})^2}} = 32,89 \text{ кОм}. \end{aligned}$$

$$R_{16} = \frac{Q \cdot R_{15}}{Q - R_{15} \cdot \omega_0 \cdot C} = \frac{100 \cdot 200 \cdot 10^3}{100 - 200 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}} = 213 \text{ кОм}.$$

Вибираємо номінальне значення опору резисторів $R=R_{11}=R_{14}=33,2 \text{ кОм}$ типу С2 – 23 – 0,125– 33,2 кОм $\pm 0,5\%$ та $R_{12}=R_{16}=215 \text{ кОм}$ типу С2–23–0,125– 215 кОм $\pm 0,5\%$.

3.4 Розрахунок елементів схеми фільтра низьких частот

Фільтр нижніх частот (ФНЧ) затримує сигнали високих частот і пропускає сигнали низьких частот. Максимальний рівень загасання в смузі пропускання (α_1) не перевищує -3 дБ, а загасання в смузі затримки (α_2) для фільтра першого порядку, принципову схему якого наведено на рис. 3.4, дорівнює 20 дБ. До складу вимірювального каналу системи визначення меж геологічних середовищ входять два ідентичних фільтра нижніх частот.

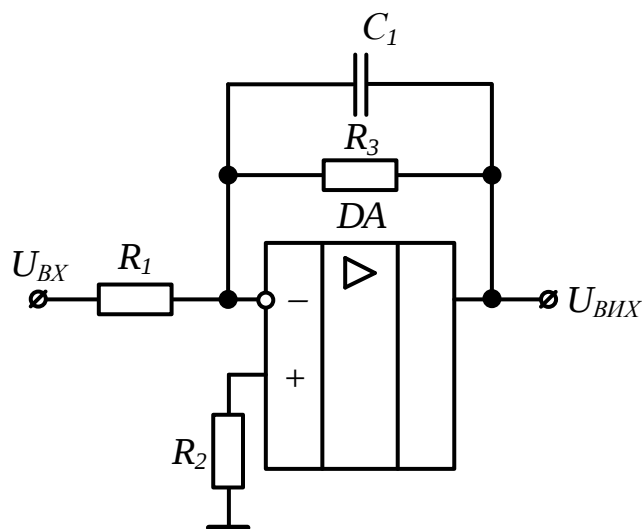


Рисунок 3.4 – Принципова схема фільтра нижніх частот

Початкові дані для розрахунку елементів схеми фільтра нижніх частот :

- частота зрізу, f_0 , кГц 20;
- коефіцієнт підсилення за напругою ФНЧ, K_U 10;
- точність номінального значення опорів резисторів, δ_R , % $\pm 0,5$;
- точність номінального значення ємності конденсаторів, δ_C , % $\pm 1,0$;

Як операційні підсилювачів DA застосовується ОППС типу AD708.

Функція передачі ФНЧ описується таким співвідношенням [15]:

$$K(p) = -\frac{R_2}{R_1 \cdot (1 + p \cdot \tau)}, \quad (3.7)$$

де $\tau = R_2 \cdot C_1$.

Резистор R_1 є навантаженням для ОППС, тому його номінальне значення опору повинно бути не менш 2 кОм. Приймаємо номінальне значення опору резисторів $R_1=R_3=6,49$ кОм, тоді номінальне значення опору резистору R_2 визначається на основі необхідного значення коефіцієнту передачі за напругою схеми ФНЧ:

$$R_2 = K_U \cdot R_1 = 10 \cdot 6,49 \cdot 10^3 = 64,9 \text{ кОм.}$$

Номінальне значення ємності конденсатора C_1 дорівнює [15, 19]:

$$C_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot R_2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 64,9 \cdot 10^3} = 0,122 \text{ нФ.}$$

Вибираємо номінальне значення ємності конденсатора $C_1=0,1$ нФ.

Номінальне значення та тип елементів принципової схеми фільтра низьких частот вимірювального каналу системи визначення меж геологічних середовищ зведено до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Номінальне значення та тип елементів принципової схеми ФНЧ вимірювального каналу системи

Елемент	Номінальне значення	Тип
DA_8, DA_{11}	—	AD708
$R_1=R_{17}=R_{18}=R_{24}=R_{25}$	6,49 кОм	C2 – 23 – 0,125 – 6,49 кОм $\pm 0,5\%$
$R_2=R_{19}=R_{26}$	64,9 кОм	C2–23–0,125–64,9 кОм $\pm 0,5\%$
$C_1=C_8=C_{11}$	0,1 нФ	K10-28-50-0,1нФ

3.5 Розрахунок елементів схеми фільтра високих частот

Фільтр високої частоти не пропускає сигнали низької частоти, а пропускає сигнали високих частот. У сейсмічній розвідці знайшов широке застосування фільтр Баттерворда, у якого монотонна характеристика. Схема, що реалізує фільтр високої частоти Баттерворда – джерело напруги, що керовано напругою. У цій схемі ОППС та два підключених до нього резистора R_{22} і R_{23} утворюють джерело напруги, що керовано напругою (див. рис. 3.5). Цей фільтр має низьке значення повного вихідного опору, невеликий розкид значень елементів, а також можливість одержати відносно високе значення коефіцієнта підсилення за напругою. Схема фільтра проста під час налаштування, має невелику кількість конденсаторів [15, 19].

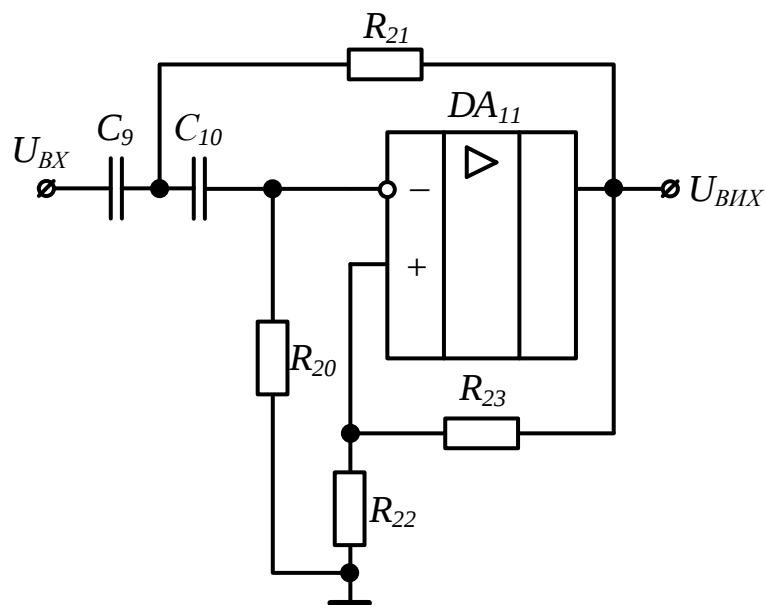


Рисунок 3.5 – Принципова схема фільтра високих частот

Початкові дані для розрахунку фільтра високих частот Баттерворда:

- за допомогою змінних резисторів R_{20} , R_{21} та конденсаторів $C_1 = C_{10} = C_9$ встановлюється частоту зрізу f_0 без впливу на шпаруватість;
- значення частот, що необхідно одержати:

$$f_{01}, \text{ Гц}$$

$f_{02}, \Gamma_{\text{ц}}$ 10;

$f_{03}, \Gamma_{\text{ц}}$ 100;

$f_{03}, \Gamma_{\text{ц}}$ 1000;

– коефіцієнт підсилення за напругою, K_U 10.

