

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

Факультет інженерії

Кафедра електричної інженерії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

**до дипломного проекту
ступінь вищої освіти магістр**

галузі знань 15 - Автоматизація та приладобудування

спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

на тему Дослідження методів та засобів вимірювання параметрів вібрацій

Виконав: студент групи МВТ-22дм

Рубежний П.В.

(прізвище, та ініціали)

_____ (підпис)

Керівник

доц. Морнева М.О.

(прізвище, та ініціали)

_____ (підпис)

Завідувач кафедри

доц. Руднев Є.С.

(прізвище, та ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент

доц. Шумакова Т.О.

(прізвище, та ініціали)

_____ (підпис)

Київ 2023р.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерії

Кафедра Електричної інженерії

Ступінь вищої освіти магістр

Галузь знань 15 Автоматизація та приладобудування
(шифр і назва)

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕІ

доц. Руднев Є.С.

“ ” 2023 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

Рубежному Павлові Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Дослідження методів та засобів вимірювання параметрів вібрацій»

керівник проекту доц. Морнева М.О.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 23.10.2023 року №564/15.23С

2. Строк подання студентом проекту 8.12.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту: Акселерометри, віброметри, стандартні методики здійснення вимірювань, повірочні схеми, технічні умови, ДСТУ 2300-93.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Значення засобів вимірювальної техніки для вимірювання вібрацій. Віброметри та їх класифікація. Сучасні вимоги до проведення вимірювань параметрів вібрацій. Розробка методики виконання вимірювань параметрів вібрацій. Висновки.

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

1. Основні конструкції та типи акселерометрів

2. Дослідження методів та засобів вимірювань параметрів вібрацій.

3. Рекомендована апаратура для вимірювання вібрацій .

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1-4	доц. Морнева М.О.		

7. Дата видачі завдання 16.10.2023 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ		
2	Значення засобів вимірювальної техніки для вимірювання вібрацій		
3	Віброметри та їх класифікація.		
4	Сучасні вимоги до проведення вимірювань параметрів вібрацій.		
5	Розробка методики виконання вимірювань параметрів вібрацій.		
6	Висновки		
7	Оформлення ПЗ, розробка презентації		
8	Захист проекту		

Студент _____
(підпис)Рубежний П.В.
(прізвище та ініціали)Керівник проекту _____
(підпис)Морнева М.О.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота містить 64 сторінок, 33 рисунка, 2 додатка та 21 бібліографічних найменувань за переліком посилань.

Актуальність теми. Однією з актуальних проблем сучасної техніки є вимірювання параметрів вібрацій, ударів і шумів. Сьогодні не можна назвати практично жодного об'єкта контролю або виробничого процесу, який не відчував би вплив вібраційних, ударних або акустичних навантажень.

Сучасні технології вимагають безперервного контролю над багатьма параметрами технологічного процесу і контролю стану обладнання. Одними з найважливіших є параметри механічного руху, зокрема параметри періодичних переміщень досліджуваного об'єкта в просторі (вібрації).

Об'єкт дослідження – вібрація та її параметри.

Предмет дослідження – методи та засоби вимірювання параметрів вібрації.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження методів та засобів вимірювання параметрів вібрацій.

Досягнення зазначеної мети вимагає постановки та вирішення **наступних завдань:**

- розглянути джерела та природу механічних коливань;
- визначити структуру основних вібровимірювальних приладів;
- провести аналіз сучасних вимог к ЗВТ для виміру вібрацій;
- запропонувати методику виконання вимірювань параметрів вібрацій.

Методи дослідження: теоретичний аналіз і систематизація науково-теоретичних і методичних джерел; математичні методи; емпіричні методи (стандартизовані методики); методи обробки даних.

Ключові слова: *акселерометр, амплітуда, вібрація, віброперетворювач, датчик, електричні сигнали, п'єзоелемент, частота, швидкість.*

ABSTRACT

The master's thesis contains 64 pages, 23 figures, 2 appendix and 21 bibliographic names according to the list of references.

Actuality of theme. One of the urgent problems of modern technology is the measurement of vibration, impact and noise parameters. Today, it is impossible to name practically any object of control or production process that would not feel the influence of vibration, shock or acoustic loads.

Modern technologies require continuous control over many parameters of the technological process and control of the condition of the equipment. One of the most important are the parameters of mechanical movement, in particular the parameters of periodic movements of the studied object in space (vibrations).

The object of research is vibration and its parameters.

The subject of research is methods and means of measuring vibration parameters.

The purpose of the qualification work is to research the methods and means of measuring vibration parameters.

Achieving this goal requires setting and solving **the following tasks:**

- consider the sources and nature of mechanical vibrations;
- determine the structure of the main vibration measuring devices;
- conduct an analysis of modern requirements for FTA for measuring vibrations;
- to propose a technique for measuring vibration parameters.

Research methods: theoretical analysis and systematization of scientific-theoretical and methodical sources; mathematical methods; empirical methods (standardized methods); data processing methods.

Key words: *accelerometer, amplitude, vibration, vibration transducer, sensor, electrical signals, piezo element, frequency, speed.*

Зміст

Вступ	6
1 Значення засобів вимірювальної техніки для вимірювань вібрацій	10
1.1 Класифікація вимірювальних перетворювачів вібрації	10
1.2 Інерційні методи вимірювання вібрації	12
1.3 Магнітроіндукційні перетворювачі	15
1.3 П'єзоелектричний акселерометр. Основні конструкції та типи акселерометрів	19
2 Віброметри та їх класифікація	28
2.1 Класифікація віброперетворювачів	28
2.2 Структура основних вібровимірювальних приладів	29
2.3 Основні параметри віброперетворювачів	33
3 Сучасні вимоги до проведення вимірювання параметрів вібрацій	36
4 Аналіз методів та засобів вимірювання параметрів вібрацій та розробка методики виконання вимірювань	40
4.1 Системи вимірювання і аналізу вібрацій	40
4.2 Методи вимірювання	51
4.3 Методика виконання контролю та оцінки вібраційного стану компресорного та іншого обладнання по вібраційних характеристиках	54
Висновки	59
Список використаних джерел	61
Додатки	63

ВСТУП

Актуальність теми. Однією з актуальних проблем сучасної техніки є вимірювання параметрів вібрацій, ударів і шумів. Сьогодні не можна назвати практично жодного об'єкта контролю або виробничого процесу, який не відчував би вплив вібраційних, ударних або акустичних навантажень. Дослідження коливальних процесів становлять великий інтерес для всіх галузей народного господарства - металургії, енергетичного машинобудування, ракетної техніки і т.д. уже тривалий час розробляються способи боротьби з шкідливим впливом вібрацій, ударів і шумів в техніці і природі [9].

