

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ,
МЕХАТРОНИКИ І РОБОТОТЕХНІКИ
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему:

**Комп'ютеризована система вимірювання та реєстрації вібрацій
поверхні Землі**

Виконав: студент 4 курсу, групи МТ-4
напряму підготовки
152 Метрологія та інформаційно-
вимірювальна техніка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Тичина Денис Олександрович
(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н., проф. каф. ІВТ
Пількевіч Ігор Анатолійович

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(прізвище та ініціали)

Житомир 2025

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки

Кафедра Інформаційно-вимірювальних технологій

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(періодичність)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Метрології та
інформаційно-вимірювальної техніки
д.т.н., проф. Подчашинський Ю.О.

" 4 " квітня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Пічуні Денису Олександровичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Комп'ютеризована система вимірювання та реєстрації вібрацій поверхні Землі

керівник роботи Пількевич І.А., д.т.н., проф. кафедри Інформаційно-вимірювальних технологій

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від "4" квітня 2025 року №131/с

2. Строк подання студентом роботи "10" червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи вмикання/вимикання системи, вимірювання вібрації землі, вивід виміряних значень вібрації землі на дисплей, вибір повідомлення про землетрус.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) технічне завдання, огляд та аналіз існуючих пристроїв виявлення землетрусів, розробка структурної та принципової схеми, розробка програми та алгоритму, конструкторська частина, обчислюнок надійності та точності системи

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

Структурна схема, принципова схема, блок-схема алгоритму та друкована плата

1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видає	завдання приймає
1, 2, 3, 4	Пількевич І.А., дтн, проф.з	з	з
5, 6, 7	Пількевич І.А., дтн, проф.з	з	з

7. Дата видачі завдання 4.04.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прізвище
1.	Підготувати звіт про переддипломну практику	05.04.2025 – 11.04.2025	з
2.	Збір літературних даних за темою дипломної роботи та відомих систем вимірювання вібрацій землі	12.04.2025 – 20.04.2025	з
3.	Ознайомитись з основними принципами побудови систем вимірювання вібрацій землі	21.04.2025 – 23.04.2025	з
4.	Розробка структурної схеми системи вимірювання вібрацій землі	24.04.2025 – 27.04.2025	з
5.	Розробка принципової схеми системи вимірювання вібрацій землі	28.04.2025 – 30.05.2025	з
6.	Вибір компонентів вимірювання вібрацій землі	04.05.2025 – 10.05.2025	з
7.	Розробка блок-схеми алгоритму та програми вимірювання вібрацій землі	13.05.2025 – 30.05.2025	з
8.	Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	02.06.2025 – 09.06.2025	з

Студент Д.О. Тичина

Керівник роботи І.А. Пількевич

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота бакалавра на тему «Комп'ютеризована система вимірювання та реєстрації вібрацій поверхні Землі» містить 60 сторінок, 15 рисунків, 6 таблиць, 6 формул, 18 джерел.

У роботі обґрунтовано актуальність створення комп'ютеризованої системи для вимірювання та реєстрації вібрацій земної поверхні, що виникають під час сейсмічної активності. Розроблено структурну, функціональну та принципову схеми системи, підібрано елементну базу та спроєктовано друковану плату. Проведено розрахунок надійності системи. Описано алгоритм функціонування у вигляді блок-схеми та реалізовано відповідне програмне забезпечення.

ANNOTATION

Bachelor's thesis on the topic "Computerized system for measuring and recording vibrations of the Earth's surface" contains 60 pages, 15 figures, 6 tables, 6 formulas, 18 sources.

The work substantiates the relevance of creating a computerized system for measuring and recording vibrations of the Earth's surface that occur during seismic activity. The structural, functional and principle diagrams of the system have been developed, the element base has been selected and the printed circuit board has been designed. The reliability of the system has been calculated. The operating algorithm is described in the form of a block diagram and the corresponding software has been implemented.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	8
1.1. Призначення та область застосування.....	8
1.2. Умови експлуатації	8
1.3. Технічні параметри системи.....	9
1.4. Вимоги до конструктивного оформлення.....	10
2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗІСНУЮЧИХ СИСТЕМ	11
2.1. Основні поняття про землетрус.....	11
2.2. Огляд та аналіз існуючих технічних рішень.....	13
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	18
3.1. Обґрунтування мікроконтролеру.....	18
3.2. Обґрунтування датчиків вібрації.....	19
3.3. Обґрунтування кнопок.....	20
3.4. Обґрунтування дисплею.....	21
3.5. Обґрунтування індикації.....	22
3.6.Обґрунтування блока живлення.....	22
3.7. Структурна схема.....	23
4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	25
4.1. Вибір мікроконтролеру.....	25
4.2. Вибір датчиків вібрації	27
4.3. Вибір кнопок.....	28
4.4. Вибір дисплея.....	29
4.5. Вибір індикації	30
4.6. Вибір блока живлення.....	31
4.7. Побудова електрично принципової схеми.....	32
4.8.Розрахунок похибок визначення вібрацій землі.....	34
5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ.....	37
5.1. Розробка алгоритму	37
5.2. Розробка програми.....	39
6. КОНСТРУКТОРЬСКА ЧАСТИНА.....	42
6.1.Розробка друкованої плати.....	42
6.2. Розрахунок надійності системи.....	46
7. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	50
7.1.Охорона праці.....	50
7.2.Охорона праці при розробці та роботи системи.....	51
7.3.Охорона праці при землетрусі.....	53
ВИСНОВКИ.....	58
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	59
ДОДАТКИ.....	61

					МММТ 480.014.015 – ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розробив		Тучина Д.О			Комп'ютеризована система вимірювання та реєстрації вібрацій поверхні Землі				Літ.	Арк.	Аркшів	
Перевірив		Пількевич І.А									5	54
Рецензент									ДУ «Житомирська політехніка», МТ-4			
Н. контр.												
Затверд.		Подчашийський Ю.О.										
Пояснювальна записка												

ВСТУП

Актуальність розробки. Сейсмічна активність залишається однією з головних природних загроз для життя та безпеки людей, інфраструктури та навколишнього середовища. Землетруси можуть спричинити значні людські жертви та матеріальні збитки, особливо в регіонах із підвищеним рівнем сейсмічної небезпеки. У зв'язку з цим постає необхідність у створенні ефективних засобів моніторингу та своєчасного виявлення вібрацій земної поверхні.

Традиційні сейсмографи є ефективними, однак часто є дорогими, громіздкими та потребують спеціалізованого обслуговування. У сучасних умовах розвитку мікроелектроніки та цифрових технологій з'явилась можливість створювати більш доступні, компактні та точні комп'ютеризовані системи вимірювання та реєстрації вібрацій.

Розробка автоматизованої системи контролю вібрацій дозволяє не лише оперативно фіксувати коливання ґрунту, а й аналізувати отримані дані в реальному часі, що є критично важливим для попередження наслідків землетрусів, наукових досліджень, а також для потреб цивільної оборони та екстрених служб.

Таким чином, створення сучасної комп'ютеризованої системи моніторингу вібрацій поверхні Землі є актуальним завданням, яке відповідає сучасним вимогам щодо безпеки, надійності та ефективності у сфері сейсмічного моніторингу.

Метою даної дипломної роботи є розробка комп'ютеризованої системи вимірювання та реєстрації вібрацій поверхні Землі, здатної точно фіксувати сейсмічні коливання, виводити отримані дані та забезпечувати їх подальший аналіз.

Об'єктом дослідження є процес контролю та реєстрації вібрацій, що виникають при сейсмічній активності земної поверхні.

Предметом дослідження є технічні та програмні засоби реалізації комп'ютеризованої системи вимірювання та реєстрації вібрацій.

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Завдання даного дипломної роботі є:

- Формування технічного завдання на розробку системи;
- Проведення аналізу існуючих рішень у сфері контролю та реєстрації вібрацій під час землетрусів;
- Обґрунтування вибору елементної бази та складових системи;
- Розроблення структурної та електричної принципової схем системи;
- Створення алгоритму роботи системи та програмного забезпечення;
- Проєктування друкованої плати;
- Виконання розрахунків надійності та точності розробленої системи.

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1. Призначення та область застосування

Комп'ютеризована система вимірювання та реєстрації вібрацій поверхні Землі призначена для безперервного моніторингу, виявлення та фіксації вібрацій, що виникають унаслідок сейсмічної активності. Система забезпечує вимірювання параметрів коливань (амплітуди, частоти, тривалості), зберігання отриманих даних у цифровому вигляді та можливість їх подальшого аналізу.

Основне призначення – вчасне виявлення землетрусів або підвищеної сейсмічної активності з метою попередження наслідків, а також застосування у наукових дослідженнях, моніторингових службах та системах раннього оповіщення.

Розроблена комп'ютеризована система вимірювання та реєстрації вібрацій поверхні Землі може застосовуватись у таких сферах:

- Сейсмологія – для наукових досліджень сейсмічної активності, аналізу землетрусів та вивчення геофізичних процесів;
- Системи раннього попередження – як елемент автоматизованих систем оповіщення про землетруси та сейсмічні загрози;
- Цивільний захист і безпека – для моніторингу сейсмічної ситуації на об'єктах критичної інфраструктури (АЕС, гідротехнічні споруди, транспортні вузли тощо);
- Будівництво та експлуатація споруд – для контролю вібрацій у будівлях, особливо в сейсмонебезпечних регіонах;
- Освітні та дослідницькі установи – як навчально-демонстраційний або лабораторний комплекс у вищих навчальних закладах.

1.2. Умови експлуатації

- Температура навколишнього середовища: від -25 °С до +50 °С;
- Відносна вологість повітря: до 80 % при температурі +25 °С;

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Атмосферний тиск: у межах 600–800 мм рт. ст.;
- Наявність хімічно активних компонентів у повітрі допускається (пил, агресивні гази в незначній концентрації);
- Допускається вплив вібрацій, тряски та механічних ударів;
- Режим роботи системи: безперервний (24/7);
- Живлення системи: постійна напруга +5 В.

1.3. Технічні параметри системи

На вхід системи подається:

- Сигнал від двох аналогових акселерометрів, що вимірюють вібрацію поверхні Землі по трьох осях координат.

На вихід системи подається:

- Звукове сповіщення про перевищення порогового рівня вібрацій (активується динамік);
- Світлове індикаційне оповіщення про роботу системи або наявність критичних вібрацій (через світлодіод);
- Вивід інформації про поточні значення вібрацій на дисплей

Вхідні та вихідні сигнали опрацьовуються мікроконтролером, який забезпечує обробку даних, логіку функціонування та керування індикацією. Перемикання режимів або ручне управління відбувається за допомогою тактових кнопок.

Режим роботи системи: автоматичний.

Тоність вимірювання вібрацій повина складати: абсолютна похибка вимірювання $0,2 \text{ м/с}^2$.

Діапазон вимірювання прискорення/вібрацій: від: -29.43 м/с^2 до $+29.43 \text{ м/с}^2$.

Вхідна напруга живлення системи: +5 В (через роз'єм) .

Тривалість безперервної роботи (середній напрацювання на відмову): не менше 15 000 годин.

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Система побудована на уніфікованих елементах, які легко замінюються без необхідності модифікації електричної принципової схеми, що підвищує її ремонтпридатність та знижує вартість обслуговування.

1.4. Вимоги до конструктивного оформлення

Конструктивно система повинна розміщуватись у захисному корпусі з відповідними доробками для забезпечення нормального функціонування складових елементів.

Акселерометри (датчики вібрацій) повинні бути виведені за межі корпусу або ж закріплені таким чином, щоб забезпечити їх щільний контакт із поверхнею, яка підлягає моніторингу. Це необхідно для точного вимірювання вібрацій.

Світлова сигналізація (світлодіод) та звукове сповіщення (динамік) повинні мати вихід назовні корпусу для візуального та акустичного попередження користувача про критичні події.

Дисплей повинен бути вмонтований у передню панель корпусу з відповідним вікном, яке забезпечить зручний перегляд показників у реальному часі.

Кнопки для керування або зміни режимів роботи також повинні мати доступ ззовні корпусу.

Роз'єм живлення повинен бути виведений на бічну або задню стінку корпусу для підключення зовнішнього джерела живлення.