Для розрахунку номінальних значень елементів ФВЧ, якщо заданий f_0 та K_U необхідно:

– знайти величини допоміжних параметрів B та C , що є нормованими коефіцієнтами ланки фільтра другого порядку;

– вибрати номінальне значення ємності конденсатора:

$$C \leq \frac{10}{f_0} [\text{мкФ}];$$

– знайти номінальні значення опору резисторів зі співвідношень [17]:

$$R_{20} = \frac{4 \cdot C}{\left[B + \sqrt{B^2 + 8 \cdot C \cdot (K_U - 1)} \right] \cdot \omega_0 \cdot C_1}; \quad (3.8)$$

$$R_{21} = \frac{C}{(\omega_0 \cdot C_1)^2 \cdot R_{20}}; \quad (3.9)$$

$$R_{22} = \frac{K_U \cdot R_{20}}{(K_U - 1)}; \quad (3.10)$$

$$R_{23} = K_U \cdot R_{20}. \quad (3.11)$$

Виконаємо розрахунок схеми ФВЧ Баттерворда для $f_{02} = 10$ Гц. Як операційний підсилювач DA_{11} у схемі використовується ОППС типу AD708. Значення допоміжних параметрів B та C для ФВЧ Баттерворда на базі схеми джерела напруги, що керується напругою, дорівнюють:

$$B = 1,414214 \quad \text{та} \quad C = 1.$$

$$C_1 = \frac{10}{f_0} = \frac{10}{10} = 1 \text{ мкФ};$$

Приймається номінальне значення ємності конденсатора $C_1=1$ мкФ, а конденсатор C_1 типу BC2222 – 62 – 1,0 мкФ $\pm 1\%$. З формули (3.8) визначається номінальне значення опору резистора R_{20} [17]:

$$\begin{aligned} R_{20} &= \frac{4 \cdot C}{\left[B + \sqrt{B^2 + 8 \cdot C \cdot (K_U - 1)} \right] \cdot \omega_0 \cdot C_1} = \\ &= \frac{4 \cdot 1}{\left[1,414214 + \sqrt{1,414214^2 + 8 \cdot 1 \cdot (10 - 1)} \right] \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 6,35 \text{ кОм}. \end{aligned}$$

Приймається номінальне значення опору резистора $R_{20}=6,34$ кОм, а резистор R_{20} типу C2 – 29В – 0,125 – 6,34 кОм $\pm 0,5\%$. З формули (3.9) визначається номінальне значення опору резистора R_{21} :

$$R_{21} = \frac{C}{(\omega_0 \cdot C_1)^2 \cdot R_{20}} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 1 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 6,34 \cdot 10^3} = 39,9 \text{ кОм}.$$

Приймається номінальне значення опору резистора $R_{21}=40,2$ кОм, а резистор R_{21} типу C2 – 29В – 0,125 – 40,3 кОм $\pm 0,5\%$. З формули (3.10) визначається номінальне значення опору резистора R_{22} :

$$R_{22} = \frac{K_U \cdot R_{20}}{(K_U - 1)} = \frac{10 \cdot 6,34 \cdot 10^3}{(10 - 1)} = 7,04 \text{ кОм}.$$

Приймається номінальне значення опору резистора $R_{22}=7,17 \text{ кОм}$, а резистор R_{22} типу С2 – 29В – 0,125 – 7,17 кОм $\pm$ 0,5%. З формули (3.11) визначається номінальне значення опору резистора R_{23} :

$$R_{23} = K_U \cdot R_{20} = 10 \cdot 6,34 \cdot 10^3 = 63,4 \text{ кОм}.$$

Приймається номінальне значення опору резистора $R_{23}=63,4 \text{ кОм}$, а резистора R_{23} типу С2 – 29В – 0,125 – 63,4 кОм $\pm$ 0,5%.

3.6 Вибір схеми фільтра низьких частот високого порядку

Як фільтр нижніх частот високого порядку застосовується інтегральний фільтр на базі мікросхеми типу MAX295, схема включення та умовно-графічне позначення якого наведено на рис. 3.6. Якщо застосовувати інші типи фільтрів, то вони є більш громіздкими та мають велику кількість операційних підсилювачів та конденсаторів.

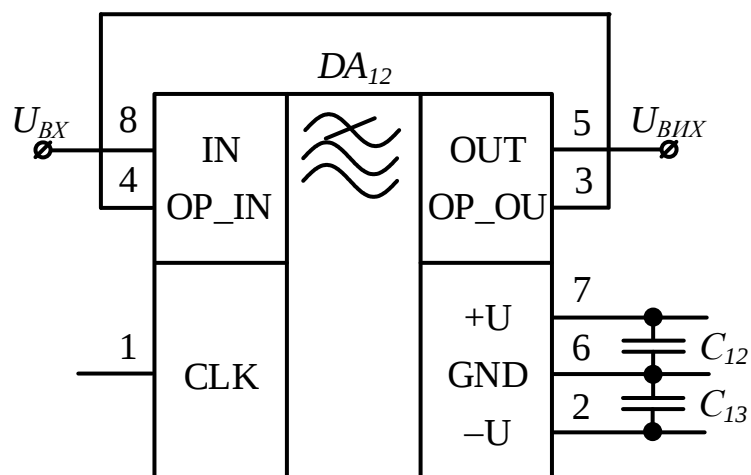


Рисунок 3.6 – Принципова схема включення та умовно-графічне позначення фільтра низьких частот високого порядку

Де переваг фільтра на базі інтегральної мікросхеми MAX295 можна

віднести:

- можливість перестроювання фільтра на різні частоти зрізу;
- відсутність дзеркальних частот.