Виникаючі при вібраціях і ударах інерційні сили можуть викликати напруги, що перевищують межу міцності конструкції, або відносні переміщення деталей в неприпустимих межах. Під впливом довготривалих інерційних сил з'являються втомні руйнування матеріалу. Через вібрацій значно знижується термін служби обладнання, погіршується якість його роботи.

Сучасні технології вимагають безперервного контролю над багатьма параметрами технологічного процесу і контролю стану обладнання. Одними з найважливіших є параметри механічного руху, зокрема параметри періодичних переміщень досліджуваного об'єкта в просторі (вібрації). Цими параметрами є вібропереміщення (амплітуда вібрації), віброшвидкість (частота вібрації).

Подібний контроль необхідний в самих різних областях:

- в напівпровідниковій електроніці (контроль вібрації установок для вирощування кристалів);
- в мікроелектроніці (вібрація установок фотолітографії);
- в машинобудуванні (вібрація верстатів і биття деталей);

- в автомобільній промисловості (контроль вібрації окремих вузлів автомобілів і всього автомобіля в цілому);
- на залізничному транспорті (датчики наближення поїзда);
- в енергетиці (контроль вібрації лопаток газових турбін);
- в авіабудуванні (контроль биття турбін) і т.д.

Об'єкт дослідження – вібрація та її параметри.

Предмет дослідження – методи та засоби вимірювання параметрів вібрації.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження методів та засобів вимірювання параметрів вібрацій.

Досягнення зазначеної мети вимагає постановки та вирішення **наступних завдань:**

- розглянути джерела та природу механічних коливань;
- визначити структуру основних вібровимірювальних приладів;
- провести аналіз сучасних вимог к ЗВТ для виміру вібрацій;
- запропонувати методику виконання вимірювань параметрів вібрацій.

Методи дослідження: теоретичний аналіз і систематизація науково-теоретичних і методичних джерел; математичні методи; емпіричні методи (стандартизовані методики); методи обробки даних.

Інженери і техніки займаються питаннями, пов'язаними із зменшенням механічних коливань і віброізоляцією, вже з часу розробки і виробництва перших машин і верстатів, зокрема машин з механічним приводом. Подібний контроль необхідний в самих різних областях: у напівпровідникової електроніки (контроль вібрації установок для вирощування кристалів), у мікроелектроніці (вібрація установок фотолітографії), в машинобудуванні (вібрація верстатів і биття деталей), в автомобільній промисловості (контроль вібрації окремих вузлів автомобілів і всього автомобіля в цілому), на залізничному транспорті (датчики наближення поїзда), в енергетиці (контроль вібрації лопаток газових турбін), в авіабудуванні (контроль биття турбін) і т.д. Цей список можна продовжувати досить довго, що говорить про

необхідність створення високоточних вібродатчиків. Необхідність точного вимірювання та аналізу механічних коливань виникла з перших кроків розробки та конструювання машин, що враховують питання амортизації механічних коливань і віброізоляції. Дослідження механічних коливань міцних машин повільної дії в минулому ґрунтувалося на досвіді інженерів-конструкторів і застосуванні нескладних оптичних приладів, що вимірюють зміщення механічних коливань. В останні 15-20 років відбувся швидкий розвиток техніки вимірювання та аналізу механічних коливань (віброметрії) з тим, щоб задовольнити всім вимогам дослідження і випробування нових, легких і швидкодіючих машин і устаткування. Застосування п'єзоелектричних акселерометрів, що перетворюють механічні коливання в електричні сигнали, розкрило нові можливості точного вимірювання та аналізу механічних коливань електронними вимірювальними приладами.

На даний час розроблено досить багато вібродатчиків, заснованих на різних ефектах. Всі вони мають свої переваги і недоліки. Крім того, існують певні труднощі в теоретичному описі й моделюванні роботи вібродатчиків.

1 ЗНАЧЕННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНИКИ (ЗВТ) ДЛЯ ВИМІРЮВАНЬ ВІБРАЦІЙ

1.1 Класифікація вимірювальних перетворювачів вібрації

У віброметрії використовують два принципи вимірювання: динамічний і кінематичний. Динамічний принцип вимірювання реалізується в давачах інерційної дії. При цьому вимірюються абсолютні значення параметрів вібрації досліджуваних об'єктів.

Кінематичний принцип вимірювання використовується в безконтактних давачах. При цьому вимірюється зміна в часі координат точок досліджуваних об'єктів щодо вібраційної нерухомої системи координат. Класифікація давачів абсолютної вібрації по використуванім для перетворення фізичним принципам (рис. 1.1). Класифікація давачів відносної вібрації відповідно до використуванім для перетворення фізичних принципів (рис. 1.2).