Габаритні розміри системи:

- Зовнішні розміри корпусу – $80 \times 60 \times 50$ мм;
- Розмір друкованої плати – 56×76 мм.

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

2.1. Основні поняття про землетрус

Землетрус – це раптове підземне поштовхове зміщення земних мас, спричинене розривом і зміщенням гірських порід у надрах Землі, яке викликає поширення сейсмічних хвиль. Ці хвилі передають енергію на поверхню, де вона проявляється у вигляді коливань ґрунту, що може призводити до руйнувань.

Землетруси класифікуються за такими параметрами:

1. За глибиною вогнища:

- Поверхневі (0–70 км);
- Проміжні (70–300 км);
- Глибокі (понад 300 км).

2. За силою (магнітудою): Магнітуда визначається за шкалою Ріхтера (ML) або моментною шкалою (Mw).

- До 3.0 – дуже слабкі (не відчуються людьми);
- 3.0–4.0 – слабкі;
- 4.1–5.0 – помірні;
- 5.1–6.0 – середньої сили (можливі пошкодження будівель);
- 6.1–7.0 – сильні;
- 7.1–8.0 – дуже сильні (значні руйнування);
- 8.1 і більше – катастрофічні.

3. За інтенсивністю (за 12-бальною шкалою МСК-64 або EMS-98) оцінюється ступінь руйнування:

- I–III – незначні або не відчуються;
- IV–VI – помірні поштовхи, можуть лякати людей;
- VII–IX – значні пошкодження;
- X–XII – катастрофічні руйнування.

Землетруси вимірюються в свою чергу такими показниками:

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Магнітуда – безрозмірна величина, яка відображає кількість вивільненої енергії (шкала Ріхтера або моментна магнітуда M_w).

Інтенсивність – вимірюється за шкалами руйнувань (МСК-64, EMS-98, шкала Романа).

Походження землетрусів (типи за джерелом)

1. Тектонічні (найпоширеніші) – виникають внаслідок зміщення тектонічних плит;

2. Вулканічні – пов’язані з рухом магми в надрах і виверженням вулканів;

3. Обвальні – спричинені обвалами підземних порожнин (печери, шахти);

4. Техногенні (індуковані) – результат людської діяльності (гідротехнічні споруди, видобуток корисних копалин, ядерні вибухи);

5. Метеоритні – викликані падінням небесних тіл на поверхню Землі.

Причини виникнення землетрусів

- Рух тектонічних плит;
- Акумуляція та раптове вивільнення напруження в земній корі;
- Виверження вулканів;
- Штучні впливи (вибухи, гідротехнічні роботи, гідроелектростанції);
- Осідання або обвалення підземних пустот.

Прогнозування поділяється на:

- Довгострокове – виявлення сейсмонебезпечних зон на роки або десятиліття;
- Середньострокове – прогноз на декілька місяців чи тижнів;
- Короткострокове та оперативне – прогнозування за години або хвилини до події (майже неможливе надійне).

Зараз точне короткострокове прогнозування практично неможливе, хоча ведуться активні дослідження.

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Методи виявлення землетрусів:

- Сейсмографи/сейсмометри – прилади для реєстрації сейсмічних хвиль (вібрацій);
- Мережі сейсмічних станцій – дають змогу визначити епіцентр, глибину та магнітуду;
- Супутникові системи (GPS, InSAR) – відслідковують деформації земної поверхні;
- Акселерометри – вимірюють прискорення при вібрації (використовуються в комп'ютеризованих системах моніторингу);
- Геофізичний моніторинг – включає аналіз електричних, гравітаційних і магнітних аномалій.[1-3]

2.2.Огляд та аналіз існуючих технічних рішень

В даному підрозділі розглянемо існуючі на ринку пристроїв виявлення та реєстрації землетрусів, а також зроблено порівняння характеристик цих аналогів.



Рис. 2.1. Сейсмічний детектор AX PRO DS PDMC EG2

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Прилад на рис. 2.1 сейсмічний детектор AX PRO DS PDMC EG2 бездротовий детектор вібрацій та поштовхів, який інтегрується з охоронною системою AX PRO (Hikvision) .

Технічні характеристики:

- Тип детектора: магнітоконтакт із виявленням поштовхів;
- Частота передачі: 868 МГц (Tri-X Wireless) або 433 МГц, захист
- Дальність зв'язку до 1.6 км (відкрита місцевість);
- Тип батареї: CR123A (3 В), до 5 років життя
ercom.net+2hikvision.com+2securitywholesalers.com.au+2;
- Робочі умови: температурний діапазон $-10...+55^{\circ}\text{C}$, відносна вологість до 90 % ;
- Габарити: корпус $24 \times 104 \times 24$ мм, датчик $13 \times 34.4 \times 11.4$ мм, вага ~59 г;
- Функції: захист від саботажу, індикація синім світлодіодом, налаштування через додаток Hik-Connect.[4]



Рис. 2.2. Датчик раннього виявлення землетрусів Earthquake ACS 3.0

Призначення: український готовий датчик раннього виявлення землетрусів, оснащений чутливим акселерометром з можливістю калібрування порогу спрацювання.

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Характеристики (орієнтовні):

- Тип сенсора: цифровий акселерометр, чутливий до низькочастотних сейсмічних коливань;
- Налаштування порогу сповіщення вручну;
- Живлення: ймовірно від мережі або батарей (докладної інформації у відкритих джерелах не знайдено);
- Призначений для домашнього або мікромережевого моніторингу; точні цифри потребують уточнення у виробника.[5]



Рис. 2.3. Низькочастотний трансдюсер Earthquake Quake Q10B

Тактильний низькочастотний трансдюсер (tactile transducer), який вібраціями сигналізує про землетрус – радше для індикації, ніж детекції

Технічні характеристики:

- Частотний діапазон: ~5–40 Гц;
- Імпеданс: 8 Ω ;
- Потужність: до 1000 Вт RMS;
- Маса і розміри: висота ~157 мм, ширина ~90 мм, глибина ~90 мм ;
- Застосування: промислові системи, домашні вібраційні сигналізатори або спецефекти.[6]

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1

Порівняння загальних властивостей детекторів

Пристрій	Роль	Преимущества	Обмеження
AX PRO DS-PDMC-EG2	Виявлення поштовхів, в інтеграції з охороною	Довга батарея, захищений протокол, бездротовий зв'язок	Не спеціалізований на сейсмічний моніторинг
Earthquake ACS 3.0	Спеціалізований детектор землетрусів	Порогове налаштування, український виріб	Обмежена доступність технічних даних
Earthquake Quake Q10B	Індикація вібрацій, тактильний трансдюсер	Потужний сигнал, професійна якість звуку	Не детектор, потребує встроєння в систему сигналізації

Незважаючи на наявність готових пристроїв для виявлення вібрацій, таких як AX PRO DS-PDMC-EG2, Earthquake ACS 3.0 або Quake Q10B, розробка власної автоматизованої системи контролю та реєстрації вібрацій при землетрусі залишається цілком виправданою. Готові рішення мають низку обмежень, серед яких варто відзначити вузьке призначення: більшість з них розраховані на роботу в охоронних системах, а не на детальний сейсмічний аналіз. Крім того, такі пристрої мають закрите програмне забезпечення, що унеможлиблює їх адаптацію до специфічних вимог чи зміну алгоритмів виявлення. В багатьох випадках вони не передбачають збереження даних, гнучке налаштування порогів спрацювання або аналіз характеристик вібрацій. Також не варто забувати про їх високу вартість, що обмежує можливість широкого використання, особливо в навчальних або дослідницьких проєктах.

На цьому фоні створення власної системи дає суттєві переваги. По-перше, це повний контроль над логікою роботи: можна реалізувати власні алгоритми обробки сигналів, налаштувати систему під конкретні умови роботи, об'єкти чи типи ґрунту. По-друге, у проєкті застосовується доступна елементна база – наприклад, мікроконтролер Arduino Nano та акселерометр ADXL335, що дозволяє досягти високої функціональності при низькій вартості.

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Власна система легко адаптується до потреб користувача, може бути доповнена GSM-модулем, дисплеєм, звуковою або світловою сигналізацією, і при цьому залишатиметься відкритою для вдосконалення.

Особливу цінність така розробка має в умовах підвищеної сейсмічної активності в окремих регіонах України, зокрема на Закарпатті та південному заході. Наявність недорогої системи раннього виявлення коливань дозволяє вчасно реагувати на підземні поштовхи, підвищити рівень безпеки житлових і стратегічно важливих об'єктів.

Таким чином, розробка власної системи не лише усуває недоліки готових рішень, але й відкриває широкі можливості для навчання, дослідження, вдосконалення та подальшого практичного застосування.

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

3.1. Обґрунтування мікроконтролера

Мікроконтролер, який планується використовувати в системі контролю та реєстрації вібрацій при землетрусі, повинен відповідати таким основним вимогам: забезпечення роботи в реальному часі, висока надійність, стійкість до електромагнітних завад, а також простота в обслуговуванні та налаштуванні. Сучасний ринок пропонує широкий вибір мікроконтролерів, зокрема сімейства PIC, AVR, STM, а також універсальні платформи для розробки. З огляду на невелику складність системи та обмежену кількість сенсорних компонентів, доцільним рішенням є застосування готової платформи Arduino.

Arduino є однією з найпопулярніших платформ для розробки електронних пристроїв і активно використовується як початківцями, так і досвідченими розробниками. Її популярність пояснюється простим у використанні середовищем програмування, відкритістю апаратної та програмної архітектури, широким співтовариством користувачів і документації. Однією з головних переваг Arduino є можливість програмування без додаткового обладнання – для завантаження програми достатньо підключення через USB, завдяки попередньо встановленому завантажувачу (BootLoader).

Конструктивно плата Arduino складається з мікроконтролера та обв'язки, що включає елементи для живлення, програмування та з'єднання з іншими пристроями. На платі зазвичай присутній стабілізатор напруги, що дозволяє подавати живлення з різних джерел. Тактова частота роботи мікроконтролера складає 8 або 16 МГц, що забезпечується кварцовим резонатором. Сам резонатор використовує п'єзоефект і механічний резонанс, що дозволяє досягти високої стабільності частоти генерації – важливого параметра для точних вимірювальних систем.

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крім того, Arduino підтримує підключення різноманітних датчиків та виконавчих елементів. Це дозволяє системі не лише фіксувати сейсмічні коливання, а й миттєво реагувати на них — наприклад, подавати звукові або світлові сигнали, відображати інформацію на дисплеї або передавати дані на віддалений сервер. Завдяки вбудованому перетворювачу сигналів стандарту RS-232 у TTL-рівні, плата легко інтегрується з іншими цифровими пристроями. Усі ці фактори свідчать про доцільність використання Arduino як основи для побудови системи моніторингу вібрацій, забезпечуючи ефективність, гнучкість і простоту розробки.[7]

3.2. Обґрунтування датчика вібрації

Щоб здійснювати фіксацію будь-яких коливань, необхідним є використання вібраційного датчика. Такий сенсор виявляє зміни у фізичному середовищі та передає сигнали до обчислювального пристрою (наприклад, комп'ютера або мікроконтролера), де ці дані реєструються й аналізуються. У разі виникнення вібрацій датчик реагує на механічний вплив, змінюючи стан електричного кола, що може активувати, наприклад, звуковий сигнал тривоги.

Існує кілька класифікацій вібраційних датчиків. Зокрема, вони відрізняються за типом чутливих елементів — це можуть бути індукційні, п'єзоелектричні або ємнісні моделі. Також вони поділяються за наявністю або відсутністю вбудованої електроніки, за форматом вихідного сигналу, а також за способом кріплення до об'єкта або конструкції.

Ємнісні датчики зазвичай використовуються для безконтактного контролю, коли безпосередній доступ до обладнання є утрудненим або небажаним. Їх встановлюють на певній відстані від поверхні, за якою ведеться спостереження. Індукційні сенсори відзначаються високою надійністю й стійкістю до зовнішніх впливів, проте зазвичай використовуються при частотах вібрацій, що не перевищують 500 Гц.

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У свою чергу, п'єзоелектричні елементи дозволяють вимірювати значні віброприскорення на високих частотах, досягаючи значень до 20 кГц, що робить їх оптимальними для точних динамічних вимірювань.

