

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

**Приладобудівний факультет**

(повна назва інституту/факультету)

**Кафедра інформаційно-вимірювальної техніки**

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Єременко В.С.  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

## **Магістерська дисертація**

зі спеціальності (спеціалізації) \_\_\_\_\_

(код і назва спеціальності)

на тему: «Система моніторингу віброакустичних параметрів робочої зони»

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ВВ-81Мп

(шифр групи)

Науковий керівник доцент, к.т.н., доцент, Мокійчук В.М.

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

(підпис)

Консультант «Стартап проект» д.е.н., доцент, Бояринова К.О.

(назва розділу)

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

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

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

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з  
праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ – 2019 року

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з вступу, \_ розділів, висновків, списку літератури і \_ додатків.

Дисертація містить у собі \_\_ сторінки \_\_ таблиць, \_\_ рисунка, \_\_ використаних джерел, та \_\_ додатків.

**Мета роботи:** проектування і дослідження системи моніторингу віброакустичних параметрів робочої зони.

**Об'єкт дослідження:** робоче середовище (робоча зона) в якому присутній вплив параметрів вібрації та шуму на організм людини.

**Предмет дослідження:** віброакустичні параметри робочої зони, тобто сукупний вплив параметрів шуму та вібрації на організм людини.

**Наукова новизна:** запропонована система моніторингу віброакустичних параметрів робочої зони, яка може вимірювати параметри шуму і вібрації; аналізувати виміряні дані; сигналізувати про перевищення меж дозволених діапазонів для роботи людини; відображати виміряні дані. З'єднання вимірювальних каналів з основною платою відбувається за допомогою Bluetooth модуля, що дозволяє розмістити датчики для вимірювання параметрів шуму та вібрації в будь-яких місцях робочої зони з великою легкістю.

**Ключові слова:** віброакустика, шум, вібрація, віброакустичні параметри, система моніторингу,

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень .....	4
Вступ .....	5
1. Віброакустичні параметри та їх вплив на організм людини.....	6
1.1 Вібрація та її вплив на організм людини .....	6
1.2 Санітарні норми, допуски рівня вібрації .....	10
1.3 Шум та його вплив на організм людини.....	16
1.4 Санітарні норми, допуски рівня шуму .....	21
1.5 Віброакустичні параметри.....	23
1.6 Огляд і аналіз існуючих технічних рішень.....	27
2. Розробка системи .....	33
2.1 Розробка функціональної схеми .....	36
2.2 Розробка принципової схеми .....	43
3. Калібрування системи .....	47
3.1 Вимірювання шуму .....	47
3.2 Вимірювання вібрації .....	50
4. Алгоритм роботи та програмне забезпечення системи.....	54
4.1 Алгоритм роботи .....	54
4.2 Програмне забезпечення системи.....	56
5. Розробка стартап проекту «Система моніторингу віброакустичних параметрів робочої зони».....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
Висновки .....	62
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	65

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

Система МВП – Система моніторингу віброакустичних параметрів

МК – Мікроконтролер

ВА параметри – Віброакустичні параметри

ПШ – Параметри шуму

ПВ – Параметри вібрації

КП – Контрольований параметр

## ВСТУП

На сьогоднішній час кількість приладів та допоміжного обладнання для вимірювання віброакустичних параметрів налічує сотні видів. Вони різняться точністю, вартістю, наявністю різного функціоналу. Тому в даній роботі розроблюється система, яка має велику точність при малій собівартості, а також легкість в становленні для вимірювання віброакустичних параметрів робочої зони.

Вимірювальні канали передають виміряні дані за допомогою бездротового з'єднання, що спрощує використання та розміщення їх в будь-яких місцях робочої зони та дозволяє охоплювати більшу площу вимірюваної зони. Аналоги ж являють собою переносні прилади, які вимірюють певні малі площі робочої зони.

Щодо принципів роботи, не дивлячись на велику кількість приладів, принцип роботи їх роботи залишаються не змінними. Принцип вимірювання параметрів шуму заснований на прийнятті акустичних хвиль з подальшим перетворенням їх енергії за допомогою найрізноматніших технологій в електричний потенціал, який прямо пропорційний величині сигналу. Щодо принципу вимірювання параметрів вібрації, то використовуються вібродатчики, що сприймають механічні коливання, які також за допомогою різноманітних технологій перетворюють до відповідного електричного потенціалу.

# **1. ВІБРОАКУСТИЧНІ ПАРАМЕТРИ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ**

## **1.1 Вібрація та її вплив на організм людини**

Механічні коливання, що виникають в пружних тілах або тілах, що знаходяться під впливом змінного фізичного поля називають вібрацією. Вібрації властива низька частота коливань – до 20 Гц. Частота вище за 20 Гц являє собою сумарний вплив вібрації та шуму. Вплив вібрації на людину класифікують: за способом передачі коливань, у напрямку дії вібрації, по тимчасовій характеристиці вібрації.

Людина відчуває вібрацію при контакті з предметами – інструментами, обладнанням та ін. За способом передачі коливань, вібрацію поділяють на загальну (передається на тіло сидячої або стоячої людини через опорні поверхні) та локальну (передається через руки людини). До локальної також відноситься вібрація, яка впливає на ноги сидячої людини та передпліччя, які контактують з поверхнями робочих столів, які вібрують.

Вібрацію, за часовою характеристикою поділяють на:

- постійну вібрацію (КП змінюється не більше ніж в 2 рази за час спостереження);
- непостійну вібрацію (КП змінюється більше ніж в 2 рази).

Від характеру контакту з джерелами вібрації (за способом передачі на людину) вібрацію умовно поділяють на загальну (передається на тіло сидячої або стоячої людини через опорні поверхні та локальну (передається через руки людини).

За джерелом виникнення, вібрацію поділяють на локальні, загальні.

Локальні за джерелом виникнення розрізняють:

- вібрацію, яка передається від ручного інструменту (з двигуном) та устаткування на людину;
- вібрацію, яка передається від ручного інструменту (без вигунів), наприклад, оброблюваних деталей та рихтувальних молотків різних моделей.

Загальну за джерелом виникнення розрізняють:

- загальну 1 категорії (транспортна вібрація), яка на робочих місцях в самохідних і причепних машинах, транспортних засобах впливає на людину під час руху по місцевості та дорогах, а також під час їх будівництві;
- загальну 2 категорії (транспортно-технологічна), яка виникає на робочих місцях в машинах прямуючих по промислових майданчиках, гірничих виробничих місцевостях та спеціально підготовленим поверхням виробничих приміщень;
- загальну 3 категорії (технологічну вібрацію), яка передається на робочі місця без джерела вібрації або на робочих місцях стаціонарних машин.

Джерелами транспортної вібрації є:

- трактори сільськогосподарські і промислові;
- причіпні та самохідні машини сільського господарства (комбайни в цьому ж числі);
- вантажні автомобілі (тягачі, катки в цьому ж числі);
- машини для очищення снігу, гірничо-шахтний, самохідний рельсовий транспорт і т.д.

Джерелами транспортно-технологічної вібрації є:

- промислові та будівельні крани, машини в металургійному виробництві для завантаження мартенівських печей, а також екскаватори;
- гірничі комбайни, шахтні навантажувальні машини;
- дорожні машини, підлоговий виробничий транспорт і т.д.

Джерелами технологічної вібрації є:

- верстати бурові, металообробні та деревообробні;
- машини: ливарні, електричні, очищення та сортування зерна, сушарки та для тваринництва;
- вентилятори та насосні агрегати;

- обладнання для буріння свердловин;
- установки хімічної та нафтохімічної промисловості та ін.

Технологічну вібрацію за місцем дії поділяють на:

- на постійних робочих місцях виробничих приміщень підприємств;
- на робочих місцях на складах, в їдальнях, побутових, чергових та інших виробничих приміщень, де немає машин, що генерують вібрацію;
- на робочих місцях в приміщеннях, конструкторських бюро, лабораторій, навчальних пунктів, обчислювальних центрів, медпунктів, конторських приміщеннях, робочих кімнатах та інших приміщеннях для працівників розумової праці.

Так, джерелом технологічної вібрації може бути виробниче обладнання, розташоване в сусідніх з робочими місцями приміщеннях, і тим самим передаватися на несучі конструкції будівлі.[1][4]

В промислових умовах може мати місце поєднання локальної та загальної вібрації з переважанням тієї або іншої форми (комбінована дія).

До роботи з вібруючими машинами та устаткуванням допускаються особи не молодше 18 років, які отримали відповідну кваліфікацію, здали технічний мінімум за правилами безпеки та пройшли медичний огляд.

Робота з вібруючим обладнанням, як правило, повинна проводитися в опалювальних приміщеннях з температурою повітря не менше 16°C при вологості повітря 40-60%. Якщо створення подібних умов неможливо (робота на відкритому повітрі, підземні роботи і т.д.), То для періодичного обігріву повинні бути передбачені спеціальні опалювальні приміщення з температурою повітря не менше 22°C.

Найбільш дієвим засобом захисту людини від вібрації є усунення безпосередньо його контакту з вібруючим обладнанням.

Здійснюється це шляхом застосування дистанційного управління, промислових роботів, автоматизації та заміни технологічних операцій.



Зниження несприятливої дії вібрації ручних механізованих інструментів на оператора досягається шляхом технічних рішень:

- зменшенням інтенсивності вібрації безпосередньо в джерелі (за рахунок конструктивних удосконалень);
- засобами зовнішньої віброзахисту, які представляють собою пружнодемпфуючі матеріали і пристрої, розміщені між джерелом вібрації і руками людини-оператора.

У комплексі заходів важлива роль відводиться розробці та впровадженню науково обґрунтованих режимів праці і відпочинку. Наприклад, сумарний час контакту з вібрацією не повинно перевищувати  $2/3$  тривалості робочої зміни; рекомендується встановлювати 2 регламентовані перерви для активного відпочинку, проведення фізико-профілактичних процедур, виробничої гімнастики за спеціальним комплексом.

Вібрація відноситься до факторів, що володіє високою біологічною активністю. Вираженість відповідних реакцій обумовлюється головним чином силою енергетичного впливу і біомеханічними властивостями людського тіла як складної коливальної системи. Потужність коливального процесу в зоні контакту і час цього контакту є головними параметрами, що визначають розвиток вібраційних патологій, структура яких залежить від частоти і амплітуди коливань, тривалості впливу, місця докладання і напрямки осі вібраційного впливу, демпфуючих властивостей тканин, явищ резонансу і інших умов.

Особливого значення набуває ставлення резонансу до органу зору. Розлад зорового сприйняття проявляється в частотному діапазоні між 60 і 90 Гц, що відповідає резонансу очних яблук. Для органів, розташованих в грудній клітці та черевній порожнині, резонансними є частоти 3-3,5 Гц. Для всього тіла в положенні сидячи резонанс настає на частотах 4-6 Гц.

Коливання низьких частот викликають різке зниження тону капілярів, а високих частот – спазм судин.

До факторів виробничого середовища, яка збільшує шкідливий вплив вібрацій на організм, відносяться надмірні м'язові навантаження, несприятливі

мікрокліматичні умови, особливо знижена температура, шум високої інтенсивності, психоемоційний стрес. Охолодження і змочування рук значно підвищують ризик розвитку вібраційної хвороби за рахунок посилення судинних реакцій. При спільній дії шуму і вібрації спостерігається взаємне посилення ефекту в результаті його сумачії, а можливо, і потенціювання.

Тривалий систематичний вплив вібрації призводить до розвитку вібраційної хвороби (ВХ), яка включена в список професійних захворювань. Ця хвороба діагностується, як правило, у працюючих на виробництві (машинобудування, авіабудування, видобуток корисних копалин, будіндустрія, технологічний автотранспорт і ін.).[2] [4]

## 1.2 Санітарні норми, допуски рівня вібрації

Санітарні норми є обов'язковими для всіх міністерств, відомств, підприємств, об'єднань, організацій, установ, незалежно від відомчої приналежності та форм власності; організацій, громадян, які проектують, виготовляють та експлуатують вібронебезпечне устаткування, механізми і інструменти; які розробляють та впроваджують заходи щодо зниження шкідливого впливу виробничих вібрацій; які виконують державний санітарний нагляд за умовами праці.