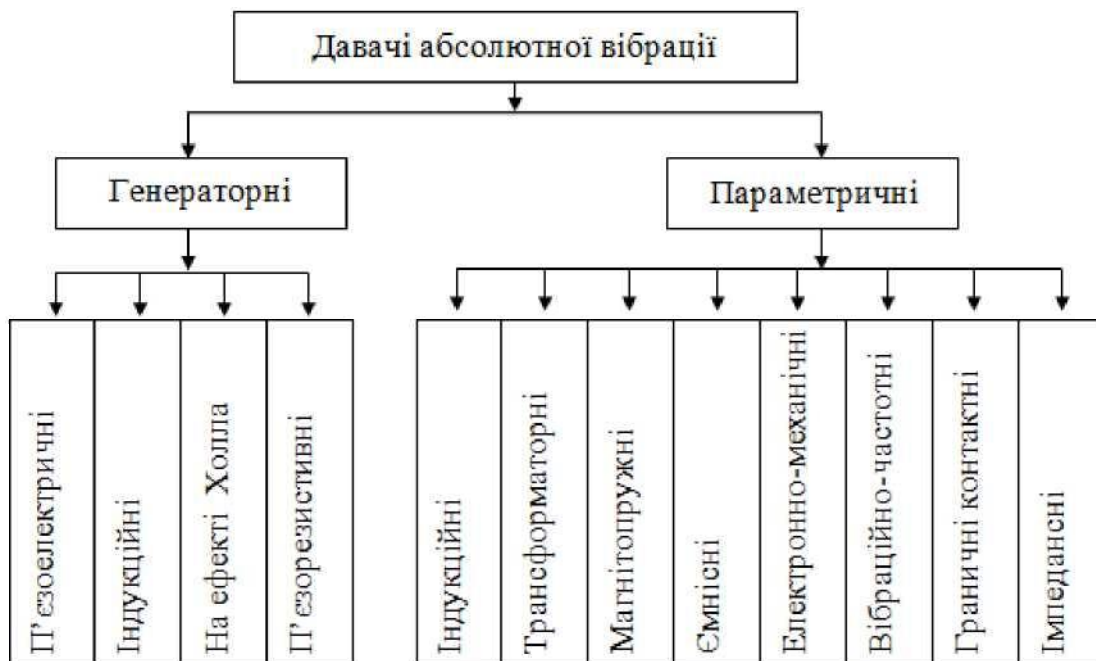


Рисунок 1.1 - Класифікація давачів абсолютної вібрації по використуванім для перетворення фізичним принципам

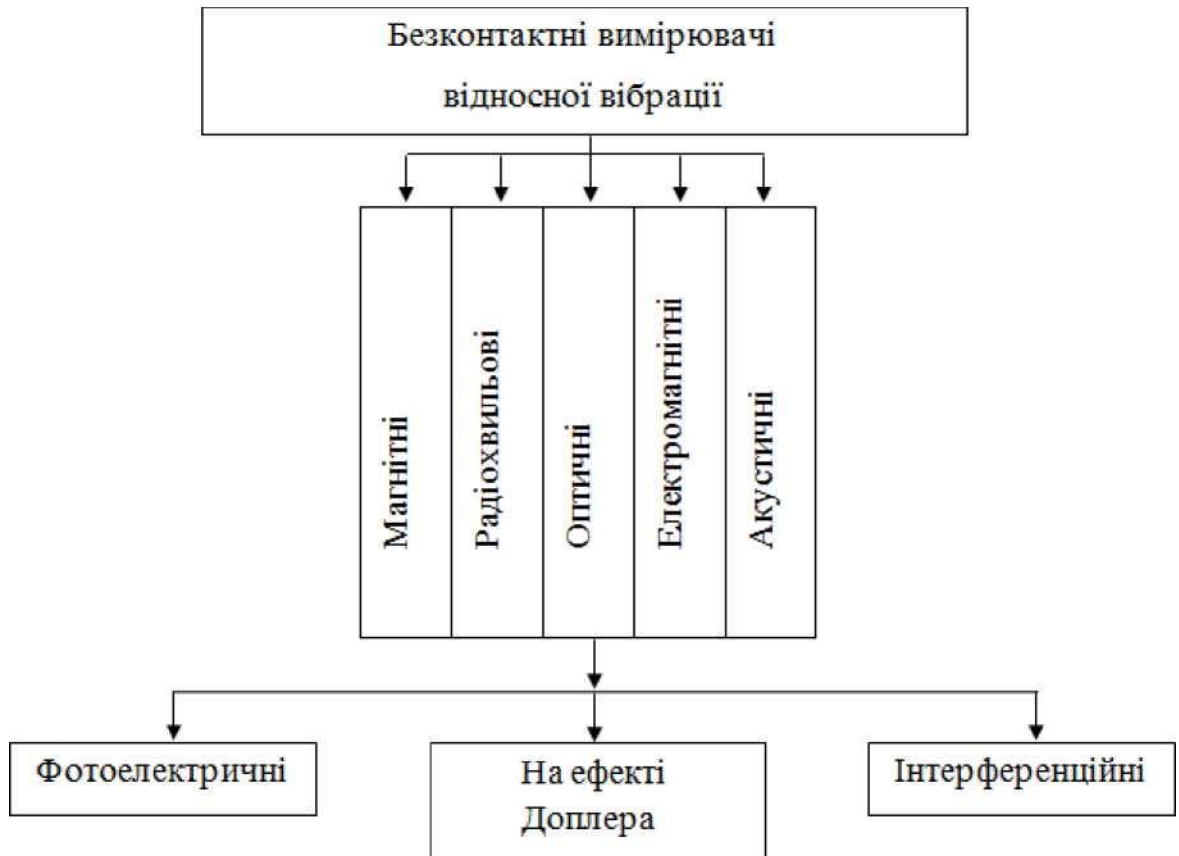


Рисунок 1.2 - Класифікація давачів відносної вібрації відповідно до використовуваних для перетворення фізичних принципів

З рис. 1.2 видно, що перетворювачі абсолютної вібрації в електричний сигнал діляться на два класи: генераторні, що перетворюють енергію механічних коливань в електричну; параметричні, що перетворюють механічні коливання в вимірювання параметрів електричних. Класифікація давачів відносної вібрації відповідно до використовуваних для перетворення фізичних принципів кіл, наприклад, індуктивності, ємності, активного опору, частоти або зсуву фаз і так далі.

З давачів абсолютної вібрації найбільшого поширення набули п'єзоелектричні давачі. Їх відрізняють малі габаритні розміри, широкі частотний і динамічний діапазони, незначні коефіцієнти впливу зовнішніх

факторів: магнітного і електричного полів, звукового тиску, деформації досліджуваного об'єкта.

Принцип дії п'єзоелектричних давачів заснований на використанні прямого п'єзоефекту, що полягає в тому, що під дією зовнішньої сили, в тому числі знакозмінної, деякі кристали або п'єзокераміки генерують електричні заряди. Найбільш поширеними п'єзоелектричними матеріалами є кварц, турмалін, ніобат літію, цирконат титаната свинцю, титанат вісмуту, окис цинку та ін.

Одним з основних факторів, що обмежують застосування п'єзоелектричних давачів, є температура, при якій вони експлуатуються. При перевищенні певної межі температури п'єзоелектричний елемент втрачає частину своєї поляризації і коефіцієнт перетворення давача знижується. При досягненні точки Кюрі матеріалу п'єзоелемента поляризація повністю зникає і давач виходить з ладу. В області низьких температур обмеження на застосування п'єзоелектричних давачів визначаються можливістю розтріскування п'єзоелектричного матеріалу. Слід враховувати, що давач повинен надавати мінімальний вплив на вібруючий об'єкт. Резонансна частота об'єкта змінюється під впливом маси давача.

