

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ,
МЕХАТРОНІКИ І РОБОТОТЕХНІКИ

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра
на тему:

Комп'ютеризований пристрій вимірювання вібрацій гідравлічного пресу

Виконав: студент 4 курсу, групи МТ-5
напряму Метрологія та інформаційно-
вимірювальна техніка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Дем'янюк Данило Олександрович

(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н., професор, ІВТ

Пількевич І.А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____.

(прізвище та ініціали)

Житомир 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій
Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри метрології та
інформаційно-вимірювальної техніки
д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

«_22_» _квітня_ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студента Дем'нюка Динили Олександровича

1. Тема роботи: Комп'ютеризований пристрій вимірювання вібрацій гідравлічного пресу

Затверджена Наказом по університету від «22» _квітня_ 2026 р. № 175/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру «19» _червня_ 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: вивід вимірянних значень вібрацій гідравлічного пресу на дисплей, похибка вимірювання $\pm 0,22$ м/с².

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці):
аналіз сучасних систем вимірювання вібрацій гідравлічного пресу, розробка структурної схеми, розробка принципової схеми, розробка блок-схеми алгоритму та програми, розрахунок надійності та точності

5. Перелік графічного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових креслень): структурна схема, принципова схема, друкована плата, блок-схема алгоритму

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи бакалавра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-7	Пількевич І.А.		

7. Дата видачі завдання 22 квітня 2026 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючих засобів вимірювання вібрації гідравлічних пресів.	22.04.2026 – 29.04.2026	
2	Формування технічних вимог	30.04.2026 – 06.05.2026	
3	Розробка структурної схеми	07.05.2026 – 13.05.2026	
4	Розробка принципової електричної схеми пристрою та проектування друкованої плати.	14.05.2026 – 22.05.2026	
5	Розробка блок-схеми алгоритму роботи системи та програмного забезпечення	23.05.2026 – 31.05.2026	
6	Розрахунок надійності пристрою та оцінка похибок	01.06.2026 – 05.06.2026	
7	Розробка заходів з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.	06.06.2026 – 09.06.2026	
8	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу та підготовка до захисту.	10.06.2026 – 14.06.2026	

Студент

_____ (підпис)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Дем'янюк Д.О.

_____ (прізвище та ініціали)

Пількевич І.А.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота бакалавра на тему «Комп'ютеризований пристрій вимірювання вібрацій гідравлічного пресу» містить 67 сторінок, 19 рисунків, 6 таблиць, 13 формул, 20 джерел.

У роботі на основі аналізу літературних джерел обґрунтовано актуальність створення комп'ютеризованого пристрою для контролю та аналізу вібраційних параметрів промислового гідравлічного обладнання. Розроблено структурну та принципову електричну схеми вимірювальної системи, а також спроектовано відповідну друковану плату для первинного оброблення та передачі даних. Складено блок-схему алгоритму роботи системи та реалізовано її програмне забезпечення. Виконано розрахунки точності вимірювання вібропараметрів та надійності розробленого пристрою. Окрему увагу приділено питанням охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях під час експлуатації та обслуговування вимірювального комплексу.

Ключові слова: вібрація, гідравлічний прес, акселерометр ADXL335, Arduino Nano.

ANNOTATION

The Bachelor's thesis entitled "Computerized Device for Measuring Hydraulic Press Vibrations" contains 67 pages, 19 figures, 6 tables, 13 formulas, and 20 references.

Based on the analysis of literature sources, the thesis substantiates the relevance of developing a computerized device for monitoring and analyzing the vibration parameters of industrial hydraulic equipment. The structural and schematic circuit diagrams of the measuring system have been developed, and the corresponding printed circuit board (PCB) for primary data processing and transmission has been designed. A block diagram of the system's operation algorithm has been compiled, and its software has been implemented. Calculations of the vibration parameter measurement accuracy and the reliability of the developed device have been performed. Special attention is given to occupational health and safety regulations, as well as emergency safety measures during the operation and maintenance of the measuring complex.

Keywords: vibration, hydraulic press, ADXL335 accelerometer, Arduino Nano, measuring device, signal processing.

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.....	11
2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРИЛАДІВ.....	12
2.1. Огляд та аналіз існуючих приладів.....	12
2.2. Порівняльний аналіз приладів.....	17
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	20
3.1. Опис структурної схеми.....	20
3.2. Обґрунтування мікроконтролера.....	21
3.3. Обґрунтування світлової сигналізації	24
3.4. Обґрунтування акселерометра	25
3.5. Обґрунтування дисплея.....	27
3.6. Обґрунтування кнопки.....	28
3.7. Обґрунтування акумулятора та стабілізатора напруги.....	29
3.8. Побудова структурної схеми.....	30
4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	32
4.1. Вибір мікроконтролера	32
4.2. Вибір світлової сигналізації	33
4.3. Вибір акселерометра	34
4.4. Вибір дисплея.....	36
4.5. Вибір кнопки.....	37
4.6. Вибір акумулятора та стабілізатора напруги	39
4.6. Принципова схема.....	40
5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ.....	42
5.1. Розробка алгоритму	42
5.2. Розробка програми.....	44
6. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	47
6.1. Розробка друкованої плати.....	47
6.2. Розрахунок похибки.....	50
6.3. Розрахунок надійності.....	53
7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ.....	57
7.1. Розробка заходів з охорони праці	57
7.2. Закони та стандарти з охорони праці.....	58
7.3. Безпека життєдіяльності на підприємстві.....	59
7.4. Навчання, інструктаж працівників з питань охорони праці	62
ВИСНОВКИ.....	64
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66
ДОДАТКИ.....	68

					МММТ 480.006.006 - ПЗ			
Зм.		№ докум.	Підпис	Дат				
Розробив	Дем'янюк Д.О.				Комп'ютеризований пристрій вимірювання вібрацій гідравлічного пресу Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевірів	Пількевич І.А.						5	67
Рецензент						ДУ «Житомирська політехніка». МТ-5		
Н. контр.								
Затверд.	Подчашинський							

ВСТУП

Сучасні технології, що дозволяють здійснювати безперервний контроль параметрів промислового обладнання, є надзвичайно важливими в інженерній та виробничій сферах, коли своєчасне та точне визначення технічного стану вузлів і механізмів може запобігти масштабним аваріям та значним фінансовим збиткам.

На сьогоднішній день комп'ютеризовані пристрої вимірювання вібрацій широко використовуються у металообробній та ковальсько-штампувальній промисловості для експрес-діагностики й постійного контролю стану гідравлічних пресових установок. Динамічні навантаження, що виникають під час штампування, згинання, витяжки чи пресування металів, неминуче викликають вібрації, аналіз яких дозволяє виявити знос гідроциліндрів, високонапірних насосів, напрямних та деформацію станини ще до настання їхньої відмови. У перспективі ці пристрої стануть ще більш необхідними у зв'язку зі зростаючою потребою у мобільних, точних та інтегрованих у загальнозаводську мережу засобах технічного моніторингу.

Розробка, що розглядається, спрямована на розв'язання проблеми точного, швидкого та безперервного моніторингу вібропараметрів гідравлічного пресу з використанням сучасних мікроконтролерних засобів та оптимізованих алгоритмів первинної обробки й передачі вимірювальних даних на комп'ютер. Ця розробка має важливе значення як для промислових підприємств, що прагнуть підвищити коефіцієнт готовності обладнання, так і для обслуговуючого персоналу з метою зниження ризиків виробничого травматизму.

На ринку вже існує кілька виробів-аналогів, таких як стаціонарні віброаналізатори та портативні віброметри, які використовуються для контролю промислового обладнання. Проте більшість з них має ряд недоліків, серед яких висока вартість, складність інтеграції в наявні локальні комп'ютеризовані системи автоматизації, відсутність можливості гнучкого налаштування алгоритмів під конкретний тип пресу, а також обмежена

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						6
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

стійкість до специфічних електромагнітних завад від промислової мережі. Ці недоліки вказують на необхідність розробки нових, більш досконалих, економічно доступних та оптимізованих пристроїв.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є розробка комп'ютеризованого пристрою вимірювання вібрацій гідравлічного пресу з високими показниками точності та надійності на базі сучасної мікроконтролерної платформи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1.Сформулювати технічне завдання та вимоги до вимірювального пристрою;

2.Провести аналіз літературних джерел та існуючих технічних рішень за темою дипломної роботи;

3.Розробити структурну схему комп'ютеризованої вимірювальної системи;

4.Розробити принципову електричну схему пристрою та спроектувати відповідну друковану плату;

5.Розробити блок-схему алгоритму роботи та програму для мікроконтролера;

6.Виконати розрахунок надійності пристрою та оцінку похибок вимірювання вібропараметрів;

7.Провести огляд питань з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях під час експлуатації та обслуговування комплексу.

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						7
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1.Призначення та область застосування

Комп'ютеризований пристрій призначений для оперативного та безперервного контролю технічного стану гідравлічного пресового устаткування шляхом високоточного вимірювання, первинної обробки та передачі на комп'ютер параметрів механічної вібрації (віброприскорення, віброшвидкості або амплітуди зміщення). Пристрій дозволяє в режимі реального часу виявляти дефекти на ранніх стадіях та попереджати аварійні ситуації.

Область застосування пристрою:

1.Металообробна промисловість: моніторинг стану ковальсько-штампувальних, гнучких та формувальних гідравлічних пресів для забезпечення точності геометричних параметрів деталей та захисту дорогої оснастки.

2.Автомобілебудування: контроль роботи пресових ліній великої потужності, що використовуються для серійного виготовлення кузовних елементів та деталей шасі.

3.Промислове виробництво та машинобудування: діагностика будь-яких типів гідроприводів, технологічних пресів для вторинної переробки сировини, що піддається циклічним динамічним навантаженням.

4.Науково-дослідний та освітній сектор: використання пристрою як апаратної платформи у лабораторних практикумах для вивчення методів цифрової обробки сигналів, вібраційної діагностики та проектування систем.

1.2.Умови експлуатації

Розроблений комп'ютеризований пристрій вимірювання вібрацій призначений для роботи в умовах виробничих приміщень металообробних та машинобудівних підприємств. Кліматичні та механічні умови експлуатації

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						8
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

відповідають стандартам для промислової електронної апаратури та визначаються такими параметрами:

- Температура робочого простору: від +10 °С до +45 °С;
- Відносна вологість повітря: до 80% при температурі +25 °С;
- Атмосферний тиск: від 84,0 до 106,7 кПа (діапазон від 630 до 800 мм рт. ст.);
- Запиленість та мастильні випари: допускається наявність у повітрі робочої зони дрібнодисперсного пилу та парів індустриальних мастил у межах гранично допустимих концентрацій для закритих виробничих приміщень;
- Ступінь захисту корпусу: конструкція корпусу вимірювального блока повинна забезпечувати рівень захисту не нижче IP54 (захист від пилу та бризок мастила чи води), а виносний датчик-акселерометр, що кріпиться безпосередньо на станину пресу не нижче IP65/IP67;
- Пристрій завадостійкий до постійних вібрацій, тряски та високоінтенсивних імпульсних навантажень (ударів), що генеруються гідравлічним пресом під час технологічних операцій штампування чи згинання;
- Режим роботи: тривалий безперервний (протягом робочої зміни до 8–12 годин) або періодичний під час проведення сервісного експрес-аудиту обладнання;
- Живлення пристрою: постійний струм напругою 5 В від зовнішнього портативного джерела (Power Bank) або інтегрованого літій-полімерного акумулятора з контролером заряду.

1.3. Технічні параметри системи

Комп'ютеризований пристрій вимірювання вібрацій гідравлічного пресу має чітко визначену структуру входних і вихідних даних та сигналів.

Вхідна інформація та сигнали системи:

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						9
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

1. Керуючий вхід: використовується для прийому дискретного сигналу від тактової кнопки керування, призначеної для увімкнення/вимкнення пристрою, ініціалізації початку сеансу вимірювання вібропараметрів або скидання поточних показників на екрані.

2. Основне джерело вхідної інформації: тривісний аналоговий акселерометр. Первинна інформація про динамічне прискорення (вібрацію) станини чи вузлів гідравлічного пресу по трьох взаємно перпендикулярних осях (X, Y, Z) надходить до мікроконтролера у вигляді безперервних аналогових сигналів напруги, пропорційних миттєвому прискоренню.

3. Вхід електроживлення: постійна напруга від вбудованого літій-іонного акумулятора. Для забезпечення стабільної робочої напруги вузлів системи використовується імпульсний підвищувальний стабілізатор напруги.

Вихідна інформація та сигнали системи:

1. Основний вихід даних: цифрові значення обчислених параметрів вібрації (амплітудне або середньоквадратичне значення віброприскорення в g або m/s^2), які виводяться на дисплей у режимі реального часу.

2. Світлодіодна індикація: надяскраві світлодіоди, які сигналізують про поточний стан пристрою та рівень вібрації. Зелений світлодіод вказує на нормальний рівень віброакустичного сигналу пресу; червоний світлодіод сигналізує про перевищення критичного порогу вібрації.

Центральною керуючою ланкою системи є мікроконтролер. Він функціонує за чітким алгоритмом: здійснює послідовне опитування вбудованих каналів аналого-цифрового перетворювача (АЦП), до яких підключені виходи осей акселерометра, реалізує алгоритми цифрової фільтрації (для відсікання випадкових високочастотних завад і шумів промислового цеху), обчислює результуючий вектор віброприскорення, порівнює поточні значення із гранично допустимими технологічними нормами пресу, формує пакети вихідних даних для передачі на ПК, керує станом світлодіодів та дисплеєм.

Технічні характеристики системи та її складових частин:

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						10
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

- Точність вимірювання: абсолютна похибка не перевищує $\pm 0,25 \text{ м/с}^2$;
- Діапазон вимірювання прискорення: від $-3g$ до $+3g$ по кожній з осей (X, Y, Z);
- Робочий частотний діапазон вимірювання вібрацій: від 0.5 Гц до 500 Гц.