Гранично допустимі величини постійної та непостійної локальної вібрації (крім імпульсної) при тривалості дії протягом 8 годин наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Гранично допустимі рівні локальної вібрації

Середньгеометричні частоти октавних смуг, Гц	Гранично допустимі рівні по осях Хл, Ул, Зл			
	віброшвидкість		віброприскорення	
	$m/s \times 10^{-2}$	дБ	$m/s^2$	дБ
8	2,8	115	1,4	73
16	1,4	109	1,4	73
31,5	1,4	109	2,7	79
63	1,4	109	5,4	85
125	1,4	109	10,7	91
250	1,4	109	21,3	97
500	1,4	109	42,5	103
1000	1,4	109	85,0	109
Коректований, еквівалентний коректований рівень	2,0	112	2,0	76

При тривалості зміни 7 годин гранично допустимі коректовані та еквівалентні коректовані рівні локальної вібрації дорівнюють значенням для 8-ми годинної. При 6-годинній тривалості зміни ці показники дорівнюють для віброшвидкості 113 дБ ( $2,3 \times 10^{-2}$  м/с), а віброприскорення 78 дБ ( $2,3$  м/с<sup>2</sup>). Робота в умовах дії локальної вібрації, що перевищує гранично допустиму більш ніж на 12 дБ, не дозволяється.[3] [4]

Гранично допустимі рівні постійної та непостійної загальної вібрації при тривалості дії протягом 8 годин наведено у таблицях 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7. [ДСН 3.3.6.039-99]

Таблиця 1.2

Гранично допустимі рівні загальної вібрації (віброприскорення) категорії 1 (транспортна)

Середньгеометричні частоти смуг, Гц	Гранично допустимі рівні віброприскорення							
	м/с <sup>2</sup>				дБ			
	у 1/3 окт		у 1/1 окт		у 1/3 окт		у 1/1 окт	
	Z <sub>3</sub>	X <sub>3</sub> , Y <sub>3</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>0</sub> , Y <sub>0</sub>	Z <sub>3</sub>	X <sub>3</sub> , Y <sub>3</sub>	Z <sub>3</sub>	X <sub>3</sub> , Y <sub>0</sub>
0,8	0,71	0,224			67	57		
1,0	0,63	0,224	1,12	0,4	66	57	71	62
1,25	0,56	0,224			65	57		
1,6	0,50	0,224			64	57		
2,0	0,45	0,224	0,8	0,4	63	57	68	62
2,5	0,40	0,280			62	59		
3,15	0,355	0,355			61	61		
4,0	0,315	0,450	0,56	0,8	60	63	65	68
5,0	0,315	0,56			60	65		
6,3	0,315	0,710			60	67		
8,0	0,315	0,900	0,56	1,6	60	69	65	74
10,0	0,40	1,12			62	71		
12,5	0,50	1,40			64	73		
16,0	0,63	1,80	1,12	3,15	66	75	71	80
20,0	0,80	2,24			68	77		
25,0	1,0	2,80			70	79		
31,5	1,25	3,55	2,24	6,3	72	81	77	86
40,0	1,60	4,50			74	83		
50,0	2,0	5,60			76	85		
63,0	2,5	7,10	4,50	12,5	78	87	83	92
80,0	3,15	9,00			80	89		
Коректовані, еквівалентні коректовані рівні			0,56	0,4			65	62

Таблиця 1.3

Гранично допустимі рівні загальної вібрації (віброшвидкості) категорії 1 (транспортна)

Середньгеометричні частоти смуг, Гц	Гранично допустимі рівні віброшвидкості							
	$m/c \times 10^{-2}$				дБ			
	у 1/3 окт		у 1/1 окт		у 1/3 окт		у 1/1 окт	
	$Z_3$	$X_3, Y_3$	$Z_3$	$Z_0, Y_0$	$Z_3$	$X_3, Y_3$	$Z_3$	$X_3, Y_0$
0,8	14,0	4,5			129	111		
1,0	10,0	3,5	20,0	6,3	126	111	132	122
1,25	7,1	2,8			123	111		
1,6	5,0	2,2			120	111		
2,0	3,5	1,8	7,1	3,5	117	111	123	117
2,5	2,5	1,8			114	111		
3,15	1,8	1,8			111	111		
4,0	1,25	1,8	2,5	3,2	108	111	114	116
5,0	1,0	1,8			106	111		
6,3	0,8	1,8			104	111		
8,0	0,63	1,8	1,3	3,2	102	111	108	116
10,0	0,63	1,8			102	111		
12,5	0,63	1,8			102	111		
16,0	0,63	1,8	1,1	3,2	102	111	107	116
20,0	0,63	1,8			102	111		
25,0	0,63	1,8			102	111		
31,5	0,63	1,8	1,1	3,2	102	111	107	116
40,0	0,63	1,8			102	111		
50,0	0,63	1,8			102	111		
63,0	0,63	1,8	1,1	3,2	102	111	107	116
80,0	0,63	1,8			102	111		
Коректовані, еквівалентні коректовані рівні			1,1	3,2			107	116

Таблиця 1.4

Гранично допустимі рівні загальної вібрації категорії 2 (транспортно-технологічна)

Середньгеометричні частоти смуг, Гц	Гранично допустимі рівні віброприскорення							
	віброприскорення				віброшвидкість			
	$m/c^2$		дБ		$m/c \times 10^{-2}$		дБ	
	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт
1,6	0,25		58		2,5		114	
2,0	0,224	0,4	57	62	1,8	3,5	111	117
2,5	0,20		56		1,25		108	
3,15	0,18		55		0,9		105	
4,0	0,16	0,28	54	59	0,63	1,3	102	108
5,0	0,16		54		0,50		100	
6,3	0,16		54		0,40		98	
8,0	0,16	0,28	54	59	0,32	0,63	96	102
10,0	0,20		56		0,32		96	
12,5	0,25		58		0,32		96	

16,0	0,315	0,56	60	65	0,32	0,56	96	101
20,0	0,40		62		0,32		96	
25,0	0,50		64		0,32		96	
31,5	0,63	1,12	66	71	0,32	0,56	96	101
40,0	0,80		68		0,32		96	
50,0	1,00		70		0,32		96	
63,0	1,15	2,25	72	77	0,32	0,56	96	101
80,0	1,60		74		0,32		96	
Коректовані, еквівалентні коректовані рівні		0,28		59		0,56		101

Таблиця 1.5

Гранично допустимі рівні загальної вібрації категорії 3 (технологічна типу «а»)

Середньгеометричні частоти смуг, Гц	Гранично допустимі рівні віброприскорення							
	віброприскорення				віброшвидкість			
	$m/c^2$		дБ		$m/c \times 10^{-2}$		дБ	
	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт
1,6	0,09		49		0,9		105	
2,0	0,08	0,14	48	53	0,63	1,3	102	108
2,5	0,071		47		0,45		99	
3,15	0,063		46		0,32		96	
4,0	0,056	0,1	45	50	0,22	0,45	93	99
5,0	0,056		45		0,18		91	
6,3	0,056		45		0,14		89	
8,0	0,056	0,1	45	56	0,11	0,22	87	93
10,0	0,071		47		0,11		87	
12,5	0,09		49		0,11		87	
16,0	0,112	0,2	51	56	0,11	0,20	87	92
20,0	0,14		53		0,11		87	
25,0	0,18		55		0,11		87	
31,5	0,224	0,4	57	62	0,11	0,20	87	92
40,0	0,280		59		0,11		87	
50,0	0,355		61		0,11		87	
63,0	0,45	0,8	63	68	0,11	0,20	87	92
80,0	0,56		65		0,11		87	
Коректовані, еквівалентні коректовані рівні		0,1		50		0,2		92

Таблиця 1.6

Гранично допустимі рівні загальної вібрації категорії 3 (технологічна типу «б»)

Середньгеометричні частоти смуг, Гц	Гранично допустимі рівні віброприскорення							
	віброприскорення				віброшвидкість			
	$m/c^2$		дБ		$m/c \times 10^{-2}$		дБ	
	1/3	1/1	1/3	1/1	1/3	1/1	1/3	1/1

	ОКТ	ОКТ	ОКТ	ОКТ	ОКТ	ОКТ	ОКТ	ОКТ
1,6	0,035		41		0,35		97	
2,0	0,315	0,056	40	45	0,25	0,5	94	100
2,5	0,028		39		0,18		91	
3,15	0,025		38		0,13		88	
4,0	0,022	0,04	37	42	0,089	0,18	85	91
5,0	0,022		37		0,072		83	
6,3	0,022		37		0,056		81	
8,0	0,022	0,04	37	42	0,044	0,08	79	85
10,0	0,028		39		0,044		79	
12,5	0,035		43		0,044		79	
16,0	0,045	0,08	43	48	0,044	0,07	79	84
20,0	0,056		45		0,044		79	
25,0	0,071		47		0,044		79	
31,5	0,09	0,16	49	54	0,044	0,07	79	84
40,0	0,112		51		0,044		79	
50,0	0,14		53		0,044		79	
63,0	0,18	0,32	55	60	0,044	0,07	79	84
80,0	0,224		57		0,044		79	
Коректовані, еквівалентні коректовані рівні		0,04		42		0,08		84

Таблиця 1.7

Гранично допустимі рівні загальної вібрації категорії 3 (технологічна типу «В»)

Середньгеометричні частоти смуг, Гц	Гранично допустимі рівні віброприскорення							
	віброприскорення				віброшвидкість			
	$m/c^2$		дБ		$m/c \times 10^{-2}$		дБ	
	1/3 ОКТ	1/1 ОКТ	1/3 ОКТ	1/1 ОКТ	1/3 ОКТ	1/1 ОКТ	1/3 ОКТ	1/1 ОКТ
1,6	0,012		32		0,13		88	
2,0	0,011	0,02	31	36	0,089	0,18	85	91
2,5	0,01		30		0,063		82	
3,15	0,009		29		0,045		79	
4,0	0,008	0,014	28	33	0,032	0,06	76	82
5,0	0,008		28		0,025		74	
6,3	0,008		28		0,02		72	
8,0	0,008	0,014	28	33	0,016	0,03	70	76
10,0	0,01		30		0,016		70	
12,5	0,012		32		0,016		70	
16,0	0,016	0,028	34	39	0,016	0,03	70	75
20,0	0,02		36		0,016		70	
25,0	0,025		38		0,016		70	
31,5	0,032	0,056	40	45	0,016	0,03	70	75
40,0	0,04		42		0,016		70	
50,0	0,05		44		0,016		70	
63,0	0,063	0,012	46	51	0,016	0,03	70	75
80,0	0,08		48		0,016		70	

Коректовані, еквівалентні коректовані рівні		0,014		33		0,03		75
--	--	-------	--	----	--	------	--	----

Рациональний режим праці робітників вібронебезпечних професій встановлюється для конкретного робочого місця або виконання конкретних технологічних операцій, якщо перевищує допустимі рівні не більше ніж на 12 дБ. Рациональний режим праці може бути внутрішньозмінним, залежно від часової структури робочої зміни або робочих циклів (днів, вахт, тижнів). Внутрішньозмінний режим праці при дії локальної вібрації. В залежності від перевищення граничного допустимого рівня вібрації за допомогою таблиці 1.8 визначається допустимий сумарний час вібрації за 8-годинну робочу зміну.

Таблиця 1.8

Допустимий сумарний час дії локальної вібрації в залежності від перевищення її гранично допустимого рівня

Перевищення граничного допустимого рівня вібрації, дБ	Допустимий сумарний час дії вібрації за зміну, хв.	Перевищення гранично допустимого рівня вібрації, дБ	Допустимий сумарний час дії вібрації за зміну, хв.
1	384	7	95
2	302	8	76
3	240	9	60
4	191	10	48
5	151	11	38
6	120	12	30

Якщо допустимий сумарний час дії вібрації більший за необхідний технологічний час праці за зміну, то він повинен довільно розподілятися у межах робочої зони з дотриманням 2 регламентованих перерв (перша – 20 хвилин за 1-2 годину від початку роботи, друга – на 30 хвилин через 2 години після обідньої перерви) та обідньої перерви тривалості не менш ніж 40хвилин. Якщо допустимий сумарний вібрації менший за технологічний час роботи за зміну, то встановлюється часова структура робочої зміни на підставі вібраційних циклів, що регулярно перериваються. Останні становлять відрізки часу тривалістю одну годину, на протязі якої робота у контакті з вібрацією чергується з роботою без вібрації. В залежності від рівня вібрації та кількості одногодинних циклів за зміну обмежується

сумарний час роботи в умовах дії вібрації на протязі одногодинного вібраційного циклу згідно з таблицею 1.9.

Таблиця 1.9

Обмеження сумарного часу роботи в умовах дії вібрації на протязі  
одногодинного вібраційного циклу

Перевищення гранично допустимого рівня, дБ	Рекомендований допустимий сумарний час роботи в умовах дії вібрації, вплив якої регулярно переривається за кожний одногодинний цикл для різної кількості цих циклів							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	50	50	50	50	50	50	50	50
2	50	50	50	50	50	50	49	49
3	50	50	50	50	50	46	42	40
4	50	50	50	50	44	40	37	34
5	50	50	50	43	38	34	31	30
6	50	50	45	37	33	30	27	26
7	50	50	38	32	28	25	24	22
8	50	42	32	27	24	22	20	19
9	50	36	27	23	20	19	18	17
10	50	30	23	20	18	16	15	14
11	43	25	20	17	15	14	13	12
12	36	21	17	14	13	12	11	10

Рекомендована раціональна тривалість одноразової безперервної дії вібрації дорівнює 10-15 хвилин. До неї входять і мікро паузи тривалістю до 30 с. Час регламентованих перерв вважається робочим часом, а режим праці повинен бути вказаний у робочому завданні.[4]

### 1.3 Шум та його вплив на організм людини

Шумом прийнято називати небажане для сприйняття органами слуху людини безладне поєднання звуків різної частоти і інтенсивності.

Джерелами шуму є всі тіла, що знаходяться в стані коливання (повітря, вода, метал тощо.).

Вплив шуму на людину поки ще недостатньо повно вивчено. Це пояснюється складністю виділення впливу шуму з комплексу факторів зовнішнього середовища, які впливають на людину, і відсутністю чітких критеріїв його оцінки. Реакція організму на шум залежить від багатьох факторів. Деякі люди терпимі до нього, у інших він викликає незадоволення, у третіх погіршується самопочуття, сон,



нормальна трудова діяльність. Причиною раз-особистого сприйняття шуму може бути вік, стан здоров'я, характер діяльності людини, його настрої.

Рівень шуму і фактор часу мають вирішальне значення. Ступінь дратівної дії залежить і від того, на скільки шум перевищує звичний навколишній фон, яка укладена в ньому інформація. Вплив виробничого шуму на організм людини також може супроводжуватись розвитком професійних захворювань. Тривалий вплив шуму на людину може привести до часткової, а іноді значної втрати слуху. Вже при шумі 130 дБ людина відчуває больові відчуття. Шум в 150 дБ для людини, нестерпний. Шум, володіючи кумулятивними властивостями, накопичуючись в організмі, погано впливає в першу чергу на центральну нервову і серцево-судинну системи. Шум – джерело і причина багатьох-захворювань і функціональних розладів. Як показали результати медико-біологічних досліджень, кожен децибел шуму понад допустиму норму знижує продуктивність праці на один відсоток, збільшує ризик втрати слуху на півтора відсотка і на пів відсотка – ризик серцево-судинних розладів.

Часткова або повна втрата слуху – не рідкісне професійне захворювання у багатьох промислово розвинених країнах. Несприятливий вплив акустичних коливань призводить не тільки до погіршення слуху. Від надмірного шуму в організмі знижується імунний бар'єр і частота, захворювань, причому самих різни – від простудних до гінекологічних-збільшується. Дослідження показують, що на гучних підприємствах рівень захворюваності вище середнього на 20%. Під впливом шуму підвищується внутрішньочерепний і кров'яний тиск, серце починає гірше скорочуватися, порушуються ритм дихання і сон, порушується робота ендокринної системи. Шум є причиною зниження працездатності, ослаблення пам'яті, уваги, гостроти зору, чутливості до попереджувальних сигналів. На думку австрійського вченого Гріффіта шум є причиною передчасного старіння в 30 випадках з 100, він скорочує життя людини в галасливих містах на 8-12 років. Під дією систематичного шуму продуктивність праці в ряді випадків знижується до 66%, а число помилок в розрахункових роботах збільшується більш ніж на 50%. [5]

Тривала дія інтенсивного шуму (вище 80 дБ) на слух людини приводить до його часткової або повної втрати. Залежно від тривалості та інтенсивності впливу

шуму відбувається більший або менший рівень зниження чутливості органів слуху, яке виражається:

- у тимчасовому зсуві порога чутності, яке зникає після закінчення впливу шуму;
- незворотньою втратою слуху (туговухість), що характеризується постійною зміною порогу чутності.