В безконтактних вимірювачах найбільше застосування в вібродіагностиці знайшли оптичні методи і засоби вимірювання параметрів вібрації, які за способом виділення інформації про вимірюваний параметр ділять на амплітудні та частотні. До амплітудних методів вимірювань відносять фотоелектричні (або фотомодуляційні) і інтерференційні методи вимірювання. Вимірювання параметрів вібрації, засноване на зміні частоти випромінювання, відбитого від об'єкта, проводять вимірювальними пристроями, дія яких заснована на використанні ефекту Доплера.

1.2 Інерційні методи вимірювання вібрації

Вібрацію об'єкта можна визначати, спостерігаючи його положення

щодо інших об'єктів, які вважаються нерухомими. Розрізняють абсолютний і інерційний методи вимірювання вібрації в залежності від того, щодо якого об'єкта проводять виміри.

При вимірюванні вібрації абсолютним методом вібропереміщення спостерігають відносно світового простору (зірок).

Інерційний метод вимірювання вібрації авіадвигунів знайшов широке застосування. Цей метод заснований на першому законі Ньютона — властивості тіла зберігати стан спокою, коли на нього не діють сили.

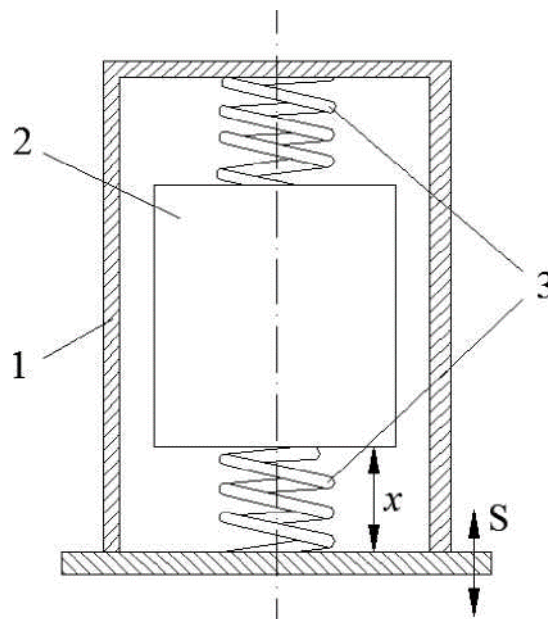


Рисунок 1.3 — Конструкція вібровимірювального перетворювача

Вібровимірювальний перетворювач (ВВП), який реалізує інерційний метод вимірювання (рис. 1.3), складається з корпусу 1 (віброуючого елемента), жорстко з'єданого з двигуном, і інерційної маси 2 (невібруючого елемента), з'єднаної з корпусом 1 пружинами 3. Таким чином, при вібрації двигуна буде переміщуватися корпус 1 ВВП, а інерційна маса 2 завдяки своїй інерції буде залишатися відносно нерухомою. Отже, ВВП перетворює вхідний сигнал - вібропереміщення S корпусу 1 (а, значить, і двигуна) щодо світового простору, в вихідний сигнал — переміщення x корпусу ВВП відносно інерційної маси 2 (сейсмомаси).

Залежність модуля коефіцієнта передачі ВВП від співвідношення частот вимушених (вібраційних) і власних коливань системи називається амплітудно-частотною характеристикою (АЧХ) ВВП.

На рис 1.4 показана АЧХ ВВП з різним коефіцієнтом загасання.

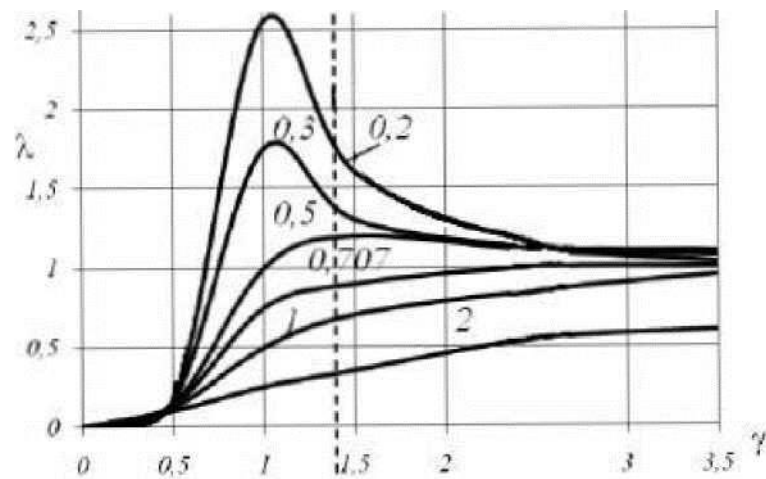


Рисунок 1.4 — АЧХ ВВП з різним коефіцієнтом загасання

З АЧХ ВВП видно, що при $\gamma \gg 1$ модуль коефіцієнта передачі ВВП наближається до одиниці. Отже, при $\gamma \gg 1$ переміщення корпусу ВВП щодо невібруючого елемента дорівнюватиме вібропереміщенню. Тому вважають, що при $\gamma > 1,5$ розглянутий ВВП працює в режимі перетворення вібропереміщення, при $\gamma < 0,5$ — перетворення віброприскорення, а при $0,5 < \gamma < 1,5$ — перетворення віброшвидкості. Для забезпечення $\gamma > 1,5$ необхідно застосовувати пружини малої жорсткості, а для $\gamma < 0,5$ — великої жорсткості. виготовлення ВВП з $0,5 < \gamma < 1,5$ досить важко, тому зазвичай створюють ВВП або з $\gamma < 0,5$ або з $\gamma > 1,5$.

Для отримання дистанційних віброметрів необхідно переміщення корпусу ВВП щодо невібруючого елемента перетворити в електричний сигнал. Для цього використовують магнітоіндукційні (МІП) і п'єзоелектричні (ПЕП) перетворювачі.

1.3 Магнітоіндукційні перетворювачі

Перше повномасштабне застосування отримали давачі вібрації з МІП (рис 1.6).

Його структурна схема зображена на рис. 1.5.

У таких давачах невіброуючий елемент 2 являє собою циліндричний постійний магніт, намагнічений вздовж утворюючої, а індукційна котушка 3 жорстко з'єднується з корпусом. Таким чином, корпус і магніт утворюють ВВП, а магніт і котушка — МІП, на виході якого при вібрації виникає електрорушійна сила (ЕРС) (E).