1.4.Вимоги до конструктивного оформлення

Пристрій має бути виконаний у компактному, ергономічному, пило- та ударостійкому пластиковому корпусі (рекомендовано моделі N8A чорного кольору), що забезпечує надійну фіксацію електронних компонентів та стійкість до специфічних умов промислового цеху (вібрації, мастильні випари).

Максимальні габарити електронного блока вимірювальної системи не повинні перевищувати 134x70x28мм, а внутрішня друкована плата має бути спроєктована в межах 125x60мм. Конструкція системи повинна мати оптимально мінімальну вагу разом із джерелом живлення (акумулятором) для забезпечення мобільності пристрою та зручності його використання як портативного пристрою.

На корпусі мають бути передбачена кнопка керування для увімкнення/скидання, технологічні отвори для світлодіодів індикації режимів роботи, вікно для дисплея, а також захищений кабельний вивід для підключення виносного датчика-акселерометра, що кріпиться безпосередньо на об'єкті дослідження.

За надійністю апаратної частини система належить до класу виробів тривалого багаторазового застосування. Середнє напрацювання пристрою до відмови становить не менше 14 000 годин.

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						11
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРИЛАДІВ

2.1.Огляд та аналіз існуючих приладів

З метою виявлення переваг та недоліків наявних технічних засобів вібродіагностики, у даному розділі розглянуто сучасні прилади-аналоги для вимірювання вібрацій, що дозволить сформулювати вимоги до оптимізації нашого приладу.

На вітчизняному ринку засобів вимірювальної техніки найбільше поширення здобули портативні віброметри таких відомих брендів, як UNI-T, Fluke та WT63B. Зазначені прилади охоплюють різні цінові сегменти і широко застосовуються для оперативного контролю параметрів динамічного прискорення, віброшвидкості та вібропереміщення промислового обладнання: електродвигунів, насосних агрегатів, а також ковальсько-штампувальних гідравлічних пресів.

Поряд із закордонними аналогами, у промисловому секторі України використовуються засоби вібродіагностики власного (вітчизняного) виробництва. Зокрема, приватне підприємство НВП "Контест" здійснює проектування та серійний випуск спеціалізованих вимірювальних приладів, орієнтованих на моніторинг технічного стану підшипникових вузлів та роторного устаткування.

Сучасний стан ринку вимірювального обладнання дозволяє здійснювати гнучкий вибір між імпортними та вітчизняними апаратними рішеннями, виходячи з конкретних метрологічних завдань, умов експлуатації та виділеного економічного бюджету.

Цифровий віброметр UNI-T UT311A представлено на рис.2.1. UNI-T UT311A – це портативний цифровий віброметр, призначений для вимірювання віброприскорення, швидкості та зміщення механічного обладнання. Серед переваг приладу – широкий діапазон, простота експлуатації та зручність транспортування. Цей віброметр ідеально підходить для виявлення вібрації обладнання в енергетичній, металургійній та нафтохімічній промисловості.

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						12
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		



Рис.2.1. Цифровий віброметр UNI-T UT311A

Технічні характеристики UNI-T UT311A:

- Вимірювання прискорення (PEAK): 0,1 ~ 199,9 м/с²;
- Частота: низька (LO) 10 Гц ~ 1 кГц, висока (HI) 1 кГц ~ 15 кГц;
амплітудна похибка: $\pm(5\% + 2 \text{ одиниці розряду})$;
- Вимірювання швидкості (RMS): 0,1 ~ 199,9 мм/с;
- Частота: 10 Гц ~ 1,5 кГц; амплітудна похибка: $\leq \pm(5\% + 2 \text{ одиниці розряду})$;
- Вимірювання зміщення (P-P): 0,001 ~ 1,999 мм;
- Частота: 10 Гц ~ 1 кГц; амплітудна похибка: $\leq \pm(10\% + 2 \text{ одиниці розряду})$;
- Ресурс батареї: до 12 годин безперервної роботи;
- Тип дисплея: 2,4-дюймовий кольоровий TFT-екран (з функцією автообертання);
- Живлення: вбудований літій-іонний акумулятор 3,7 В/1350 мАг (заряджання через інтерфейс Type-C, DC 5 В);
- Габарити: 180 x 64 x 28 мм (з урахуванням короткого щупа);

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						13
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

- Вага: близько 191 г;
- Гарантія: 12–24 місяці;
- Ціна: 15 300 грн[1].

Віброметр Fluke 810 представлений на рис.2.2. Вимірювач вібрацій Fluke 810 – це сучасний діагностичний пристрій, призначений для швидкого та точного визначення стану механічного обладнання. Завдяки передовим технологіям, цей прилад дозволяє фахівцям миттєво виявляти механічні несправності, оцінювати їхню серйозність та пріоритетність усунення. Він значно спрощує процес технічного обслуговування, скорочуючи час на діагностику та підвищуючи ефективність роботи команди. Fluke 810 ідеально підходить для професійного використання, відрізняється високою точністю, надійністю та довговічністю, що робить його незамінним інструментом для запобігання простоям та підтримці справності обладнання.



Рис.2.2. Віброметр Fluke 810

Технічні характеристики Fluke 810:

- Вимірювання прискорення (PEAK): 0,1 ~ 199,9 м/с² (в автоматичному режимі);
- Частота діагностичного аналізу: від 2 Гц до 20 кГц (частота дискретизації АЦП до 51,2 кГц);
- Амплітудна похибка вимірювання: $\leq \pm 5\%$ (відповідно до вимог ISO 10816);

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		14

- Цифрова обробка сигналу: 24-бітний аналого-цифровий перетворювач (АЦП), динамічний діапазон 100 дБ, віконна функція Ханнінга;
 - Параметри Фур'є-аналізу (FFT): роздільна здатність спектра на 400, 800 та 1600 ліній;
 - Ресурс батареї: не менше 8 годин безперервної роботи в активному режимі;
 - Тип дисплея: 5,7-дюймовий кольоровий VGA-екран (640x480 пікселів) з підсвічуванням;
 - Живлення: літій-іонний акумулятор 14,8 В / 2,6 Аг (заряджання від мережевого адаптера 110–240 В);
 - Об'єм пам'яті: 2 ГБ вбудованої флеш-пам'яті (можливість розширення за допомогою SD-карт);
 - Габарити: 186x241x70мм;
 - Вага: близько 1,5 кг;
 - Гарантія: 12–24 місяці;
 - Ціна: 540 200 грн .[2]
- Віброметр WT63B представлений на рис.2.3.



Рис.2.3. Віброметр WT63B

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		15

Віброметр WT63B є типовим представником сучасних малогабаритних мікропроцесорних приладів, призначених для оперативного технічного обслуговування, експрес-діагностики та періодичного моніторингу параметрів вібрації працюючого промислового обладнання (роторних машин, насосних агрегатів, вентиляційних систем та гідравлічних пресів).

Технічні характеристики WT63B:

- Вимірювання прискорення (PEAK): 0,1 ~ 199,9 м/с²;
- Частота: 10 Гц ~ 1 кГц (ЛО фільтр), 1 кГц ~ 15 кГц (НІ фільтр); амплітудна похибка: $\leq \pm 5\%$;
- Вимірювання швидкості (RMS): 0,1 ~ 199,9 мм/с;
- Частота: 10 Гц ~ 1 кГц; амплітудна похибка: $\leq \pm 5\%$;
- Вимірювання зміщення (P-P): 0,001 ~ 1,999 мм;
- Частота: 10 Гц ~ 1 кГц; амплітудна похибка: $\leq \pm 5\%$;
- Додаткові функції: вбудований Bluetooth-модуль для передачі вимірювань на смартфон/ПК (додаток для Android/iOS), вимірювання температури навколишнього середовища;
- Ресурс батареї: до 15 годин безперервної;
- Тип дисплея: монохромний РК-екран з підсвічуванням та функцією автообертання екрана;
- Живлення: 2 батарейки типу AAA (1,5 В);
- Габарити: 180x54x30 мм;
- Вага: близько 182 г;
- Гарантія: 12 місяців;
- Ціна: 5 280 грн [3].

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						16
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

2.3.Порівняльний аналіз приладів

Для порівняльного аналізу зведемо розглянуті віброметри в таблицю 1.1.

Таблиця 2.1. Порівняльна таблиця аналогів

Характеристика	Fluke 810	Wintact WT63B	UNI-T UT311A
Діапазон прискорення	до 200 м/с ²	0,1 – 199,9 м/с ²	0,1 – 199,9 м/с ²
Діапазон швидкості	Автоматичний	0,1 – 199,9 мм/с	0,1 – 199,9 мм/с
Діапазон переміщення	Автоматичний	0,001 – 1,999 мм	0,001 – 1,999 мм
Частотний діапазон	2 Гц – 20 кГц	10 Гц – 15 кГц	10 Гц – 15 кГц
Точність	≤ ±5%	≤ ±5%	≤ ±5%(од. розр)
Живлення	Li-ion a14.8 В	2 батарейки ААА	Li-ion 3.7 В
Вага	~1500 г	~182 г	~191 г
Дисплей	5,7" кольоровий VGA	Монохромний РК	2,4" кольоровий TFT
Гарантія	12 міс.	12 міс.	12 міс.
Додаткові функції	Експертна діагностика, Фур'є-аналіз (FFT), USB, пам'ять 2 ГБ	Bluetooth-модуль, зв'язок зі смартфоном, автовідключення	Інтерфейс Type-C, автообертання екрана, ліхтарик
Орієнтовна ціна	≈ 540 200 грн	≈ 5 280 грн	≈ 15 300 грн

Переваги розглянутих віброметрів:

1.Fluke 810 є професійним діагностичним комплексом експертного класу. Головна перевага є наявність убудованого інтелектуального двигуна, який не просто вимірює рівень вібрації, а самостійно локалізує причину несправності (дефекти підшипників, розцентрування, дисбаланс) за допомогою спектрального аналізу (FFT). Комплектується виносним тривісним акселерометром.

2.Wintact WT63B вирізняється чудовою мобільністю, низькою ціною та наявністю бездротового інтерфейсу Bluetooth. Це дозволяє оперативно передавати поточні метрологічні дані на смартфон або ПК верхнього рівня для побудови базових часових трендів.

3.UNI-T UT311A є сучасним, збалансованим приладом середнього рівня. Має якісний кольоровий TFT-екран, сучасний порт Type-C для заряджання вбудованого акумулятора та широкий частотний діапазон вимірювання прискорення (до 15 кГц), що дозволяє фіксувати як низькочастотні коливання станини, так і високочастотні акустичні шуми гідросистем.

До недоліків розглянутих віброметрів можна віднести:

1.Fluke 810 має надзвичайно високу (критичну) вартість, що робить його недоступним для більшості вітчизняних підприємств середнього і малого бізнесу, а також унеможлиблює його масове застосування в навчальних лабораторіях. Крім того, він є занадто складним для рутинного щоденного контролю.

2.Wintact WT63B виконаний у моноблочному корпусі із вбудованим на торці датчиком. Це вимагає від оператора постійної ручної фіксації приладу безпосередньо на корпусі працюючого обладнання. В умовах імпульсних ударних навантажень гідравлічного пресу це спричиняє значний дискомфорт та ризик виробничого травматизму, а сила притискання рукою вносить додаткову людську похибку.

3.UNI-T UT311A попри наявність кольорового дисплея та сучасного інтерфейсу живлення, є суто автономним приладом індивідуального користування та не має вбудованих засобів бездротового або дротового зв'язку з комп'ютерними мережами для автоматичної передачі та накопичення історії вимірювань.

4.Загальний недолік аналогів: Жоден із розглянутих серійних пристроїв не забезпечує повної адаптації до специфічних умов безперервного стаціонарного моніторингу конкретного гідравлічного пресу. Вони орієнтовані на періодичні експрес-вимірювання («прийшов-виміряв-пішов») і не дозволяють реалізувати локальну автоматизовану систему з гнучко налаштованою світлодіодною логікою аварійного оповіщення на робочому місці оператора пресу.

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						18
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

У зв'язку з цим доцільним є створення власного комп'ютеризованого пристрою моніторингу вібрацій на базі мікроконтролера Arduino Nano та виносного акселерометра ADXL335, який забезпечить:

- безперервний (стаціонарний) моніторинг віброприскорення по трьох осях без присутності людини в небезпечній зоні штампування;
- виведення критичних параметрів на локальний дисплей SSD1306 та миттєву світлодіодну сигналізацію про аварійні режими (зелений/червоний LED);
- постійну дротову передачу вимірювальних пакетів даних через USB-інтерфейс на ПК верхнього рівня для подальшого аналізу та збереження історії;
- кардинальну оптимізацію витрат (собівартість компонентів у рази нижча за ринкові аналоги);
- ремонтпридатність, масштабованість та можливість програмної кастомізації алгоритмів фільтрації під динамічні характеристики конкретного пресового устаткування.

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						19
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

3.РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

3.1.Опис структурної схеми

Комп'ютеризована система вимірювання вібрацій гідравлічного пресу повинна забезпечувати вирішення наступних завдань:

– Моніторинг вібрацій у режимі реального часу – безперервне зчитування та обробка сигналів динамічного прискорення за допомогою тривісного датчика-акселерометра, закріпленого на гідравлічному пресі.

– Виявлення перевищення допустимих рівнів вібрацій – автоматичне порівняння поточних значень із встановленими технологічними межами для конкретного типу обладнання.

– Світлова сигналізація при нормі та критичних значеннях – активація зеленого світлового індикатора при штатній (безпечній) роботі пресу та увімкнення червоного індикатора у разі фіксації небезпечних аварійних коливань або ударів.

– Відображення виміряних значень на дисплеї – виведення актуальних даних про рівень вібрації на локальний графічний екран у зручному для оператора форматі.