Фільтр на базі інтегральної мікросхеми MAX295 має такі параметри:

- діапазон зміни частоти зрізу, f_0 , кГц від 0,1 до 50;
- величина напруги джерела живлення, $U_{\text{ж}}$, В ± 5 ;
- величина напруги зсуву нуля, $U_{\text{зс}}$, В $\pm 0,4$;

Призначення виводів:

OUT – вивід;

IN – вхід;

CLK – вивід для здійснення керування фільтром;

$\pm U$ – живлення мікросхеми фільтра;

GND – земля.

Конденсатори C_{12} та C_{13} , що використовуються в схемі фільтра, типу К10 – 28 – 50 – 0,1 мкФ $\pm 1\%$.

3.7 Розрахунок елементів схеми підсилювача-суматора та компенсатора зсуву нуля

Фільтр нижніх частот на мікросхемі типу MAX 295 має напругу зсуву нуля, величина якої дорівнює $\pm 0,4$ В. Для компенсації значення цієї напруги узгодження вихідного каскаду вимірювального каналу з АЦП необхідно використовувати схему підсилювача-суматора фільтра та компенсатора зсуву нуля (див. рис. 3.7) [16]. Початкові данні для розрахунку схеми:

- значення напруги зсуву, $U_{\text{зс}}$, В $\pm 0,4$;
- величина вхідної напруги, $U_{\text{вх}}$, В 3,5;
- величина вхідної напруги, $U_{\text{вих}}$, В 5;
- частота зрізу, f_z , кГц 20.

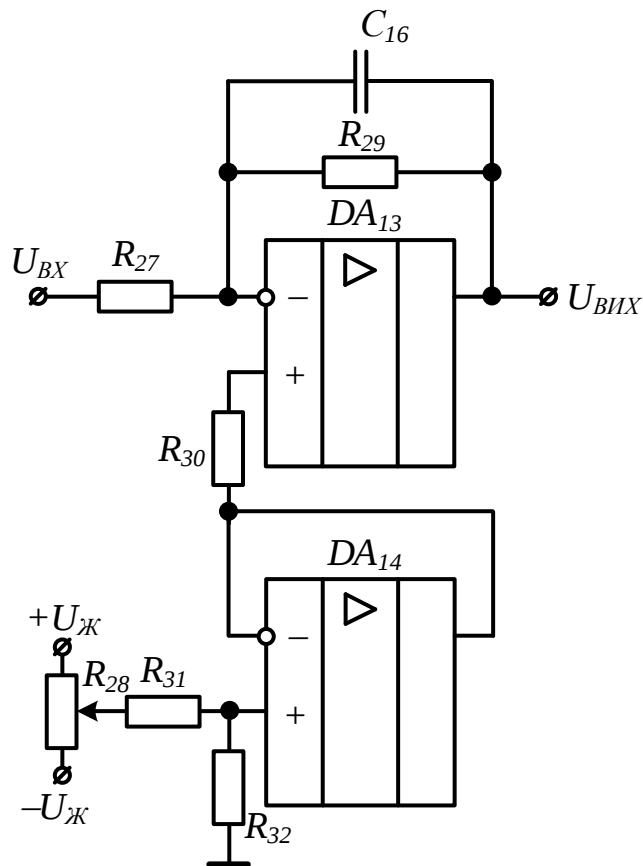


Рисунок 3.7 – Принципова схема підсилювача-суматора фільтра та компенсатора зсуву нуля

Як операційні підсилювачі DA_{13} та DA_{14} у схемі використовується ОППС типу AD708. Резистор R_{27} є навантаженням для ОППС, тому його номінальне значення опору повинно бути не менш 2 кОм. Приймаємо номінальне значення опору резистора $R_{27}=3,01$ кОм. Коефіцієнт підсилення за напругою підсилювача-суматора дорівнює:

$$K_U = \frac{U_{BHX}}{U_{BX}} = \frac{5}{3,5} = 1,43,$$

а з іншої сторони:

$$K_U = \frac{R_{29}}{R_{27}},$$

тоді

$$R_{29} = K_U \cdot R_{27} = 1,43 \cdot 3,01 = 4,3 \text{ кОм.}$$

Номінальне значення ємності конденсатора дорівнює:

$$C_{14} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_z \cdot R_{29}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 4,3 \cdot 10^3} = 1,84 \text{ нФ.}$$

Приймаємо номінальне значення ємності конденсатора $C_{14}=1,5 \text{ нФ}$, а конденсатор типу К10 – 28 50 – 1,5 нФ.

Приймаємо величину струму, що проходить через ділник напруги на змінному резисторів R_{28} , значення якого дорівнює 1 мА, тоді:

$$R_{28} = \frac{U_{\text{ж}}}{I_{R_{28}}} = \frac{5}{1 \cdot 10^{-3}} = 5 \text{ кОм.}$$

Приймаємо сумарне значення опорів двох резисторів:

$$R_{31} + R_{32} = 50 \text{ кОм.}$$

Величина напруги зсуву, що компенсується схемою, дорівнює:

$$U_{3c} = \frac{U_{\text{ж}}}{R_{31} + R_{32}} \cdot R_{32}.$$

Приймаємо номінальне значення опору резистора $R_{32}=4,02 \text{ кОм}$, тоді $R_{31}=46,4 \text{ кОм}$, $R_{28}=5,1 \text{ кОм}$ вибираємо резистори типу:

R_{28} C2 – 23 – 0,125 – 5,1 кОм $\pm 1\%$;

R_{31} C2 – 23 – 0,125 – 46,4 кОм $\pm 1\%$;

R_{32} C2 – 23 – 0,125 – 4,02 кОм $\pm 1\%$.

3.8 Вибір аналогового ключа

Для здійснення керування фільтром верхніх частот, який зібраний на базі джерела напруги, що керується напругою, та режекторним фільтром до схеми вимірювального каналу входить аналоговий ключ типу К590КН5. Цей ключ керується за допомогою дискретних сигналів, а здійснює керування безперервними сигналами. Аналоговий ключ типу К590КН5, умовно-графічне позначення якого наведено на рис. 3.8, має такі технічні параметри:

- значення напруги живлення, $U_{\text{ж}}$, В + 5;
- максимальне значення напруги, що може перемикатися, $U_{\text{вх}}$, В ± 15 ;
- струм витоку закритих ключів, $I_{\text{вит}}$, нА 70;
- максимальний опір відкритих ключів
під час дії нормальної температури, R_0 , Ом 70;
- максимальний значення часу затримки з включенням $t_{\text{вкл}}$, нс 300.