Розглянемо більш детально давач вібрації з МІП.

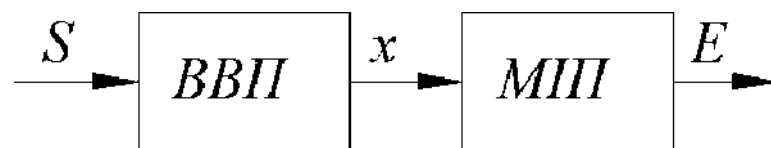


Рисунок 1.5 — Структурна схема давача вібрації з МІП

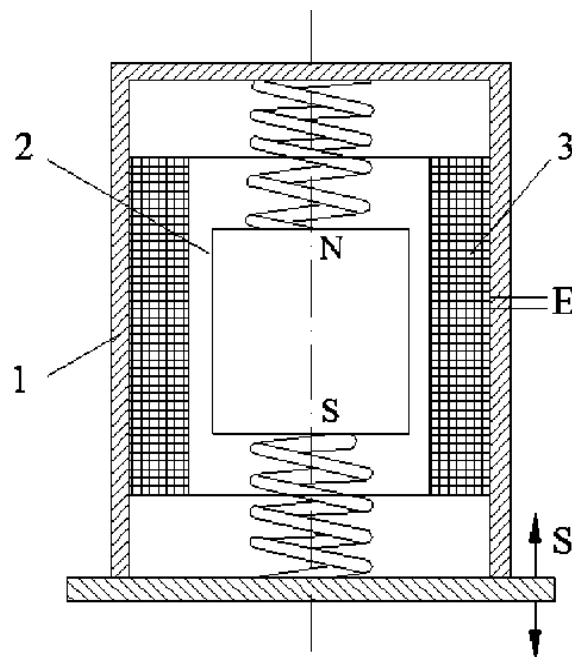


Рисунок 1.6 Конструкція давача вібрації з МІП

МПП є диференціюючим перетворювачем, і ЕРС на його виході залежить від швидкості взаємного переміщення корпусу давача з котушкою 3 щодо невібруючого постійного магніту 2, тому в цих давачах роблять ВВП з $\gamma > 1,5$, тобто такі, коли $x = S$.

Отже, для отримання інформації про віброшвидкість в віброметрах з МПП необхідно вимірювати ЕРС змінного струму. ЕРС на виході МПП має мале значення, тому її необхідно посилити. Однак при передачі ЕРС від МПП до входу підсилювача на дроти впливають електромагнітні та електростатичні поля, які викликають в дротах інші ЕРС, так звані наведення, які мають частоти відмінні від частоти вібрації.

У той же час вібрація двигуна може відбуватися з різними частотами. Тому, щоб посилювати ЕРС тільки необхідної частоти (першої роторної гармоніки), підсилювачі віброметрів швидкості з МПП повинні мати постійний коефіцієнт передачі (підсилення) K_{yc} в усьому діапазон частот ЕРС (від f_{min} до f_{max}).

АЧХ такого підсилювача (залежність коефіцієнта посилення від частоти підсилювального сигналу) повинна мати вигляд, близький до показаного на рис. 1.7.

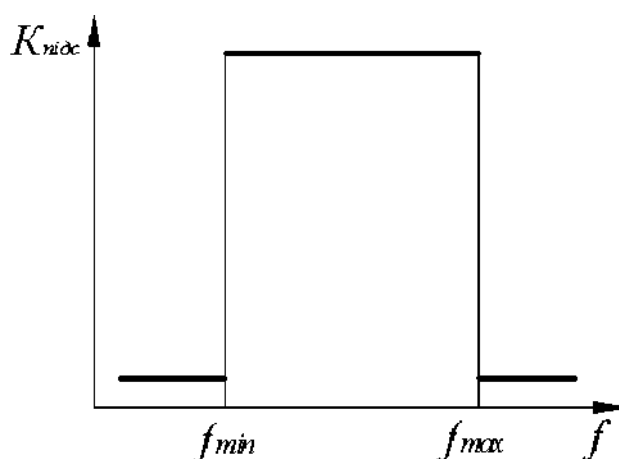


Рисунок 1.7 - Ідеальний вигляд АЧХ підсилювача віброметра швидкості

Для отримання бажаної АЧХ підсилювача віброметра швидкості, структурна схема якого показана на рис. 1.8, після вхідного каскаду посилення ВК, узгоджувального великий вихідний опір МПІ з низьким вхідним опором наступних каскадів, включають послідовно інтегруючий і диференціюючий RC-ланцюжок, а потім два виборчих каскади посилення. Інтегруючий ІЛ і диференціюючий ДЛ ланцюжки забезпечують затухання на частотах відповідно $f > f_{max}$ і $f < f_{min}$.

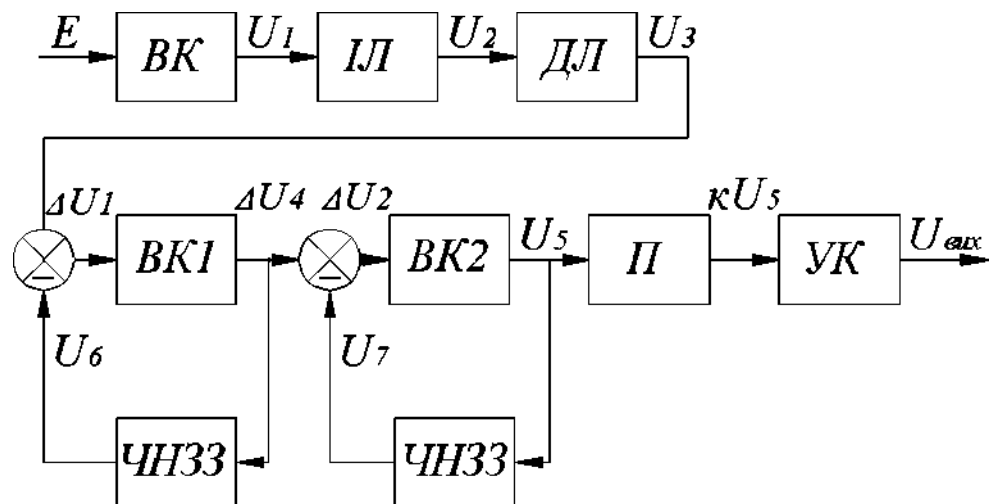


Рисунок 1.8 — Структурна схема підсилювача віброметра швидкості

Для отримання необхідного значення коефіцієнта підсилювача після другого виборчого підсилювача підсилюють невиборчий каскад підсилення П (рис. 1.8). Вихід цього каскаду з'єднують зі входом узгоджувального каскаду УК, що забезпечує узгодження високого вихідного опору підсилювача з низьким вхідним опором наступних пристроїв. Віброметри швидкості з МПІ використовуються на всіх повітряних судах з турбореактивними або турбо вентиляторними двигунами.