У рамках цієї системи планується використання безконтактного методу вимірювання вібрацій. Як основний датчик вібрацій обрано акселерометр, оскільки він дає змогу точно визначати прискорення у трьох координатних напрямках, є компактним, доступним і легко інтегрується в систему на базі Arduino. Такий підхід забезпечує ефективне виявлення сейсмічних коливань із можливістю подальшої обробки отриманих сигналів у реальному часі.

3.3. Обґрунтування кнопок

Для керування роботою системи доцільно використовувати кнопки. У подібних застосуваннях можуть використовуватись як сенсорні, так і механічні кнопки. Сенсорні кнопки, хоча й мають вищу чутливість, поступаються за надійністю, особливо в умовах частого використання або впливу зовнішніх факторів. З огляду на це, механічні кнопки є кращим варіантом для стабільної та довготривалої роботи системи.

Оскільки сама система має компактні габарити, доцільно використати тактові кнопки малого розміру. Тактові кнопки з чотирма контактами функціонують як дві незалежні пари провідників, які замикаються при натисканні, що забезпечує просту інтеграцію в схему та надійне зчитування сигналу на рис.3.1.

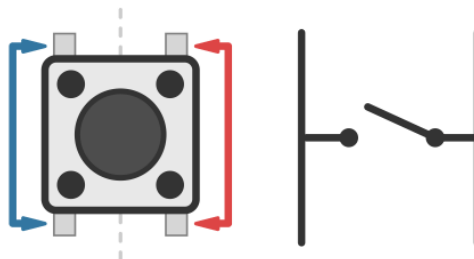


Рис.3.1. Будова тактової кнопки

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тактова кнопка – це різновид механічного перемикача, який замикає електричний контакт лише на час натискання. Коли кнопку натискають, вона миттєво створює з'єднання між контактами, а коли кнопку відпускають з'єднання розмикається. Тобто вона працює в режимі «натиснуто замкнено, відпущено розімкнено». [9]

3.4. Обґрунтування дисплею

Для виведення повідомлень про сейсмічну активність у системі доцільно використовувати дисплей. Найкращим вибором є символний або алфавітно-цифровий (АЦ) дисплей, які забезпечують зручне відображення інформації при невеликих витратах ресурсів. Такі дисплеї відзначаються простотою експлуатації, надійністю, доступною ціною, компактністю та широкою популярністю, що робить їх ідеальними для використання в невеликих автоматизованих системах.

У більшості сучасних АЦ-дисплеїв символ формується як матриця точок зазвичай 5 по горизонталі й 8 по вертикалі. Найбільш поширені варіанти дисплеїв мають 2 або 4 рядки, а в одному рядку можуть розміщуватись 16, 20 або 24 символи. Типовим представником є дисплей LCD 1602, де цифри "16" означають кількість символів у рядку, а "02" — кількість рядків. У разі потреби в більшому обсязі інформації часто використовують модель LCD 2004.

Ці дисплеї також відрізняються кольором підсвічування (жовте, синє, зелене, біле тощо) і можуть бути як інверсійними (світлі символи на темному тлі), так і прямими (темні символи на світлому фоні). Незалежно від моделі, всі ці дисплеї мають схожі принципи роботи та використовують однакові бібліотеки для програмування на платформі Arduino, що значно спрощує інтеграцію та розробку програмного забезпечення.

Підключення таких дисплеїв можливе двома способами: паралельним (використовується до 12 виводів мікроконтролера) або послідовним за

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

допомогою інтерфейсу I2C, який значно зменшує кількість необхідних з'єднань.

З огляду на потребу в компактному, недорогому та функціональному рішенні для відображення інформації, у розробленій системі було обрано дисплей LCD 1602A. Він дозволяє виводити символи формату ASCII на двох рядках по 16 знаків, кожен з яких формований матрицею 5×7 пікселів. Простота використання, сумісність з Arduino та підтримка готових бібліотек роблять його оптимальним варіантом для цієї задачі.

3.5. Обґрунтування індикації

Для створюваної системи необхідно забезпечити звукову сигналізацію, яка б інформувала про виявлення вібрацій. Для цього доцільно використати звуковипромінювач, що генерує монотонний сигнал. Оптимальним варіантом є активний зумер, сумісний з Arduino, який не потребує зовнішнього генератора сигналу. Рекомендується застосування активного зумера на 5 В з частотою звучання 2300 Гц, що забезпечує достатню гучність для сповіщення користувача про подію.

Що стосується візуальної індикації, для неї обрано червоний світлодіод, який сигналізує про стан системи або наявність небезпеки. Основними факторами при виборі такого світлодіода є інтенсивність світла та компактність. Враховуючи обмежений розмір пристрою, було обрано яскравий SMD-світлодіод червоного кольору, який забезпечує хорошу видимість і зручно монтується на друковану плату.

3.6. Обґрунтування блока живлення

Блок живлення є ключовим елементом системи, що забезпечує подачу електроенергії з необхідними параметрами для стабільної та надійної роботи всіх електронних компонентів.

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Його основна функція – перетворення зовнішнього джерела енергії (наприклад, мережевого або портативного) у напругу й струм, які відповідають вимогам мікроконтролера, датчиків, дисплея, зумера та інших елементів.

Оскільки система призначена для стаціонарного використання в умовах безперервного моніторингу сейсмічної активності, вона повинна бути постійно підключена до джерела живлення. При виборі блоку живлення потрібно врахувати сумарне споживання всіх складових системи, забезпечити стабільну напругу 5 В та достатню потужність. Правильно підібраний блок живлення гарантує безперебійну роботу пристрою, його енергоефективність та безпечну експлуатацію.

3.7. Структурна схема

Створення структурної схеми системи починається з визначення основних функціональних блоків та їх взаємозв'язків, які забезпечують правильну роботу пристрою. У нашому випадку структурна схема включає кілька ключових компонентів, кожен з яких виконує певну роль у загальній системі.

Датчики вібрації (ДВ1, ДВ2) відповідають за фіксацію коливань земної поверхні та передають отримані сигнали на мікроконтролер (МКМ). Мікроконтролер є центральним елементом, який обробляє інформацію від датчиків, виконує аналіз вібрацій, керує роботою інших компонентів і приймає рішення щодо індикації або оповіщення.

Для керування системою передбачені кнопки управління (КУ1, КУ2), які дозволяють користувачу взаємодіяти з пристроєм — наприклад, налаштовувати параметри або запускати режим роботи. Сигнали з кнопок надходять на мікроконтролер, що забезпечує відповідну обробку команд.

Дисплей (ДП) служить для візуального відображення інформації, такої як стан системи або рівень вібрацій, що дає змогу користувачу легко

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

контролювати процес. Світлодіод (СД) виконує роль індикатора, який подає світловий сигнал про роботу системи або наявність небезпечних станів.

Для звукового оповіщення використовується динамік (Д), який вмикається мікроконтролером у разі виявлення вібрацій або інших подій, що потребують уваги.

Усі ці компоненти живляться від блоку живлення (БЖ), який забезпечує стабільну напругу та струм, необхідні для коректної роботи всієї системи.

Таким чином, структурна схема відображає логічні зв'язки між датчиками, мікроконтролером, органами управління, індикації та джерелом живлення, забезпечуючи загальну функціональність пристрою.

Структурна схема системи представлена на рис.3.2.

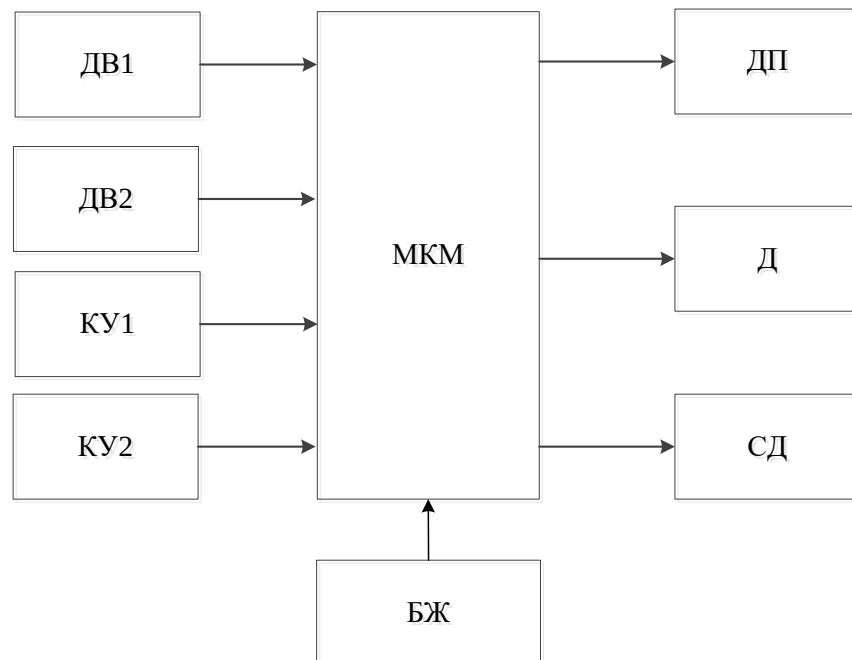


Рис.3.1. Структурна схема системи

Розшифровка елементів структурної схеми:

1. ДВ1, ДВ2 – датчик вібрації;
2. КУ1, КУ2 – кнопки управління;
3. ДП – дисплей;
4. Д – динамік;
5. МКМ – мікроконтролер;
6. СД – світлодіод;
7. БЖ – блок живлення.

4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

4.1. Вибір мікроконтролера

Arduino Nano – це компактний, повнофункціональний контролер, побудований на базі мікросхем ATmega328 (версія 3.0) або ATmega168 (версія 2.x). Він розроблений спеціально для використання з макетними платами, завдяки своєму малому розміру та розташуванню контактів. За функціональними можливостями він практично не поступається платі Arduino Duemilanove, проте має більш мініатюрні габарити, не містить окремого гнізда для живлення і використовує USB-кабель формату Mini-B.

Виробником плати є компанія Gravitech. Arduino Nano може отримувати живлення через USB або від зовнішнього джерела з нестабілізованою напругою в діапазоні від 6 до 20 В (через контакт 30), або ж від стабілізованого джерела 5 В (через контакт 27). Система автоматично визначає, яке джерело має пріоритет, і вибирає його.

Якщо Arduino живиться через USB, тоді живлення також надходить на мікросхему FTDI FT232RL, яка формує вихід 3.3 В. У випадку, коли живлення подається не через USB, а з зовнішнього джерела, цей вихід буде неактивним, і світлодіоди RX та TX можуть випадково блимати при високих логічних рівнях на лініях 0 та 1.

У плані пам'яті, мікроконтролер ATmega168 має 16 КБ флеш-пам'яті для програм (2 КБ з яких займає завантажувач), 1 КБ оперативної пам'яті SRAM і 512 байт EEPROM. У ATmega328 ці показники становлять відповідно 32 КБ флеш-пам'яті (2 КБ – під завантажувач), 2 КБ SRAM та 1 КБ EEPROM. Для доступу до EEPROM передбачена спеціальна бібліотека.

Існує також конфігурація з двостороннім розміщенням виводів, що зручно при монтажі на макетній платі. У рамках цієї системи було обрано Arduino Nano як одну з найпопулярніших, доступних та зручних у використанні платформ для мікроконтролерного керування.

Зовнішній вигляд плати на рисунку 4.1.

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 4. 1 Arduino nano

Розташування виводів arduino nano представлено на рис.4.2.