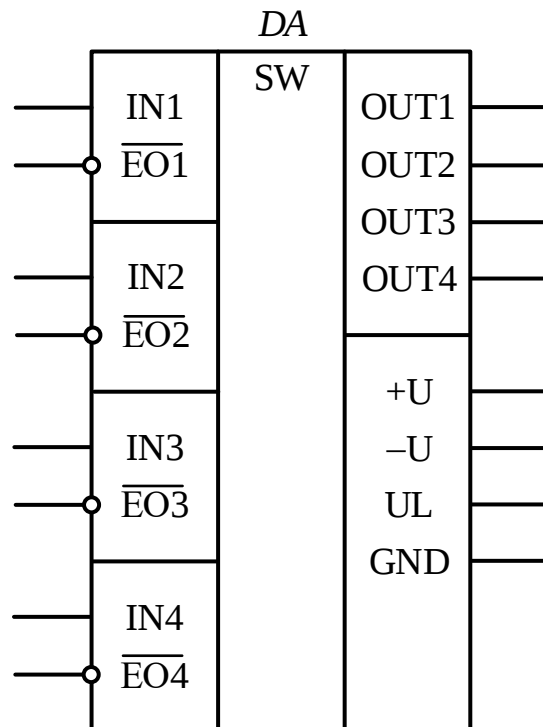


Рисунок 3.8 – Умовно-графічне позначення аналогового ключа типу К590КН5

Як АЦП застосовується інтегральна мікросхема типу MAX197. У цьому розділі виконано зроблені розрахунки одного каналу інформаційно-вимірювальної системи визначення меж геологічних середовищ. Для другого каналу системи розрахунки аналогічні. Загальна схема обробки інформації для системи визначення меж геологічних середовищ наведена на рис. 3.9, де позначено: ПК – персональний комп'ютер; ІНД – індикатор; МК – мікроконтролер; АЦП – аналого-цифровий перетворювач.

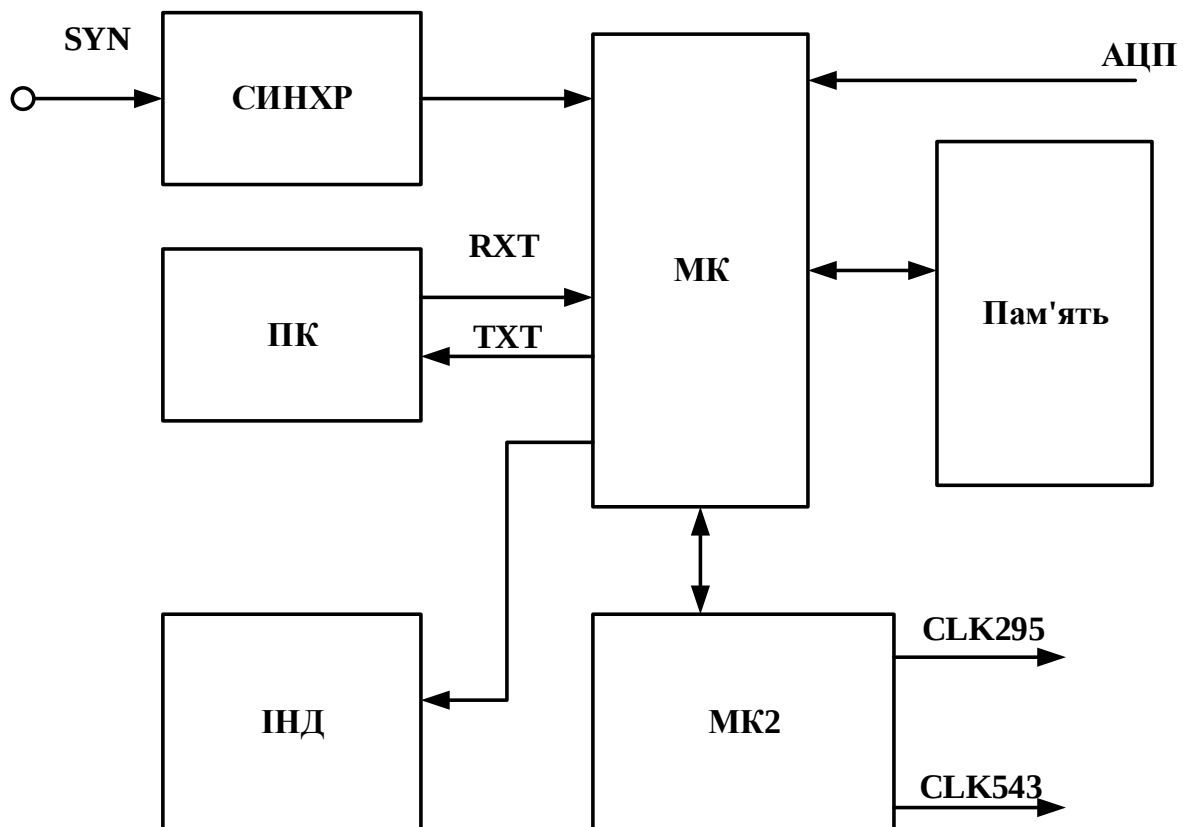


Рисунок 3.9 – Структурна схема обробки вимірювальної інформації для системи визначення меж геологічних середовищ

Блок мікроконтролера повинен забезпечити виконання таких функцій:

- введення інформації від вимірювальних каналів системи;
- запис результатів вимірювання та результатів розрахунків до зовнішньої енергонезалежної пам'яті;
- передача результатів вимірювання та розрахунків до персонального комп'ютера;

– можливість одержання результатів вимірювання одного з каналів системи будь-якому порядку.

На базі аналізу функцій блоку мікроконтролера можна зробити висновок, що мікро контролер повинен мати в своєму складі такі елементи:

- мікроконтролер;
- зовнішня енергонезалежна пам'ять;
- комутатор (мультиплексор) аналогових вимірювальних сигналів (MAC);
- АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
- часи реального часу;
- інтерфейс, за яким здійснюється обмін інформацією.

Структурну схему блоку мікроконтролера наведено на рис. 3.10, де позначено: MUX – мультиплексор аналогових сигналів; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; МК – мікроконтролер; ІНД – індикація; RS485 – протокол передача даних до персонального комп'ютера, СК – сигнали керування мультиплексором аналогових сигналів, цифровою індикацією, протоколом обміну інформацією між мікроконтролером та персональним комп'ютером.

Блок-схему алгоритму роботи блоку мікроконтролера інформаційно-вимірювальної системи наведено на рис. 3.11. Під час запуску інформаційно-вимірювальної системи здійснюється встановлення режиму роботи мікроконтролера та режиму опитування аналого-цифрового перетворювача. Потім починається введення даних до блоку мікроконтролера.

По-перше, здійснюється вибір вимірювального каналу під час подачі потрібної комбінації до адресних входів мультиплексора. Потім вихід вибраного вимірювального каналу підключається до АЦП та здійснюється затримка у часі на величину перетворення АЦП. Значення, що отримані, які представлено в двійковому коді надходять на входу мікропроцесора, в якому здійснюється обробка результатів вимірювання.