На повітряних судах з ТВД, у яких частота обертання вала гвинта постійна, виконується умова $a=V=s$, тобто віброприскорення прямопропорційне віброшвидкості, тому віброметри з МПІ можуть бути використані для вимірювання віброприскорення.

Для отримання необхідного значення коефіцієнта підсилювача після другого виборчого підсилювача підсилюють невиборчий каскад підсилення П (рис. 1.8). Вихід цього каскаду з'єднують зі входом узгоджувального каскаду УК, що забезпечує узгодження високого вихідного опору підсилювача з низьким вхідним опором наступних пристроїв. Віброметри швидкості з МПІ використовуються на всіх повітряних судах з турбореактивними або турбо вентиляторними двигунами .

На повітряних судах з ТВД, у яких частота обертання вала гвинта постійна, виконується умова $a=V=s$, тобто віброприскорення прямопропорційне віброшвидкості, тому віброметри з МПІ можуть бути використані для вимірювання віброприскорення.

Однак підсилювач віброметра прискорення для ТВД повинен посилювати ЕРС тільки однієї частоти і може мати коефіцієнт посилення, відмінний від коефіцієнта посилення віброметра швидкості. З огляду на, що практично в ТВД частота обертання може трохи змінитися і що неможливо створити кілька ТВД з абсолютно однаковою частотою обертання валу гвинта, підсилювач віброметра прискорення з МПІ повинен мати смугу пропускання частот, але дуже вузьку: 5-10 Гц.

Для отримання необхідної форми АЧХ підсилювача віброметра прискорення на вході підсилювача встановлюють подвійний Т-подібний RC-фільтр, включений в ланцюг негативного зворотного зв'язку підсилювального П і узгоджувального УК каскадів (рис. 1.9), який налаштований так, що на робочій частоті негативний зв'язок відсутній і коефіцієнт посилення максимальний.

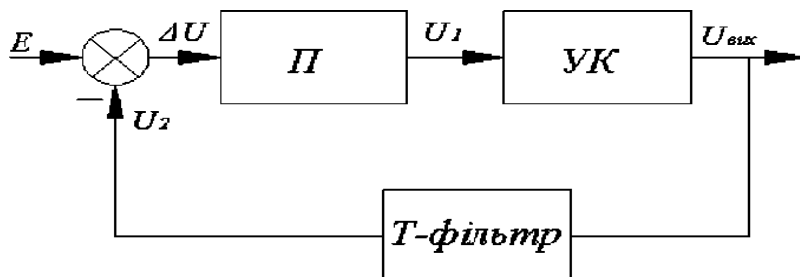


Рисунок 1.9 — Схема включення Т-фільтра

1.4 П'єзоелектричний акселерометр. Основні конструкції та типи акселерометрів

Відповідно до ДСТУ 2681-94, вимірювальним перетворювачем (ВП) називають засіб вимірювань, призначений для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, зручній для передачі, подальшого перетворення, обробки і зберігання, але не піддається безпосередньому сприйняттю спостерігачем.

Вимірювальні перетворювачі (ВП) характеризуються чутливістю, динамічним діапазоном, межею і похибками перетворень [3].

Під чутливістю перетворювача розуміють відношення зміни сигналу на виході до викликає його зміни вимірюваної величини. Розрізняють абсолютну і відносну чутливість.

Абсолютна чутливість

$$S = \frac{\Delta I}{\Delta \chi} \quad (1.1)$$

відносна чутливість

$$S_0 = \frac{\Delta I}{\Delta \chi / \chi} \quad (1.2)$$

де ΔI - зміна сигналу на виході;

χ - вимірювана величина;

$\Delta \chi$ - зміна вимірюваної величини.

Межа перетворення - найбільше значення вхідної величини, яке сприймається ВП без спотворень і пошкоджень.

Під похибкою вимірювань в загальному випадку розуміють відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірюваної величини. ВП визначаються також динамічними характеристиками, які описують їх поведінку при швидких вимірюваннях вимірюваних величин.

До динамічних характеристик, зокрема, відносять амплітудно-частотні і фазові характеристики ВП. Частотна характеристика визначає залежність чутливості ВП від частоти зміни вхідного сигналу, а фазова характеристика - залежність зсуву фаз між векторами вхідний і вихідний вимірюваних величин від частоти синусоїдального зміни вхідний вимірюваної величини.

За принципом роботи ВП абсолютної вібрації поділяють на генераторні та параметричні (Додаток А).

Генераторні ВП здійснюють пряме перетворення механічної енергії в електричний сигнал. До них відносять ВП, дія яких заснована на ефекті Холла, п'єзоелектричні, індукційні та ін.

До параметричних ВП відносять резистивні, реостатні, тензорезисторні, ємнісні, індуктивні, трансформаторні, магнитоупругие, вихореструмо, вібраційно-частотні, електронно-механічні та ін. [4].

З усього різноманіття існуючих ВП найбільшого поширення набули перетворювачі з п'єзоелектричним, тензорезистивного, електромагнітним (індуктивним), ємнісним і струнним чутливими елементами. Одним з типів зазначених перетворювачів є акселерометри.

Акселерометри є датчики лінійного прискорення і в цій якості широко використовуються для вимірювання кутів нахилу тіл, сил інерції, ударних навантажень і вібрації. Вони знаходять широке застосування на транспорті, в медицині, в промислових системах виміру і управління, в інерційних системах навігації. Промисловість виготовляє багато різновидів акселерометрів, що мають різні принципи дії, діапазони вимірювання прискорень, масу, габарити і ціни [5] ..

Принцип роботи акселерометрів заснований на вимірюванні зсуву інерційної маси щодо корпусу і перетворенні його в пропорційний електричний сигнал.