Для профілактичної роботи щодо забезпечення безпечних умов праці по шумовому фактору служить аудіо-метричний контроль (аудіометрія) працюючих, який проводиться для оцінки стану органів слуху. При цьому стан слухової функції оцінюють як середньоарифметичне значення зниження слухової чутливості в діапазоні мовних частот (500-2000 Гц) і на частоті 4000 Гц.[6]

Розрізняють три ступеня втрати слуху:

- I ступінь (легке зниження слуху) – втрата слуху в області мовних частот становить 10, 20 дБ (на частоті 4000 Гц –  $60 \pm 20$  дБ),
- II ступінь (помірне зниження) – 21, 30 дБ в області мовних частот,  $65 \pm 20$  на 4000 Гц,
- III ступінь (значне зниження) – понад 31 дБ на мовних частотах,  $78 \pm 20$  дБ на 4000 Гц.

Як показують дослідження, туговухість в останні роки виходять на провідне місце серед професійних захворювань і не виявляє тенденції до зниження.

Шум впливає не тільки на орган слуху. Через волокна слухових нервів роздратування шумом передається в центральну і вегетативну нервові системи, а через них впливає на внутрішні органи, приводячи до значних змін у функціональному стані організму, впливає на психічний стан людини, викликаючи почуття занепокоєння і роздратування. Встановлено, що чоловік, який зазнає впливу інтенсивного шуму, витрачає на 10 – 20 % більше фізичних і нервово-психічних зусиль, щоб зберегти рівень роботи, досягнутий при рівні звуку нижче 70 дБ. Загальна захворюваність робочих на гучних виробництвах на 10, 15 % вище.

Вплив шуму на вегетативну нервову систему проявляється навіть при невеликих рівнях звуку (40 – 70 дБ) і не залежить від суб'єктивного сприйняття

шуму людиною. Найбільш яскраво вираженою вегетативної реакцією є порушення периферичного кровообігу за рахунок звуження капілярів шкірного покриву і слизових оболонок, а також (при рівнях звуку вище 85 дБ) підвищення артеріального тиску.

Вплив шуму на ЦНС викликає уповільнення зорово-моторної реакції, призводить до порушення рухливості нервових процесів, зміни електроенцефалографічних показників, порушує біоелектричну активність головного мозку з проявом загальних функціональних змін в організмі (вже при шумі 50 – 60 дБ), істотно змінює біопотенціали мозку, викликає біохімічні зміни в структурах головного мозку.

Для опису комплексу симптомів, пов'язаних як зі специфічним, так і з неспецифічним впливом шуму, існує термін «шумова хвороба». До об'єктивних симптомів шумової хвороби відносяться:

- зниження слухової чутливості,
- зміна функції травлення (зниження кислотності)
- серцево-судинна недостатність,
- нейро-ендокринні розлади.
- Суб'єктивними симптомами є:
- дратівливість,
- головні болі,
- запаморочення,
- зниження пам'яті,
- підвищена стомлюваність,
- втрата апетиту,
- болі в вухах і т.д.

Ці явища нарастають зі збільшенням періоду, протягом якого людина піддається дії шуму, тобто шумові явища мають властивість кумуляції. При тривалому впливі шуму можливе виникнення захворювань серцево-судинної системи, гіпертонічна хвороба, виразкова хвороба.[7]

До останнього часу оцінка прийнятності виробничого шуму з рівнем вище 80 дБ найчастіше ґрунтувалася на виявленні його впливу на органи слуху. Тепер доведено, що і шуми середніх рівнів (нижче 80 дБ), що не викликають втрати слуху, проте надають несприятливу дію на організм в цілому, що повинно було в останні роки при нормуванні шуму.

В сучасних умовах шум – це один із серйозних факторів забруднення навколишнього середовища; пов'язаний з ростом міст, розвитком транспорту, промисловості, побутової техніки). Основним джерелом шуму в містах є транспорт. Рівень шуму у великих містах досяг інтенсивності промислових шумів (80-100 дБ).

Виробничий шум ускладнює прийом і передачу інформації, що призводить до зниження ефективності і безпеки праці. Високий рівень шуму заважає, зокрема, почути сигнал небезпеки. Рівень інтенсивності шуму на частоті 1000 Гц, рівний 70 дБ вважається граничним рівнем, при якому людина може ще розуміти команди, вимовлені звичайним голосом. При 75 дБ виключено виконання телефонного зв'язку. Для нормального прийому та передачі інформації по телефону рівень шуму близько телефонного апарату не повинен перевищувати 50 – 55 дБ. Під впливом шуму знижуються здатність зосередження уваги, точність виконання робіт, особливо тих її видів, які пов'язані з прийомом і передачею інформації, а отже, продуктивність праці.

Згідно з нормативами Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), серцево-судинні захворювання можуть виникнути, якщо людина ночами постійно піддається впливу шуму гучністю 50 дБ або вище – такий шум видає вулиця з неінтенсивним рухом. Для того, щоб заробити безсоння, досить шуму в 42 дБ; щоб просто стати дратівливим – 35 дБ (звук шепоту). За даними ВООЗ тисячі людей в Україні та по всьому світу передчасно вмирають від серцевих розладів, викликаних тривалим впливом підвищеного рівня шуму.[7]

За характером порушення фізіологічних функцій шум поділяється на такий, який:

- заважає (перешкоджає розмові);

- дратівливий (викликає нервову напругу, зниження працездатності, перевтома);
- шкідливий (порушує фізіологічні функції на тривалий період і викликає розвиток хронічних слухових захворювань);
- травмує (порушує фізіологічні функції організму).

За спектральним складом в залежності від переважання звукової енергії у відповідному діапазоні частот розрізняють шуми:

- низькочастотні;
- середньочастотні;
- високочастотні.

За часовими характеристиками:

- постійні;
- непостійні (діляться на хиткі, переривчасті і імпульсні).

По тривалості дії:

- тривалі;
- короткочасні.

#### 1.4 Санітарні норми, допуски рівня шуму

Допустимі значення октавних рівнів звукового тиску, рівнів звуку, еквівалентних і максимальних рівнів звуку проникаючого шуму в приміщення житлових і громадських будівель, і шуму на території забудови слід приймати за таблицею 1.10 з поправками до них на характер шуму, місце розташування об'єкта для зовнішніх джерел шуму за таблицею 1.11.

Таблиця 1.10

Допустимі значення октавних рівнів звукового тиску, рівня звуку

Призначення приміщень та територій	Рівні звукового тиску, дБ, в октавних рівнях частот з середньгеометричними частотами, Гц								Рівні звуку, дБА	Максимальний рівень звуку, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	–	–
Палати лікарень, операційні лікарень	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
Робочі місця в	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

приміщеннях (програмісти, лабораторії для теоретичних робіт)										
Кімнати вчителів, аудиторії шкіл	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
Житлові кімнати	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
Робочі місця в приміщеннях (цех управління)	93	83	74	68	63	60	57	55	54	64
Робочі місця водіїв та обслуговуючого персоналу	10 0	87	79	72	68	65	63	61	59	70
Робоче місце за пульта дистанційного ми управління	10 3	91	83	77	73	70	68	66	64	75
Виробничі приміщення	10 7	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Кабіни машиністів поїздів	99	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Робочі місця в кабінах літаків	10 7	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Допустимі рівні шуму від зовнішніх джерел в приміщеннях встановлюються за умови забезпечень нормальної вентиляції приміщень (для житлових приміщень, палат, класів – при відкритих кватирках, фрамугах, вузьких стулках вікон).

Еквівалентні та максимальні рівні звуку в дБА для шуму, створюваного засобами автомобільного, залізничного, авіаційного транспорту, в 2 м від огорожувальних конструкцій першого ешелону житлових будинків, будівель готелів, гуртожитків, звернених в сторону магістральних вулиць загальноміського та районного значення, залізниць, а також джерел авіаційного шуму, допускається приймати на 10 дБА вище (поправка (дельта)  $n = 10$  дБ) зазначених в таблиці 1.10.

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот в дБ, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку в дБА для шуму, створюються у приміщеннях і на територіях, прилеглих до будівель, системами кондиціонування повітря, повітряного опалення, і вентиляції, слід приймати на 5 дБ (дБА) нижче (поправка (дельта)  $n = -5$  дБ (дБА), зазначених в таблиці 1.11 або фактичних рівнів шуму в цих приміщеннях, якщо останні не перевищують зазначених в таблиці 1.10 значень

(поправку для тонального та імпульсного шуму по таблиці 1.11 в цьому випадку приймати не слід).

Таблиця 1.11

Поправки до таблиці 1.9 на характер шуму, місце розташування об'єкта для зовнішніх джерел

Фактор впливу	Умови	Поправка в дБ
Характер шуму	Широкопasmовий	0
	Тональний, імпульсний (при вимірюваннях стандартним шумоміром)	-5
Місце розташування об'єктів	Зелена зона міста, місця відпочинку, туризму	-5
	Новий проєктований житловий район	0
	Район сформованої забудови	+5

Поправки на місце розташування об'єкта слід враховувати тільки для зовнішніх джерел шуму в житлових кімнатах квартир, спальних приміщеннях будинків відпочинку і пансіонатів, спальних приміщеннях дитячих дошкільних установ і шкіл-інтернатів, в будинках-інтернатах для престарілих та інвалідів, палатах лікарень і спальних кімнатах санаторіїв, житлових кімнатах гуртожитків і номерах готелів і на територіях житлової забудови. Поправку +5 дБ не слід приймати для знову споруджуваних об'єктів в сформованій забудові.[8]

## 1.5 Віброакустичні параметри

### 1.5.1 Акустичні параметри

Звуковий Тиск  $P$ , Па ( $\text{Н/м}^2$ ) – це різниця середньоквадратичних значень тиску у збуреному та незбуреному повітряному середовищі.

Інтенсивність звуку  $I$ ,  $\text{Вт/м}^2$  – це кількість енергії перенесеної звуковою хвилею через одиничну площадку, перпендикулярну до звукової хвилі.

$$I = \frac{p^2}{rc}, \quad (1.1)$$

де  $r$  – щільність середовища;

$c$  – швидкість звуку в середовищі.

Довжина хвилі  $\lambda$ , м – це відстань, що проходить звукова хвиля протягом періоду коливання (відстань між двома шарами повітря, які мають однаковий звуковий тиск, виміряний одночасно)

$$\lambda = \frac{C}{f}, \quad (1.2)$$

де  $C$  – швидкість поширення звукових хвиль.

Частота – це число коливань середовища за одну секунду.[9]

Оскільки людське вухо по різному реагує на звукові коливання різної частоти, весь діапазон частот звуку, які сприймає вухо, поділено на 9 октавних смуг частот.

Звукова потужність є головною характеристикою будь-якого джерела шуму. Вона визначається як загальна кількість енергії, що випромінюється джерелом в навколишнє середовище, за одиницю часу.

Звуковий тиск та інтенсивність звуку можуть змінюватися за величиною в дуже великих межах – до  $10^{16}$  раз. Важливе значення має також те, що людське вухо реагує не на абсолютну, а на відносну зміну інтенсивності звуку, оскільки інтенсивність звуку (відчуття людини при шумі) пропорційна логарифму кількості енергії подразнювача. Через це на практиці використовують не абсолютні значення  $P$  та  $I$ , а їхні рівні, тобто відношення абсолютних значень  $P$  та  $I$  до порогових  $P_0$ ,  $I_0$ .

$$P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Па}, I_0 = 10^{-12} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (1.3)$$

Рівень інтенсивності звуку:

$$L_1 = 10 \lg\left(\frac{I_i}{I_0}\right), \text{ дБ}, \quad (1.4)$$



де  $I_i$  – інтенсивність звуку в конкретній точці;

Рівень звукового тиску:

$$L_p = 20 \lg \left( \frac{P_i}{P_0} \right), \text{ дБ}, \quad (1.5)$$

де  $P_i$  – середньоквадратичне значення звукового тиску в конкретній точці в певний момент;

$P_0$  – середньоквадратичне значення звукового тиску на нижньому порозі чутливості в октавній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц.

### 1.5.2 Параметри вібрації

Основними параметрами вібрації є:

- амплітуда вібропереміщення –  $X_m$ , м;
- амплітуда коливальної швидкості (віброшвидкості) –  $V_m$ , м/с;
- амплітуда коливального прискорення (віброприскорення) –  $a_m$ , м/с<sup>2</sup>;
- період коливань –  $T$ , с;
- частота коливань –  $f$ , Гц.

В силу специфічних властивостей органів чуття визначальним при оцінці впливу вібрації є діючі значення вище перерахованих параметрів. Так діюче значення віброшвидкості є середньоквадратичне миттєвих значень швидкості  $V(t)$  за час усереднення  $t_y$ , яке вибирають з урахуванням характеру зміни віброшвидкості в часі:

$$V_y = \sqrt{\frac{1}{t_y} \int_t^{t=t_y} V^2(t) dt}. \quad (1.6)$$

Таким чином, для характеристики вібрацій використовують спектри діючих значень параметрів або середніх квадратів останніх.

У практиці віброакустичних досліджень весь діапазон частот вібрацій розбивають на октавні діапазони. У октавному діапазоні верхня гранична частота вдвічі більше нижньої  $\frac{f_2}{f_1} = 2$ . Аналіз і побудова спектрів параметрів вібрації можуть проводитися також у трьохоктавних смугах частот  $\frac{f_2}{f_1} = \sqrt[3]{2}$ . Якщо  $f_1$  – нижня гранична частота, а  $f_2$  – верхня, то в якості частоти, що характеризує смугу в цілому, береться середньгеометрична частота  $f_{\text{ср}} = \sqrt{f_1 \times f_2}$ .

Середньгеометричні частоти октавних смуг частот вібрації стандартизовані і становлять: 1, 2, 4, 8, 16, 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000 Гц.