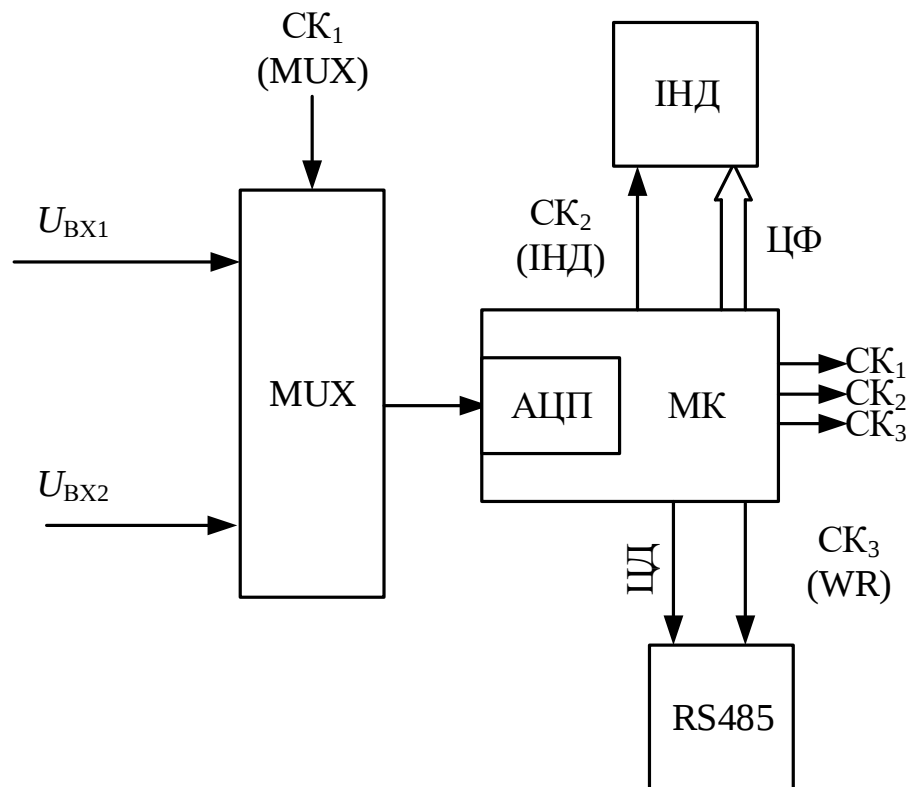


Рисунок 3.10 – Структурна схема блоку мікроконтролера

Результати вимірювань та розрахунків зберігаються до зовнішньої енергонезалежної пам'яті. До моменту запису необхідно здійснити перевірку щодо наявності вільного простору для зберігання цих даних. Під час наявності вільного простору, мікроконтролер переходить до запису даних до зовнішньої енергонезалежної пам'яті. Якщо вільного простору немає, то мікроконтролер здійснює автоматичне очищення зовнішньої пам'яті та після цієї операції він переходить до запису даних.

На останньому етапі здійснюється перевірка щодо наявності запиту від персонального комп'ютеру інформаційно-вимірювальної системи про необхідність передачі даних до центрального комп'ютера. Якщо є позитивна відповідь, то здійснюється передача результатів вимірювання та розрахунків у послідовній формі через інтерфейс передачі даних.

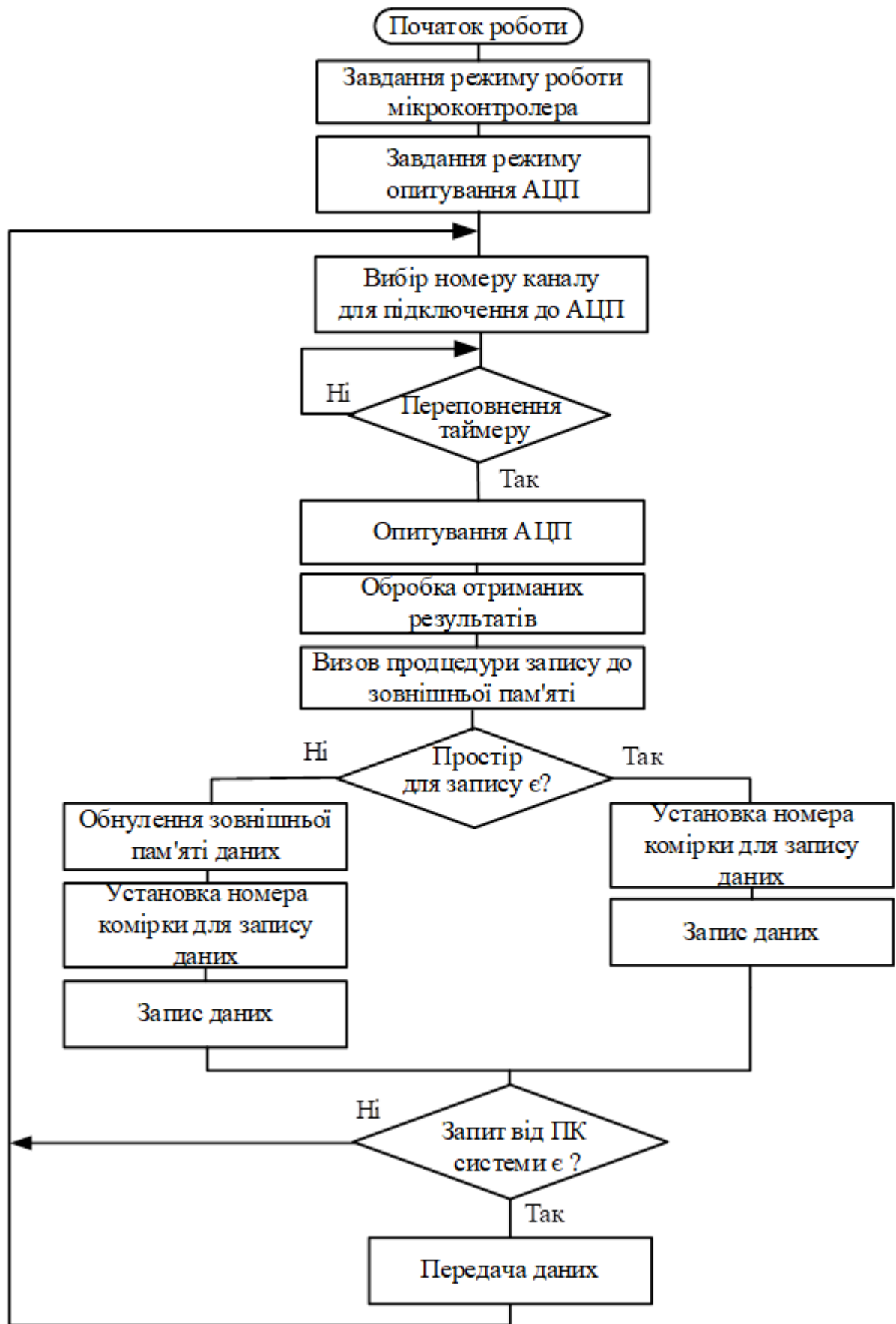


Рисунок 3.11 – Блок-схему алгоритму роботи блоку мікроконтролера інформаційно-вимірювальної системи