Точність перетворення прискорення в електричний сигнал акселерометрами так само, як і точність датчиків іншого типу, визначається величинами зміщення ну ля, похибкою повної шкали (або чутливістю), а

також температурним і тимчасовим дрейфом цих параметрів. Важливими складовими похибки є також похибки лінійності (нелінійності) і поперечна чутливість.

Акселерометри використовуються для діагностики ступеня зносу працюючих частин механізмів, охорони здоров'я людини при його роботі з інструментами і механізмами, які є джерелами вібрації, і т. п.

Акселерометр - являє собою прилад для вимірювання механічного прискорення (перевантажень і вібрації), або датчик - перетворювач механічного прискорення в електричний сигнал. Схематично конструкція акселерометра з інерційною масою може бути описана в фізичній моделі як маса, підвішена на пружині, з'єднаної з основою (рис. 1.10).

П'єзоелектричний акселерометр є універсальним вібродатчиком, в даний час застосовуваним майже у всіх областях вимірювання та аналізу механічних коливань. Експлуатаційна характеристика п'єзоелектричних акселерометрів в загальному краще характеристики будь-якого іншого вібродатчика. П'єзоелектричні акселерометри відрізняються широкими робочими частотним і динамічним діапазонами, лінійними характеристиками в цих широких діапазонах, міцною конструкцією, надійністю і довготривалою стабільністю параметрів.

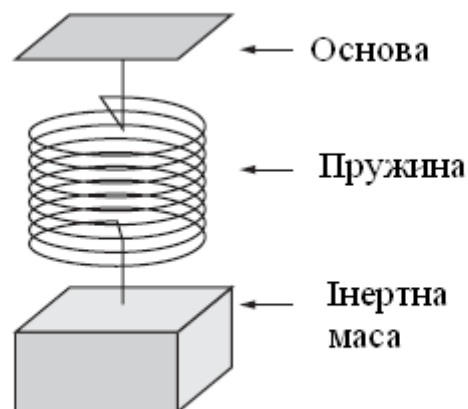


Рис. 1.10 - Фізична модель акселерометра з інерційною масою

Так як п'єзоелектричні акселерометри є активними датчиками, генеруючими пропорційний механічних коливань електричний сигнал, при їх експлуатації не потрібне джерело живлення. Відсутність рухомих елементів конструкції виключає можливість зносу і гарантує виняткову довговічність п'єзоелектричних акселерометрів. Зазначимо, що сигнал, який віддається акселерометром, пропорційний прискоренню, можна інтегрувати з метою вимірювання та аналізу швидкості і зміщення механічних коливань.

Основним елементом п'єзоелектричного акселерометра є диск з п'єзоелектричного матеріалу, в якості якого нормально використовується штучно поляризована ферроелектрична кераміка. Що піддається дії сили (при розтягуванні, стисненні або зсуві) п'єзоелектричний матеріал генерує на своїх поверхнях, до яких прикріплені електроди, електричний заряд, пропорційний силі, яка впливає.

Конструкція акселерометрів. П'єзоелемент практичних п'єзоелектричних акселерометрів сконструйований так, що при порушенні механічними коливаннями передбачена в корпусі акселерометра маса впливає на нього силою, пропорційною прискоренню механічних коливань. Це відповідає закону, згідно з яким сила дорівнює добутку маси і прискорення.

На частотах значно менших резонансної частоти загальної системи маса - пружина прискорення маси акселерометра ідентично прискоренню його заснування і, отже, що віддають акселерометром електричний сигнал пропорційний прискоренню впливають на нього механічних коливань.

Основні варіанти конструкції практичних п'єзоелектричних акселерометрів наступні:

- варіант стиснення, в якому маса впливає силою стиснення на п'єзоелектричний елемент;
- варіант зрушення, характерним для якого є робота п'єзоелемента під дією розрізувального зусилля, яке обумовлене внутрішньої масою акселерометра.

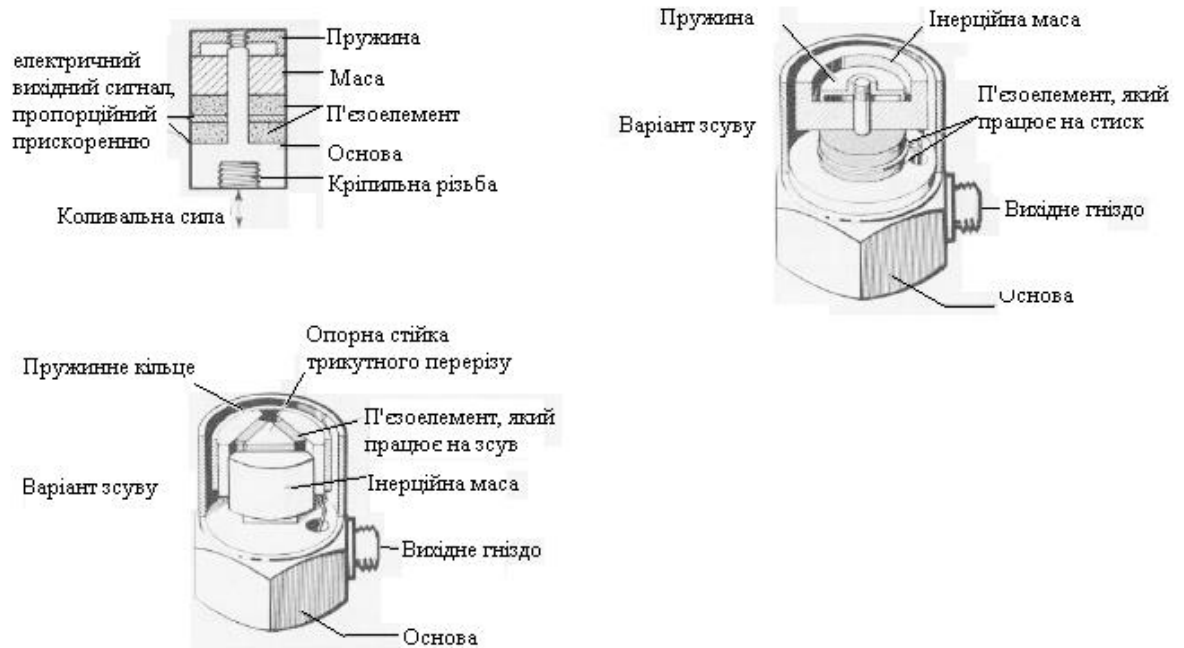


Рис. 1.11 - Конструкція акселерометрів

Типи акселерометрів. Більшість виробників вібродатчиків виготовляє і випускає багатий асортимент акселерометрів – на перший погляд занадто багато моделей, так що підбір відповідного умовам вимірювання акселерометра є скрутним. Невелика група акселерометрів «загального призначення» задовольняє вимогам більшості нормальних областей вимірювання та аналізу механічних коливань. Роз'єми для підключення сполучних кабелів цих акселерометрів розташовані або зверху, або збоку корпусу та їх чутливості знаходяться в діапазоні 1-10 мВ або пКл на м/с². Спеціальні акселерометри фірми Брюль і К'єр (Uni-Gain ®) мають нормалізовану чутливість, наприклад 1 або 10 пКл / мс⁻², що значно спрощує калібрування і перевірку вібровимірювальних систем.