Оскільки абсолютні значення параметрів, що характеризують вібрацію, змінюються в дуже широких межах, в практиці використовують поняття логарифмічного рівня коливань. Логарифмічний рівень коливань - характеристика коливань, що порівнює дві однойменні фізичні величини, пропорційні десятковому логарифму відношення оцінюваного і вихідного значення величини. В якості вихідного використовуються опорні значення параметрів, прийняті за початок відліку. Вимірюються рівні в дБ. Тоді рівень віброшвидкості буде визначатися за формулою:

$$L_v = 20 \lg \left( \frac{V^2}{V_0^2} \right) = 20 \lg \left( \frac{V_y}{V_0} \right), \quad (1.7)$$

де  $V_y$  – усереднене значення віброшвидкості у відповідній смузі частот;

$V_0$  – опорне значення віброшвидкості, що дорівнює  $5 \times 10^{-6}$  м/с, міжнародна стандартна величина.[10]

Рівень віброприскорення визначається виразом:

$$L_a = 20 \lg \left( \frac{a}{10^{-6}} \right) \quad (1.8)$$

## 1.6 Огляд і аналіз існуючих технічних рішень

### 1.6.3 Вимірювання шуму

Розроблюючи методи боротьби з шумом та порівняння характеристик шуму, які створюються механізмами та машинами з допустимими санітарними нормами необхідно знати його спектральний склад, а також рівень його інтенсивності..

Для вимірювання рівня шуму існують два методи:

- суб'єктивний;
- об'єктивний.

При вимірюванні суб'єктивним методом використовують прилади-фонометри. В цих приладах чистий тон певної частоти порівнюється з вимірюваним звуком або шумом. Прилади-фонометри мають дуже обмежене застосування через складність вимірювань та залежності їх результатів від характеристик слуху.

При вимірюванні об'єктивним методом використовують шумоміри, які набули широкого поширення для вимірювання параметрів шуму. Шумоміри сприймають шум за допомогою широкосмугового мікрофона. Мікрофон перетворює звукові коливання в електричні. Електричні в свою ж чергу посилюються, а після подаються на випрамляч стрілочного приладу, тобто вимірювач. Частотні аналізатори, самописці та інші прилади можуть підключатися до виходу підсилювача..

Через обмеженість частотних характеристик чутливості, шумоміри об'єктивного методу вимірювання дозволяють визначити лише наближені значення рівнів гучності шуму.

Вимірювання рівнів шуму в промисловості виробляються шумомірами різних типів, з яких найбільшого поширення набули шумомір Ш-63 з приєднаним до нього октавним смуговим фільтром ПФ-1 і шумомір Ш-3М з 1/3-октавних аналізатором Ліоте. На рисунку 1.1 наведено загальний вигляд шумомір Ш-63.

Шумомір має три шкали (А, В і С), що враховують частотний склад вимірюваного шуму. Характеристика шуму за шкалою А відповідає кривій гучності 40 фон, т. Е. До певної міри суб'єктивним сприйняттям рівня гучності і дозволяє зробити орієнтовну оцінку «неприємності» або «шкідливості» шуму. Тому рівень

шуму, виміряний по шкалі А в децибелах (дБ А), має велике значення для гігієнічної практики оцінки промислових шумів.[11]

Характеристика шуму за шкалою В відповідає кривій, рівної гучності 70 фон.

Щоб отримати спектр шуму, вимірювання потрібно проводити за шкалою С. Лінійна частотна характеристика покаже чисто фізичну величину (рівень звукового тиску) в діапазоні 60-5000 Гц.

Спеціальні прилади (аналізатори шуму) досліджують спектральний склад шуму. Для вимірювання рівнів звукового тиску в октавних смугах, найчастіше, використовують октавні аналізатори.



Рисунок 1.1 – Шумомір Ш-63

Смуга, в якій верхня гранична частота дорівнює подвоєнню нижньої частоти (45-90, 90-180 і т.д.) називається октавною смугою. Вона характеризується

середньою частотою (середньгеометричної з верхньої  $f_1$  і нижньої  $f_2$  граничних частот  $f_{\text{ср}} = \sqrt{f_1 \times f_2}$  .

GM1352 цифровий шумомір, виробництва компанії Benetech. Цей шумомір може вимірювати рівень шуму рівний діапазону від 30 до 130 дБ, він має високочутливий ємнісний мікрофон та може реєструвати звукові коливання в діапазоні частот від 31,5 Гц до 8 кГц. Відмінною рисою шумоміру Benetech GM1352 є невеликі габарити, простота використання і функціональність. Шумомір GM1352 може утримувати на дисплеї мінімальні і максимальні значення результату вимірювання, а також відображати поточні значення. Для роботи в умовах слабкого освітлення, в РК дисплеї даної моделі шумоміра наявне яскраве підсвічування. Є можливість вчасно замінити батарею (елемент живлення) шумоміра через наявність індикації низького заряду батареї. Функція автоматичного відключення живлення приладу забезпечує тривалий термін служби батарей. Для живлення даного шумоміра використовуються три батарейки 1,5 В типорозміру «ААА», який є дуже поширений. Зовнішній вигляд шумоміру Benetech GM1352 показаний на рисунку 1.2.[12]



Рисунок 1.2 – Шумомір Benetech GM1352

Характеристики Benetech GM1352 наведені в таблиці 1.12.

Таблиця 1.12

Характеристики Benetech GM1352

Характеристика	Значення
Частотний діапазон	31,5 Гц – 8 кГц
Діапазон вимірювання	30-130 дБ
Динамічний діапазон	100 дБ
Похибка	±1,5 дБ
Швидкість вимірювання	2 за секунду

#### 1.6.4 Вимірювання рівня звуку

Вимірювач рівня звуку є інструментом, який визначає рівень звуку шляхом вимірювання тиску рівня шуму. Звук проникає в вимірювач рівня звуку через мікрофонний вхід. Потім звук оцінюється в приладі і результати відображаються в децибелах. Вимірювач рівня звуку PCE відповідає найвищим промисловим стандартам. Крім того, він легкий і простий у використанні.

PCE-428 – це вимірювач рівня звуку класу 2 з протоколами, що відповідає вимогам IEC 60651: 1979, IEC 60804: 2000, IEC 61672-1: 2013, ANSI S1.4-1983 і ANSI S1.43-1997. Цей портативний високоточний вимірювач рівня звуку має

великий ЖК-дисплей з підсвічуванням, який відображає рівень звукового тиску (SPL) чисельно і графічно в режимі реального часу. Завдяки октавному смуговому фільтру виявляється навіть найменша різниця в частоті.

Ручний вимірювач також функціонує як реєстратор даних, записуючи вимірювання з регульованим інтервалом від 1 с до 24 год і зберігаючи записані дані вимірювань на мікро SD-карті. SD-карту можна вийняти з приладу і вставити в пристрій для читання SD-карт на ПК. В якості альтернативи децибел на метр може бути підключений до ПК через USB. Надається програмне забезпечення, сумісне з ПК, дозволяє швидко і легко аналізувати дані.

Цей пристрій вимірює від 25 ... 136 дБ (А) на частоті 20 Гц ... 12,5 кГц. Вимірювач має частотне зважування А, В, С і Z, а також швидке, повільне і імпульсна тимчасове зважування. Децибел на метр PCE-428 зазвичай використовується фахівцями для дотримання норм екологічного шуму і допустимих меж шумового впливу на робочому місці.

Шумомір містить три коригувальних контури, що позначаються А, В і С; найбільш корисна корекція А (вона найбільш точно відповідає графікам "кривих рівної гучності" – примітка автора теми); корекцію В застосовують лише зрідка; корекція С мало впливає на чутливість в діапазоні 31,5 Гц – 8 кГц. (Тобто, вона не враховує особливості сприйняття звуку людського органу слуху, а надає чисто технічну сторону питання, як на графіках основних акустичних вимірювань: АЧХ, RT60, Імпульс і т.д. - примітка автора теми).[13]

Зовнішній вигляд PCE-428 показаний на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Вимірювач рівня звуку PCE-428



## 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ

Основною метою проекту є розробка системи моніторингу віброакустичних параметрів робочої зони.

Основними функціями системи є:

- постійне вимірювання параметрів шуму та вібрації робочої зони;
- аналіз вимірюваних параметрів;
- сигналізація про перевищення дозвolenого діапазону вимірювальних параметрів робочої зони;
- відображення вимірюваних даних в децибелах.

На основі проведеного огляду і аналізу технічних рішень, основних функцій системи була розроблена структурна схема, яка показана на рисунку 2.1.

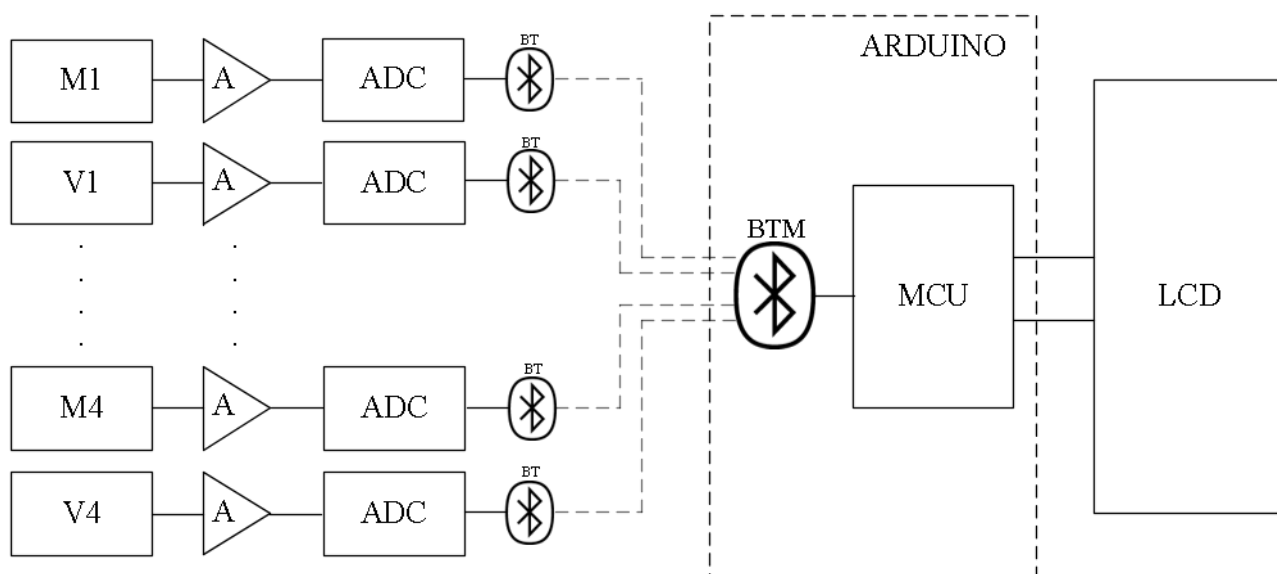


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи МВП

На схемі позначено:

- M1...M4 – мікрофони (датчики шуму);
- V1...V4 – акселерометри (датчики вібрації);
- A – підсилювач (amplifier);
- MCU – мікроконтролер;
- BTM – Bluetooth модуль для прийняття сигналу на головній платі від вимірювальних каналів;

- BT – Bluetooth модуль під'єднаний до датчика для передачі сигналу на головну плату;
- LCD – модуль для відображення результату.

З рисунку 2.1 видно, що наша система має 8 вимірювальних каналів – 4 для вимірювання вібрації та 4 для шуму. Кожен вимірювальний канал складається з самого датчику (M1-M4 – мікрофон для вимірювання вібрації, V1-V4 – акселерометр для шуму). Отримані дані з датчиків підсилюються за допомогою операційного підсилювача А, таких підсилювачів 8, для кожного з вимірювальних каналів. Після підсилення аналоговий сигнал перетворюється в дискретний код за допомогою одноканального АЦП. Через підключений Bluetooth модуль вже цифровий сигнал після АЦП передається до головної плати з мікроконтролером. Плата за допомогою такого ж Bluetooth модуля приймає дані з усіх 8 вимірювальних каналів. Складаючи значення, отримані з датчиків, головна плата за допомогою програмної обробки аналізує дані, та передає їх на LCD дисплей, який в свою чергу відображає їх.

В системі використаємо плату «Arduino UNO» (рисунок 2.2), основні характеристики показані в таблиці 2.1.

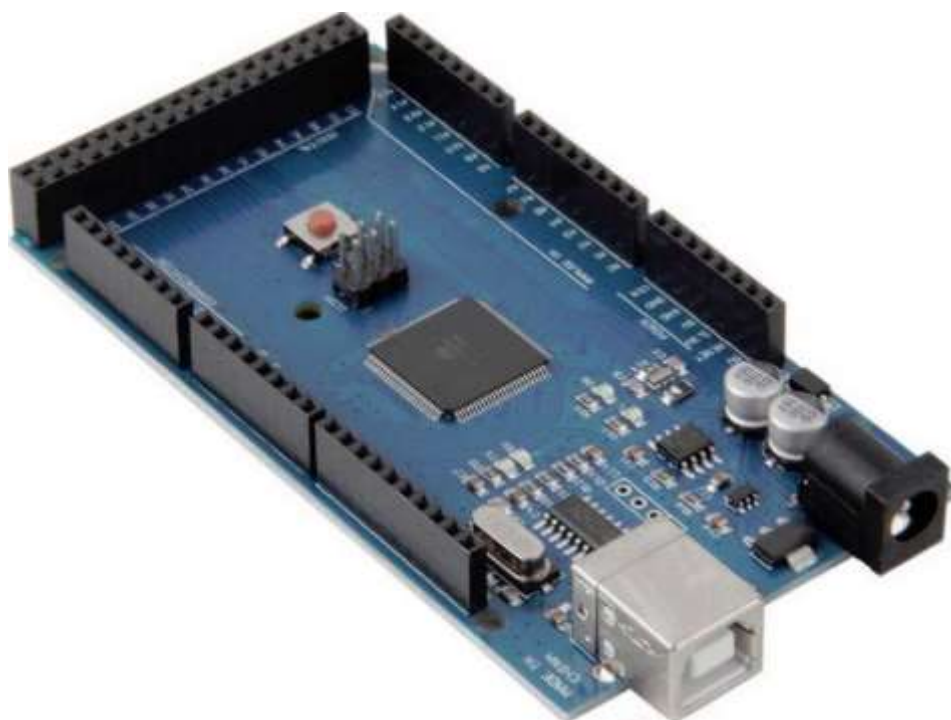


Рисунок 2.2 – Плата ARDUINO UNO

Плата має мікроконтролер «АТmega328» (рисунок 2.3), який має велику продуктивність та мале енергоспоживання.