3.10 Висновки

Обґрунтовано та виконано інженерний розрахунок блоків та вузлів аналогового вимірювального каналу систем визначення меж геологічних середовищ. Розроблено схеми диференційного підсилювача; атенюатор сигналів, режекторного фільтра; фільтра низьких і високих частот, а також підсилювача-суматор з компенсатором напруги зсуву нуля. Інформаційно-вимірювальна система складається з двох каналів, робота яких є аналогічною. Обґрунтовано та розроблено схему обробки інформації для системи визначення меж геологічних середовищ. На базі необхідних функцій, що виконує система, розроблено структурну схему блоку мікроконтролера.

4 РОЗРАХУНОК МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ ГЕОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ

Для оцінки метрологічних характеристик кожного з блоків вимірювального каналу системи визначення меж геологічних середовищ, необхідно значення класу точності вимірювальної системи, що є її інтервальною оцінкою. Клас точності – це максимальна величина абсолютної похибки $\Delta_{BK \max}$, яка складається з усіх елементів вимірювального каналу, що розробляється [19, 20]:

$$\Delta_{BK \max} = k \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2},$$

де $\Delta_{BK \max}$ – максимальна величина абсолютної похибки каналу вимірювання;
 Δ_i – максимальна величина абсолютної похибки кожного з елементів вимірювального каналу; $k = 1,1$ – коефіцієнт, значення якого відповідає довірчій ймовірності $P=0,95$.

Введено такі позначення максимальної похибки кожного з елементів вимірювального каналу: $\Delta_{ДП} = \Delta_1$ – максимальне значення похибки диференціального підсилювача; $\Delta_{ФВЧ} = \Delta_2$ – максимальне значення похибки ФВЧ – фільтру високих частот; $\Delta_{РФ} = \Delta_3$ – максимальне значення похибки РФ – режекторного фільтру; $\Delta_{ФНЧ} = \Delta_4$ – максимальне значення похибки ФНЧ – фільтру низьких частот; $\Delta_{НП} = \Delta_5$ – максимальне значення похибки НП – нормуючого підсилювача – підсилювача-суматора фільтра та компенсатора зсуву нуля; ; $\Delta_{АЦП} = \Delta_6$ – максимальне значення похибки АЦП – аналого-цифрового перетворювача.

Під час розробки вимірювального каналу системи рекомендовано розподілити 50 % величини похибки $\Delta_{BK \max}^2 / k^2$ між похибкою диференційного підсилювача, а іншу розділити в рівних частках на інші блоки по 10 % [19, 20]:

$$\Delta_{BK \max} = k \cdot \sqrt{\Delta_{ДП}^2 + \Delta_{ФВЧ}^2 + \Delta_{РФ}^2 + \Delta_{ФНЧ}^2 + \Delta_{НП}^2 + \Delta_{АЦП}^2},$$

приймемо, що:

$$\Delta_{ФВЧ} = \Delta_{РФ} = \Delta_{ФНЧ} = \Delta_{НП} = \Delta_{АЦП} = \Delta,$$

тоді отримаємо:

$$\Delta_{BK \max} = k \cdot \sqrt{\Delta_{ДП}^2 + 5 \cdot \Delta^2};$$

$$\Delta = \sqrt{\frac{\left(\frac{\Delta_{BK \max}}{k}\right)^2 - \Delta_{ДП}^2}{5}}.$$

Значення максимальної абсолютної похибки вимірювання дорівнює $\Delta_{BK \max} = 15 \text{ мВ}$. Виконаємо розрахунок максимальної величини абсолютної похибки диференціального підсилювача. Значення напруги, що обумовлено похибкою на виході ДП – диференційного підсилювача, визначається за співвідношенням [16]:

$$\begin{aligned} U_{3C}(T \pm \Delta T = (20 \pm 20)^\circ\text{C}) &= U_{3C3}(\Delta T) \cdot \left(1 + \frac{R_9}{R_6}\right) + \Delta I(\Delta T) \cdot R_6 = \\ &= 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot \left(1 + \frac{20 \cdot 10^3}{4,12 \cdot 10^3}\right) + 1,0 \cdot 10^{-9} \cdot 20 \cdot 4,12 \cdot 10^3 = \\ &= 0,058 \cdot 10^{-3} + 0,082 \cdot 10^{-3} = 0,14 \cdot 10^{-3} \text{ В} = 0,14 \text{ мВ}, \end{aligned}$$

де $U_{зсз}(\Delta T) = 0,5 \text{ мВ/}^\circ\text{С}$ – зміна напруги зсуву нуля ОППС DA_3 , що обумовлено зміною температури; $\Delta I(\Delta T) = 1 \text{ нА/}^\circ\text{С}$ – дрейф різниці вхідних струмів ОППС DA_3 , що обумовлено зміною температури.

Величини максимальної абсолютної похибки ДП буде дорівнювати:

$$\Delta_{ДП} = U_{зсз} (T \pm \Delta T = (20 \pm 20)^\circ\text{С}) = 0,14 \text{ мВ.}$$

Величина максимальної абсолютної похибки диференціального підсилювача, що приведено до виходу аналогового каналу вимірювання дорівнює:

$$\Delta_{ДП \text{ вих}} = \Delta_{ДП} \cdot K_{У \text{ ВК}} = 0,14 \cdot 10^{-3} \cdot 71,48 = 10 \text{ мВ.}$$

де $K_{У \text{ ВК}} = 71,48$ – коефіцієнт підсилення за напругою аналогового каналу системи визначення меж геологічних середовищ.