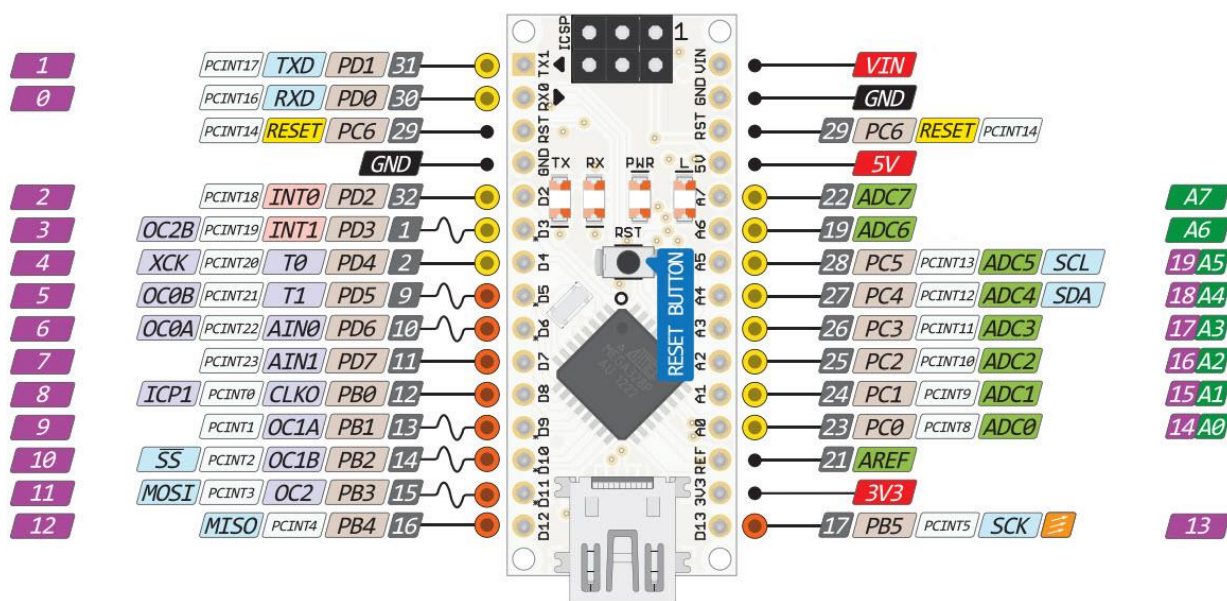


Рис.4.2. .Розпіновка arduino nano

Технічні характеристики Arduino Nano представлені в таблиці 4.1.

Технічні характеристики arduino nano:

- Мікроконтролер: ATmega328P (або ATmega168 у старіших версіях);
- Тактова частота: 16 МГц;
- Пам'ять: 32 КБ флеш (2 КБ для завантажувача), 2 КБ SRAM, 1 КБ EEPROM;
- Живлення: 5 В логіка, вхідна напруга 6–20 В (рекомендовано 7–12 В);
- Інтерфейс програмування: USB Mini-B;
- Виводи: 22 загалом — 14 цифрових (6 ШІМ), 8 аналогових;
- Підтримка протоколів: UART, SPI, I2C;
- Розміри: 45 x 18 мм;

- Вбудований стабілізатор напруги та кварцовий резонатор;
- Автоматичне перемикання джерел живлення;

Підтримка бібліотек Arduino для простого програмування.

Крім того, Arduino Nano підтримує автоматичне перемикання джерела живлення, має вбудований стабілізатор напруги та кварцовий резонатор, що забезпечує стабільну роботу контролера.

Завдяки своїй компактності, доступності, простоті програмування та широкій підтримці бібліотек, Arduino Nano є чудовим вибором для вбудованих систем, у тому числі таких, як детектори вібрацій або землетрусів.[11]

4.2. Вибір датчика вібрацій

Трьохосьовий акселерометр GY-61 ADXL335 є високоякісним датчиком з наднизьким енергоспоживанням, який широко застосовується в пристроях на базі Arduino, AVR, PIC, ARM та інших платформ. Цей модуль забезпечує точні аналогові показання по трьох осях, що робить його ідеальним для вимірювання вібрацій і рухів у різних проектах.

Основні технічні характеристики включають: живлення від 3 до 5 В, споживання струму близько 400 мкА, аналоговий тип вихідного сигналу, а також компактні розміри 19×19 мм.



Рис. 4.3. Акселерометр GY-61 ADXL335

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Для розроблюваної системи було обрано модель GY-61 ADXL335 з чутливістю 300 мВ/ g, що забезпечує достатню точність і стабільність вимірювань для завдань контролю вібрацій поверхні Землі. За потреби цей датчик легко інтегрується з мікроконтролерами та іншими компонентами системи.[12]

Акселерометр ADXL335 вимірює прискорення за трьома осями (X, Y, Z) у вигляді аналогових сигналів.

Максимальні значення вимірювання для ADXL335 становлять приблизно ± 3 g (де g — прискорення вільного падіння, близько 9.81 м/с^2).

Тобто він може фіксувати прискорення від -3 g до +3 g по кожній з трьох осей.

Максимальне вимірювання ADXL335 – ± 3 g, отже:

$$3 \text{ g} = 3 \times 9.81 \text{ м/с}^2 = 29.43 \text{ м/с}^2$$

Тобто ADXL335 вимірює прискорення в діапазоні від приблизно -29.43 м/с^2 до $+29.43 \text{ м/с}^2$.

4.3. Вибір дисплея

У нашій системі для відображення інформації про вібрації поверхні Землі використовується LCD-дисплей моделі 1602A. Цей алфавітно-цифровий дисплей дозволяє виводити текстову інформацію у зручному вигляді, що полегшує сприйняття даних користувачем. Він відображає 2 рядки по 16 символів у кожному, що є достатнім для виводу основних повідомлень та параметрів системи.



Рис. 4.4. LCD 1602A

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні технічні характеристики LCD 1602A:

- Тип дисплея: рідкокристалічний (LCD) алфавітно-цифровий
- Розмір екрану: 16 символів у рядку, 2 рядки
- Роздільна здатність символу: матриця 5×7 пікселів
- Інтерфейс підключення: паралельний або послідовний (I2C через додатковий модуль)
- Робоча напруга: 5 В
- Кут огляду: близько 6 годин (горизонтальний)
- Підсвічування: світлодіодне, колір підсвічування – зазвичай зелений або синій
- Низьке енергоспоживання та висока надійність [13].

Завдяки простоті використання, наявності готових бібліотек для Arduino та компактним розмірам, LCD 1602A ідеально підходить для нашої системи автоматизованого контролю та реєстрації вібрацій, забезпечуючи зрозумілий інтерфейс для користувача.

4.4. Вибір кнопок

Для керування приладом застосовуються кнопки. Найбільш простими та економічними є кнопки моделі KY-004 (Рис. 4.5), які розраховані на комутацію напруги до 12 В, що повністю відповідає вимогам проекту.



Рис. 4.5. Кнопка KY-004

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Характеристики кнопки КУ-004:

1. Розміри складають 25x16x10 мм;
2. Ресурс натискань до 100 000 циклів;
3. Опір контактів становить: при замиканні 50 мОм; при розмиканні 100 мОм;
4. Максимальні робочі параметри:
 - комутована напруга — до 12 В;
 - комутований струм — до 50 мА. [14]

4.5. Вибір індикації

Для створюваного пристрою потрібен звуковипромінювач, який генерує монотонний звук. Тому було обрано активний зумер з живленням 5 В і частотою 2300 Гц, сумісний з Arduino. Цей компонент має компактний розмір діаметр 12,6 мм та малу вагу близько 2 грамів.



Рис. 4.6. Звуковипромінювач 5 В, 2300 Гц

Основним критерієм при виборі світлодіода була яскравість та розміри. Тому було обрано LED 5мм світлодіод червоний типорозміру. (Рис. 4.7).



Рис. 4.7. SMD світлодіод червоний

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Характеристики світлодіода:

- Світловий потік: 3000.
- Напруга живлення: 2 - 2,8 В.
- Колір світла: Червоний.
- Діаметр колби: 5 мм.
- Довжина хвилі: 620 - 625 Нм.
- Сила струму : 20 mA. [15]

Резистори 220Ом та 10кОм. Вибираємо малопотужні резистори для світлодіодів резистор 0,25W, (5%).

4.6. Вибір блока живлення

Щоб визначитися в якості блока живлення необхідно врахувати робочі напруги всіх складових в системі табл.4.2.

Отже, в якості блок живлення застосовується готовий блок на 5 В, що підключається до мережі.

Зовнішній вигляд блока живлення моделі Max-389 на 5 В 1А представлений на рис.4.8.

Таблиця 4.2

Робоча напруга складових схеми системи

Назва компоненту	Живлення
Arduino Nano	3-5 В
Акселерометр ADXL335	3-5В
Дисплей LCD	5В
Динамік	6В
Кнопки	3,5-12В
Червоний світлодіод	2,1-2,3В



Рис. 4.8.Зовнішній вигляд блока живлення моделі Мах – 389

Універсальний блок живлення моделі Мах – 389. Виконаний у пластиковому корпусі, має світлодіодний індикатор.

Технічні характеристики

- Роз'єм 5. 5 x 2. 5 мм
- Живлення 110 - 240 В
- Напруга на виході 5 В
- Сила струму 1 А
- Довжина дроту 80 см.[16]

4.7. Побудова електрично принципової схеми

На базі структурної схеми, технічних характеристик елементів була розроблена електрично принципову схему рис.4.9.

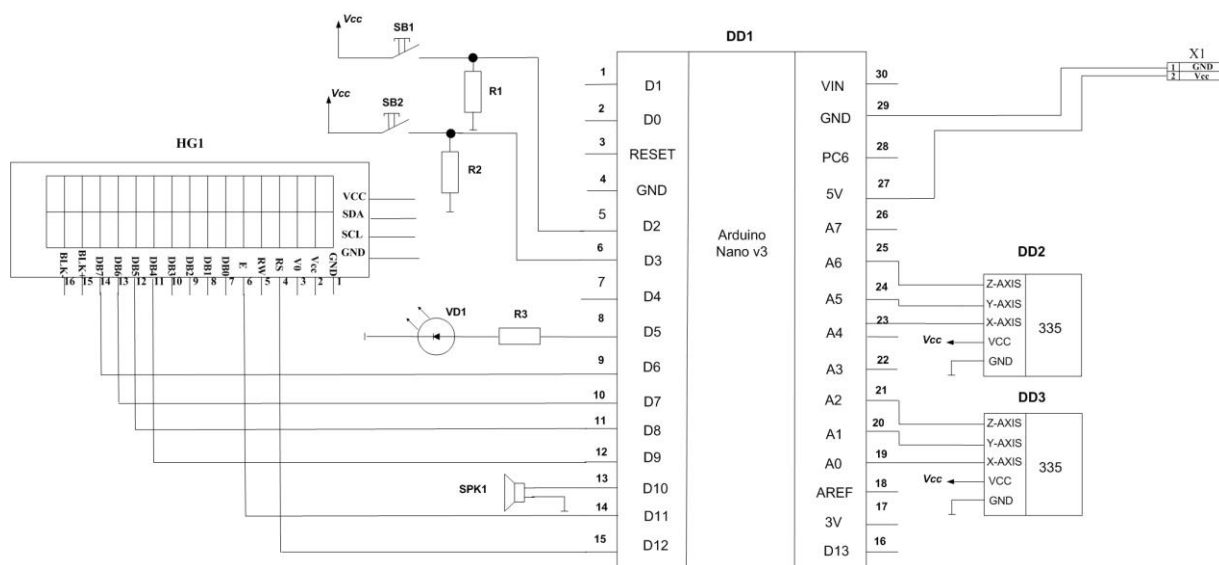


Рис. 4.9. Електрична-принципова схема

Перелік елементів принципової схеми:

- DD1 – мікроконтролер Arduino Nano;
- DD2, DD3 – акселерометр GY-61 ADXL335;
- SB1, SB2 – тактова кнопка KY-004;
- HG1 – LCD дисплей 1602A;
- SPK1 – динамік;
- VD1 – червоний smd світлодіод;
- R1, R2 – 220 Ом;
- R3 – 10 кОм;
- X1 – роз'єм для блока живлення.

Принципова схема комп'ютеризованої системи вимірювання та реєстрації вібрацій поверхні Землі побудована на основі мікроконтролера Arduino Nano (DD1), який координує роботу всіх елементів системи, обробляє сигнали з датчиків і виводить результати на дисплей або подає звукові/світлові сигнали.

Акселерометри GY-61 ADXL335 (DD2, DD3) є ключовими сенсорами, що вимірюють прискорення за трьома осями (X, Y, Z). Вони безперервно передають аналогові сигнали до аналогових входів Arduino. На основі цих даних мікроконтролер обчислює рівень вібрацій, а при перевищенні встановленого порогу ініціює оповіщення.

Тактова кнопка KY-004 (SB1, SB2) слугує для ручного керування – наприклад, для скидання, запуску або перемикання режимів системи. Кнопки з'єднані з цифровими входами Arduino і реагують на натискання, змінюючи логічний рівень сигналу.