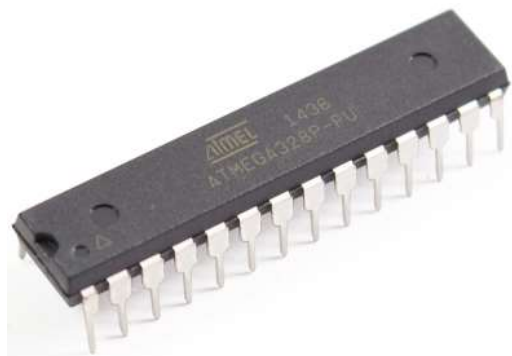


Рисунок 2.3 – МК АТmega328

Таблиця 2.1

Характеристики головної плати «ARDUINO»

Мікроконтролер	АТmega328
Напруга живлення	7-12 В
Кількість каналів	8
Тактова частота	16 МГц
Робоча напруга	5 В
Flash-пам'ять	32 КБ
Цифрові входи/виходи	14

Як видно з таблиці 2.1, плата ARDUINO має 8 вхідних каналів, що дозволить нам обробити, проаналізувати, та передати дані, а ми в свою чергу будемо використовувати 4 канали для вимірювання шуму та 4 канали для вібрації. Використання багатоканальності під час вимірювання дозволить підвищити точність отриманих даних. Оскільки плата має «Flash-пам'ять», то ми будемо її використовувати як сховище даних, за заданий проміжок, що дозволить нам робити аналіз вимірюваних даних за заданий проміжок часу.

Для кожного каналу вимірювання параметрів шуму будемо використовувати мікрофон, як датчик. Аналоговий сигнал від мікрофону буде підсилюватися за допомогою підсилювача та перетворюватися в цифровий код за допомогою АЦП. Далі цифровий сигнал передається на головну плату з мікроконтролером за допомогою Bluetooth модуля.

Так само для кожного каналу вимірювання параметрів вібрації будемо використовувати акселерометр. На кожному вимірювальному каналі, як для

параметрів вібрації, так і для параметрів шуму, отриманий від датчика аналоговий сигнал буде підсилюватись, дискретизуватись і передаватись на мікроконтролер.

Передача сигналу буде відбуватись за допомогою безпроводного модуля Bluetooth під'єданого до кожного датчику. Це дозволить нам не підключати датчики через дроти, що дуже спростить розміщення в будь-якому місці робочої зони, в радіусі дії Bluetooth модуля. Приймати дані з датчиків, плата буде за допомогою такого ж Bluetooth модуля під'єданого до неї.

Після обробки, аналізу даних, отриманих з вимірювальних каналів, отримана інформація буде відображатись за допомогою LCD модуля.

## 2.1 Розробка функціональної схеми

### 2.1.1 Функціональна схема

Проаналізувавши розроблену структурну схему (рисунок 2.1), була розроблена функціональна схема системи МВП робочої зони (рисунок 2.4)

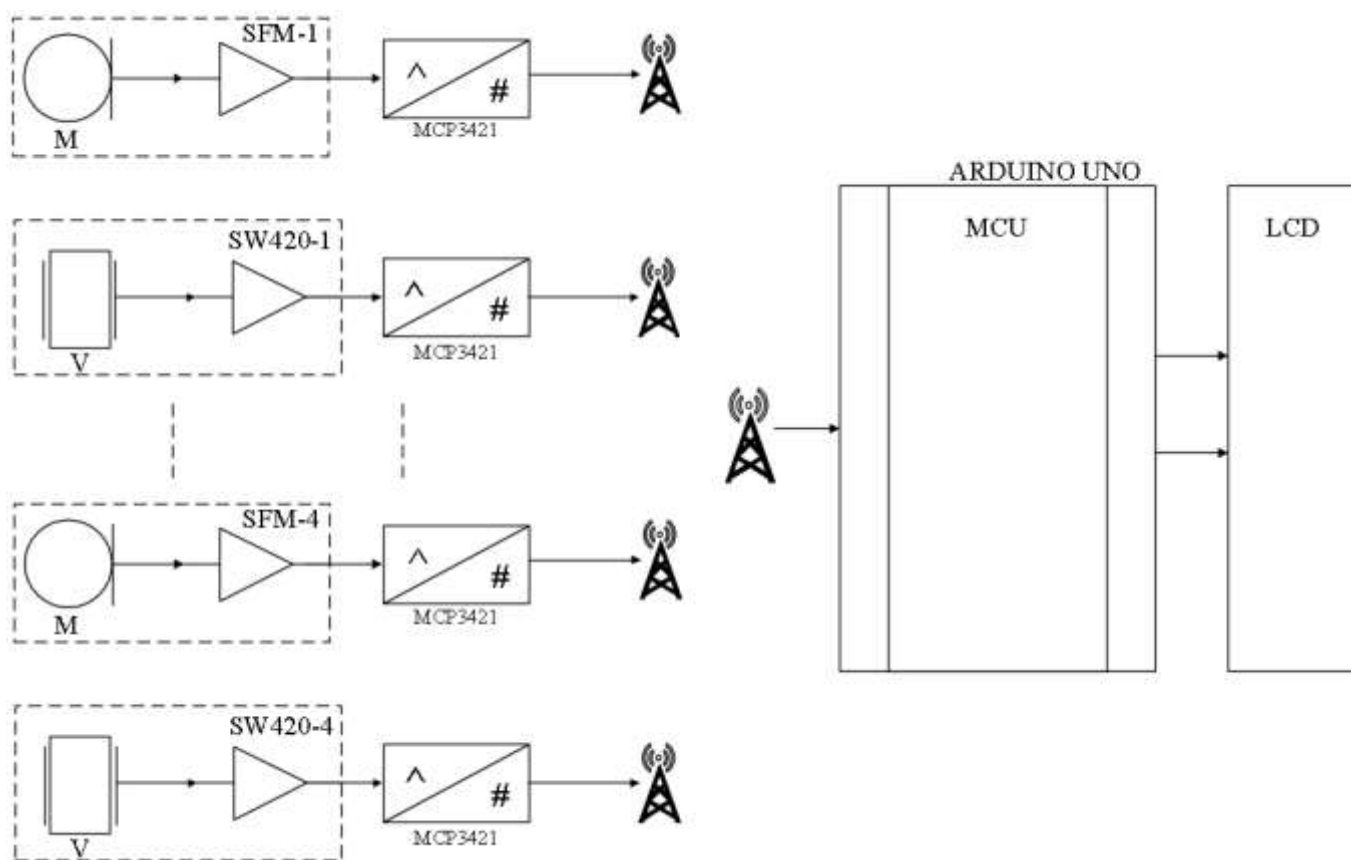


Рисунок 2.4 – Функціональна схема

Отже зі схеми видно, параметри шуму вимірюються завдяки датчику (мікрофону), потім аналоговий сигнал поступає на підсилювач. Ці два елементи, датчик та підсилювач знаходяться на платі SFM. Потім підсилений аналоговий сигнал поступає на одноканальний АЦП (MCP3421), де перетворюється в дискретний код і може бути підсилений за потреби в 2, 4 або 8 разів. Після цього дискретизований сигнал поступає на Bluetooth модуль, після чого передається на такий самий Bluetooth модуль, але все під'єднаний до головної плати ARDUINO.

Параметри вібрації вимірюються завдяки трьохосьовому акселерометру (датчику), потім виміряний аналоговий сигнал підсилюється. Так само, як і для вимірювання параметрів шуму, датчик та підсилювач знаходяться на одній платі – SW420. Після цього сигнал перетворюється в цифровий код за допомогою такого ж самого АЦП (MCP3421) і передається на головну плату ARDUINO за допомогою такого ж Bluetooth модуля, як і для параметрів шуму.

Всього вимірювальних каналів віброакустичних параметрів 8, з них 4 для параметрів шуму та 4 для параметрів вібрації.

Цифрові сигнали з вимірювальних каналів за допомогою Bluetooth модуля на кожному з каналів передаються на плату через такий же самий Bluetooth модуль.

На самій платі в мікроконтролері міститься калібрувальна характеристика за допомогою якої проводиться аналіз отриманих вимірювальних сигналів і після цього оброблені дані виводяться на LCD дисплей. В залежності від того чи перевищує отримані значення нормальні діапазони роботи людини в такому середовищі, може відбуватисьб сигналізація про перевищення.

### **2.1.2 Вимірювання параметрів шуму**

Аналізуючи структурну схему, дозволені норми роботи, датчиком для вимірювання параметрів шуму була обрана плата SFM – SparkFunMicrophone (sound detector). Плата SFM показана на рисунку 2.5.

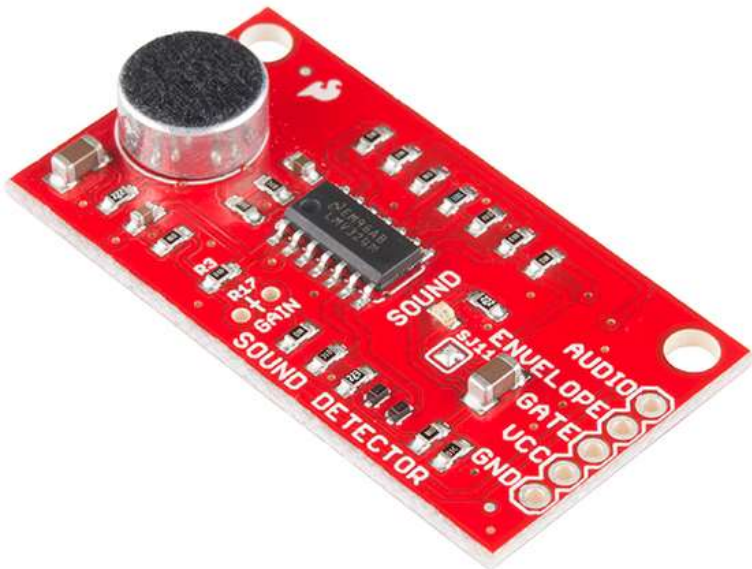


Рисунок 2.5 – Плата SparkFunMicrophone (sound detector)

Плата SFM містить мікрофон CMI-4537-SN69 зовнішній вигляд, на розміри якого можна побачити на рисунку 2.6 та операційний підсилювач LMV324 (рисунок 2.7).

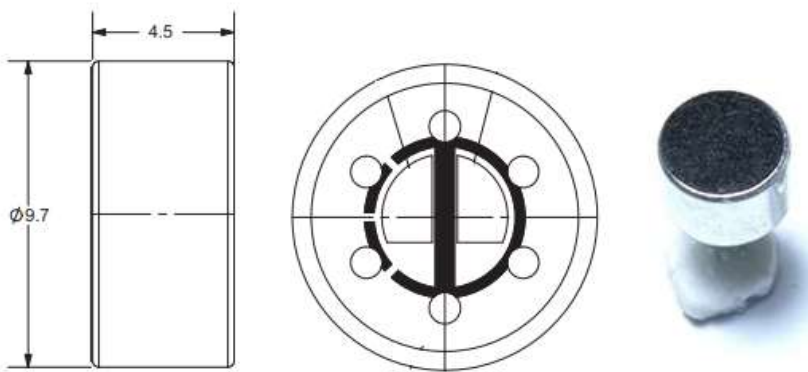


Рисунок 2.6 – Мікрофон CMI-4537-SN69

Характеристики плати SFM наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Характеристики плати SFM

Характеристика	Значення
Максимальне значення вхідного сигналу	до 120 дБ
Відношення сигнал/шум	62 дБ
Рівень шуму мікрофону (CMI-4537-SN69)	до 5 дБ
Частота сигналу	0,01 – 15кГц
Підсилення сигналу (LMV324)	до 67 раз
Напруга живлення	від 2,7 до 5,5 В



Рисунок 2.7 – Підсилювач LMV324

### 2.1.3 Вимірювання параметрів вібрації

Для вимірювання вібрації обрана плата SW-420-MODUL вигляд якої можна побачити на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 – Плата SW-420-MODUL

Плата SW-420-MODUL (vibration sensor) зібрана на основі датчика SW420 (рисунок 2.9) та операційного підсилювача LM393 (рисунок 2.10), який дозволяє підсилювати вхідний сигнал до потрібного нам рівня для аналізу даних. Основні технічні характеристики плати наведені в таблиці 2.3.



Рисунок 2.9 – Датчик SW-420

Операційний підсилювач LM393 має малі значення часу відклику (1,3мксек), зміщення напруги ( $\pm 1$  мВ) та вхідного струму зміщення, з чого випливає малий рівень шуму під час підсилення вхідного сигналу, також перевагою є великий коефіцієнт підсилення вхідного сигналу (до 50 раз).



Рисунок 2.10 – Операційний підсилювач LM393

Таблиця 2.3

Характеристики плати Плата SW-420-MODUL

Характеристика	Значення
Максимальне значення вхідного сигналу	до 110 дБ
Відношення сигнал/шум	35 дБ
Рівень шуму датчику (SW-420)	до 5 дБ
Частота сигналу	0,01 – 1кГц
Підсилення сигналу (LM393)	до 50 раз
Напруга живлення	від 2,5 до 5 В

Аналізуючи характеристики обраних датчиків для вимірювання віброакустичних параметрів, можна зробити висновок, що вони повністю задовольняють нашим потребам:

- великий діапазон вимірювання;
- малий рівень шуму;
- діапазон частот сигналу;
- відношення сигнал/шум.

#### 2.1.4 Дискретизація і квантування сигналу

Оскільки сигнал, який ми отримуємо після підсилення з датчику є аналоговим і передаємо ми його через Bluetooth модуль на плату ARDUINO, а не через аналогові входи самої плати, то нам потрібно його дискретизувати за допомогою АЦП.



Для цього будемо використовувати одноканальний АЦП МСР3421, зовнішній вигляд якого представлений на рисунку 2.11, а його технічні характеристики в таблиці 2.4.

МСР3421 підтримує послідовний інтерфейс I<sup>2</sup>C на виході.