– Автономна робота – забезпечення живлення електронної схеми від вбудованого акумулятора та системи стабілізації напруги без потреби в постійному підключенні до стаціонарної мережі.

– Моніторинг рівня заряду – контроль стану автономного джерела живлення з метою своєчасного інформування користувача про необхідність підзарядки.

– Можливість калібрування та налаштування параметрів – програмне введення допустимих меж вібрації, коефіцієнтів чутливості датчика та частоти збору даних у пам'ять керуючого контролера.

– Компактність та мобільність – розміщення елементів у захисному пластиковому корпусі для зручного переміщення пристрою між різними точками контролю без складного монтажу.

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						20
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

– Вмикання/вимикання пристрою – апаратне керування станом живлення вимірювальної системи за допомогою механічного перемикача.

Склад пристрою для моніторингу вібрацій гідравлічного пресу згідно з його функціями:

– Мікроконтролер. Керує загальною роботою пристрою, здійснює збір та обробку сигналів з первинного перетворювача, управляє відображенням інформації та логікою індикації.

– Тривісний датчик вібрацій (акселерометр). Вимірює динамічне прискорення та вібраційні коливання по трьох просторових осях, забезпечуючи первинні дані для аналізу стану пресу.

– Дисплей. Виводить у реальному часі поточні показники вібрації, рівень заряду автономного джерела живлення та статус роботи системи.

– Блок живлення. Забезпечує тривалу роботу пристрою без підключення до стаціонарної мережі на базі акумуляторної батареї та підтримує стабільний рівень напруги для електронних компонентів.

– Елементи керування. Механічне керування для увімкнення/вимкнення живлення пристрою, перемикання режимів роботи або скидання поточних показників.

– Світлодіоди для оперативного візуального сповіщення користувача про поточний стан обладнання (нормальний або аварійний рівень вібрацій).

3.2. Обґрунтування мікроконтролера

Центральний мікроконтролерний модуль координує роботу всіх вузлів вимірювального пристрою в цілому. Для забезпечення повної функціональності системи до керуючого контролера висувуються такі основні технічні вимоги:

– наявність достатньої кількості цифрових та аналогових виводів для підключення всієї периферії (датчика, дисплея, органів керування та індикації);

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						21
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

- апаратна підтримка послідовних інтерфейсів зв'язку (зокрема, шини I2C для керування графічним дисплеєм);
- низьке енергоспоживання та робоча напруга в діапазоні 3–5 В, що є критичним для автономних пристроїв із живленням від акумулятора;
- простота розробки програмного забезпечення, налагодження та прошивки;
- мінімальні габаритні розміри, висока надійність та стійкість до зовнішніх чинників.

Зважаючи на сформульовані критерії, як потенційну платформу для реалізації пристрою доцільно розглядати мікропроцесорні плати сімейства Arduino, зокрема такі моделі, як Arduino Nano, Arduino Uno та Arduino Mini.

Зведемо в таблицю порівняння цих мікроконтролерних платформ табл.2.1 [4].

Таблиця 2.1. Порівняльні характеристики контролерів Arduino Nano, Arduino Uno, Arduino Mini

Характеристика	Arduino Nano	Arduino Uno	Arduino Mini
Мікроконтролер	ATmega328P	ATmega328P	ATmega328
Напруга живлення	5В	5 В	5 В
Кількість цифрових ввід/вивід (I/O)	14 (6 з PWM)	14 (6 з PWM)	14 (6 з PWM)
Кількість аналогових входів	8	6	8
Максимальна робоча частота	16 МГц	16 МГц	16 МГц
Пам'ять флеш	32 КБ (0,5 КБ для завантажувача)	32 КБ (0,5 КБ для завантажувача)	32 КБ (0,5 КБ для завантажувача)
ОЗП (SRAM)	2 КБ	2 КБ	2 КБ
EEPROM	1 КБ	1 КБ	1 КБ
Розміри плати	45 x 18 мм	68.6 x 53.4 мм	33 x 18 мм
Інтерфейс програмування	USB Mini-B (через чип FTDI або CH340)	USB Type-B (через ATmega16U2)	Serial (через UART)
Живлення через USB	Так	Так	Ні
Вага (приблизно)	7 г	25 г	3 г
Особливості	Компактний, легкий для вбудовування в проекти	Стандартна плата для початківців, великий розмір	Дуже компактний, потребує зовнішнього USB-UART конвертера

Для реалізації апаратної частини комп'ютеризованого пристрою вимірювання вібрацій гідравлічного пресу було обрано мікроконтролерну плату Arduino Nano. Даний вибір зумовлений низкою її техніко-експлуатаційних переваг:

1.Мінімальні масогабаритні показники. Завдяки компактним розмірам (45x18мм), плата легко інтегрується у малогабаритний захисний корпус пристрою. Це є критично важливим фактором в умовах промислового виробництва, де простір для монтажу діагностичного обладнання безпосередньо поблизу вузлів пресу часто обмежений.

2.Оптимальна конфігурація каналів введення/виведення. Наявність 14 цифрових та 8 аналогових портів дозволяє повноцінно підключити всі елементи проектованої системи: аналоговий тривісний акселерометр, модуль графічного дисплея, органи керування, а також світлодіодні індикатори аварійних та штатних режимів. При цьому залишається апаратний резерв для можливого розширення функціоналу (наприклад, підключення звукового випромінювача).

3.Енергоефективність. Порівняно з повнорозмірними аналогами (такими як Arduino Uno чи Mega), плата Arduino Nano характеризується значно меншим струмом споживання. Це є вагомою перевагою для забезпечення тривалого часу автономної роботи пристрою від інтегрованого акумулятора.

4.Зручність інтерфейсного зв'язку та програмування. Інтегрований на платі USB-інтерфейс (Mini-B) дозволяє здійснювати безпосереднє підключення до ПК для завантаження керуючої програми (прошивки), калібрування датчиків та моніторингу даних без використання додаткових зовнішніх програматорів чи конвертерів інтерфейсів.

5.Висока сумісність із периферійними модулями. Платформа забезпечує надійну роботу з напівпровідниковими MEMS-сенсорами вібрації, підтримує апаратні протоколи обміну даними (зокрема I²C та SPI) і має розвинену базу програмних бібліотек, що суттєво скорочує терміни розробки, тестування та налагодження програмного забезпечення системи. [5]

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						23
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

3.3.Обґрунтування світлової сигналізації

Для забезпечення оперативного візуального контролю за технічним станом гідравлічного пресу безпосередньо на робочому місці оператора, у пристрої передбачено модуль світлової індикації. Застосування світлодіодів дозволяє обслуговуючому персоналу миттєво реагувати на зміну динамічних навантажень обладнання без необхідності постійного зчитування числових значень з OLED-дисплея.

Логіка роботи світлової сигналізації базується на двоколірній схемі оповіщення.

1.Зелений світлодіод активується мікроконтролером тоді, коли поточні виміряні значення віброприскорення перебувають у межах встановленої технологічної норми для даного пресового устаткування. Це сигналізує про штатний і безпечний режим роботи пресу.

2.Червоний світлодіод загоряється у випадку, коли рівень вібрації перевищує заздалегідь запрограмований критичний поріг, або під час фіксації небезпечних поодиноких ударних імпульсів. Активація цього індикатора вказує на виникнення аварійного режиму, знос вузлів або порушення умов експлуатації, що потребує негайної зупинки обладнання або проведення технічного огляду.

Як компоненти для реалізації цього модуля пропонується обрати звичайні індикаторні LED-світлодіоди (зеленого та червоного кольорів світіння). Такий вибір є повністю обґрунтованим через такі чинники:

- Висока надійність та довговічність: світлодіоди стійкі до постійних механічних вібрацій та тряски, що генеруються гідравлічним пресом, на відміну від ламп розжарювання.

- Низьке енергоспоживання: робочий струм стандартних світлодіодів становить лише 10–20 мА, що є критично важливим для збереження ємності акумулятора в автономному пристрої.

- Простір та схемотехніка: вони підключаються безпосередньо до цифрових виводів мікроконтролера Arduino Nano через обмежувальні

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						24
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

резистори низького номіналу, що спрощує розведення друкованої плати та зменшує загальні габарити пристрою.

– Чітка видимість: яскравість сучасних LED-компонентів забезпечує відмінну видимість сигналу в умовах промислового цеху при різному рівні освітлення.

3.4.Обґрунтування акселерометра

Для проведення точного кількісного та якісного аналізу віброактивності гідравлічного пресу недостатньо лише фіксувати факт наявності чи відсутності механічних коливань. Прості дискретні датчики вібрації (наприклад, типу SW-420 або релейні датчики) реагують лише на перевищення певного порогу, замикаючи контакти, але вони принципово не здатні надати інформацію про інтенсивність, амплітуду, частоту чи напрямок коливань. Для технічної діагностики та моніторингу важкого ковальсько-штампувального обладнання такі дані є критично важливими.

Згідно з вимогами промислових стандартів (зокрема ISO 10816), оцінка технічного стану машин здійснюється за такими базовими параметрами:

- віброприскорення (м/с^2) – для фіксації ударних імпульсних навантажень та високочастотних коливань;
- віброшвидкість (мм/с) – основний критерій оцінки руйнівної енергії вібрації в середньочастотному діапазоні.

Оскільки віброшвидкість та вібропереміщення є математичними похідними від прискорення (можуть бути отримані шляхом одиночного або подвійного інтегрування сигналу в мікроконтролері), оптимальним вибором для проектованої системи є застосування тривісного MEMS-акселерометра.

Використання акселерометра дозволяє:

- безперервно фіксувати динамічні зміни прискорення в режимі реального часу;

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						25
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

– здійснювати просторовий аналіз вібраційних процесів одночасно по трьох координатних осях (X, Y, Z), що необхідно через складну геометрію коливань станини пресу;

– забезпечувати первинні числові дані для подальшої програмної фільтрації, обчислення СКЗ віброшвидкості та частотного аналізу.

У сучасній мікропроцесорній техніці найбільшого поширення здобули три моделі інтегральних MEMS-акселерометрів:

1.ADXL345 – цифровий тривісний акселерометр із високою роздільною здатністю, який передає дані по шинах I²C або SPI.

2.MPU6050 – комбінований шестиосьовий сенсор (тривісний акселерометр + тривісний гіроскоп), що частіше використовується в системах стабілізації та навігації.

3.ADXL335 – аналоговий тривісний датчик, який формує на своїх виходах напругу, пропорційну прискоренню по кожній з осей, і підключається безпосередньо до вбудованого АЦП мікроконтролера.

Обґрунтування вибору: Для розроблюваного пристрою було обрано аналоговий акселерометр ADXL335. Даний вибір є апаратно обґрунтованим з огляду на архітектуру системи. Оскільки для виведення інформації в пристрої вже передбачено графічний OLED-дисплей, що працює по послідовній шині I2C, підключення ще одного цифрового датчика на цю ж лінію могло б перевантажити шину та сповільнити швидкість опитування в умовах обмежених обчислювальних ресурсів платформи Arduino Nano.

Використання аналогового ADXL335 дозволяє розпаралелити процеси: зчитування вібросигналу відбувається миттєво через три незалежні канали вбудованого в Arduino 10-бітного аналого-цифрового перетворювача (АЦП), тоді як шина I2C залишається монопольно виділеною під швидке оновлення графіки на дисплеї. Це гарантує вищу стабільність роботи системи та завадостійкість під час фіксації швидких ударних процесів пресового обладнання [6].

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						26
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

3.5.Обґрунтування дисплея

У розроблюваному пристрої модуль відображення виконує функцію оперативного візуального представлення вимірювальної та службової інформації. На відміну від суто індикаторних світлодіодів, дисплей дозволяє забезпечити повноцінний інтерфейс користувача, відображаючи в режимі реального часу такі дані:

- точні кількісні значення поточного віброприскорення по осях;
- текстові попередження про перевищення встановлених порогових рівнів вібрації;
- поточний стан автономного джерела живлення (рівень заряду акумулятора);
- службові повідомлення системи (режими роботи, статус калібрування або помилки ініціалізації датчика).

Для реалізації цих завдань оптимальним вибором за критеріями енергоефективності, габаритів та простоти підключення є графічний OLED-дисплей з діагоналлю 0.96" дюйма, роздільною здатністю 128x64 пікселів, побудований на базі драйвера SSD1306 та оснащений послідовним інтерфейсом I2C.

Переваги використання SSD1306:

1. Інтерфейс I²C дозволяє мінізувати використання пінів Arduino (використовується лише 2 лінії: SDA та SCL);
2. Компактні розміри – зручно вбудовується в корпус;
3. Висока контрастність – інформація чітко відображається навіть при слабкому освітленні;
4. Низьке енергоспоживання – важливо для автономного пристрою.

На відміну від дисплеїв із паралельним підключенням, які потребують 6–8 портів, I²C-дисплей значно полегшує інтеграцію в мікроконтролерні системи, особливо з обмеженою кількістю виводів, таких як Arduino Nano 7].

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						27
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

3.6. Обґрунтування кнопки

Оскільки розроблюваний вимірювальний пристрій проєктується як автономний та переносний засіб технічного контролю, критично важливим завданням є забезпечення надійного та безпечного способу комутації кола живлення. Для мінімізації струмів витоку в режимі простою та запобігання передчасному розряду інтегрованої акумуляторної батареї найбільш доцільним та схмотехнічно виправданим рішенням є застосування прямого механічного розриву кола за допомогою кнопкового перемикача з фіксацією положення.