LCD дисплей 1602A (HG1) підключений через інтерфейс I²C або напряму до цифрових виводів мікроконтролера. Він відображає поточні значення вібрацій, повідомлення про стан системи або попередження про землетрус.

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Динамік (SPK1) використовується для звукового сигналу тривоги. Якщо рівень вібрації перевищує порогове значення, Arduino подає сигнал на динамік для оповіщення користувача.

Світлодіод VD1 (smd, червоний) спрацьовує разом із динаміком – він починає миготіти, візуально сигналізуючи про небезпеку. Через резистор R1 він обмежує струм, щоб уникнути перегрівання.

Резистори R1 і R2 (220 Ом) використовуються як обмежувальні елементи у колі світлодіода і, ймовірно, кнопок. R3 (10 кОм) – це підтягувальний резистор для кнопки або аналогового входу, що запобігає "плаванню" сигналу при розімкненні контакту.

Роз'єм X1 слугує для підключення зовнішнього блока живлення. Arduino може живитися від зовнішнього джерела 7–12 В, яке забезпечує стабільну роботу всієї системи.

У підсумку, система працює як автоматизований детектор вібрацій: акселерометри зчитують рухи землі, Arduino обробляє інформацію, відображає її на екрані, а у разі загрози — подає світловий та звуковий сигнал для привернення уваги.

4.8. Розрахунок похибок визначення вібрацій землі

Проведено десять повторних вимірювань при землетрусі 1-2 бали акселерометра ADXL335, діапазон виміру прискорення $\pm 3g = \pm 29,43 \text{ м/с}^2$ згідно технічних характеристик.

Було отримано наступну вибірку:

$$a = (2,50; 2,51; 2,52; 2,53; 2,51; 2,54; 2,50; 2,52; 2,53; 2,51) \text{ м/с}^2$$

За відомими формулами шукаємо:

1) середнє арифметичне $\bar{a}$ за (4.1):

$$\bar{a} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} a_i \cong 2,517 \quad (4.1)$$

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) похибки повторних вимірювань Δa_i та Δa_i^2 (4.2):

$$\Delta a = |\bar{a} - a_i| \text{ та } \Delta a_i^2 = (\bar{a} - a_i)^2, \quad (4.2)$$

де $i = 1, 2 \dots 10$;

Результати вимірювань та обчислень заносимо у табл. 4.2.

Таблиця 4.2.

№ з. п.	a, м/с ²	Δa_i , м/с ²	Δa_i^2 , м/с ²
1	2,5	0,017	0,0003
2	2,51	0,007	0,0000
3	2,52	0,003	0,0000
4	2,53	0,013	0,0002
5	2,51	0,007	0,0000
6	2,54	0,023	0,0005
7	2,5	0,017	0,0003
8	2,52	0,003	0,0000
9	2,53	0,013	0,0002
10	2,51	0,007	0,0000
сер	2,517	0,011	0,0002

Розрахуємо випадкову похибку вимірювання за (4.1). За даними табл. 4.2 знайдемо коефіцієнт Стюдента для 10 вимірювань і довірчої ймовірності 0,95 $t_{0,95}=2,26$; розрахуємо за (4.2) виправлене вибіркове середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{1}{10 \times 9} \sum_{i=1}^{10} (\bar{a} - a)^2} \approx 0,0042 \text{ м/с}^2$$

та знайдемо випадкову похибку:

$$\Delta_B a = 2,26 * 0,0042 = 0,0095 \text{ м/с}^2$$

(Результати вимірювань та обчислень заносимо у табл. 4.2.)

3) похибку приладу за (4.3):

$$\Delta_{\text{пр}} a = \frac{1}{300} t_p k a_{\text{гр}} \quad (4.3)$$

Для надійної ймовірності $P = 0,95$ з табл. 4.2 знайдемо при умові $t_{0,95}=2,0$. Враховуючи, що за умовою $a_{\text{гр}} = \pm 29,43 \text{ м/с}^2$ а клас точності $k = 1$, отримаємо:

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta_{\text{пр}} a = \frac{1}{300} 2,0 * 29,43 * 1 \approx 0,196 \text{ м/с}^2;$$

4) похибку заокруглення за (4.4):

$$\Delta a_3 = P \frac{h}{2}. \quad (4.4)$$

Для цього знайдемо інтервал заокруглення h як половину останнього розряду виміряної величини $0,01$. Отже:

$$\Delta T_3 = 0,95 * \frac{0,01}{2} \approx 0,005 \text{ м/с}^2;$$

5) загальну абсолютну похибку (4.5):

$$\Delta a = \sqrt{(\Delta_B a)^2 + (\Delta_{\text{п}} a)^2 + (\Delta_3 a)^2} = \sqrt{0,0095^2 + 0,196^2 + 0,005^2} \approx 0,196 \text{ м/с}^2 \quad (4.5)$$

Підсумок:

- Середнє значення: $2,517 \text{ м/с}^2$;
- Випадкова похибка: $\pm 0,00956 \text{ м/с}^2$;
- Похибка приладу: $\pm 0,196 \text{ м/с}^2$;
- Похибка заокруглення: $\pm 0,005 \text{ м/с}^2$;
- Загальна абсолютна похибка: $\pm 0,196 \text{ м/с}^2$.

5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ

5.1. Розробка алгоритму

Для реалізації програмного забезпечення автоматизованої системи контролю та реєстрації вібрацій при землетрусі, необхідно розробити алгоритм роботи програми. Для цього використовуємо логічні блоки. Зв'язки між блоками показуємо за допомогою стрілок.

Перед написанням програми для системи реєстрації вібрацій при землетрусі, створюємо алгоритм програми.

Алгоритм програми – це набір інструкцій, які описують порядок дій виконавця, щоб досягти результату розв'язання задачі. Відповідно, такий алгоритм у вигляді блоків представлено на рисунку нижче 5.1.

Опис алгоритму за поданою схемою:

1. Початок – запуск процесу.
2. Ініціалізація – підготовка системи до роботи, налаштування необхідних параметрів.
3. Завдання гучності – встановлення рівня гучності звукового сигналу.
4. Зчитування датчика 1 – отримання даних з першого датчика вібрації.
5. Зчитування датчика 2 – отримання даних з другого датчика вібрації.
6. Обробка даних – аналіз отриманої інформації з обох датчиків, а саме знаходження середнього значення поміж двох сигналів.
7. Перевірка наявності загрози – визначення, чи свідчать дані про наявність небезпеки (наприклад, землетрусу). Якщо загроза відсутня – повернення до зчитування датчиків для подальшого моніторингу. Якщо загроза є – перехід до наступних кроків.
8. Звуковий сигнал – подання звукового попередження.
9. Світлова індикація – активація світлодіода або іншої світлової індикації.
10. Вивід значень на дисплей – відображення інформації на екрані.
11. Кінець – завершення циклу або процесу.

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Цей алгоритм організовує безперервний моніторинг вібрацій, обробку інформації та сповіщення про потенційну загрозу.

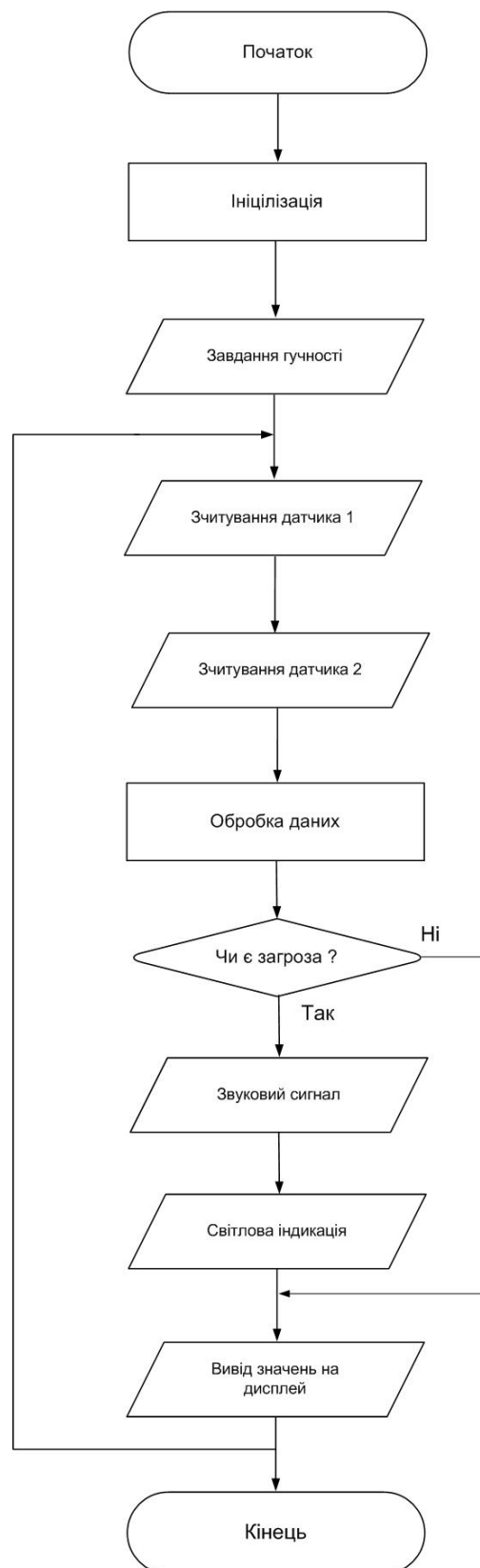


Рис. 5.1. Алгоритм роботи програмної частини

5.2. Розробка програми

Для розробки вашої системи моніторингу вібрацій (на базі Arduino, з використанням акселерометра ADXL335, дисплея LCD1602A, кнопок, зумера та світлодіодної індикації) оптимальним вибором мови програмування є мова Arduino (на базі C/C++).

Для розробки системи на базі Arduino Nano обрано мову програмування Arduino (C/C++), оскільки вона є основною для цієї платформи. Вона має простий синтаксис, велику кількість готових бібліотек для роботи з дисплеєм, датчиками та іншими компонентами, що значно спрощує програмування. Крім того, Arduino IDE зручна для налагодження, а велика спільнота забезпечує доступ до прикладів і підтримки.

Частина коду представлена нижче, повний код програми представлений в Додатку А.

```
#include <EEPROM.h>
#include <EEPROMAnything.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Wire.h>
const int alarmPin = 8;\пін підключення оповіщення
const int alarmLedPin = 13;\пін підключення оповіщення
const int PIN_BUTTON1 = 5;
const int PIN_BUTTON2 = 6;
int Xacc, Yacc, Zacc, threshold = 0, thresholdSET = 25;
long debouncing_time = 15; //Час компенсація лязгання контактів
volatile unsigned long last_micros;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // Встановлюємо дисплей
struct sensorValue
{
int X;int Y;int Z;
};
sensorValue acceleration; //підключення акселерометру
void debounceInterrupt_Increment()
{
if ((long)(micros() - last_micros) >= debouncing_time
* 1000) {

void IncrementThreshold() { thresholdSET = EEPROM.read(500);
thresholdSET++; EEPROM.write(500, thresholdSET);
}
void DecrementThreshold() { thresholdSET = EEPROM.read(500);
void loop() {
EEPROM_readAnything(0, acceleration); threshold = EEPROM.read(500);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Monitoring Mode"); //вивід на дисплей напису робочого
режиму
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Threshold = ");
```