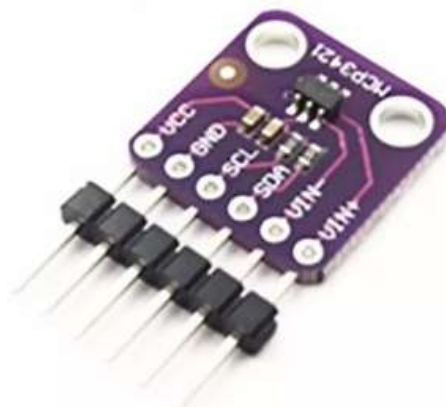


Рисунок 2.11 – Одноканальний АЦП МСР3421

Обраний АЦП має можливість програмно обрати частоту дискретизації сигналу, а саме:

- 3,75 Гц при розрядності АЦП 18 біт;
- 15 Гц при розрядності АЦП 16 біт;
- 60 Гц при розрядності АЦП 14 біт;
- 240 Гц при розрядності АЦП 12 біт.

З наведених режимів роботи АЦП для нашої системи найбільше підходить частота дискретизації 240 Гц при розрядності в 12 біт.

Таблиця 2.4

Характеристики МСР3421

Характеристика	Значення
Розрядність АЦП	18 біт
Ефективна розрядність АЦП	18 біт
Частота дискретизації	240 Гц
Частота захвату сигналу	4 Гц
Тип АЦП	Delta-sigma
Напруга живлення	від 2,7 до 5,5 В

Обраний АЦП, має можливість підсилення сигналу в 2, 4 або 8 раз. За потреби є можливість збільшити підсилення сигналу від операційних підсилювачів на платах вимірювання віброакустичних параметрів.

### 2.1.5 Передача та відображення даних

В системі моніторингу віброакустичних параметрів передача даних від датчиків до плати обробки буде здійснюватись за допомогою Bluetooth модуля. До кожного вимірювального каналу буде під'єднаний Bluetooth модуль для передачі підсилених та дискретизованих даних на плату. До плати також буде під'єднаний такий модуль для прийняття сигналу від вимірювальних каналів.

Як Bluetooth модуль була обрана плата HC-06 зовнішній вигляд якої представлений на рисунку 2.12, а її технічні характеристики в таблиці 2.5. Модуль HC-06 має велику дальність прийняття сигналу, що дозволить нам розміщувати вимірювальні канали в будь якому потрібному місці робочої зони, також плата має велику рівень захисту даних.



Рисунок 2.12 – Bluetooth модуль HC-06

Таблиця 2.5

Характеристики HC-06

Характеристика	Значення
Максимальна дальність прийняття сигналу	До 30 м
Робочі частоти	2,4 – 2,48 ГГц
Швидкість передачі даних	1200 – 1382400 бод
Максимальна вхідна напруга	5 В
Напруга живлення	від 3,3 до 6 В

Для відображення даних обраний LCD дисплей ST7920, зовнішній вигляд якого представлений на рисунку 2.13, а його характеристики наведені в таблиці 2.6. Дисплей має невеликий розмір плати, але майже майже повністю цей розмір займає робоча зона, тобто сам дисплей. Велика робоча зона дисплею дозволяє нам

відображати виміряні дані всіх віброакустичних параметрів одночасно. Дисплей підтримує паралельний, послідовний інтерфейси передачі даних. Ці два інтерфейси підтримують бібліотеку U8glib, яка дозволяє працювати з 12864B V2.0 дисплеями. При використанні паралельного інтерфейсу для прийняття даних, плату, можна підключити до будь-яких виводів плати ARDUINO, що нам і потрібно.



Рисунок 2.13 – LCD дисплей ST7920

Таблиця 2.6

Характеристики ST7920

Характеристика	Значення
Напруга логічних рівнів	3/5 В
Розмір плати	93x70 мм
Розмір рамки екрану	73x51 мм
Розмір робочої зони	72x40 мм
Інтерфейс відображення	64x16 біт

## 2.2 Розробка принципової схеми

Розроблена принципова схема системи моніторингу віброакустичних параметрів після аналізу функціональної, структурної схеми та огляду обраних комплектуючих наведена на рисунку 2.14.

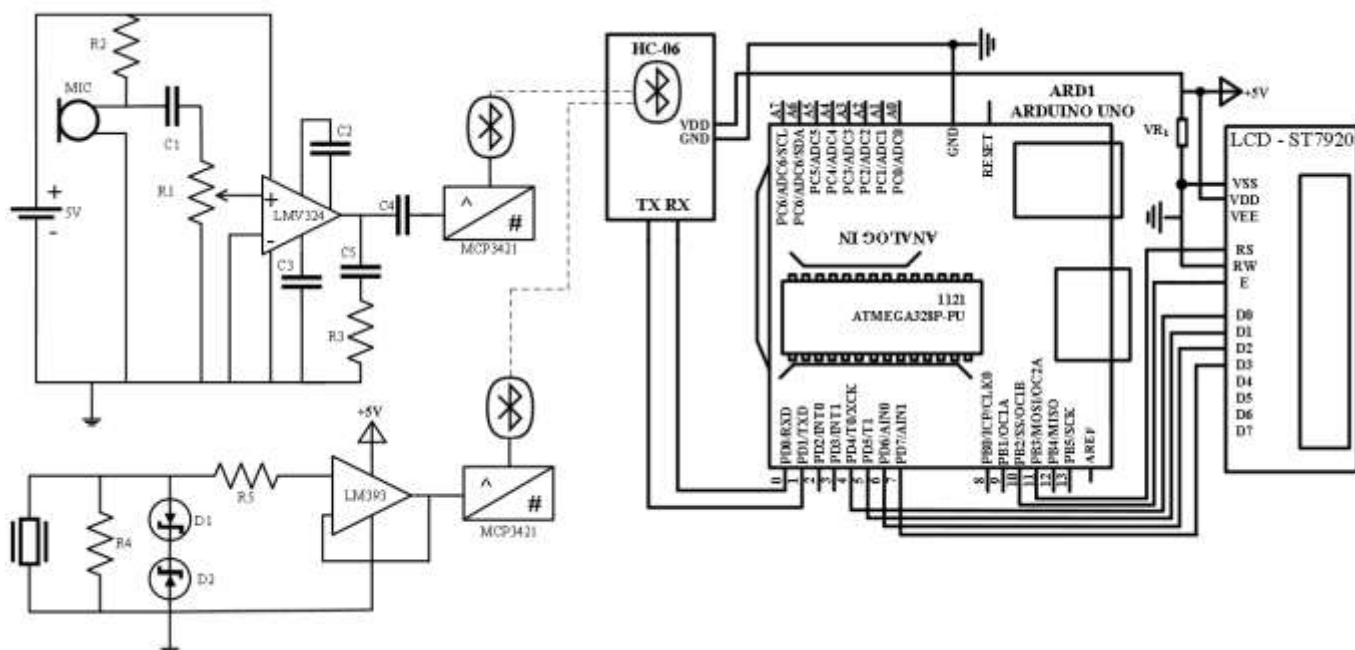


Рисунок 2.14 – Принципова схема

З рисунку 2.14 видно, що основною або керуючою частиною системи є плата ARDUINO UNO, яка в основному складається з мікроконтролера ATmega 328. До неї під'єднаний Bluetooth модуль HC-06 через виходи RX та TX на входи RXD та TXD плати ARDUINO відповідно. Також до плати під'єднаний LCD дисплей ST7920. Виходи PD4, PD5, PD6, PD7 керуючої плати з'єднані з входами D0, D1, D2, D3 LCD дисплею, на ці канали буде передаватися вже оброблені дані, а потім виводитись на дисплей. Розглядаючи характеристики Bluetooth модуля (таблиця 2.5), основної плати (таблиця 2.1), та LCD дисплею (таблиця 2.6), видно, що всіх їх можна під'єднати до одного джерела живлення, то оптимальним рішенням буде джерело напругою 5 В, як показано на схемі.

Вимірювальні канали системи моніторингу базуються на підсилювачах LMV324 та LM393 для параметрів шуму та вібрації відповідно.

LMV324 є низьковольтним (2,7–5,5 В) підсилювачем, який в даний час працює на напрузі в 5-30 В, зовнішній вигляд якого представлений на рисунку 2.15. Підсилювач є економічно вигідним рішенням для застосування в системах, де потрібні низькі напруги, економія місця та низька собівартість.

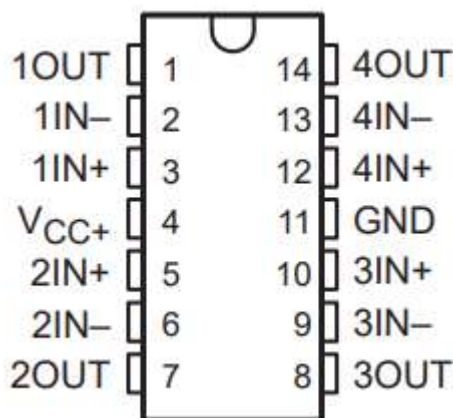


Рисунок 2.15 – LMV324

Пропоновані характеристики підсилювача (таблиця 2.7) перевищують звичні LM358/324. Обраний підсилювач демонструє відмінне співвідношення швидкості та потужності, досягаючи 1МГц смуги пропускання сигналу та 1 В/мкс швидкості відгуку при низькому струмі живлення. Невеликий розмір дозволяє економити місце на платі та дозволяє створювати невеликі портативні електронні пристрої, що дає можливість розміщення плати (датчику) поблизу сигналу, при цьому зменшується величина шуму сигналу, підвищується цілісність отриманих даних, тобто збільшується точність. Мікросхема підсилення LMV324 створена на базі вдосконаленого BiCMOS із силіконових затворів Submicron. Конструктивно підсилювач має біполярні входні та вихідні ступені для поліпшення шумових характеристик та більш високого вихідного струму.

Таблиця 2.7

## Характеристики LMV324

Характеристика	Значення
Напруга живлення	2,7-5,5 В
Робоча температура	-40–85°C
Зміщення входної напруги	1,7–7 мВ
Шум входної напруги	40 нВ
Температурний коефіцієнт входної напруги зміщення	5 В
Зміщення входного струму	11–250 нА
Пропускна здатність	1 МГц
Фазовий зсув	60°
Коефіцієнт підсилення	до 50 раз
Загальне гармонічне спотворення сигналу	0,1%

Щодо вимірювального каналу вібрації та обраного підсилювача LM393, який представлений на рисунку 2.16, то він розроблений з двох незалежних підсилювачів,

розроблених спеціально для роботи в широкому діапазоні напруг та від одного джерела живлення. Робота від роздільних джерел живлення також можлива.

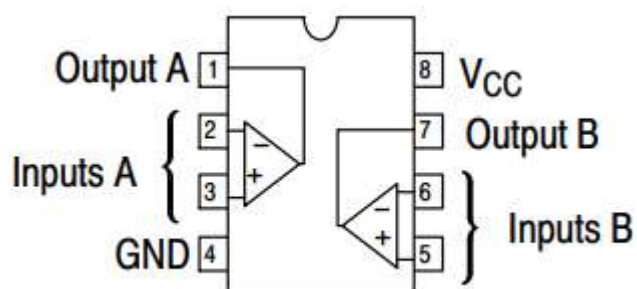


Рисунок 2.16 – LM393

Характеристики підсилювача LM393 для вимірювального каналу параметрів вібрації наведені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8

Характеристики LM393

Характеристика	Значення
Напруга живлення	2,0–36 В
Мінімальний струм (не залежить від напруги живлення)	0,4 мА
Зміщення вхідного струму	25 нА
Вхідний струм зміщення	5 нА
Зміщення вхідної напруги	5 мВ
Температурний коефіцієнт вхідної напруги зміщення	4,5 В
Робоча температура	-20–100°C
Коефіцієнт підсилення	до 35 раз
Фазовий зсув	60°
Загальне гармонічне спотворення сигналу	0,15%
Пропускна здатність	1,1 МГц

### 3. КАЛІБРУВАННЯ СИСТЕМИ

#### 3.1 Вимірювання шуму

Калібрування вимірювального каналу параметрів шуму системи моніторингу відбувалася за допомогою пістофона.

Пістонфон – еталонний генератор звукового тиску синусоїдальної форми хвилі. У діапазоні 0,02 Гц–1 кГц його можна дуже точно регулювати, візуально спостерігаючи, як рухається пістон переміщує заданий обсяг повітря. Амплітуда рухів пістона спостерігається в мікроскопі, завдяки чому досягається виключно висока точність калібрування мікрофонів. Пістофон здатний генерувати величину звукового тиску до 124 дБ, та при похибці в 0,2 дБ.

На малюнку 2.17 зображена конструкція пістонфону 4228, яка ґрунтується на унікальному принципі фірми Брюль і К'єр, що полягає в застосуванні двох поршнів в протилежних один одному положення зі сторін кулачкового диска. Обертання кулачкового диска супроводжується синфазним рухом поршнів в напрямку в і з порожнини акустичної камери зв'язку. Описана конструкція істотно зменшує вплив і забезпечує мале нелінійне спотворення і високу стабільність рівня опорного сигналу.



Рисунок 2.17 – Конструкція пістофону

Сигнал з генератора, що входить до складу системи, надходить на підсилювач потужності. З підсилювача потужності – на камеру малого обсягу, в якій формується заданий звуковий сигнал. Генератор забезпечує сканування на заданих частотах і підтримку заданої амплітуди на зразковому мікрофоні. Методом порівняння оцінюється чутливість вивіреного мікрофона і його похибка з урахуванням всіх складових.