До елемента керування головним живленням вимірювальної системи висуваються такі основні техніко-експлуатаційні вимоги:

- висока механічна та електрична зносостійкість здатність комутаційного елемента витримувати тривалу експлуатацію в умовах цеху із ресурсом не менше 10 000 циклів спрацьовування;
- масогабаритна компактність — відповідність посадкового місця елемента геометричним параметрам і товщині стінок обраного захисного пластикового корпусу;
- чітка тактильна віддача та оптимальне зусилля перемикачання забезпечення зручності експлуатації для обслуговуючого персоналу;
- стійка механічна фіксація станів використання двопозиційного перемикача типу «ON/OFF» замість тактових кнопок без фіксації, що гарантує стабільне утримання замкненого стану лінії живлення без залучення додаткових програмних чи апаратних тригерних схем;
- мінімальний перехідний опір замкнених контактів запобігання падінню напруги та втратам потужності на комутаційному вузлі, що є критичним для стабільної роботи імпульсного підвищувального стабілізатора та мікроконтролера за умов автономного живлення.

Для апаратної реалізації вузла ввімкнення системи пропонується обрати малогабаритний кнопковий перемикач серії KCD1. Даний компонент

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						28
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

характеризується повною відповідністю сформульованим вимогам і має такі конструктивні особливості:

- замикання та розмикання ланцюга здійснюється за допомогою надійної фіксованої клавійної або кнопкової системи;
- номінальні параметри елемента розраховані на роботу в мережах змінного струму з напругою до 250 В, що забезпечує значний запас за електричною міцністю та надійністю ізоляції при роботі у слабкострумівих низьковольтних колах постійного струму (3–5 В);
- габаритні розміри корпусу перемикача оптимізовані для швидкого та надійного врізного монтажу у прямокутний або круглий технологічний отвір на передній чи боковій панелі пристрою;
- двоконтактна конфігурація виводів дозволяє виконати як надійне пряме паяне з'єднання провідників, так і швидке підключення за допомогою ножових клемних з'єднувачів, що суттєво підвищує ремонтпридатність виробу в умовах сервісної майстерні[8].

3.7.Обґрунтування акумулятора

Для пристрою вимірювання вібрацій пропонується застосувати автономне живлення.

Для забезпечення портативності та незалежності від мережі живлення доцільно використовувати перезаряджуваний літій-іонний акумулятор. Оптимальним вибором є акумулятори формату 18650, які мають такі переваги:

- Номінальна напруга: 3.7 В – достатня для живлення через стабілізатор;
- Ємність: від 2000 до 3500 мА·год – забезпечує тривалий час роботи пристрою;

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						29
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

– Доступність: легко знайти у продажу, велика різноманітність моделей.

Щоб забезпечити надійне живлення мікроконтролера Arduino Nano, дисплея та датчиків, необхідно включити до схеми стабілізатор напруги (наприклад, AMS1117 на 5В або підвищувальний перетворювач типу MT3608) [9].

3.7. Побудова структурної схеми

Технічним завданням цього дипломного проєкту передбачено розробку комп'ютеризованого пристрою моніторингу вібрацій гідравлічного пресу, апаратною основою якого є мікроконтролерна платформа Arduino Nano на базі мікросхеми ATmega328P.

Для візуалізації внутрішньої архітектури системи та визначення взаємозв'язків між її функціональними вузлами (центральним контролером, первинним перетворювачем, модулем відображення інформації, автономним джерелом живлення з імпульсним стабілізатором напруги, органами керування та світлодіодною індикацією) розроблено структурну схему пристрою, яка наведена нижче на рис. 2.1.

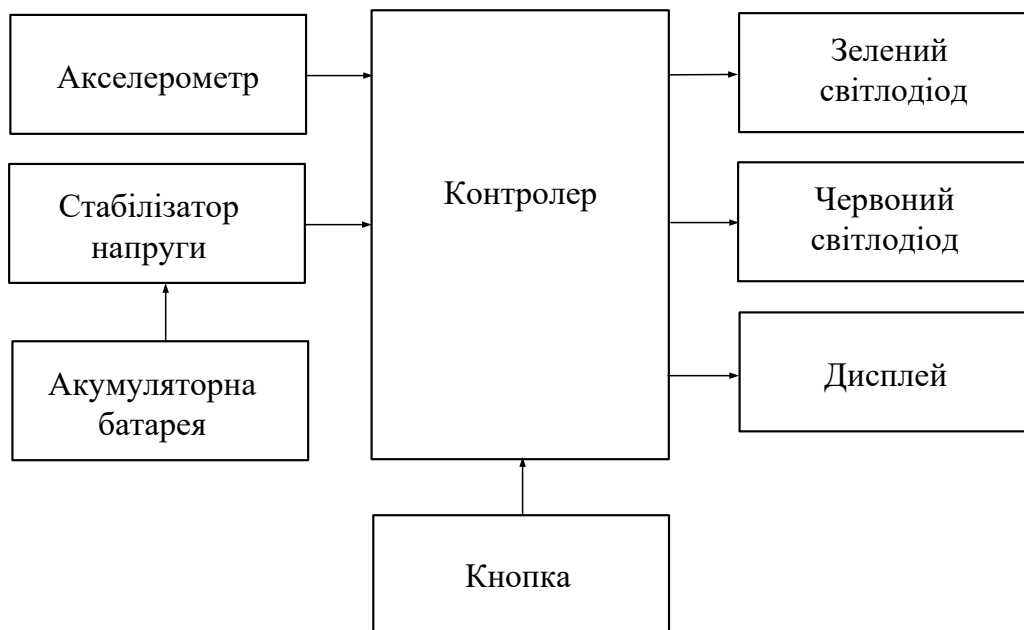


Рис.2.1. Структурна схема пристрою

Складові структурної схеми:

- Акселерометр для вимірювання вібрацій;
- Контролер Arduino Nano для обробки даних;
- Дисплей для виводу значень;
- Червоний та зелений світлодіод для сигналізацій нормальних та критичних значень вібрацій;
- Акумуляторна батарея типу 18650;
- Стабілізатор напруги для підвищення напруги з 3,7В до 5 В.;
- Кнопка живлення для включення/виключення пристрою.

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						31
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

4.1.Вибір мікроконтролера

В якості мікроконтролера обрано Arduino Nano. Зовнішній вигляд та призначення пінів Arduino Nano представлені на рис.4.1-4.2.

Arduino Nano – це компактна мікроконтролерна плата на базі чипа ATmega328P, яка за своїм функціоналом повністю еквівалентна платі Arduino Uno, але має значно менші габаритні розміри та нижчу вартість. Для зв'язку з ПК і програмування на платі інтегровано повноцінний USB-інтерфейс на базі мікросхеми CH340, а контактні гребінки постачаються вже розпаяними, що спрощує монтаж пристрою.

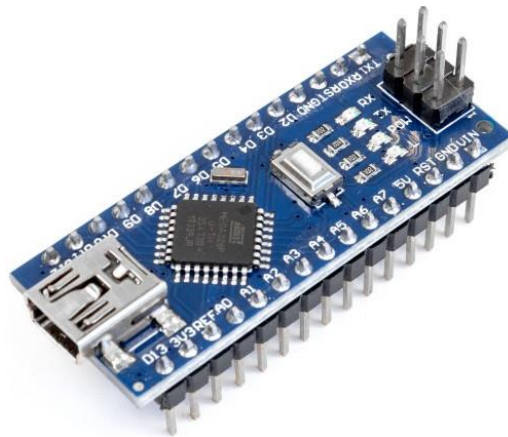


Рис.4.1. Зовнішній вигляд Arduino Nano

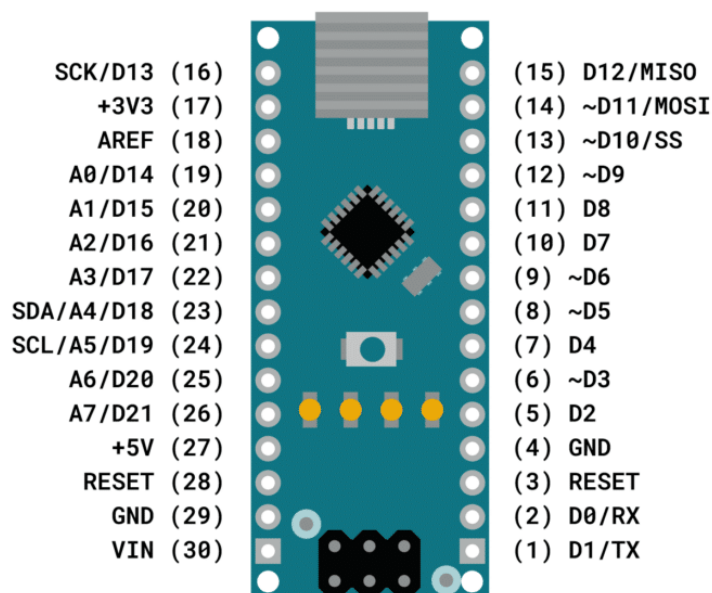


Рис.4.2. Розташування виводів Arduino Nano

Технічні характеристики Arduino Nano:

- Мікроконтролер: ATmega328P (8-бітний AVR-мікроконтролер);
- Тактова частота: 16 МГц;
- Флеш-пам'ять (Flash): 32 КБ (із яких 2 КБ задіяно під завантажувач/bootloader);
- Оперативна пам'ять (SRAM): 2 КБ;
- Енергонезалежна пам'ять (EEPROM): 1 КБ;
- Робоча напруга живлення (логічний рівень): 5 В;
- Вхідна напруга живлення (рекомендована через контакт VIN): 7 - 12 В;
- Вхідна напруга живлення (гранична): 6 – 20 В;
- Цифрові канали введення/виведення (I/O): 14 (з яких 6 можуть використовуватися як ШІМ-виходи);
- Аналогові канали введення (входи АЦП): 8 (розрядність АЦП 10 біт);
- Максимальний струм через один вхід/вихід: 40 мА;
- Максимальний сумарний струм виводу 3.3В: 50 мА;
- Інтерфейси зв'язку: I²C (TWI), SPI, UART (послідовний порт);
- Інтерфейсний чип USB-UART: CH340G (у більшості сучасних ревізій);
- Тип USB-роз'єму: Mini-USB (або Type-C у сучасних кастомізованих версіях);
- Габаритні розміри платформи: 45x18мм;
- Вага плати: ~7 г.[5]

4.2. Вибір світлової сигналізації

Для світлової сигналізації застосовуємо червоний та зелений світлодіоди рис.4.3. зелений світлодіод сповіщає про вібрації в межах норми, червоний світлодіод сповіщає про високі вібрації.

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						33
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		



Рис.4.3. Зовнішній вигляд кольорових світлодіодів

Технічні характеристики:

- Спектральний склад випромінювання (довжина хвилі): $\lambda = 620-630$ нм (для червоного колірної діапазону);
- Оптичні характеристики: колір світіння – червоний / зелений; колір колби (лінзи) – червоний матовий / зелений матовий (або прозорий відповідно до типу);
- Сила світла (яскравість): 8000-10000 мкд;
- Просторовий розподіл випромінювання (кут огляду): 30° ;
- Конструктивне виконання: корпус циліндричний із круглою лінзою; діаметр – 5 мм;
- Прямий робочий струм (номінальний): $I = 20$ мА;
- Пряме падіння напруги (робоче): $U = 1,9-2,1$ В;
- Кліматичне виконання (діапазон робочих температур): від 20°C до $+100^\circ\text{C}$. [11]

4.3. Вибір акселерометра

Модуль GY-61 ADXL335 (рис.4.4-4.5) – це компактна модуль, що містить інтегральну мікросхему ADXL335 виробництва компанії Analog Devices, а також необхідну апаратну обв'язку (конденсатори фільтрації та лінійний стабілізатор напруги). Пристрій є малогабаритним

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						34
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

напівпровідниковим MEMS-сенсором та призначеним для вимірювання динамічного прискорення (викликаного вібрацією, механічними ударами чи струсами) та статичного прискорення (викликаного силою тяжіння для визначення кутів нахилу).

GY-61 модуль має три аналогові виходи, кожен з яких відповідає прискоренню відповідної осі x, y, z. Він підключається до мікроконтролера через аналогові входи для зчитування даних про прискорення.



Рис.4.4. Акселерометр ADXL335

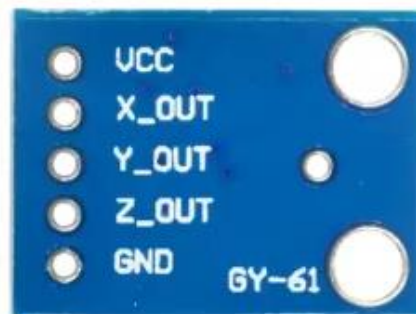


Рис.4.5. Призначення виводів акселерометра ADXL335

Завдяки точності, компактності та низькому енергоспоживанню цей датчик використовується у системах вимірювання нахилу і параметрів руху, мобільній електроніці, ігрових контролерах, модулях захисту жорстких дисків при падінні, системах стабілізації зображення, а також у фітнес-трекерах і спортивних діагностичних пристроях.

Характеристики ADXL335:

- Робоча температура: -40...+85 °C;
- Ударні навантаження до 10000g;
- Робоча напруга: 1.8-3.6 В;

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						35
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

- Габарити: 20×15 мм;
- Стандарт RoHS/WEEE;
- Струм споживання 350 мкА;
- Частота для осей X та Y 0.5 -1600 Гц, для осі Z 0.5-550 Гц;
- Чутливість 300 мВ/г.[6]

4.4.Вибір дисплея

Для виводу значень вібрацій пропонується застосувати дисплей OLED-дисплей SSD1306 I2C рис.4.6.



Рис.4.6. Дисплей OLED-дисплей SSD1306

Підключення дисплею по I2C до контролера рис.4.7.