Величина максимальної похибки структурних елементів аналогового каналу вимірювання системи визначення меж геологічних середовищ ФВЧ, РФ, ФНЧ, НП та АЦП:

$$\Delta = \sqrt{\frac{\left(\frac{\Delta_{ВК \text{ max}}}{k}\right)^2 - \Delta_{ДП \text{ вих}}^2}{5}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{15 \cdot 10^{-3}}{1,1}\right)^2 - (10 \cdot 10^{-3})^2}{5}} = 4,15 \text{ мВ.}$$

Значення абсолютної похибки АЦП дорівнює $\Delta_{АЦП} = 4,15 \text{ мВ}$, отже, необхідну кількість рівнів квантування АЦП можна розрахувати з співвідношенням:

$$2^n - 1 = N = \frac{U_{АИН}}{\Delta_{АЦП}} = \frac{5}{4,15 \cdot 10^{-3}} = 1204,8.$$

Кількість розрядів АЦП необхідно не менш [19, 20]:

$$n > \log_2(N+1) = \frac{\lg(N+1)}{\lg(2)} = \frac{\lg(1204,8+1)}{\lg(2)} = 10,24.$$

Отже, необхідно застосовувати 12-розрядний АЦП:

$$U_{AIN} = \text{від } 0 \text{ до } +5,0 \text{ В.}$$

Уточнене значення величини абсолютної похибки АЦП буде дорівнювати:

$$\Delta_{АЦП} = \frac{U_{AIN}}{2^N - 1},$$

де U_{AIN} – максимальне значення вхідної напруги; N – кількість розрядів АЦП, ($N=12$).

$$\Delta_{АЦП} = \frac{5,0}{2^{12} - 1} = 1,2 \text{ мВ.}$$

Виконана оцінка метрологічних характеристик аналогового вимірювального каналу системи визначення меж геологічних середовищ. Результати розрахунку показують, що розроблений вимірювальний канал має максимальне значення абсолютної похибки вимірювання за напругою не більше 15 мВ у діапазоні зміни від 0 до 5 В. Відносне значення похибки вимірювання складає 0,3 %, це показує, що розроблений вимірювальний канал має кращі метрологічні показники ніж у прототипів системи (0,5 %).

ВИСНОВКИ

У теперішній час геофізична розвідка є одним з сучасних засобів для вивчення структури та компонентного складу земних надр. Проведення дослідження явищ фізичної природи на поверхні землі, у гірничих виробках і розломах дозволяє сформувавши представлення щодо структурних особливостей та склад гірничих порід, а також наявності та кількості корисної копалини. Завдяки ефективності та дешевизні використання геофізична розвідка має дає можливість здійснювати оперативне визначення та виконувати розвідку видів мінеральної сировини. Геофізичні методи під час геологічних розвідувальних робіт постійно збільшують свою частку. Електророзвідка як одна з основних методів геофізики, що вивчає геологічну побудову верхньої частини земної кори вирішує задачу розширення використання глибинного електромагнітного зондування (30 – 70 км) для вивчення земної кори та верхньої мантії.

Одним з актуальних напрямком досліджень є підвищення метрологічних характеристик вимірювальних каналів систем визначення меж геологічних середовищ.

У теперішній час на практиці застосовується велика кількість різноманітних сейсмічних станцій. У більшості з цих станцій є ряд недоліків, головним з яких – застаріла елементна база. Це призводить до виникнення великої величини власних шумів апаратури, а також отримання результатів з високою величиною похибки. Досить суттєві незручності виникають під час роботи з видом запису прийнятих сигналів, що здійснюється на магнітну стрічку або на видимий тип носія запису в вигляді графіка $u(t)$.

Істотним недоліком також є габаритні розміри сейсмічної станцій. Більшість з цих станцій доводиться перевозити та встановлювати на автомобілях, що суттєво ускладнює проведення робіт з розвідки в важкодоступних місцях.

Завданням цієї роботи є розробка інформаційно-вимірювальної системи

визначення меж геологічних середовищ земної кори. Ця система повинна усунути недоліки існуючих сейсмічних розвідувальних системи. Застосування системи вимірювання та обробки сигналів на основі мікроконтролерів призведе до зменшення рівня власних шумів апаратури, її габаритних розмірів, а також розширенню функціональних можливостей.

Обґрунтовано та розроблено структура інформаційно-вимірювальної систем визначення меж геологічних середовищ, яка для підвищення інформативності та збільшення площі зондування складається з двох каналів. Для обробки результатів вимірювання розроблено математичний опис розповсюдження сейсмічної хвилі в пружних середовищах, що дозволяє вимірювати параметри середовища та визначати межі геологічних зсувів. Також обґрунтовано рекомендації щодо розташування апаратури інформаційно-вимірювальної системи визначення меж геологічних середовищ.

Обґрунтовано та виконано інженерний розрахунок блоків та вузлів аналогового вимірювального каналу систем визначення меж геологічних середовищ. Розроблено схеми диференційного підсилювача; атенюатор сигналів, режекторного фільтра; фільтра низьких і високих частот, а також підсилювача-суматор з компенсатором напруги зсуву нуля. Інформаційно-вимірювальна система складається з двох каналів, робота яких є аналогічною. Обґрунтовано та розроблено схему обробки інформації для системи визначення меж геологічних середовищ. На базі необхідних функцій, що виконує система, розроблено структурну схему блоку мікроконтролера.

Виконана оцінка метрологічних характеристик аналогового вимірювального каналу системи визначення меж геологічних середовищ. Результати розрахунку показують, що розроблений вимірювальний канал має максимальне значення абсолютної похибки вимірювання за напругою не більше 15 мВ у діапазоні зміни від 0 до 5 В. Відносне значення похибки вимірювання складає 0,3 %, це показує, що розроблений вимірювальний канал має кращі метрологічні показники ніж у прототипів системи (0,5 %).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Беховских, Л.М. Акустика слоистых сред / Л.М. Беховских, О.А. Годин. – М.: Наука, 1989. – 416 с.
2. Бреховских, Л.М. Волны в слоистых средах / Л.М. Беховских. – М.: Наука, 1957. – 501 с.
3. Гурвич, И.И. Сейсмическая разведка: учебник для вузов / И.И. Гурвич, Г.Н. Богданик. – М: Недра, 1980. – 551 с.
4. Добрынин, В.М. Промысловая геофизика: учебник для вузов / В.М. Добрынин и др. – М.: Недра, 1986. – 342 с.
5. Маркус, Бат. Спектральный анализ в геофизике / Бат Маркус. – М: Недра, 1980. – 534 с.
6. Хмелевской, В.К. Геофизические методы исследования: учебное пособие для вузов / В.К. Хмелевской, М.Г. Попов и др. под ред. В.К. Хмелевского. – М.: Недра, 1988. – 396 с.
7. Рац, М.В. Структурные модели в инженерной геологии /М.В. Рац. – М.: Недра, 1983. – 216 с.
8. Ляховицкий, В.И. Инженерная геофизика / В.И. Ляховицкий, В.К. Хмелевской, З.Г. Яценко. – М.: Недра, 1989. – 262 с.
9. Матвеев, В.С. Методы геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии / В.С. Матвеев, В.Н. Чубаров, Г.Я. Черняк и др. – М.: Недра, 1985. – 184 с.
10. Бокс, Дж. Анализ временных рядов. Вып. 1. Прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс ; [пер. с англ. под ред. В.Ф. Писаренко]. – М. : Мир, 1974. – 408 с.
11. Лебедев, А.Н. Методы цифрового моделирования и идентификации стационарных случайных процессов в информационно-измерительных системах / А.Н. Лебедев, Д.Д. Недосекин, Г.А. Стеклова, Е.А. Чернявский. – Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1988. – 64 с.