При визначенні частотної характеристики шумоміра по вільному полю вимірювання проводять в зразково заглушеній камері. Мікрофон шумоміра і зразковий мікрофон поміщають послідовно в одну точку звукового поля. У шумомірами включають характеристику С або при відсутності її наявну характеристику. Підтримуючи показання шумоміра постійним і рівним переважно 94 дБ на всіх частотах вимірювання, визначають відносний рівень звукового тиску за показаннями вимірювального приладу системи, підключеного на виході мікрофона. Значення частотної характеристики на частоті вимірювання дорівнює різниці показань зразкового мікрофона на частоті 1000 Гц і на частоті вимірювання. Показання шумомера і зразкового мікрофона заносяться до протоколу повірки. Операцію повторюють тричі і обчислюють середнє значення частотної характеристики на кожній частоті вимірювання. Частотна характеристика шумоміра по вільному полю не повинна виходити за межі

Обраний мікфрон працює в діапазоні частот від 20Гц до 15кГц. Відношення дискретного значення сигналу до аналогового покано в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9

ADC to dB (шум)

№	ADC	dB
1	460	44
2	480	47
3	500	59
4	508	60
5	550	61
6	600	63
7	613	65
8	700	70
9	859	78
10	900	85



Отримані значення dB не є лінійними після дискретизації АЦП. Таким чином, ми використовували метод лінійної апроксимації, де ми керували таблицею 2.9, яка відображає відповідне значення dB ADC. Побудований графік з знайдених значень наведений на рисунку 2.18.

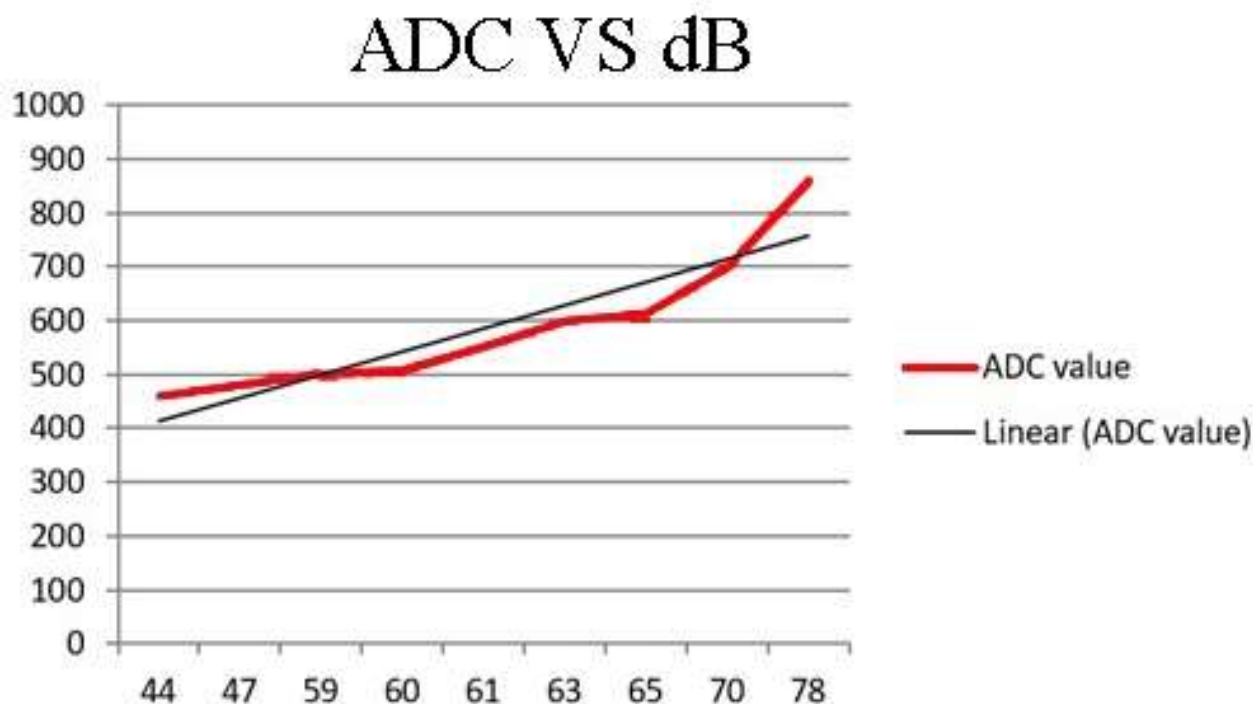


Рисунок 2.18 – Графічне відображення відношення dB до ADC (вимірювального каналу шуму)

Тепер застосуємо метод лінійної регресії, щоб знайти можливу пряму лінію. З прямої лінії можна знайти рівняння, яке може бути використано в коді для розрахунку значення dB з АЦП.

Рівняння, яке ми отримали з прямої лінії:

$$ADC = (11,003 \cdot dB) - 83,2073$$

Отже

$$dB = (ADC + 83,2073) / 11,003$$

Це рівняння використовується для розрахунку дБ, отриманого значення дискретизованого від АЦП, тобто після отримання даних від АЦП, за допомогою цього рівняння буде розраховане точне значення сигналу в дБ, і воно буде порівнюватись з дозволеним діапазоном роботи, після чого виводиться на LCD дисплей системи моніторингу. При перевищенні діапазону дозволених величин шуму, буде проводитись сигналізація про перевищення шуму на робочому місці.

### **3.2 Вимірювання вібрації**

Для виконання калібрування вимірювального каналу вимірювання вібрації використаємо генератор вібрації, який створює на вході датчику регулюючий та вимірювальний сигнал для фіксації або вимірювання вихідного сигналу датчику.

Датчик, тобто нашу плату SW420 розміщуємо біля генератору на жорсткій основі, для вирівнювання відносного руху між датчиком на вібруючим об'єктом. Кріплення повинно бути жорстким для того, щоб передати рух (вібрацію) від генератору до датчику у всьому частотному діапазоні роботи датчика.

Калібрування вимірювального каналу вібрації виконувалось за допомогою портативного калібратору датчиків вібрації 9100C (система калібрування вібродатчиків), зовнішній вигляд якої можна побачити на рисунку 2.19.



Рисунок 2.19 – Система калібрування вібрдатчиків 9100С

Портативна система повірки та калібрування моделі 9100С призначена для проведення прецизійного калібрування вібрдатчиків в лабораторних умовах в широкому частотному та амплітудному діапазоні. За допомогою даної системи проводити калібровку вібрдатчиків прискорення, швидкості та переміщення.

Модель 9100С має встроєний вібростенд, генератор сигналів з регулюванням частоти та амплітуди, підсилювач потужності, зразковий акселерометр, дисплей для індикації параметрів. Живлення системи відбувається за рахунок встроєної акумуляторної батареї або від мережі 220 В.

Обрана система калібрування може генерувати сигнал в частотному діапазоні від 10 Гц до 10 кГц, а також в амплітудному діапазоні до 20 g ( $196 \text{ м/с}^2$ ). Похибка даної системи не перевищує 1,5 %.

В таблиці 2.10 наведено відношення дискретного сигналу (від АЦП) до аналогово при частоті сигналу в 1 кГц.

Таблиця 2.10

ADC to dB (вібрація)

№	ADC	dB
1	502	52
2	522	59

3	544	65
4	678	79
5	732	81
6	788	83
7	803	85
8	891	90
9	951	98
10	990	105

Так само, як і для вимірювального каналу шуму, отримані значення dB не є лінійними після дискретизації АЦП, тому використовуючи метод лінійної апроксимації з використанням таблиці 2.10, яка відображає відношення дискретного значення сигналу до аналогового, був побудований графік, який представлений на рисунку 2.18.

Використовуючи знайдену апроксимовану лінію за допомогою лінійної регресії знайдемо рівняння для використання його в системі моніторингу віброакустичних параметрів робочої зони.

Рівняння, яке ми отримали з прямої лінії:

$$ADC = (3,33 \cdot dB) + 105,1$$

Отже

$$dB = (ADC - 105,1) / 3,33$$

Знайдене рівняння буде використовуватись на основній платі ARDUINO UNO для аналізу даних, після якого буде так само проводитись перевірка на перевищення дозвеного діапазону, відповідно сигналізація, якщо таке трапиться, та виводиться на дисплей системи моніторингу.

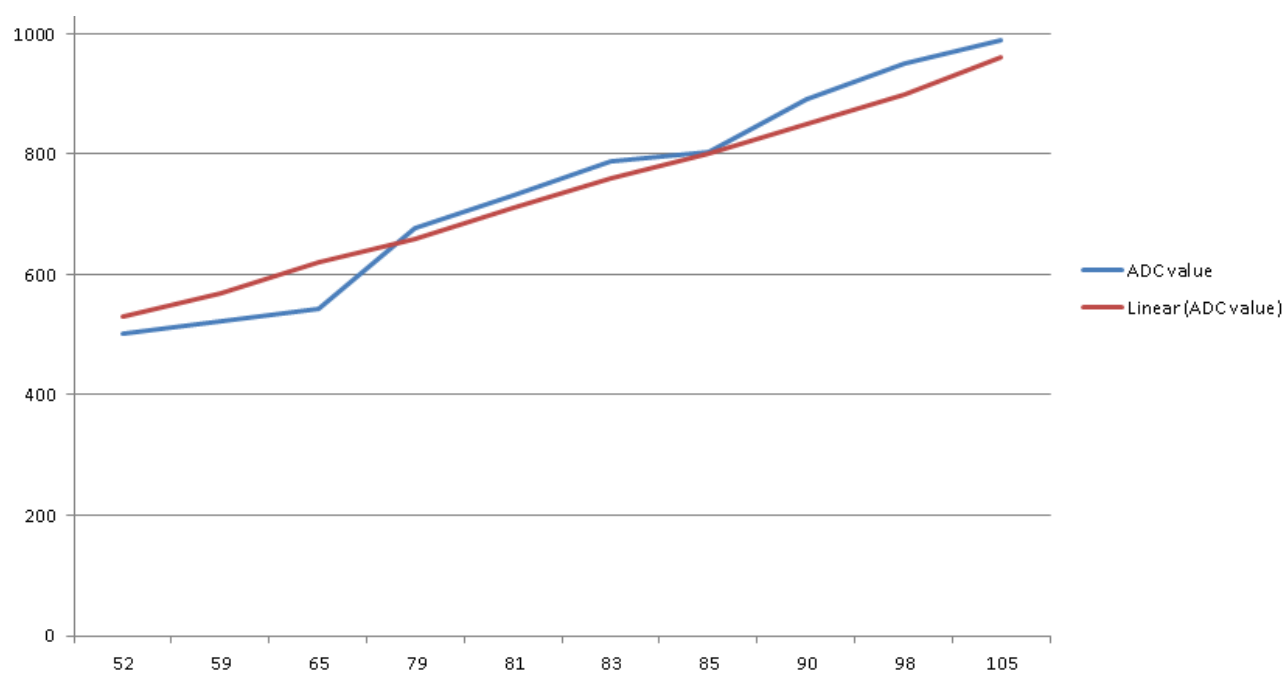


Рисунок 2.20 – Графічне відображення відношення dB до ADC (вимірювального каналу вібрації)

## **4. АЛГОРИТМ РОБОТИ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ**

### **4.1 Алгоритм роботи**

Система моніторингу віброакустичних параметрів виконує такі функції:

- вимірювання параметрів шуму та вібрації;
- аналіз виміряних даних;
- перевірка на перевищення дозволеного діапазону роботи;
- індикація виміряних даних;
- сигналізація при перевищенні дозволеного діапазону роботи.

Оскільки вимірювальні дані, які надходять від датчиків не дискретизовані, то в нашій системі передбачено дискретизування цих даних за допомогою АЦП. Для нормального відображення виміряного сигналу на LCD дисплеї проводиться калібрування, тому знайдена раніше калібрувальна характеристика буде заноситися на головну плату ARDUINO. Також, як налаштування системи є можливість задання часу опитування датчиків, тобто з яким інтервалом будуть прийматися виміряні дані з вимірювальних каналів на головну плату.

Так, як і калібрувальні характеристики, в головну плату, а саме в мікроконтролер будуть заноситись максимальні значення діапазонів для параметрів шуму і вібрації, для аналізу отриманих вимірювальних даних.

Після аналізу, в залежності від результату буде виконуватись сигналізація про перевищення діапазону, якщо таке відбудеться. Далі дані будуть заноситись до flash пам'яті мікроконтролеру. Останнім кроком є індикація виміряних даних на LCD-дисплеї.

Отже, враховуючи всі функції системи розроблений алгоритм роботи системи моніторингу віброакустичних параметрів представлений на рисунку 4.1.

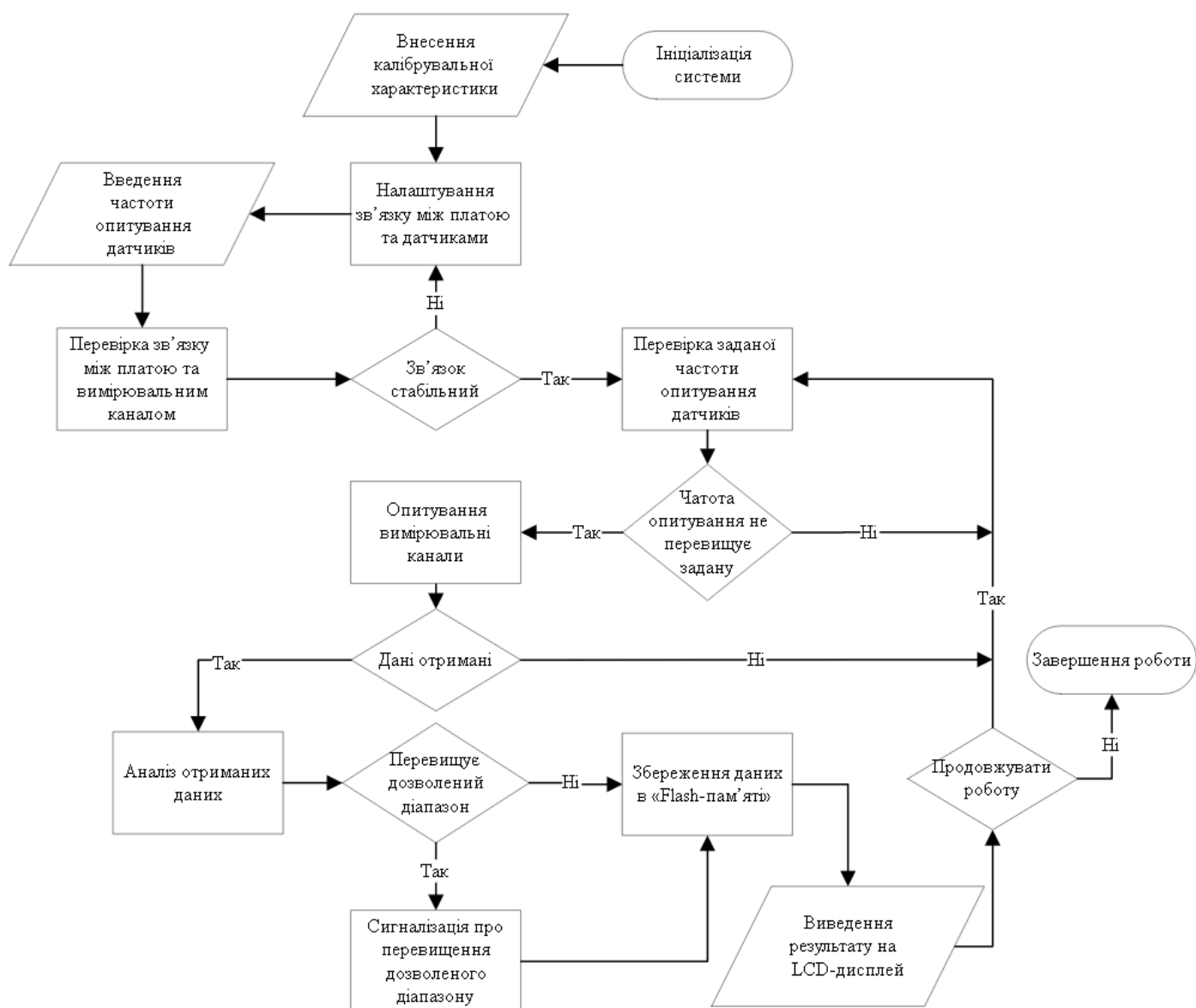


Рисунок 4.1 – Розроблений алгоритм системи МВП

Розглянемо розроблений алгоритм роботи системи. Як видно з рисунку 4.1, після ініціалізації систем, вносяться калібрувальні характеристики, для відображення отриманого дискретизованого сигналу від вимірювальних каналів у децибелах.