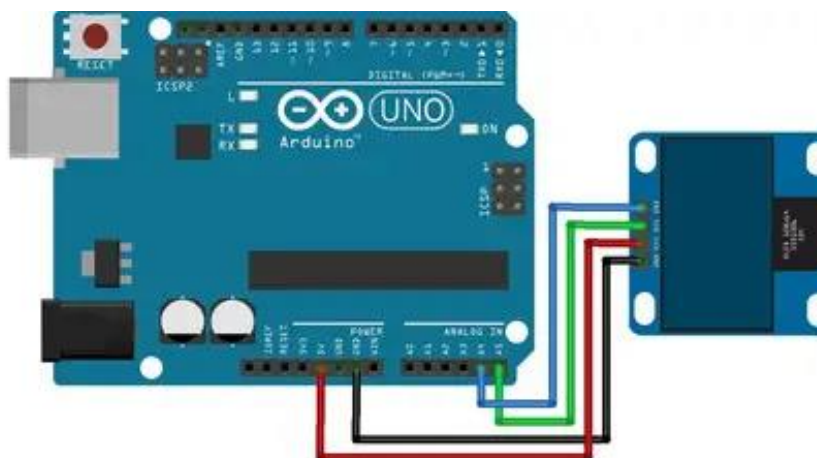


Рис.4.7. Підключення OLED-дисплею SSD1306 до контролеру

Дисплей OLED 128x64 0.96 дюйма з I2C інтерфейсом SSD1306 – це

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		36

компактний графічний екран, побудований на базі технології органічних світлодіодів (OLED) і керований інтегральною мікросхемою-драйвером SSD1306

Для підключення графічного OLED-дисплея 0.96" (драйвер SSD1306) по шині I2C до мікроконтролера Arduino Nano використовується всього 4 контакти.

Розпіновка модуля дисплея (4-pin I2C)

- 1.GND – заземлення (підключається до спільного проводу системи).
- 2.VCC – живлення модуля (+3.3 В або +5 В).
- 3.SCL (Serial Clock) – лінія тактування послідовної шини I2C.
- 4.SDA (Serial Data) – лінія даних послідовної шини I2C.

Технічні характеристики дисплея SSD1306:

- Розмір екрана 0.96": 21,74x10,86 мм;
- Тип екрану OLED;
- Роз'єм 4 виводи;
- Напруга живлення 3.3-6 В;
- Роздільна здатність дисплея 128*64;
- Габарити (ТхШхВ): 11x27x27 мм;
- Вага: 4.0 грам;
- Драйвер OLED модуль: SSD1306;
- Кут огляду: > 160 ° [10].

4.5.Вибір кнопки

Для комутації головного кола живлення пристрою обрано малогабаритний клавішний перемикач серії KCD1-101 із двопозиційною фіксацією станів «ON-OFF». Даний комутаційний елемент виконаний без інтегрованого світлового індикатора, що спрощує його схемотехнічну конструкцію та виключає додаткові втрати потужності, забезпечуючи

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						37
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

максимальну енергоефективність системи в автономному режимі.

Корпус та рухома клавiша перемикача виготовлені з термостійкого пластику червоного кольору, що покращує візуальну ергономіку панелі керування. Апаратна конфігурація елемента містить два плоскі контакти (2 Pin), які забезпечують надійне підключення провідників шляхом паяння або використання швидкознімних клемних з'єднувачів. Завдяки застосуванню високоякісних зносостійких матеріалів контактної групи, перемикач характеризується високим експлуатаційним ресурсом, механічною міцністю та стабільністю роботи в умовах тривалого використання.[8]



Рис. 4.8. Кнопка KCD1-101

Технічні характеристики KCD1-101:

- Функціональність: ON/OFF з фіксацією положення;
- Кількість контактів: 2 (SPST – Single Pole Single Throw);
- Номінальна напруга: до 250 В змінного струму (але придатна і для 5 В постійного струму);
- Максимальний струм навантаження: 6 А (при 125 В AC);
- Робоча напруга: 3.3–5 В постійного струму;
- Матеріал корпусу: термостійкий пластик;
- Монтаж: врізне кріплення в корпус з фіксацією;
- Розміри монтажного отвору: $\approx 19 \times 13$ мм;
- Ресурс спрацювань: $\geq 10\,000$ циклів [12].

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						38
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

4.6. Вибір акумулятора

В якості акумулятора запропоновано використати літій-іонні акумулятори типу 18650 (рис. 4.9) з напругою 3,6 В і ємністю від 2000 до 3500 мА·год.



Рис. 4.9. Зовнішній вигляд акумулятора 18650

Технічні характеристики:

- Тип елемента: Літій-іонний (Li-ion), циліндричний;
- Габаритні розміри: діаметр – 18 мм, довжина – 65 мм;
- Номінальна напруга: 3,6 В – 3,7 В;
- Максимальна напруга (повний заряд): 4,2 В;
- Мінімальна напруга (поріг розряду): 2,5 В – 2,75 В;
- Середня ємність: 2200 – 3500 мА·год;
- Струм заряду: 0,5С (близько 1,0 – 1,5 А);
- Струм розряду: 2 – 5 А (до 20 – 30 А для високострумівих моделей);
- Кількість робочих циклів: 300 – 500 (до втрати 20% початкової ємності);
- Робочий температурний діапазон: від -20°C до +60°C;
- Маса: 45 – 48 г[13].

Для забезпечення стабільної роботи мікроконтролера та формування фіксованої напруги живлення номіналом 5 В необхідно застосувати підвищувальний імпульсний перетворювач (стабілізатор) напруги, який трансформуватиме базову вихідну напругу літій-іонного акумулятора (3,6 В) до потрібного рівня. Для реалізації цього апаратного вузла пропонується використовувати вискоєфективний DC-DC стабілізатор напруги серії MT3608 (рис. 4.10).

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						39
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		



Рис.4.10. Стабілізатор напруги MT3608

Технічні характеристики

- Тип: Підвищуючий DC-DC перетворювач (Boost Converter);
- Вхідна напруга: 2 В – 24 В;
- Вихідна напруга: 5 В – 28 В (регульована);
- Максимальний вихідний струм: 2 А;
- Пікове обмеження струму: 4 А;
- ККД: до 93% ;
- Частота перемикання: 1,2 МГц (фіксована) ;
- Опір MOSFET: 80 мОм;
- Еталонна напруга (FB): 0,6 В ;
- Тип керування: PWM (режим струму) з автоматичним перемиканням у PFM при малих навантаженнях;
- Захист: від пониженої напруги (UVLO), обмеження струму, теплове перевантаження;
- М'який старт: є (вбудований);
- Корпус: SOT23-6. [14]

4.7.Принципова схема

На основі структурної схеми та складових елементів було побудовано принципово-електричну схему рис.4.11.

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						40
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

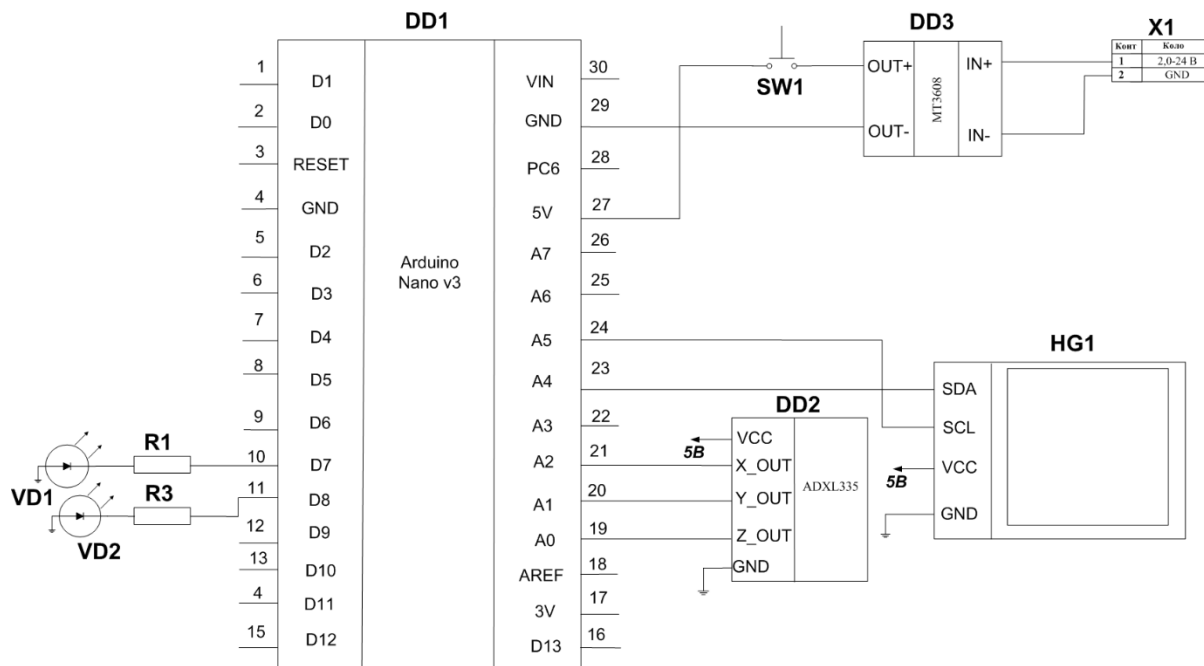


Рис. 4.11. Принципова схема пристрою

Перелік елементів принципової схеми:

- DD1– контролер Arduino Nano;
- DD2– акселерометр ADXL335;
- DD3– стабілізатор напруги MT3608;
- SW1 –кнопка KCD1-101;
- VD1 – зелений світлодіод LED;
- VD2 – червоний світлодіод LED;
- R1, R2 – 10 Ом;
- HG1 – OLED-дисплей SSD1306;
- X1 – роз'єм для акумулятора.

Перелік елементів до принципової схеми представлений в Додатку Б.

5.РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ

5.1.Розробка алгоритму

Розроблений алгоритм представлено на рис.5.1. Програмне забезпечення системи реалізує алгоритм циклічного моніторингу амплітуди динамічних навантажень. Послідовність виконання операцій включає такі етапи:

1.Контроль активації системи (комутація живлення): Відразу після пуску програми (блок «Початок») перевіряється стан перемикача або наявність живлення в колі ($K = 1$).

Якщо фіксується стан «Ні» ($K = 0$), система деактивує індикаторні світлодіоди, виводить на дисплей сервісне повідомлення «Пристрій вимкнено» та завершує роботу (блок «Кінець»).

У разі підтвердження активного стану «Так» ($K = 1$), програма переходить до наступного кроку.

2.Первинна ініціалізація: Одноразово виконується конфігурування портів введення-виведення мікроконтролера, задання початкових значень змінних, реєстрація констант та ініціалізація графічного OLED-дисплея.

3.Основний вимірювальний цикл (часове індексування): Програма переходить у режим циклічного опитування датчика з фіксованим часовим інтервалом $t = 0,5\text{с}$, що визначає дискретність отримання діагностичних даних.

4.Обробка та візуалізація первинних даних: Виконується зчитування аналогових сигналів із тривісного акселерометра з наступним обчисленням поточних складових прискорення по осях (x_a , y_a , z_a) та їх виведенням на екран. На основі отриманих компонентів розраховується модуль результуючого вектора повного прискорення a_{xyz} .

$$\text{totalAcceleration} = \sqrt{a_x * a_x + a_y * a_y + a_z * a_z} \quad (5.1)$$

5.Амплітудний аналіз та сигналізація: Розраховане значення a_{xyz} порівнюється з гранично допустимим (критичним) порогом вібрації, який становить $1,5g = 1,5 * 9,8 = 14,7 \text{ м/с}^2$.

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						42
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

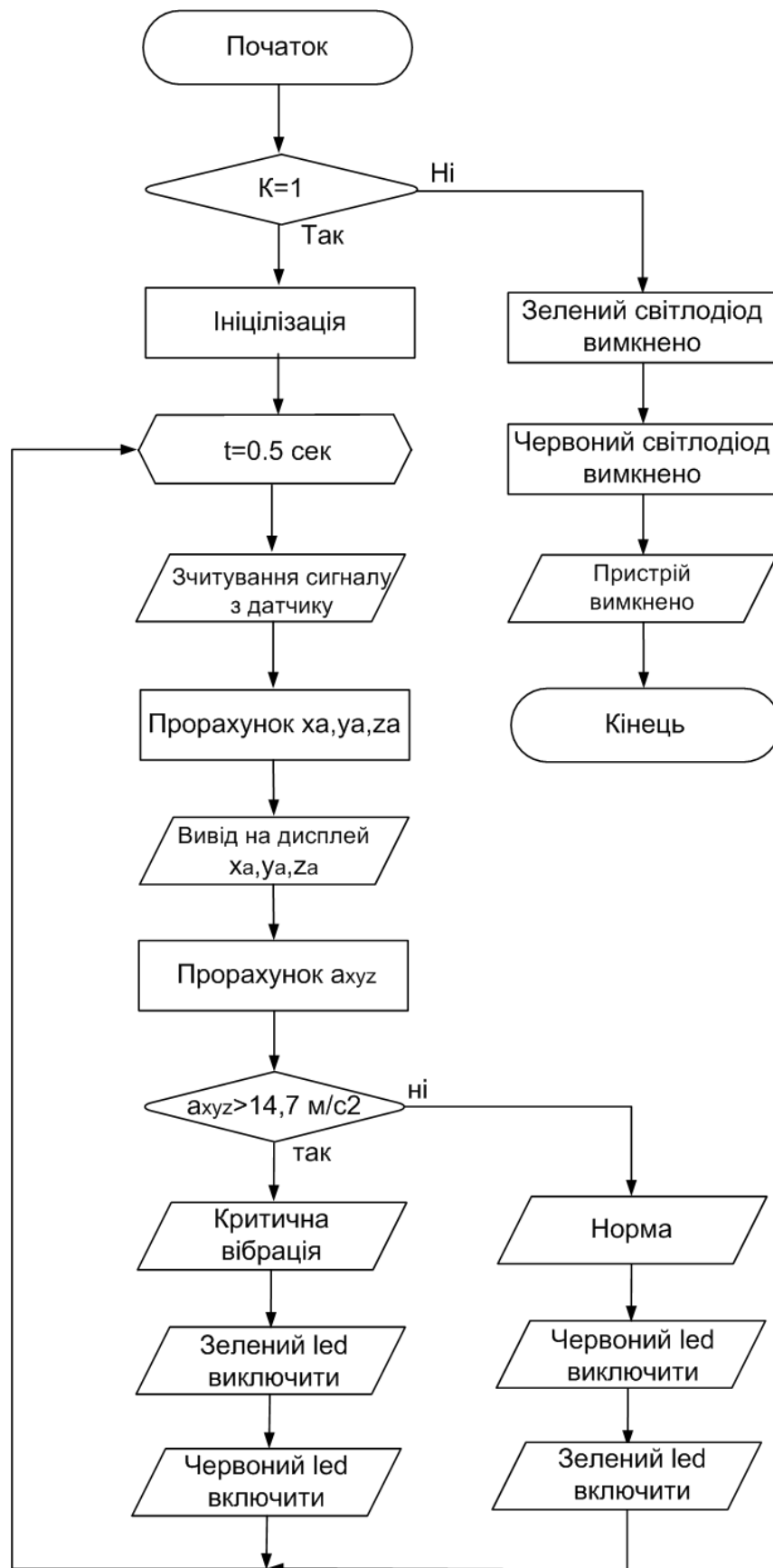


Рис. 5.1. Алгоритм роботи програми

Гілка «Норма» (позначка Ні): якщо прискорення не перевищує $14,7 \text{ м/с}^2$, на дисплей виводиться статус штатного режиму роботи, деактивується червоний світлодіод, а зелений переходить у режим світіння.