12. Бендат, Дж. Измерение и анализ случайных процессов / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М. : Мир, 1974. – 464 с.
13. Полищук Е.С. Измерительные преобразователи / Е.С. Полищук. – К: Вища школа, 1981. – 296 с.
14. Бойко, В.І. Імпульсні пристрої електронних систем: навчальний посібник / В.І. Бойко, А.А. Зорі, В.В. Багрій.– Донецьк: РВА ДонНТУ, 2003. – 252 с.
15. Гусев, В.Г. Электроника: учебное пособие для приборостроительных специальностей вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – 2–е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1991. – 622 с.
16. Опадчий, Ю.Ф. Аналоговая и цифровая электроника (Полный курс) : учеб. для вуз. / Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров; [под. ред. О.П. Глудкина]. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2000. – 768 с.
17. Зорі, А.А. Аналогова схемотехніка електронних систем: навчальний посібник / А.А. Зорі, В.І. Бойко. – Донецьк: ДонНТУ, 2003. – 324 с.
18. Урюмов, Е.П. Цифровая схемотехника / Е.П. Урюмов. – СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2000. – 528 с.
19. Зори, А.А. Информационно-измерительные системы. Применение интеллектуальных модулей, методов и средств повышения точности физических измерений: монография / А.А. Зори, С.И. Клевцов, В.Д. Коренев и др. – Донецк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. – 206 с.
20. Зори, А.А. Методы и средства повышения точности электронных измерительных систем / А.А. Зори, В.Д. Коренев, М.Г. Хламов. – Донецк: РВА ДонНТУ, 2004. – 140 с.
21. Жидецький, В.Ц. Практикум із охорони праці / В.Ц. Жидецький та ін. – Л.: Афіша, 2000 – 349 с.

ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві

До приміщення науково-дослідного відділу й організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення в якому знаходиться робоче місце з ПК повинно мати природне освітлення, бажано з однобічним розміщенням світопрорізів, площа осклянілості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни світопрорізами. Віконні прорізи в приміщенні з ПК повинні мати регульовані жалюзі чи занавеси або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць із ПК у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з ПК рекомендується розміщати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з ПК повинна складати 6 м², об'єм – 20 м³. Неприпустиме розташування ПК, при якому працюючий звернений обличчям, або спиною до вікон чи кімнати задньої частини ПК, у яку монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень із ПК полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери що миються, плівкові та рулоні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені в «Перелік дозволених , МЗ» 1977-1985 р.

В лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з ПК розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами складає 3 м. Екрани відеомоніторів ПК знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення (S=21 м², V=73,5 м³) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78 та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 метрів від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050x590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів відповідно. Робочий стілець оснащений

підйомно-поворотнім пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння і спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

А.1 Мікроклімат робочого місця

У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентилявання. Витрату повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаємо за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)}, \quad (\text{A.1})$$

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.; c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг); p – обсягова вага повітря (1,226 кг/м³); t_B – температура витяжного повітря (30°C); t_H – температура приточного повітря (20°C).

Розрахуємо надлишкове надходження тепла за наступною формулою:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}}, \quad (\text{A.2})$$

де $Q_{\text{УСТ}}$ – виділення тепла від устаткування; $Q_{\text{ПЕР}}$ – виділення тепла робітниками; $Q_{\text{ОСВ}}$ – надходження тепла від електричного освітлення; $Q_{\text{СР}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначимо виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{УСТ}} = P \cdot K_a \cdot K_{\theta} \cdot 860, \quad (\text{A.3})$$

де P – сумарна потужність устаткування, кВт/год; K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95); K_o – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{уст} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_o \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою наступної формули:

$$Q_{пер} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.4})$$

де n – кількість працюючих; g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{осв} = E_M \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.5})$$

де E_M – нормована освітленість для цієї зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк; g_1 – питоме тепловиділення на 1 м² підлоги при 1 лк освітленості (для / люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.) S – площа приміщення, м².

Визначимо надходження тепла від сонячної радіації через вікна за наступною формулою:

$$Q_{сп} = F \cdot g_2 \cdot K_{осл} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.6})$$

де F – площа віконних прорізів (3x2,5=7,5 м²); g_2 – кількість тепла, що

надходить через 1 м² віконного прорізу (65 ккал/год.); $K_{осл}$ – коефіцієнт ослаблення, приймаємо 0,4.

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{НАД} = Q_{УСТ} + Q_{ПЕР} + Q_{ОСВ} + Q_{СР} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год.}$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{НАД}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)} = \frac{5848}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2010 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування та вентилявання має продуктивність 2200 куб. м./годину, що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати (22 – 24) градуса за Цельсієм, 0,1 метра в секунду та 40-60 % відповідно. При збереженні всіх параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати (23 – 25) градусів Цельсія, рухливість повітря (0,1 – 0,2) метрів секунду, вологість (40 – 60) %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія при збереженні всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

А.2.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

Розміри приміщення: довжина ($a=6$ м), ширина ($b=3,5$ м), висота ($h=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{стелі} = 70 \%$, $P_{стін} = 50 \%$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, які підвищуються до стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути у межах (2,5 – 4,0) м, залежно від характеристики світильника. В лабораторії виміральної техніки та науково-дослідному відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,1 - 0,4 = 2,7 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається при відповідному співвідношенні відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,7 = 1,9 \text{ м.}$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{2^2} = 6.$$

Приймаємо 6 світильників, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у два ряди по 3 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника (Φ_L) визначається за формулою:

$$\Phi_L = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк; K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп; S – площа приміщення, що освітлюється, м²; Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15); N – кількість світильників; n – кількість ламп у світильнику; η – коефіцієнт використання світового потоку, який визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

6) Визначимо показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 (при $i = 2,5$, $P_{стелі} = 70\%$, $P_{стін} = 50\%$)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

9) обираємо лампу Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої становить 2100 лм. Хоча це значення на 18% більше розрахованого, однак не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{CB}} = P \cdot N = 150 \cdot 6 = 900 \text{ Вт.}$$