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

    lcd.print(threshold);
    Xacc = analogRead(A0);
    Yacc = analogRead(A1);
    Zacc = analogRead(A2);
    \\При реєстрації поштовхів
    if ((Xacc >= (acceleration.X + threshold)) || (Xacc <= (acceleration.X
- threshold)) || (Yacc >= (acceleration.Y+ threshold)) || (Yacc <=
(acceleration.Y - threshold)) || (Zacc >= (acceleration.Z + threshold)) ||
(Zacc <= (acceleration.Z - threshold))) {
        digitalWrite(relayPin, LOW);
        digitalWrite(alarmPin, HIGH);
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("ALARM!!!!"); //вивести повідомлення тривоги
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("PLEASE EVACUATE"); //ще одне повідомлення про евакуацію
        delay(5000); digitalWrite(relayPin, HIGH);
        digitalWrite(alarmPin, LOW); lcd.clear();
    }
}

```

Для перевірки компіляції програми використовуємо ArduinoIDE (рис. 5.2).

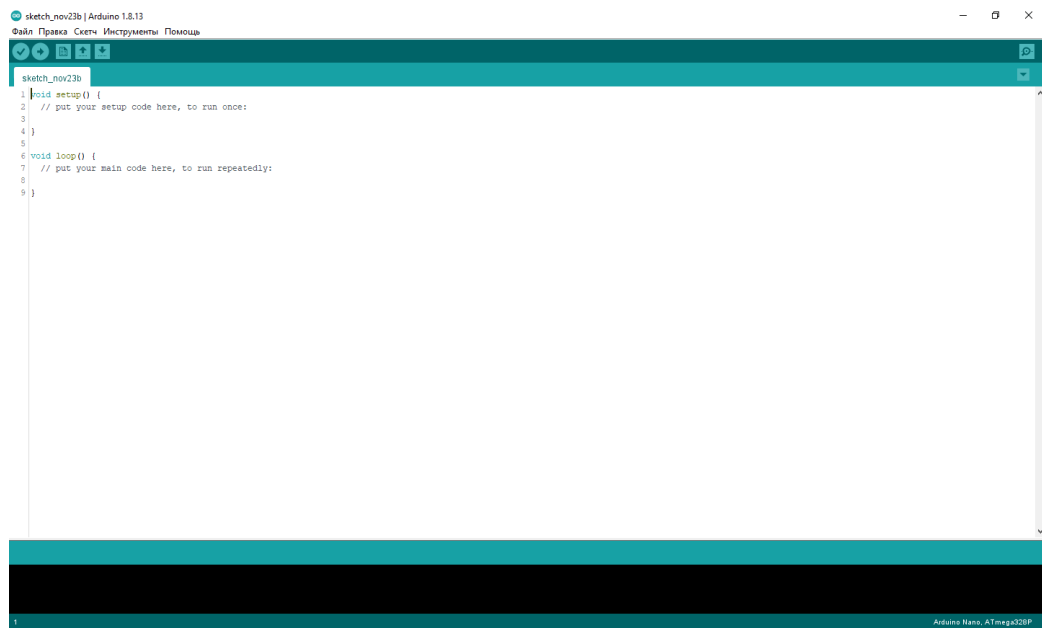


Рис. 5.2. Зовнішній вигляд ArduinoIDE

Після перевірки програми на помилки, помилок виявлено не було. Завантажуємо прошивку в мікроконтролер. (Рис. 5.3).

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

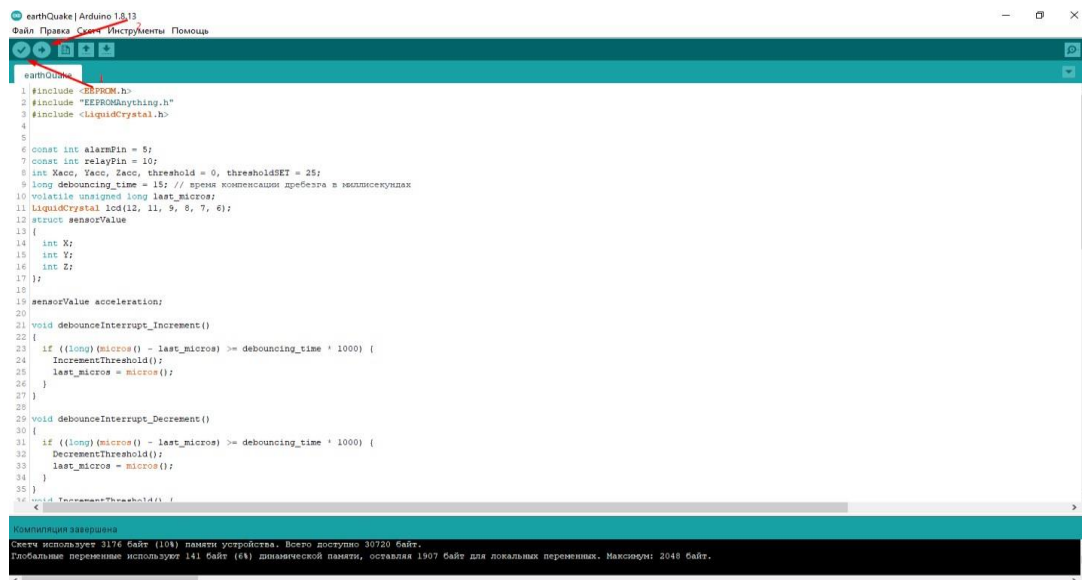


Рис. 5.3. Перевірка та завантаження скетчу в середовищі ArduinoIDE

Скетч успішно завантажено, про що свідчить напис внизу середовища ArduinoIDE (Рис. 5.4).

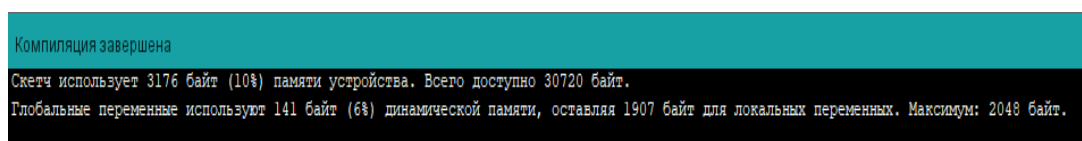


Рис. 5.4. Успішна компіляція скетчу в середовищі ArduinoIDE

Повідомлення про успішну компіляцію дає можливість продивитись кількість використаної пам'яті програмою, та зробити висновок про правильний вибір платформи Arduino.

6. КОНСТРУКТОРЬСКА ЧАСТИНА

6.1. Розробка друкованої плати

Під час вибору друкованої плати для створення нашої системи основну увагу було приділено техніко-економічним характеристикам, таким як доступність, надійність та простота виготовлення. Зважаючи на те, що прилад складається з недорогих та широко доступних радіоелементів, було прийнято рішення використовувати двосторонню друковану плату. Такий тип плати забезпечує високу якість з'єднань завдяки металізації отворів, хороші комутаційні властивості та надійність кріплення навісних компонентів, при цьому залишається економічно вигідним рішенням.

Для виготовлення друкованих плат застосовуються фольговані діелектричні матеріали. Це можуть бути склотканина або папір, просочені синтетичними смолами, або полімерні плівки, такі як лавсан чи фторопласт. До цих основ приклеюється мідна фольга під час виробництва, і вона може бути нанесена з одного або з обох боків. Товщина фольги зазвичай становить від 20 до 50 мікрометрів.

Матеріал плати має відповідати ряду важливих вимог, зокрема, бути технологічним у обробці, мати хороші електрофізичні властивості, забезпечувати надійне зчеплення провідного шару з основою та демонструвати стійкість до механічних деформацій. З урахуванням цих параметрів для нашого пристрою було обрано фольгований склотекстоліт, як найкраще поєднання міцності, термостійкості, електроізоляції та зручності для виготовлення компактної та надійної плати.

Товщина друкованої плати визначається товщиною вихідного матеріалу і вибирається залежно від елементної бази та навантажень.

Найкращі параметри, згідно таблиці 3.1 має склотекстоліт. Тому обираємо двосторонній фольгований склотекстоліт марки СФ-2-35-1,5 ТУ16-503.271-86, який має товщину фольги 35 мкм, товщину матеріалу з фольгою 1,5 мм. та діапазон робочих температур від -60 до $+120$ °С.

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.1

Властивості матеріалів друкованих плат

Параметри	Гетинакс	Текстоліт	Склотекстоліт
Щільність без фольги, г/см ³	1,3...1,4	1,3...1,45	1,6...1,8
Відносна діелектрична проникність	4,5...6	4,5...6	5...6
Питомий об'ємний опір, Ом·м	1012...10 ¹⁴	1012...10 ¹¹	1014...10 ¹⁵
Діапазон робочих температур, °С	-60...+80	-60...+105	-60...+120
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м×К)	0,25...0,3	0,23...0,34	0,34...0,74
Температурний коефіцієнт лінійного розширення, 10 ⁻⁶ К ⁻¹	22	22	8...9

Для цього пристрою, враховуючи простоту схеми та невисоку щільність розміщення елементів, доцільним є застосування друкованої плати 2-го класу точності. Такий вибір не потребує використання дорогих матеріалів, спеціального інструменту або високоточного обладнання. Конструктивні особливості цього класу включають допустиму ширину провідників, мінімальні відстані між ними та необхідні технологічні відступи, що відповідають базовим стандартам виробництва.

Монтаж навісних елементів виконується відповідно до чинних галузевих нормативів, таких як ОСТ4.ГО.010.030 та ОСТ4.ГО.010.009. Під час компонування елементів на платі важливо враховувати декілька ключових аспектів: забезпечення надійної роботи пристрою, оптимальне використання простору, ефективний тепловідвід, а також зручність у випадку необхідного ремонту або заміни складових частин[17].

Під час проектування плати компоненти розміщують на одній стороні, орієнтуючи їх паралельно краям плати та дотримуючись принципу мінімізації довжини з'єднань. Координатну сітку задають із кроком 1,25 мм, а її початок визначають відповідно до стандарту ГОСТ 2.417-78. Усі монтажні отвори та елементи схеми позиціонуються відносно початку координат, при цьому контактні майданчики та виводи компонентів обов'язково розміщують у вузлах сітки.

При виготовленні двосторонніх плат із підвищеною щільністю часто виникають труднощі, пов'язані з використанням металізованих монтажних отворів, які необхідні для пайки штирьових виводів елементів. Через великий діаметр таких отворів обмежується можливість щільного розташування провідників.

З огляду на це все ширше використовується поверхневий (SMD) монтаж, коли компоненти мають плоскі планарні виводи, що припаюються безпосередньо до контактних майданчиків без потреби в наскрізних отворах. Електричні з'єднання між шарами забезпечуються перехідними металізованими отворами дуже малого діаметра – близько 0,15–0,2 мм. Це дозволяє зменшити ширину провідників до 0,1–0,15 мм і досягти надзвичайно щільного компонування.

Оскільки провідники в такій конфігурації розташовані дуже близько, під час пайки може виникнути ефект краплеутворення, що загрожує короткими замиканнями. Щоб уникнути цього, на плату наносять паяльну маску, яка запобігає з'єднанню сусідніх провідників розплавленим припоєм. Найкраща адгезія паяльної маски досягається, коли її наносять на чисту або окисовану мідь. На припой типу ПОС-61 маску не наносять, оскільки вона може відшаровуватися при нагріванні.

Найбільш ефективною та поширеною на сьогодні технологією виготовлення двосторонніх плат із застосуванням паяльної маски є метод SMOBC (Solder Mask Over Bare Copper), який широко впроваджений на сучасних підприємствах та обирається для реалізації нашого пристрою.

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після завершення проєктування електричної принципової схеми розпочинається етап розведення друкованої плати. Основна мета цього процесу мінімізація довжини провідників, що сприяє підвищенню швидкодії пристрою та забезпечує стабільність його параметрів за різних зовнішніх умов, таких як температура або електромагнітні перешкоди (рис. 6.1 та рис. 6.2).

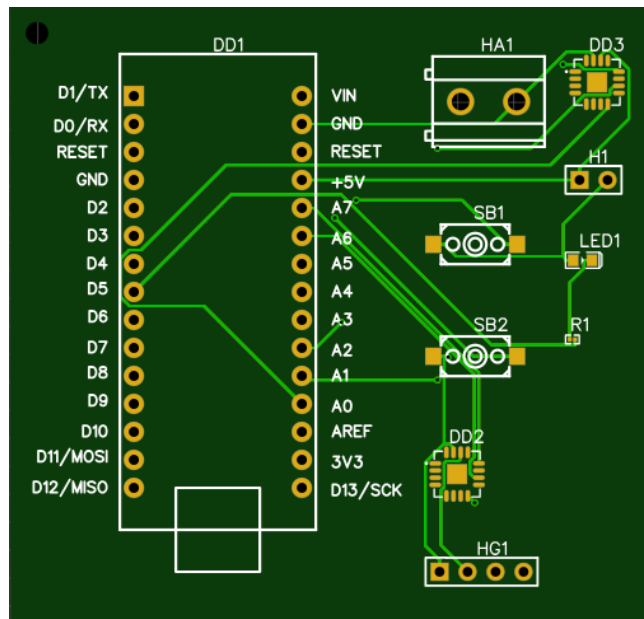


Рис. 6.1. Зображення верхнього шару ДП

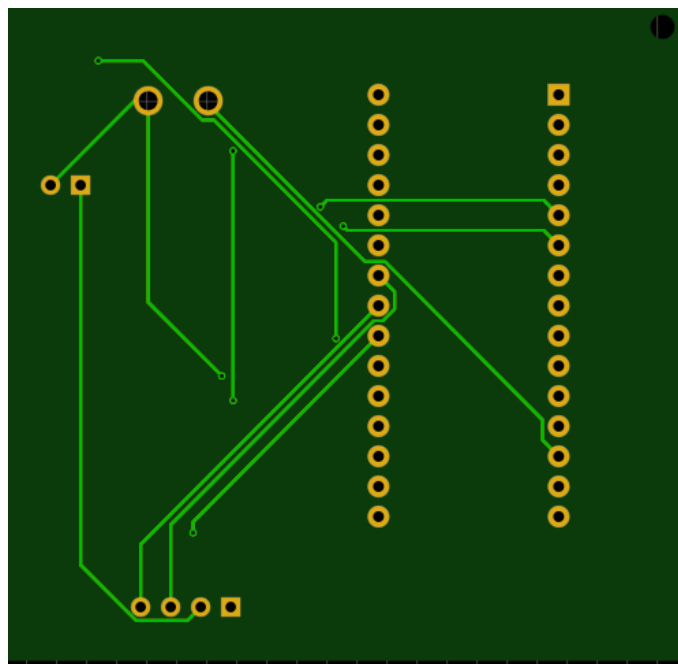


Рис. 6.2. Зображення нижнього шару ДП

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Для створення топології друкованої плати мікропроцесорної системи реєстрації вібрацій, яка фіксує коливання ґрунту під час сейсмічної активності, було використано спеціалізоване програмне забезпечення для трасування EasyEda.

З урахуванням усіх компонентів системи? таких як мікроконтролер, датчики вібрації, дисплей, кнопки керування, звуковий випромінювач, світлодіодна індикація та блок живлення було проведено оптимальне компонування елементів на друкованій платі. В результаті аналізу розмірів та розташування всіх складових, а також з урахуванням вимог до монтажу, прокладання провідників і забезпечення зручного доступу до елементів, був визначений розмір плати. Після завершення трасування отримана друкована плата має габарити 76×56 мм, що є достатнім для розміщення всіх елементів без перевантаження, з дотриманням технічних та ергономічних вимог конструкції.

6.2. Розрахунок надійності системи

Надійність – це здатність системи, пристрою або окремого елемента зберігати свою працездатність у встановлених умовах експлуатації протягом заданого часу. Інакше кажучи, це властивість технічного об'єкта виконувати задані функції без відмов, поломок або збоїв.

У контексті електронних пристроїв (наприклад, як у вашій системі) надійність включає:

- стабільну роботу приладу у заданому діапазоні температур, вібрацій та напруг;
- відсутність збоїв при тривалому використанні;
- стійкість до зовнішніх впливів (наприклад, електромагнітних перешкод);
- якість з'єднань, пайки, монтажу та елементної бази.

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Можна стверджувати, що схема пристрою є ремонтпридатною, складається вона за окремих простих компонентів, тому вихід із ладу модуля приводить до виходу з ладу всієї системи.

Інтенсивність відмов розраховують за формулою :

$$\lambda_i = \lambda_B \prod_{n=1}^N K_n, \quad (6.1)$$

де:

λ_B – базова інтенсивність відмов елемента;

N – кількість коефіцієнтів які враховуються;

K_n – поправочний коефіцієнт, що враховує умови експлуатації.

На робочій ділянці середнє напрацювання на відмову при експонентному законі складає:

$$T_0 = 1 / \lambda_0. \quad (6.2)$$

Таблиця 6.2

Математична модель розрахунку надійності:

Клас (група елементів)	Вид математичної моделі
Резистори постійні металізовані	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_B K_P K_R K_M K_A K_{\Sigma} K_{\Pi}$
Конденсатори неполярні та електrolітичні	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_B K_P K_C K_{\Sigma} K_{\Pi}$
Діоди та діодні збірки	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_B K_P K_{\Phi} K_D K_U K_{\Sigma} K_{\Pi}$