Гілка «Критична вібрація» (позначка Так): якщо поріг перевищено, на екрані формується тривожне повідомлення, зелений світлодіод вимикається, а червоний вмикається для візуального сповіщення оператора.

Після завершення аналізу поточного кадру даних алгоритм замикається на початок вимірювального циклу ($t=0,5 \text{ с}$), забезпечуючи безперервний автоматичний контроль об'єкта.

5.2.Розробка програми

Програмне забезпечення мікроконтролера Arduino Nano розроблене на базі мов високого рівня C/C++ із залученням спеціалізованого інструментарію Arduino API. Скомпільований машинний код завантажується безпосередньо в енергонезалежну флеш-пам'ять обчислювального ядра – мікроконтролера ATmega328P. Повний текст програмного комплексу (лістинг) винесено у Додаток А, а нижче наведено й детально проаналізовано ключові фрагменти коду, що забезпечують функціонування основних апаратних вузлів пристрою.

Підключення бібліотек. Підключаються зовнішні бібліотеки для роботи з дисплеєм (OLED) та I²C інтерфейсом.

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
```

Оголошення змінних і констант. Тут оголошуються виводи, розміри дисплея та інші налаштування.

```
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
const int redLED = 8;
const int greenLED = 7;
const int powerButton = 2;
```

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						44
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

Підпрограма setup(). Це ініціалізаційний блок, який виконується один раз при запуску пристрою:

- налаштовуються входи/виходи;
- запускаються бібліотеки (дисплей, серійний порт, сенсори тощо).

```
void setup() {  
    pinMode(redLED, OUTPUT);  
    pinMode(greenLED, OUTPUT);  
    pinMode(powerButton, INPUT_PULLUP);  
    // ініціалізація дисплея  
}
```

Головний цикл loop().

Основний цикл роботи пристрою. Ця функція виконується безперервно, поки пристрій увімкнений. Тут реалізується вся логіка роботи:

- зчитування акселерометра:

```
float xVoltage = analogRead(xPin) * (supplyVoltage / adcResolution);  
float yVoltage = analogRead(yPin) * (supplyVoltage / adcResolution);  
float zVoltage = analogRead(zPin) * (supplyVoltage / adcResolution);  
  
float ax = (xVoltage - zeroGVoltage) / sensitivity;  
float ay = (yVoltage - zeroGVoltage) / sensitivity;  
float az = (zVoltage - zeroGVoltage) / sensitivity;
```

- аналіз стану (критична вібрація чи ні):

```
float totalAcceleration = sqrt(ax * ax + ay * ay + az * az);  
  
if (totalAcceleration > criticalThreshold) {  
    // Критичне прискорення  
} else {  
    // Норма  
}
```

- управління індикацією:

```
if (totalAcceleration > criticalThreshold) {  
    digitalWrite(greenLED, LOW);  
    digitalWrite(redLED, HIGH);  
} else {  
    digitalWrite(greenLED, HIGH);  
    digitalWrite(redLED, LOW);  
}
```

- вивід інформації на дисплей:

```
display.clearDisplay();  
display.setCursor(0, 0);  
display.print("Ax: "); display.print(ax, 2); display.print(" g");  
display.setCursor(0, 10);  
display.print("Ay: "); display.print(ay, 2); display.print(" g");  
display.setCursor(0, 20);  
display.print("Az: "); display.print(az, 2); display.print(" g");
```

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						45
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

```

display.setCursor(0, 35);
display.print("Total:      ");      display.print(totalAcceleration,      2);
display.print(" g");

display.setCursor(0, 50);
display.print("Статус: ");
display.print(totalAcceleration > criticalThreshold ? "КРИТИКА" : "НОРМА");