Далі проводиться підключення всіх вимірювальних каналів до основної плати та введення частоти опитування цих каналів, тобто частоти отримання даних.

Після, проводиться перевірка зв'язку вимірювальних каналів з платою ARDUINO, якщо зв'язок не стабільний, то повертаємося до налаштування зв'язку, але якщо стабільний, то починаємо вимірювати дані.

Перший етап вимірювання є перевірка заданої введеної частоти опитування вимірювальних каналів. При першій ініціалізації системи цей етап пропускається,

оскільки основна плата ще не отримувала вимірних даних, тому одразу переходимо до опитування вимірювальних каналів. Якщо дані при опитуванні вимірювальних каналів не надходять, то ми повертаємося до перевірки заданої частоти. При успішному опитуванні вимірювальних каналів і отриманні даних проводиться аналіз цих даних. Після аналізу йде порівняння з максимально дозволеними значеннями для роботи на робочому місці для параметрів шуму та вібрації. Якщо дані перевищують, то відбувається сигналізація про перевищення і після занесення отриманих даних до flash пам'яті мікроконтролера, якщо ж дані не перевищують максимально-дозволені значення, то збереження відбувається збереження даних.

Завершальним кроком роботи системи є індикація вимірних даних в децибелах за допомогою LCD дисплею. Після цього йде опитування на надходження сигналу завершення роботи, тобто відключення і якщо такий сигнал не надходить то ми повертаємося до перевірки частоти вимірювання сигналу і опитування датчиків на отримання вимірних даних.

## **4.2 Програмне забезпечення системи**

### **4.2.1 Загальні положення**

Система МВП призначена для вимірювання, моніторингу та індикації віброакустичних параметрів робочої зони.

Система повинна виконувати наступні функції:

- відстежування значень рівня шуму;
- відстежування значень рівня вібрації
- вимірювання рівня шуму;
- вимірювання рівня вібрації;
- сигналізацію про перевищення максимально дозволеного рівня шуму та вібрації;
- індикацію значення рівню шуму.

### **4.2.2 Програмне середовище системи**

Інтегроване середовище розробки Arduino є багатоплатформеним додатком написаним на мові програмування JAVA. Він включає в себе редактор коду,



компілятор і модуль передачі даних в плату. Середовище для розробки спроектоване для програмування новачкам, які не знайомі з розробкою програмного забезпечення. Воно базується на мові програмування Processing та аналогічне мові Wiring. Загалом мова програмування Arduino – це C++, доповнений бібліотеками. Написані програми обробляються за допомогою процесора, а вже потім компілюються за допомогою AVR-GCC.

Написана програма завантажується в мікроконтролер плати Arduino через спеціальний завантажувач, який буд попередньо запрограмований. Попередньо запрограмований завантажувач може працювати через інтерфейси RS-232, USB та EtherNet залежно від складу периферії конкретної плати, оскільки створений на основі «Atmel AVR Application Note AN109».

#### 4.2.3 Код програми

Підключення файлів

```
#include <BluetoothEspClient.h>
#include <BluetoothEsp.h>
#include <BluetoothEspUdp.h>
#include <PubSubClient.h>
#include "SoftwareSerial.h"
```

Введення даних на підключення до головної плати за допомогою Bluetooth модуля

```
#define Bluetooth_AP "IOT"
#define Bluetooth_PASSWORD "87654321"
```

Введення точена на дане підключення

```
#define TOKEN "7Xhzm313Me12TCy9FpT0"
```

```
char thingsboardServer[] = "demo.thingsboard.io";
```

```
// Initialize the Ethernet client object
```

```
Bluetooth EspClient espClient;
```

```
PubSubClient client(espClient);
```

```
Підключення Bluetooth модуля до головної плати на входах RX, TX
```

```
SoftwareSerial soft(2, 3); // RX, TX
```

```
int status = WL_IDLE_STATUS;
```

```
unsigned long lastSend;
```

```
// Підключення вимірювального каналу вібрації по 3ьом осям
```

```
const int xpin; // x-axis
```

```
const int ypin; // y-axis
```

```
const int zpin; // z-axis
```

```
float Xval, Yval, Zval; // Значення по 3ьом осям
```

```
float Anet; // Значення сумарне
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
Serial.begin(9600);
```

```
// Включення Bluetooth
```

```
Init Bluetooth ();
```

```
client.setServer( thingsboardServer, 1883 );
```

```
//Перше підключення
```

```
lastSend = 0;
```

```
}
```

```

void loop() {
    status = Bluetooth.status(); //Статус підключення
    if ( status != BT_ISCONNECTED) {
        while ( status != BT_ISCONNECTED) {
            Serial.print("Attempting to connect to BT: ");
            Serial.println(Bluetooth _AP);
            // Спроба підключення
            status = Bluetooth.begin(Bluetooth _AP, Bluetooth _PASSWORD);
            delay(500);
        }
        Serial.println("Connected to AP"); //Виведення що підключення вдале
    }

    if ( !client.connected() ) { //якщо підключення не вдале, повторити
        reconnect();
    }

    if ( millis() - lastSend > time ) { // Отримання даних в залежності від заданої
частоти
        getaccelarate(); Отримання даних
        lastSend = time;
    }

    client.loop();
}

void getaccelarate(){ //Функція отримання даних вібрації

    // Отримання значень по трьом осям

```

```

Xval = Bluetooth Read(xpin);
Yval = Bluetooth Read(ypin);
Zval = Bluetooth Read(zpin);
// Значення по 3 осям
Anet = sqrt(sq(Xval) + sq(Yval) + sq(Zval));
AnetX

// Prepare a JSON payload string
String payload = "{";
payload += "\"Anet\":"; payload += Anet;
payload += "}";

// Відправлення значення до пам'яті
char attributes[320];
payload.toCharArray( attributes, 320 );
char s = v1-4 or m1-4;
client.publish( "s1/devices/flash/memory", measurement );
Serial.println(measurement);

delay(time); // Затримка для підтримання заданої частоти вимірювання

}

// функція підключення по Bluetooth
void InitBluetooth ()
{
// ініціалізація послідовного підключення
soft.begin(9600);
// ініціалізація підключення
Bluetooth.init(&soft);

```

```

// перевірка на блок підключення
if (Bluetooth.status() == WL_NO_SHIELD) {
    Serial.println("Bluetoothshield not present");
    // не продовжувати
    while (true);
}

Serial.println("Connecting to AP ...");
// спроба підключення до Bluetooth-network
while ( status != BT_ISCONNECTED) {
    Serial.print("Attempting to connect to BT: ");
    Serial.println(Bluetooth_AP);
    // Підключення до Bluetooth-network
    status = Bluetooth.begin(Bluetooth_AP, Bluetooth_PASSWORD);
    delay(time);
}
Serial.println("Connected to AP"); //Виведення, що підключення вдале
}

//Функція перепідключення
void reconnect() {
    // цикл, поки не перепідключиться
    while (!client.connected()) {
        Serial.print("Connecting to ThingsBoard node ...");
        // Спроба підключення (BTid, name, pass)
        if ( client.connect("Arduino Uno Device", TOKEN, NULL) ) {
            Serial.println( "[END]" ); //Виведення, що підключення вдалося
        } else {
            Serial.print( "[FAILED] [ rc = " );
            Serial.print( client.state() ); //виведення статусу клієнту

```

```

    Serial.println( " : retrying in 5 seconds]" );
    // Спроба підключення кожні 5 секунд
    delay( 5000 );
  }
}
}

//функція калібрування каналу вимірювання вібрації
void.calibrateVibrationSensor() {

    dbValue = (BluetoothRead(inputPin)-105.1)/3,33;
    dtostrf(BTValue,1,2,BT_str);
    Serial.println(BT_str);
    strcat(ble_dat,BT_str);
    ble.write(ble_dat);
    delay(100);
    ble.write("B");
    delay(130);

}

//функція калібрування каналу вимірювання шуму
void.calibrateVibrationSensor() {

    dbValue = (BluetoothRead(inputPin)-83,2073)/11,003;
    dtostrf(BTValue,1,2,BT_str);
    Serial.println(BT_str);
    strcat(ble_dat,BT_str);
    ble.write(ble_dat);
    delay(100);

```

```

    ble.write("e");
    delay(125);

}

```

Функція сигналізації про перевищення дозволеної межі

```

void.signalise (){
    if (vibDbValue > maxVibDbValue && soundDbVaue > maxSoundDbValue) {
        Serial.println(vibDbValue).color(red)
        Serial.println(soundDbVaue).color(red)
        delay(80);

    }

}

```

//Створення об'єкту LCD

```

LiquidCrystal lcd = LiquidCrystal(4, 5, 6, 7);

```

Функція виведення вимірянних значень

```

void.showOnLCD (){
    if (vibDbValue > maxVibDbValue && soundDbVaue > maxSoundDbValue) {
        Serial.println(vibDbValue)
        Serial.println(soundDbVaue)
        delay(10);
    }
}

```

## ВИСНОВКИ

В ході виконання магістерської дисертації було проведено огляд та аналіз сучасних засобів вимірювання віброакустичних параметрів робочої зони.

Була розроблена система моніторингу віброакустичних параметрів робочої зони, яка виконує наступні функції:

- вимірювання віброакустичних параметрів (параметри вібрації та шуму) робочої зони;
- аналіз вимірних значень віброакустичних параметрів;
- сигналізація користувача про перевищення дозволеного діапазону параметрів вібрації та шуму робочої зони;
- збереження вимірних даних за заданий проміжок часу;
- відображення вимірних даних.

В результаті виконання роботи була спроектована структурна, функціональна і принципова схеми системи. Обрані комплектуючі для її реалізації та наведені їх детальні характеристики. Був розроблений програмний компонент на програмній мові Arduino, яка базується на C/C++.

Розроблена система була розглянута як стартап проект в розділі 5, результатом якого є те, що проект є рентабельним та вигідним для інвестицій.

Розроблена система моніторингу віброакустичних параметрів робочої зони відповідає вимогам технічного завдання.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Механічні коливання (вібрація, шум, інфразвук, ультразвук). URL: <https://studfile.net/preview/5193708/page:7/> (дата звернення: 3.10.19).
2. Небезпека механічних та електромагнітних коливань. URL: [https://pidruchniki.com/10981205/bzhd/nebezpeka\\_mehanichnih\\_elektromagnitnih\\_kolivan](https://pidruchniki.com/10981205/bzhd/nebezpeka_mehanichnih_elektromagnitnih_kolivan) (дата звернення: 10.10.19).
3. Параметри та види вібрації, її дія на організм людини. URL: [https://pidruchniki.com/15800119/bzhd/parametri\\_vidi\\_vibratsiyi\\_diya\\_organizmu\\_lyudini](https://pidruchniki.com/15800119/bzhd/parametri_vidi_vibratsiyi_diya_organizmu_lyudini) (дата звернення: 11.10.19).
4. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої та локальної вібрації. Київ, 1999, 39 с.
5. Виробничий шум. URL: [http://ni.biz.ua/1/1\\_9/1\\_97756\\_lektsiya--proizvodstvenniy-shum.html](http://ni.biz.ua/1/1_9/1_97756_lektsiya--proizvodstvenniy-shum.html) (дата звернення 12.11.19)
6. Вакуленко М. О. Тлумачний словник із фізики / М. О. Вакуленко – К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2008. – 767 с.
7. ВЛИЯНИЕ ШУМА НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА URL: <https://dnaop.com/doc/1643.doc> (дата звернення: 11.10.19).
8. Малинская Н.Н., Суворов Г.А., Глава 5. Шум, вібрація, ультра- та інфразвук // Керівництво з охорони праці: Измеров Н.Ф. – Москва : Медицина, 1987. – 368 с.
9. Рыжов А.Я, Шкаринов Л.Н. Об эффективности средств индивидуальной защиты от шума органов слуха и сосудов головного мозга : [рус.] // Гигиена труда и профессиональные заболевания. – 1981. – № 2. – С. 40-41.
10. Измеров Н.Ф., Суворов Г.А., Прокопенко Л.В. Человек и шум. – Москва: ГЭОТАР-МЕД, 2001. – 384 с.
11. Е. Я. Юдин, Л. А. Борисов. Борьба с шумом на промышленности. Довідник. – Москва: Машинобудування, 1985. – 400 с.

12. Прилади й системи для вимірювання вібрації шуму і удару. Справ. в 2 кн. під ред. В.В. Ключова. М: машинобудування, 1978, 844 с.
13. Барков А.В. Моніторинг та діагностика роторних машин за вібрацією: Навч. посібник / Барков А. В., Баркова Н. А., Азовцев А. Ю. – СПб., 2000. – 158 с.