Стабілітрони	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_B K_P K_{\Sigma} K_{\Pi}$
Транзистори біполярні	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_B K_P K_{\Phi} K_D K_U K_{\Sigma} K_{\Pi}$
Тиристори	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_B K_P K_D K_{\Sigma} K_{\Pi}$
Трансформатори	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_B K_P K_{\Sigma} K_{\Pi}$
Реле електромагнітні	$\lambda_{\Sigma} = (\lambda_B^{(L)} K_P^{(L)} K_F K_{\Pi}^{(L)} + \lambda_B^{(ком)} F K_P K_K K_{\Pi}) K_{\Sigma}$
Запобіжники	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_B K_t K_{\Sigma} K_{\Pi}$
З'єднання, у тому числі пайка	$\lambda_{\Sigma} = \lambda_B K_t K_{\Sigma} K_{\Pi}$
Мікросхеми	$\lambda_{\Sigma} = (\lambda_{кр} \cdot K_t + \lambda_{корп} \cdot K_E) \cdot K_Q \cdot K_L$

Розрахунок надійності по раптових відмовленнях виконуємо для найбільш несприятливих факторів, а саме:

- максимальних значеннях навколишньої температури;
- максимальних внутрішніх перегрівів елементів;
- максимальної вологості.

Важливою складовою розрахунку надійності є коефіцієнт, який враховує умови експлуатації. Цей коефіцієнт буде мати однакове значення для всіх елементів:

$$K_E = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (6.2)$$

де:

- $K_1=2,5$ – коефіцієнт умов використання для наземної апаратури;
- $K_2=1,2$ – коефіцієнт, який враховує показники температури та вологості;
- $K_3=1,05$ – коефіцієнт, який характеризує висоту на якій експлуатується прилад.

$$K_E = 2,5 \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 3,15$$

Загальна інтенсивність відмов пристрою визначається як сума інтенсивностей відмов кожного елемента приладу:

$$\lambda_0 = \sum_{i=1}^k N_i \cdot \lambda_i \quad (6.3)$$

Середній час напрацювання приладу на відмову за даних умов експлуатації визначають за формулою:[17]

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_0} \quad (6.4)$$

$$\lambda_0 = (0,014 \cdot 3 + 0,063 \cdot 3 + 0,003 \cdot 1 + 0,011 \cdot 4 + 0,189 \cdot 2 + 0,00002 \cdot 150 + 63 \cdot 1) \cdot 10^{-6} = 63,9648 \cdot 10^{-6}.$$

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.3

Зведена таблиця елементів

Тип елемента	Позначення	К-сть елементів	Базова інтенсивність відмов $\lambda_B \cdot 10^6$ 1/год	Коефіцієнт навантаження K_H	Робоча інтенсивність відмов $\lambda_i \cdot 10^6$ 1/год
Резистор	R1...R3	3	0,044	0,1	0,014
Світлодіод	VD1	3	0,091	0,22	0,063
Динамік	SPK1	1	0,0041	0,2	0,003
Мікросхема	DD1, DD2, DD3, HG1	4	0,023	0,15	0,011
Кнопки	SB1, SB2	2	0,6	0,1	0,189
Блок живлення		1	630	0,1	63
Точки пайки	—	150	0,00007	0,1	0,00002
Загальна сума					63,96

Час на безвідмовну роботу складає:

$$T_0 = 1/\lambda_0 = 15633,6(\text{годин})$$

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

7.ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1.Охорона праці

Охорона праці в Україні – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності працівників у процесі трудової діяльності.

Законодавча база охорони праці в Україні

1. Конституція України (ст. 43). Гарантує кожному працівнику право на безпечні й здорові умови праці.

2. Закон України "Про охорону праці". Основний закон, що визначає основи державної політики, обов'язки роботодавця та працівника, механізми захисту.

3. Кодекс законів про працю України (КЗпП). Містить розділ XI "Охорона праці", де визначено норми безпеки праці, права працівника на відмову від небезпечної роботи, порядок надання спецодягу, тощо.

4. Закон України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування". Забезпечує страхування у випадку нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань.

5. Державні санітарні норми, ДСТУ, технічні регламенти, НАПБ, правила безпеки (НАПБ А.00.001, тощо). Конкретизують вимоги до безпечного виконання робіт у різних галузях.

В Україні охорона праці на підприємствах організовується через створення роботодавцем безпечних умов праці, проведення відповідних інструктажів, забезпечення працівників спеціальним одягом та медичними оглядами. Відповідальність за охорону праці покладається на визначену особу або спеціальний відділ на підприємстві. Навчання працівників з охорони праці включає первинний, повторний, позаплановий і цільовий інструктажі, без яких допуск до роботи заборонений.

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У разі нещасного випадку на виробництві проводиться розслідування відповідно до постанови Кабінету Міністрів, складається спеціальний акт, який подається до Фонду соціального страхування.

Контроль за дотриманням норм охорони праці здійснює Державна служба України з питань праці, що проводить планові та позапланові перевірки і може накладати штрафи за порушення. Працівники мають право відмовитись від виконання небезпечної роботи без втрати заробітку, отримувати достовірну інформацію про умови праці та вимагати усунення порушень. Фінансування заходів з охорони праці забезпечує роботодавець, витрачаючи на це не менше 0,5% від річного фонду оплати праці підприємства.

7.2.Охорога праці при розробці та роботи з системою

Охорона праці при розробці комп'ютеризованої системи вимірювання та реєстрації вібрацій поверхні Землі передбачає забезпечення безпечних умов праці для всіх учасників проєкту. Перш за все, важливо організувати робоче місце таким чином, щоб мінімізувати ризики, пов'язані з електробезпекою, адже система включає складне електронне обладнання.

Працівники повинні пройти відповідне навчання та інструктажі з охорони праці, особливо з питань роботи з електронікою та програмним забезпеченням.

Необхідно забезпечити застосування засобів індивідуального захисту, зокрема, при монтажі та обслуговуванні апаратури, а також дотримуватися правил ергономіки для запобігання професійних захворювань, пов'язаних з тривалим перебуванням за комп'ютером.

При виїзді на місцевість для проведення вимірювань потрібно враховувати ризики, пов'язані з природними умовами, та забезпечити працівникам відповідний спецодяг і захист.

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крім того, обов'язковим є регулярний медичний контроль працівників, які працюють із системою, щоб своєчасно виявляти можливі негативні впливи виробничого середовища.

Контроль за дотриманням норм охорони праці має здійснюватися відповідальним відділом чи спеціалістом підприємства. Усі заходи з охорони праці повинні фінансуватися у відповідності з законодавчими вимогами.

Охорона праці при роботі з комп'ютеризованою системою вимірювання та реєстрації вібрацій поверхні Землі полягає в забезпеченні безпечних умов для оператора та технічного персоналу.

Перед початком роботи необхідно пройти інструктаж з охорони праці, який включає правила безпечного поводження з електронним обладнанням і програмним забезпеченням системи.

Важливо дотримуватися правил електробезпеки, уникати контакту з відкритими електричними частинами та контролювати справність кабелів і з'єднань.

Робоче місце повинно бути правильно організоване з урахуванням ергономіки, щоб запобігти втомі, перенапруженню очей і м'язів при тривалій роботі за комп'ютером.

При проведенні вимірювань на місцевості слід використовувати засоби індивідуального захисту, відповідний спецодяг і взуття, враховуючи погодні та природні умови. Також потрібно дотримуватися правил безпеки під час транспортування та встановлення обладнання.

Регулярний медичний огляд допомагає контролювати стан здоров'я працівників. Контроль за дотриманням норм охорони праці покладається на відповідальних осіб підприємства, які забезпечують своєчасне оновлення інструктажів і перевірок.

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7.3.Охорона праці при землетрусі

Охорона праці при землетрусі полягає в підготовці та забезпеченні безпеки працівників до, під час і після події. Важливо проводити регулярні навчання та тренування з дій у разі землетрусу, щоб кожен працівник знав, як швидко і правильно реагувати.

До початку роботи необхідно організувати евакуаційні маршрути, позначити безпечні зони та перевірити їх доступність.

Під час землетрусу потрібно негайно припинити роботу, захистити голову і тіло, сховавшись під міцними меблями або у спеціально відведених безпечних місцях.

Після стихійного явища слід оцінити стан приміщень і обладнання, уникати використання пошкоджених електричних пристроїв і повідомляти відповідальні служби про небезпеки.

Важливо підтримувати порядок і дисципліну, щоб запобігти паніці та травмам.

Роботодавець зобов'язаний забезпечити умови для проведення таких заходів і надати необхідні засоби індивідуального захисту.

Під час землетрусу найголовніше зберігати спокій і діяти швидко, але обережно. Якщо ви перебуваєте в приміщенні, слід негайно сховатися під міцним столом або іншою стійкою конструкцією, яка захистить від падіння предметів. Якщо такої можливості немає, потрібно прикрити голову руками і присісти в кутку кімнати, подалі від вікон, шаф та дверей. Не варто виходити на вулицю під час поштовхів, оскільки це може бути небезпечно через падіння уламків або електропроводів. Після припинення основних поштовхів слід обережно вийти з будівлі, уникаючи ліфтів, і рухатися до заздалегідь визначених безпечних зон або евакуаційних виходів. Важливо слухати повідомлення від рятувальних служб і дотримуватися їхніх вказівок. Якщо ви перебуваєте на вулиці, тримайтеся подалі від будівель, дерев, ліній електропередач і інших потенційно небезпечних об'єктів. У жодному разі не панікуйте і допомагайте тим, хто потребує підтримки.

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У разі оповіщення про загрозу землетрусу чи появи його ознак слід діяти швидко, але спокійно, впевнено й без паніки.

Якщо про загрозу землетрусу попередили завчасно, перш ніж залишити квартиру (дім), слід вимкнути нагрівальні пристрої й газ, якщо топилася піч – загасити її; після цього одягти дітей, людей похилого віку, одягтися, взяти найпотрібніші речі, невеликий запас продуктів, медикаменти, документи та вийти на вулицю. На вулиці якомога швидше відійти від будівель і споруд у напрямку площ, широких вулиць, скверів, спортивних майданчиків, незабудованих ділянок, дотримуючись встановленого громадського порядку.