display.display();

```

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						46
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

6.КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

6.1.Розробка друкованої плати

Друкована плата є конструктивною та схемотехнічною основою електронного модуля, яка забезпечує механічну фіксацію й електричне з'єднання дискретних компонентів за допомогою провідникового малюнка (доріжок), нанесеного на діелектричну підкладку. Як базовий матеріал основи використано фольгований склотекстоліт марки FR-4, що володіє високими діелектричними властивостями та механічною міцністю. Після формування топології провідних шарів і координатної прошивки (свердління) перехідних та монтажних отворів здійснюється монтаж елементної бази: мікроконтролера, напівпровідникових сенсорів, пасивних компонентів та комутаційних роз'ємів [15].

При проектуванні топології плати висувалися жорсткі вимоги щодо мінімізації габаритних розмірів, сумісності з геометрією захисного корпусу, термостійкості та вібростійкості конструкції. Трасування провідників виконано з дотриманням правил електромагнітної сумісності, що передбачає просторове розділення слабкострумових сигнальних ліній та силових шин живлення для мінімізації взаємних наводок. Стійкість до зовнішніх впливів та захист від випадкових замикань забезпечуються нанесенням захисної паяльної маски.

Електроніку системи спроектовано як єдиний функціональний вузол (одноплатне виконання) на двошаровій друкованій платі з габаритними розмірами 125x60мм. Конструктивно-технологічні параметри топології відповідають установленим нормам проектування:

- Мінімальна ширина провідників: 0,25 мм;
- Зовнішній діаметр контактних площадок (кілець): 0,6 мм;
- Діаметр внутрішнього отвору перехідних з'єднань: 0,3 мм.

Розробка топологічного малюнка та трасування зв'язків здійснювалися у хмарному середовищі наскрізного проектування EasyEDA, яке функціонує на базі веб-браузера і надає повний спектр інструментів для онлайн-редагування

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						47
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

схем та плат. Графічний матеріал із зображенням розробленої друкованої плати наведено на рисунках 6.1–6.2.

У процесі компонування плати пристрою моніторингу вібрацій гідравлічного пресу було враховано масогабаритні параметри та специфіку розміщення ключових елементів, зокрема обчислювального модуля Arduino Nano, аналогового MEMS-акселерометра ADXL335 (GY-61) та графічного OLED-дисплея з інтерфейсною шиною I2C. Окрім цього, на платі узгоджено монтажні зони для світлодіодних індикаторів станів червоного та зеленого кольору, автономного джерела живлення на базі літій-іонного акумулятора типорозміру 18650, підвищувального DC-DC стабілізатора MT3608, а також механічного магістрального перемикача KCD1-101.

Додатково на платі інтегровано посадкові місця під допоміжну обв'язку (резистори фільтрів, блокувальні конденсатори, клемні колодки). Для зручності монтажно-складальних та ремонтних робіт передбачено сервісну зону технічного обслуговування, а на шарі шовкографії чітко нанесено маркування полярності компонентів та ліній підключення зовнішніх інтерфейсів.

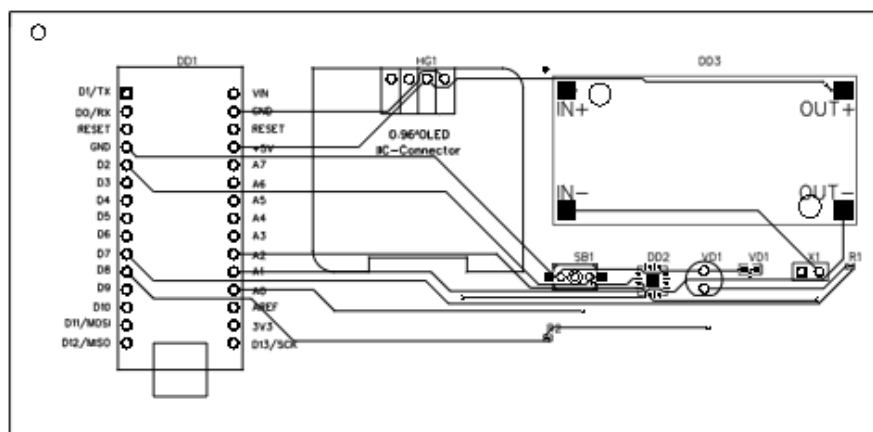


Рис. 6.1. Перший шар плати

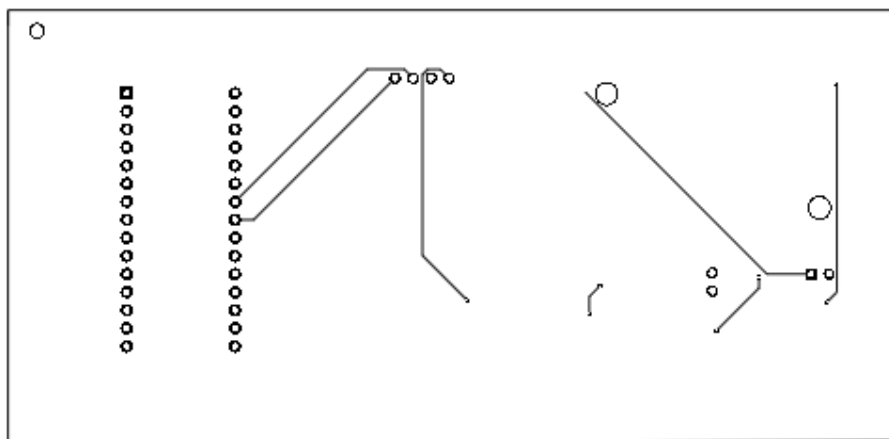


Рис. 6.2. Другий шар плати

Габаритні розміри корпусу пристрою становлять $134 \times 70 \times 28$ мм, що повністю обумовлено необхідністю розміщення одношарової конструкції вимірювальної системи. За основу взято промисловий корпус серії N8A чорного кольору, в конструкцію якого внесено необхідні доробки для інтеграції інтерфейсних елементів. Внутрішній простір оболонки оптимізовано під габарити розробленої двошарової друкованої плати зі склотекстоліту, розміри якої становлять 125×60 мм. При цьому технологічні параметри плати відповідають суворим проектним вимогам: ширина струмопровідних доріжок дорівнює 0,25 мм, зовнішній діаметр контактних майданчиків – 0,6 мм, а діаметр внутрішнього отвору – 0,3 мм.

Задана висота корпусу у 28 мм є мінімально технічно можливою, оскільки вона жорстко визначається сумарними габаритами внутрішніх компонентів системи. Цей простір займає друкована плата, висота елементів підсистеми живлення та стабілізації напруги на базі інвертора MT3608, тактова кнопка керування, а також конструктивна висота OLED-дисплея та кольорових світлодіодів світлової сигналізації. Таке щільне компонування дозволило створити компактний, жорсткий та ергономічний пристрій, здатний надійно захистити від механічних факторів та виробничого пилу безпосередньо поблизу гідравлічного преса.

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						49
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

6.2.Розрахунок похибки

Для експериментальної оцінки метрологічних характеристик було проведено серію з десяти послідовних вимірювань загального прискорення вібрацій гідравлічного пресу за допомогою вимірювального модуля на базі аналогового MEMS-акселерометра ADXL335.

Діапазон вимірювання прискорення згідно з технічними характеристиками застосованого первинного перетворювача становить від $\pm 3g$ (приблизно від $-29,4\text{м/с}^2$ до $+29,4\text{м/с}^2$ по кожній із просторових осей).

Було отримано наступну вибірку виміряних даних загального прискорення вібрації a_{xyz} (м/с^2): (10,4; 11,1; 10,8; 11,5; 10,2; 10,9; 11,3; 10,6; 11,0; 10,7), що детально представлено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1. Результати експериментальних вимірювань загального прискорення вібрації гідравлічного пресу

№ відліку	Реальний час (хв:с)	Загальне прискорення a_{xyz} , м/с^2
1	11:00	10,4
2	11:20	11,1
3	11:40	10,8
4	12:00	11,5
5	12:20	10,2
6	12:40	10,9
7	13:00	11,3
8	13:20	10,6
9	13:40	11,0
10	14:00	10,7

За відомими формулами шукаємо:

1) середнє арифметичне $\bar{a}$ (6.1):

$$\bar{a} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} a_i \approx 10,85 \quad (6.1)$$

2) похибки повторних вимірювань Δa та $(\Delta a)^2$ (6.2)

$$\Delta a = |\bar{a} - a_i| \text{ та } \Delta a_i^2 = (\bar{a} - a_i)^2 \quad (6.2)$$

де $i = 1, 2 \dots 10$;

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						50
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

Табл.6.2.Результати та обчислення

№ відліку	a_i (м/с ²)	Δa_i (м/с ²)	$(\Delta a_i)^2$
1	10,4	-0,45	0,2025
2	11,1	+0,25	0,0625
3	10,8	-0,05	0,0025
4	11,5	+0,65	0,4225
5	10,2	-0,65	0,4225
6	10,9	+0,05	0,0025
7	11,3	+0,45	0,2025
8	10,6	-0,25	0,0625
9	11,0	+0,15	0,0225
10	10,7	-0,15	0,0225
Середнє	108,5	0,00	1,4250

Розрахуємо випадкову похибку вимірювання за (6.1). За даними табл. 6.1 знайдемо коефіцієнт Стюдента для 10 вимірювань і довірчої ймовірності 0,95 $t_{0,95}=2,26$; розрахуємо за (6.2) виправлене вибіркове середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{1}{10 \times 9} \sum_{i=1}^{10} (\bar{a} - a_i)^2} \approx 0,126 \text{ м/с}^2;$$

та знайдемо випадкову похибку:

$$\Delta a_{\text{вип}} = t_{0,95} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 2,26 \cdot \frac{0,126}{\sqrt{10}} \approx 0,09 \text{ м/с}^2$$

Результати вимірювань та обчислень виносимо у табл..6.2.

1)похибку вимірювання за (6.3):

$$\Delta_{\text{пра}} = \frac{1}{300} t_p k a_{\text{гр}} \quad (6.3)$$

Для надійної ймовірності $P = 0,95$ з табл. 6.2 знайдемо при умові $t_{0,95}=2,0$. Враховуючи, що за умовою $a_{\text{гр}} = 29,4 \text{ м/с}^2$, а клас точності $k = 1$, отримаємо:

$$\Delta_{\text{пра}} = \frac{1}{300} \times 2 \times 29,4 \times 1 \approx 0,196 \text{ м/с}^2;$$

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						51
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

2)похибку заокруглення за (6.4)

$$\Delta a_3 = P \frac{h}{2}. \quad (6.4)$$

Для цього знайдемо інтервал заокруглення h як половину останнього розряду виміряної величини — 0,05. Отже:

$$\Delta a = 0,95 * \frac{0,05}{2} \approx 0,02;$$

3) загальну абсолютну похибку (6.5):

$$\Delta a = \sqrt{(\Delta_{Ba})^2 + (\Delta_{пра})^2 + (\Delta_{3a})^2} = \sqrt{0,09^2 + 0,196^2 + 0,02^2} \quad (6.5)$$
$$\approx 0,22 \text{ м/с}^2$$

Підсумок:

- Середнє значення: 10,850 м/с²;
- Випадкова похибка: $\pm 0,090$ м/с²;
- Похибка приладу: $\pm 0,196$ м/с²;
- Похибка заокруглення: $\pm 0,020$ м/с²;
- Загальна абсолютна похибка: $\pm 0,22$ м/с².

6.3.Розрахунок надійності

Надійність пристрою – є комплексним показником, що визначає його здатність зберігати в часі значення всіх параметрів, які характеризують можливість виконання необхідних функцій у заданих режимах та умовах застосування. Даний параметр є визначальним критерієм якості, оскільки безпосередньо зумовлює загальну експлуатаційну ефективність, безаварійність технологічного процесу та експлуатаційний ресурс електронних і механічних вузлів розроблюваної системи.

Під час аналізу надійності технічних пристроїв зазвичай розглядають основні кількісні характеристики, серед яких ключовим є ймовірність

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						52
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

безвідмовної роботи $P(t)$ – тобто імовірність того, що система функціонуватиме без відмови протягом заданого інтервалу часу:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (6.6)$$

де λ – інтенсивність відмов,

t – час роботи.

Середній час безвідмовної роботи (T):

$$T = \int_0^{\infty} P(t) dt = \frac{1}{\lambda} \quad (6.7)$$

Інтенсивність відмов (λ) — кількість відмов у розрахунку на одиницю часу:

$$\lambda = \frac{1}{T} \quad (6.8)$$

Умови експлуатації та призначення пристрою вимірювання вібрацій гідравлічного пресу:

Виріб призначений для безперервної експлуатації у закритих виробничих або науково-дослідних лабораторних приміщеннях, де моніторинг параметрів технологічного обладнання виконується в умовах штучно регульованого мікроклімату та стабільних параметрів повітряного середовища.

Параметри навколишнього середовища, що рекомендуються для стабільної роботи пристрою:

- Температура: від +17 °C до +23 °C;
- Відносна вологість повітря: не більше 60 % при температурі +21 °C;
- Рівень вібрацій: допустимий, оскільки пристрій вібростійкий і призначений для роботи з гідравлічним пресом;
- Кліматичні умови: експлуатація у приміщеннях з контрольованим параметрами (опалення, вентиляція, обмежений вплив пилу і вологи).

Склад пристрою – комп'ютеризований пристрій вимірювання вібрацій гідравлічного пресу з використанням аналогового акселерометра ADXL335,

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						53
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

OLED-дисплея, індикаторних світлодіодів, елементів живлення та кнопки живлення.

Під відмовою вимірювального пристрою розуміють подію, що полягає в порушенні його працездатного стану внаслідок виходу з ладу будь-якого з базових схемотехнічних компонентів, що унеможлиблює його подальше функціонування відповідно до цільового призначення.

Кількісна оцінка показників надійності проєктуємої системи здійснюється на основі аналізу її електричної принципової схеми з урахуванням специфіки конструктивного виконання, а також установленої кліматичної категорії та умов експлуатації об'єкта.

Теоретичний розрахунок сумарної інтенсивності відмов (параметра потоку відмов) елементної бази виконується за математичними моделями, які враховують вплив експлуатаційних факторів: робочої напруги, коефіцієнтів електричного навантаження, температурного режиму навколишнього середовища та специфіки динамічних режимів роботи пристрою:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_i, \quad (6.9)$$

де n – загальне число групи критеріїв відмов, що входять до складу проєктованого виробу; $N_i \lambda_i$ – кількість і інтенсивність відмовлень критеріїв відмов i -ої групи відповідно.

Інтенсивність відмовлень критеріїв відмов i -ої групи в робочому режимі визначалася по формулі

$$\lambda_i = \lambda_{oi} a_i \dots a_n. \quad (6.10)$$

де λ_{oi} – інтенсивність відмовлень критеріїв відмов в номінальному режимі і нормальних умовах; $a_i \dots a_n$ – поправочні коефіцієнти, що враховують умови роботи (кліматичні і механічні впливи), електричне навантаження критичних вузлів, температура навколишнього середовища.

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						54
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

Формули, за якими визначалась інтенсивність відмов для кожної групи компонентів виробу, наведено в таблиці 6.3. Числові значення були отримані на основі довідкових даних, предствалених у [18].

По формулі (6.5) знаходимо сумарну інтенсивність відмов виробу (сума величин в графі 8 таблиці 6.3):

$$\lambda = 66,67 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t визначалася по формулі:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \approx 1 - \lambda t \quad (6.11)$$

де λ – параметр потоку відмовлень; t – час роботи виробу (год) [18].

Таблиця 6.3. Перелік комплектуючих виробів

Поз.	Найменування	Кіл.	$\lambda_{i0} \cdot 10^6$ год ⁻¹	Формула розрахунку λ_i	Коефіцієнти				$\Sigma \lambda_i \cdot 10^6$ год ⁻¹
1	Мікросхеми				a_1	a_2	a_4	a_6	
	Arduino Nano	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
	ADXL335	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
	MT3608	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
2	Резистори	2	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,02688
3	Діоди				a_1	a_2	a_4	a_6	
	LED Red,Green	2	0,05	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,7		1	0,147
4	Кнопка	1	0,1	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1			1	0,21
5	Дисплей								
	OLED	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
6	Пайки	70	0,0001	$\lambda_0 \cdot a_1$	2,1				0,0147
7	Акумулятор 3,7В	1	30	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1			1	63
8	Разом								66,68

Дані розрахунку $P(t)$ приведені в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4. Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

250	500	750	1000	2000	5000	8000	10000
0,98347	0,96721	0,95122	0,93550	0,87516	0,71650	0,5866	0,51338

На графіку, приведеному на рис 6.3 приведена залежність надійності $P(t)$.

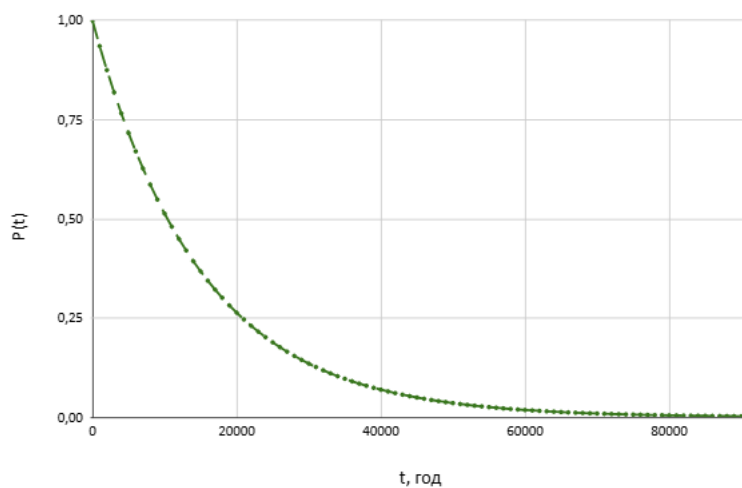


Рис.6.3. Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

Середній наробіток до відмовлення виробу визначався по формулі:

$$T_0 = \lambda^{-1} \quad (6.12)$$

Підставляючи дані в формулу (2.4) одержимо

$$T = (66,68 \cdot 10^{-6})^{-1} = 14\,998 \text{ годин.}$$

7.ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

7.1. Розробка заходів з охорони праці

Охорона праці на вітчизняних підприємствах становить комплексну систему правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, які спрямовані на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі виконання професійних обов'язків.

У межах реалізації даного проєкту комплекс заходів з охорони праці охоплює:

- формування безпечних та нешкідливих умов праці під час обслуговування ковальсько-пресового устаткування;
- усунення ризиків виробничого травматизму, аварійних ситуацій та професійних захворювань шляхом безперервного інструментального контролю параметрів обладнання;
- проведення планових та позапланових інструктажів, навчання й атестації персоналу з питань безпечної експлуатації гідравлічних машин та мікропроцесорних систем;
- забезпечення операторів штатними засобами індивідуального захисту (ЗІЗ);
- систематичний моніторинг дотримання санітарно-гігієнічних параметрів робочої зони та вимог протипожежної безпеки.

Технологічний процес із використанням гідравлічного пресового устаткування належить до категорії робіт із підвищеною небезпекою, що висуває суворі вимоги до організації робочих місць та інтегрованих систем захисту.

Технічний нагляд: обов'язкова паспортизація пресу, щоденний інструментальний та візуальний контроль його вузлів перед пуском, а також безперервний автоматизований моніторинг динамічних параметрів за допомогою розробленого пристрою на базі акселерометра ADXL335.

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						57
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

Кваліфікаційний допуск: допуск до обслуговування пресового та мікроконтролерного обладнання виключно осіб, які пройшли спеціалізоване навчання, медичний огляд та перевірку знань правил безпеки.

Конструктивний захист: оснащення робочої зони механічними захисними екранами, фотоелектронними завісами, системами блокування та кнопками аварійного зупину (Emergency Stop).

Експлуатаційні обмеження: сувора заборона перебування рук або інструменту оператора в зоні ходу повзуна під час робочого циклу преса.

Діагностика: систематичне проведення планово-попереджувальних ремонтів (ППР), метрологічна повірка вимірювальних каналів та ведення журналів обліку технічного стану.

Застосування засобів індивідуального захисту: обов'язкове використання персоналом захисних окулярів, віброізолюючих рукавиць, спецвзуття з металевим підноском та захисного спецодягу.

Виробнича санітарія: підтримання нормованих параметрів мікроклімату, місцевого освітлення, а також зниження шкідливого впливу загальної вібрації та акустичного шуму до регламентованих значень[19].