Якщо землетрус почався раптово, і зібратися та вийти з квартири (будинку) неможливо, найліпше залишитися там, а як тільки стихнуть перші поштовхи, вийти на вулицю.

У подальшому діяти відповідно до обставин, виконувати розпорядження органів управління з питань надзвичайних ситуацій та цивільного захисту населення.

Перевірте, чи немає поблизу потерпілих, сповістіть про них рятувальників та, за змоги, надайте допомогу. Беріть участь у негайній допомозі іншим.

У будівлі:

- якщо ви на першому чи другому поверхах, швидко залишіть будинок та відійдіть від нього на відкрите місце;
- відійдіть подалі від високих споруд, шляхопроводів, мостів та ліній електропередач, високих дерев;
- звертайте увагу на небезпечні предмети, що можуть бути на землі (дроти під напругою, скло, уламки тощо);
- не підходьте близько до місця пожежі;
- не ховайтеся поблизу гребель, річкових долин, на морських пляжах і берегах озер;
- якщо ви у висотній будівлі вище від п'ятого поверху, не кидайтесь до сходів: вихід буде найбільш заповнений людьми, не користуйтеся ліфтом;

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– падайте там, де ви є, спираючись на руки та коліна. Така поза захистить життєво важливі органи від предметів, що падають, і допоможе зберігати рівновагу;

– якщо поблизу є надійний стіл – залізьте під нього. Якщо укриття немає, тримайтеся ближче до однієї з внутрішніх стін;

– прикрийте голову і шию руками чи предметом, який допоможе захистити голову та обличчя від уламків, наприклад книжкою.

– якщо це можливо, відійдіть подалі від скляних і нестійких речей, які можуть впасти і травмувати вас, вікон;

– негайно залишіть кутові кімнати, якщо перебуваєте вище від другого поверху.

В авто:

– зупиніться на відкритій місцевості, відчиніть двері та залишайтеся в авто до припинення коливань;

– не зупиняйтеся під мостами, шляхопроводами, лініями електропередач, біля будівель та дерев;

– не загороджуйте дорогу іншим транспортним засобам.

У громадському місці:

– головною небезпекою є юрба, що піддалась паніці;

– схрестіть руки на грудях, щоб не зламати грудну клітку;

– намагайтеся не опинитися між юрбою і перешкодою.

У школі та інших навчальних закладах:

– дотримуйтеся заздалегідь розробленого відповідними органами плану;

– тримайте ситуацію під контролем, щоб допомогти іншим;

– тренування, заздалегідь проведені з дітьми, допоможуть діяти більш правильно і спокійно;

– дітям необхідно знати, де знайти притулок – якщо вчитель ховається під столом, учні мають використовувати свої парти (кожен крок дорослого мають повторювати діти);

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– у вчителя має бути повний список присутніх учнів, і, виходячи з приміщення, він повинен його звірити з наявністю дітей;

– подбати про передачу дітей батькам чи у спеціально призначені центри збору.

У потягу:

– будьте готові до того, що як тільки відбудеться поштовх, можливе відключення електроенергії (вагон зануриться в темряву, але, незважаючи на це, не слід піддаватися паніці);

– підземні станції у разі землетрусу є безпечним місцем (металоконструкції дають змогу їм добре протистояти поштовхам).

Під уламками:

– дихайтеглибоко, не дозволяйте страху перемогти себе;

– оцініть ситуацію і визначте, що є в ній позитивного;

– пам'ятайте, що людина здатна витримати спрагу й голод протягом достатньої кількості днів, якщо не буде даремно витрачати енергію;

– будьте впевнені, що допомога прийде обов'язково;

– знайдіть у кишенях або поблизу предмети, що могли б допомогти подавати світлові чи звукові сигнали (наприклад, будь-яким предметом стукати по трубах чи стінах, щоб привернути увагу);

– пристосуйтеся до обстановки і намагайтеся знайти можливий вихід;

– у разі нестачі повітря не запалюйте свічок, що випалюють кисень;

– якщо єдиним шляхом виходу є вузький лаз, необхідно просуватися крізь нього. Для цього потрібно, розслабивши м'язи, поступово просуватися, притиснувши лікті до боків і рухаючись ногами вперед.

Дії після землетрусу:

– зберігайте спокій, заспокойте дітей та тих, хто отримав психологічну травму внаслідок землетрусу, оцініть ситуацію;

– допоможіть, за змоги, потерпілим, викличте медичну допомогу тим, хто її потребує;

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- переконайтеся, що житло не ушкоджено. Будьте дуже обережні, може статися раптове обвалення, а також загрожувати небезпека від витоку газу, ліній електромереж, розбитого скла;
- перевірте зовнішнім оглядом стан мереж електро-, газо- та водопостачання;
- перевірте, чи немає загрози пожежі;
- не користуйтеся відкритим вогнем, освітленням, нагрівальними приладами, газовими плитами, доки не буде впевненості, що немає витоку газу;
- не користуйтеся довго телефоном, щоб не перевантажувати лінію;
- не поспішайте оглядати місто, не відвідуйте зони руйнувань, якщо там не потрібна допомога;
- уникайте морського узбережжя, де може виникнути небезпека від морських хвиль, спричинених сейсмічними поштовхами;
- будьте готовими до повторних поштовхів;
- забезпечте себе питною водою;
- обов’язково кип’ятіть питну воду, вона може бути забруднена;
- дізнайтеся в місцевих органах влади та місцевого самоврядування адреси організацій, що відповідають за надання допомоги населенню [18].

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Комп'ютеризована система вимірювання та реєстрації вібрацій поверхні Землі є ефективним технічним рішенням для виявлення сейсмічної активності та локальних коливань ґрунту.

У склад системи входять мікроконтролер Arduino Nano, два акселерометри GY-61, LCD-дисплей 1602A, тактові кнопки, динамік, світлодіод, резистори та роз'єм живлення.

Завдяки використанню сучасних датчиків (акселерометрів), мікроконтролера Arduino та візуально-звукових засобів індикації, система дозволяє оперативно фіксувати зміни у вібраційному полі та своєчасно попереджати користувача про можливу небезпеку. Такий підхід сприяє підвищенню безпеки, а також дає змогу удосконалити методи спостереження за природними явищами за допомогою недорогих, але надійних технічних засобів.

Розроблено структурну схему, на базі якої були підібрані всі необхідні комплектуючі для реалізації комп'ютеризованої системи вимірювання та реєстрації вібрацій поверхні Землі. Створено електричну принципову схему та розроблено друковану плату, яка забезпечує компактне та надійне з'єднання всіх елементів. Розрахована надійність системи, яка склала 15633 годин, розрахована похибка вимірювання, яка складає $0,196 \text{ м/с}^2$. Діапазон вимірювання системи складає від -29.43 м/с^2 до $+29.43 \text{ м/с}^2$. Розроблений алгоритм роботи системи, відповідно до якого написано програмне забезпечення для мікроконтролера Arduino Nano.

Розроблена система має ряд переваг, серед яких: висока чутливість до вібрацій завдяки використанню акселерометрів ADXL335; автоматичне виявлення коливань із подальшою звуковою та візуальною індикацією; зручне відображення інформації на LCD-дисплеї; низька вартість і доступність компонентів; можливість розширення функціоналу та адаптації під різні умови експлуатації.

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Желібо Е.П., Заверуха Н.М., Зацарний В.В. «Безпека життєдіяльності». – с. 164–191.
2. Заверуха Н.М. Безпека життєдіяльності. – К., 1999.
3. Захарченко М.В., Орлов М.В., Голубєв А.К. та ін. Безпека життєдіяльності у повсякденних умовах виробництва, побуту та у надзвичайних ситуаціях: Навч. посібник. – К.: ІЗМИ, 1996. – 196 с.
4. Сейсмічний детектор AX PRO DS PDMC EG2 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.megateh.eu/files/datasheet/hikvision/ds-pdmc-eg2-web_datasheet_20230717.pdf.
5. Датчик раннього виявлення землетрусів Earthquake ACS 3.0 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://earthquakesound.com/product/acs3-0>.
6. Низькочастотний трансдюсер Earthquake Quake Q10B [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dasha.com.ua/ru/earthquake-quake-q10b-1>.
7. Arduino nano [Електронний ресурс]. – Режим доступу: bitkit.com.ua/ru/shho-take-arduino.
8. Що таке датчики вібрації та в яких випадках вони використовуються [Електронний ресурс]. – Режим доступу: chortkiv.city/articles/160713/scho-take-datchiki-vibracii-ta-v-yakih-vipadkah-voni-vikoristovuyutsya.
9. Що таке тактові кнопки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://moodle.taltech.ee/mod/book/view.php?id=246884&chapterid=6929>.
10. Символьні дисплеї [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://3d-diy.ua/wiki/arduino-displei/simvolnyy-display-lcd-1602-1604>.
11. Arduino nano [Електронний ресурс]. – Режим доступу: arduino.ua/prod166-arduino-nano-v3-0-avr-atmega328p-s-raspayannimi-razemami.
12. Акселерометр триосьовий ADXL335 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: radiostore.com.ua/p1077033995-akselerometr-adxl335-osevoj.html.

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. LCD 1602A [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://lastminuteengineers.com/arduino-1602-character-lcd-tutorial>.

14. Тактока кнопка KY-004 [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://sxema.com.ua/ua/p1065306646-modul-taktovoj-knopki.html>.

15. Світлодіод лед 5мм червоний[Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduinoakit.com.ua/ua/p1040298291-svetodiod-led-krasnyj.html>.

16. Блок живлення модель Max-389 [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://rozetka.com.ua/ua/483119149/p483119149>.

17. Конструювання та технологія виробництва техніки реєстрації інформації: у 3-х кн. кн. 2. основи конструювання: Навчальний посібник / Є. М. Травніков, В. С. Лазебний, Г. Г. Власюк, В. В. Пілінський, В. М. Співак, В. Б. Швайченко. За загальною редакцією В. С. Лазебного – К.: «КАФЕДРА», 2015.

18. Як поводитися під час землетрусу // Науково-виробничий журнал Охорона праці. [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://ohoronapraci.kiev.ua/article/news/ak-povoditisa-pid-cas-zemletrusu>.

					МММТ 480.014.015 – ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		