7.2. Закони та стандарти з охорони праці

Правове та нормативно-технічне регулювання питань охорони праці при розробці та впровадженні проектного пристрою базується на таких законодавчих актах [23]:

1.Закон України «Про охорону праці» – базовий законодавчий документ, що регламентує права, обов'язки та міру відповідальності суб'єктів господарювання і працівників щодо забезпечення належних умов безпеки.

2.Кодекс законів про працю України (КЗпП) – визначає правові засади й державні гарантії працівників, регламентує режим праці та відпочинку, а також вимоги до трудової дисципліни.

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						58
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

3.Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування» – визначає порядок надання матеріального відшкодування та соціальних гарантій у разі настання нещасного випадку на виробництві.

4.Державні санітарні норми та правила (ДСНіП), ДСТУ, СОУ та галузеві накази (Мінекономіки, ДСНС) – регламентують гранично допустимі рівні (ГДР) виробничих шумів, вібрацій, параметри освітленості й мікроклімату, а також технічні вимоги до електрообладнання[19].

7.3.Безпека життєдіяльності на підприємстві

Забезпечення безпеки життєдіяльності в межах виробничого середовища, де функціонує гідравлічний прес, інтегрований із розробленою мікропроцесорною системою моніторингу вібрацій, вимагає детального аналізу та локалізації комплексу небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Комплекс умов електробезпеки є першочерговим, оскільки і силові агрегати преса, як-от електродвигуни насосних станцій чи магнітні пускачі, і розроблений контрольно-вимірювальний пристрій на базі плати мікроконтролера, блоків АЦП, стабілізаторів напруги MT3608 та OLED-дисплея, є безпосередніми споживачами електричного струму. Головними джерелами небезпеки ураження персоналу тут виступають можливе пошкодження ізоляції живильних кабелів високої напруги, деградація або повна відсутність загального контуру заземлення, пробій фази на металевий корпус преса чи захисний кожух електронного блока, а також накопичення статичної електрики. Для надійного захисту працівників усі металеві неструмоведучі частини обладнання підлягають захисному заземленню з опором не більше 4 Ом, а лінії живлення мікропроцесорної системи додатково захищаються автоматичними вимикачами та пристроями диференційного захисту. Крім того, кабельні шлейфи від аналогового акселерометра ADXL335 обов'язково прокладаються в екранованих гофрованих металорукавах, що

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						59
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

одночасно запобігає механічним пошкодженням та нівелює шкідливі електромагнітні наведення на вимірювальний тракт.

Пожежна безпека дільниці є критичним аспектом, оскільки за вибухопожежною та пожежною небезпекою відповідно до чинних стандартів приміщення класифікується як категорія «В». Це зумовлено значними об'ємами горючих рідин і твердих матеріалів у зоні виконання робіт. Серед основних аварійних режимів в електромережах, що здатні викликати пожежу, виділяють короткі замикання або струмові перевантаження в колі живлення датчиків вібрації, пробій ізоляції силових ліній преса, а також критичний тепловий перегрів електронних компонентів при тривалому безперервному моніторингу. Окрему небезпеку становлять порушення протипожежного режиму, зокрема захаращення евакуаційних шляхів, використання відкритого вогню або побутових електронагрівальних приладів. Специфічними чинниками пресового обладнання є інтенсивний нагрів вузлів тертя, утворення електричної дуги в комутаційній апаратурі та висока ймовірність займання гідравлічного масла при його раптовому витокі під високим тиском на гарячі поверхні.

Матеріальний баланс горючого середовища складається з електронних вузлів системи моніторингу, куди входять друковані текстолітові плати, пластикові корпуси модулів, ПВХ-ізоляція інтерфейсних кабелів та корпуси комп'ютерного обладнання. Також до горючих речовин належать експлуатаційні мінеральні масла у гідросистемі преса, пластичні мастила та технічні рідини для очищення датчиків. Допоміжне горюче середовище формують тверді матеріали, такі як технічний папір, документація, креслення, дерев'яні елементи меблів, стелажі та лінолеумне покриття підлоги.

Для протипожежного захисту приміщення дільниці укомплектоване ручними вуглекислотними вогнегасниками типу ВВ-5 та порошковим вогнегасником ВП-5, адаптованим для ліквідації займань електроустановок під напругою до 1000 В. На стелі приміщення змонтовані точкові димові пожежні сповіщувачі, а безпосередньо над зоною гідравлічного преса

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						60
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

встановлено додаткові теплові датчики, які інтегровані з релейним модулем автоматичного знеструмлення силової мережі при активації тривоги. Фактичні геометричні параметри евакуаційних виходів повністю відповідають будівельним нормам, шляхи евакуації постійно утримуються вільними, а в самому приміщенні стабільно функціонує автономне аварійне освітлення та світлові покажчики напрямку руху.

Аналіз механічних небезпек та фізичних чинників вказує на те, що робота потужних гідронасосів преса неминуче створює підвищений рівень акустичного тиску та загальної вібрації. Впровадження розробленого пристрою безпосередньо спрямоване на контроль цих коливань, а захист самого оператора від шкідливого впливу залишкової вібрації та шуму забезпечується використанням віброізолюючих фундаментів під пресом, протишумних навушників та віброрукавиць. Ризик механічного травмування або роздавлювання повзуном чи матрицею преса при випадковому потраплянні рук у зону штампування усувається встановленням жорстких захисних решіток, систем дворучного пуску та оптичних бар'єрів безпеки.

Додатковим шкідливим фактором виступає виробничий пил та дрібні частинки окалини, що виділяються при пресуванні. Цей пил не лише подразнює органи дихання працівника, а й здатний осідати на платах розробленого пристрою, викликаючи замикання. Для нейтралізації цього фактора електронний блок системи моніторингу виконується у пилозахисному корпусі з класом захисту не нижче IP65, а робоче місце оснащується локальною витяжною вентиляцією. Також вентиляція ефективно видаляє випаровування та дрібні аерозольні бризки гідравлічних масел, які здатні викликати хімічне подразнення шкіри та дихальних шляхів оператора.

Комплексний аналіз умов праці на ділянці експлуатації гідравлічного преса свідчить, що впровадження розробленого мікропроцесорного пристрою моніторингу вібрацій суттєво підвищує загальний рівень техногенної безпеки. Поєднання інженерних рішень у вигляді заземлення, пило- та вологозахисту корпусу IP65, автоматичного вимкнення обладнання при аварії та правильної

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						61
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

організації робочого місця забезпечує повну відповідність умов праці чинним нормативно-правовим актам України з питань безпеки життєдіяльності [20].

7.4. Навчання, інструктаж працівників з питань охорони праці

Організація своєчасного навчання та перевірки знань з питань охорони праці є основним організаційним заходом для мінімізації виробничого травматизму на дільниці ковальсько-пресового устаткування. Оскільки технологічний процес із використанням гідравлічного преса належить до категорій робіт із підвищеною небезпекою, до обслуговування цього обладнання та інтегрованої системи вібромоніторингу допускаються лише особи, які пройшли повний курс теоретичної підготовки, практичне стажування та успішно склали кваліфікаційний іспит. Навчання персоналу безпечним методам праці базується на чинних нормативно-правових актах та посадових інструкціях, що регламентують як правила механічного керування пресом, так і порядок взаємодії з цифровими контрольними приладами на базі акселерометра ADXL335 та мікроконтролера.

Система інструктажів на підприємстві має багаторівневу структуру і починається із вступного інструктажу, який проводить спеціаліст з охорони праці для всіх новоприйнятих працівників незалежно від їхнього стажу чи посади. Під час цього етапу працівника ознайомлюють із загальними правилами внутрішнього розпорядку, специфікою небезпечних факторів цеху та основами пожежної безпеки дільниці категорійності «В». Далі безпосередньо на робочому місці керівник дільниці проводить первинний інструктаж, де детально вивчаються конструктивні особливості конкретного гідравлічного преса, зони можливого механічного затискання, правила використання захисних екранів та оптичних бар'єрів безпеки, а також функціонал розробленого пристрою моніторингу вібрацій, включаючи розшифровку світлових та екранних сповіщень про стан обладнання.

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						62
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

Для підтримання належного рівня знань та оперативного реагування на зміну виробничих умов впроваджено періодичні та позапланові форми контролю персоналу. Повторний інструктаж проводиться з операторами преса кожні три місяці для закріплення навичок безпечного виконання робіт та використання засобів індивідуального захисту, зокрема віброрукавиць та протишумних навушників. Позаплановий інструктаж є обов'язковим у випадках модернізації технологічного процесу, введення в експлуатацію оновленого програмного забезпечення мікроконтролера системи моніторингу, заміни чутливих елементів датчиків, або після тривалої перерви у роботі працівника. Окремо передбачено проведення цільового інструктажу при виконанні разових або специфічних робіт, що не пов'язані з безпосередніми обов'язками оператора, наприклад, при проведенні планового технічного обслуговування гідросистеми преса чи ліквідації наслідків аварійних ситуацій.

Важливою складовою навчання є підготовка персоналу до дій у критичних умовах та засвоєння алгоритмів надання домедичної допомоги. Працівники проходять практичні тренування з екстреного знестримлення обладнання за допомогою кнопок аварійного зупину, використання первинних засобів пожежогасіння, таких як вуглекислотні вогнегасники ВВ-5 для ліквідації займання електронних блоків обробки сигналів, та правил евакуації з приміщення. Контроль ефективності навчання завершується офіційним фіксуванням результатів у відповідних журналах реєстрації інструктажів під підпис працівника та інструктора, що є правовою підставою для офіційного допуску персоналу до самостійної експлуатації гідравлічного комплексу[20].

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						63
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра було розроблено комп'ютеризований пристрій вимірювання вібрацій гідравлічного пресу.

На початковому етапі проведено аналітичний огляд наявних технічних засобів вимірювання вібрацій промислового обладнання. На основі детального порівняльного аналізу існуючих аналогів обґрунтовано доцільність створення автономного та сучасного пристрою пвимірювання вібрацій гідравлічного пресу.

У межах апаратної реалізації проєкту розроблено структурну та принципову електричну схеми вимірювальної системи. Обчислювальним ядром пристрою обрано високопродуктивну мікроконтролерну платформу Arduino Nano, інтегрований із модулями АЦП та стабілізації напруги, а як первинний перетворювач фізичних величин застосовано аналоговий триосьовий MEMS-акселерометр моделі ADXL335, для виводу вимірянних значень та повідомлень застосовно OLED-дисплей SSD1306, для живлення літію-іонний акумулятор 18650 та стабілізації напруги MT3608, для світлової сигналізації застосовно кольорові світлодіоди, для вмикання вимикання пристрою застосована кнопка KCD1-101. Для забезпечення конструктивної цілісності спроектовано топологію двошарової друкованої плати з розмірами 125x60 мм, плата розміщється в корпусі N8 з габаритами 134x70x28мм.

Побудована блок-схема алгоритму функціонування системи та розроблено відповідне програмне забезпечення. Створена програма забезпечує циклічний збір даних з просторових осей датчика, обчислення загального прискорення вібрації, виведення поточної інформації на OLED-дисплей та оперативне формування сигналів сповіщення при перевищенні встановленої межі безпечної роботи обладнання.

Виконано комплексний аналіз точності та розрахунок надійності елементної бази проєктованого пристрою. За результатами проведених експериментальних досліджень на діючому устаткуванні та математико-статистичної обробки отриманої вибірки вимірювань визначено, що середнє

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						64
Зм.3	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

робоче значення прискорення становить $10,850 \text{ м/с}^2$, а загальна абсолютна похибка вимірювального каналу не перевищує $0,22 \text{ м/с}^2$ при довірчій ймовірності 0,95. Отримана похибка повністю підтверджує високу точність, експлуатаційну стабільність та конкурентоспроможність розробленої системи в умовах реального промислового виробництва. Наробіток на безвідмовну роботу складає 14 998 годин.

На завершальному етапі опрацьовано та впроваджено комплекс організаційно-технічних заходів з охорони праці, виробничої санітарії, електро- та пожежної безпеки для дільниці ковальсько-пресового устаткування. Детально обґрунтовано вимоги безпеки життєдіяльності та розроблено рекомендації щодо проведення регулярних інструктажів і навчання персоналу правилам експлуатації гідравлічного преса спільно із впровадженням мікропроцесорним пристроєм вібромоніторингу, що функціонує у пилозахищеному корпусі класу IP65 в умовах пожежонебезпечного приміщення.

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						65
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1.Цифровий віброметр UNI-T UT311A [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uni-t.ua/uk/catalog/digital-vibration-tester-uni-t-ut311a>.

2.Віброметр Fluke 810 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://hantek.com.ua/fluke%20810>.

3.Віброметр WT63B [Електронний ресурс]. – Режим доступу:h https://brain.com.ua/ukr/Vibrometr_Wintact_WT63B-p736900.html.

4. Мікропроцесори та мікроконтролери: навч. посіб. для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка», освітньої програми «Мікро- та нанoeлектроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Д. Д. Татарчук, Ю. В. Діденко. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 238с.

5.DataSheets Arduino Nano. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://evse.com.ua/ru/plata-arduino-nano-v30-avr-atmega328p-usb-type-c>.

6. Акселерометр ADXL335. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://myproject.com.ua/ru/akselerometr-gy-61-adxl335-ru.html>.

7.OLED-дисплей I2C SSD1306. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://evse.com.ua/oled-displej-graficheskij-ssd1306-i2c-4p-096-128x64-arduino-sine-zheltyj>.

8.Кнопковий перемикач KCD1. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://relcoma.com.ua/peremykach-klaviatury-kcd1-8-201n-c-pidsvichuvanniam-n-on-off-4-pin-chervonyi-chornyi>.

9.Літій-іонний акумулятор. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://liitokala.com.ua/product-category/akkumulyatory>.

10.OLED-дисплей I2C SSD1306. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:<https://nachinka.com.ua/oled-dysplej-0-96-i2c-128x64-ssd1306-syno-zhovtyj-4-pin-modul-dlya-arduino-ta-mikrokontroleriv>.

11.LED 3mm світлодіод. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pedal-parts.com/ua/led/3mm-led/3led-green>.

12. Кнопка KCD1-101. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://radarkr.com.ua/p1504259703-vyklyuchatel-mrs-101.html>.

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						66
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		

13.Літій-іонний акумулятор 18650. [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://hobbyt.com.ua/product/akumulyatornij-element-samsung-inr18650-35e-3400-mag>.

14.Стабілізатор напруги МТ3608. [Електроний ресурс]. – Режим доступу:<https://arduino-geek.pp.ua/product/povyshajushhij-preobrazovatel-naprja-zhen>.

15.Стаття «Методи виготовлення друкованих плат» [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://studopedia.org/6-116440.html>.

16.EasyEda офіційний сайт. [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://easyeda.com>.

17. Пластиковий корпусі N8A чорного кольору, з розмірами 134×70×28 мм. [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://m-teh.com.ua/korpus-n8a-chorniy>.

18.Конспект лекцій з дисципліни «Надійність і діагностика електрообладнання» для студентів за напрямом 6.050702 “ Електромеханіка”/ Укл.: к.т.н., доцент Ключев О.В. – Дніпродзержинськ: ДДТУ,2013, 143 с.

19.Охорони праці на підприємстві [Електроний ресурс]. – Режим доступу: https://bilgorod-d.gov.ua/page/ohorona_prac_na_pdprimstv_osnovn_vimogi.

20.Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.

					МММТ 480.006.006- ПЗ	Арк.
						67
Зм.З	Арк.	№ докум.№	Підпис	Дат		