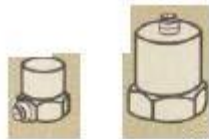
Інші акселерометри розроблені з урахуванням досягнення оптимальних характеристик у певних сферах застосування.

Прикладом можуть служити малогабаритні і легкі Аксельрометри, призначені для вимірювання механічних коливань з великими амплітудами і високими частотами і застосовуються при дослідженні легких конструкцій,

каркасів, панелей і т. д. Власна маса цих акселерометрів знаходиться в межах від 1/2 до 2 м.

Спеціальні акселерометри є оптимальними, наприклад, для одночасного вимірювання в трьох взаємно перпендикулярних напрямках, роботи при високих температурах, вимірювання великих прискорень або сильних механічних ударів, калібрування вібродатчиків методом порівняння і для безперервного контролю механічних коливань в промисловості і т. д.

Акселерометри загального призначення



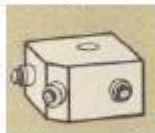
Чутливість: 1-10 мКл/мс⁻²
 Вага: 1-50 г
 Частотний діапазон: 0-120 000 Гц

Мініатюрні акселерометри



Чутливість: 0,05 - 0,3 мКл/мс⁻²
 Вага: 0,4-2 г
 Частотний діапазон: 1 - 25 000 Гц

Спеціальні акселерометри



- для виміру в трьох взаємно перпендикулярних напрямках
- для стаціонарних віброконтрольних установок
- для виміру коливань конструкцій, будівель, мостів та ін.
- для експлуатації при високих температурах
- для калібрування та перевірки вібродатчиків
- для виміру та аналізу механічних ударів з амплітудами до 100 км/с²

Рис. 1.12 - Типи акселерометрів

Приклади практичного виконання п'єзоелектричних акселерометрів. Акселерометри загального призначення. Нижче представлені п'єзоелектричні акселерометри, виконані за найпоширенішим конструктивним схемам з різними видами деформації п'єзоелемента, призначені для застосування в

лабораторній практиці і контролю промислового обладнання. На рис. 1.5 показана конструкція малогабаритного акселерометра типу ДВ-01, призначеного для вимірювання параметрів коливань елементів фюзеляжу літаків в процесі льотних випробувань. У акселерометрі використовується п'єзоелемент, що складається з п'яти паралельно з'єднаних шарів, що працює з деформацією стиснення розтягування. Застосування багат шарового п'єзоелемента в порівнянні з одношаровим, дозволяє підвищити коефіцієнт перетворення по заряду пропорційно кількості шарів. З метою підвищення перешкодозахищеності, акселерометр (ДВ-01с) має симетричний ізольований від корпусу вихід, виконаний двопровідним антивібраційним кабелем.

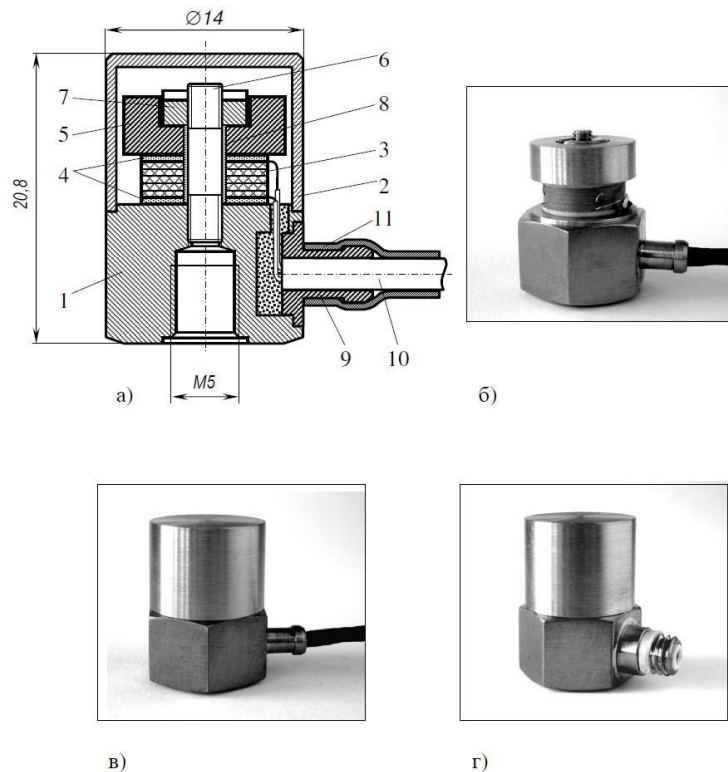


Рис. 1.13 - Акселерометри типу ДВ-01:

- а - конструктивна схема ДВ – 01С; б - вид ДВ-01С без кришки корпусу;
 в - зовнішній вигляд ДВ-01С; г - зовнішній вигляд ДВ-01Н;
 1 - підстава; 2 - кришка; 3 - елемент п'єзоелектричний; 4 - ізолятор;
 5 - елемент інерційний; 6 - шпилька; 7 - гайка; 8 - втулка; 9 - штуцер;
 10 - кабель; 11 - трубка

Для одночасного вимірювання складових вектора віброприскорення використовується трикомпонентний акселерометр типу АПЕ-3 (рис. 1.14). Акселерометр містить ортогонально орієнтовані біморфний п'єзоелементи (по одному на кожну вісь виміру) закріплені в поглибленнях основи корпусу і герметично закриті кришками. Виведення сигналу здійснюється трьома окремими кабелями, розміщеними в металорукаві. Кріплення акселерометра проводиться двома гвинтами М6 через наскрізні отвори основи.

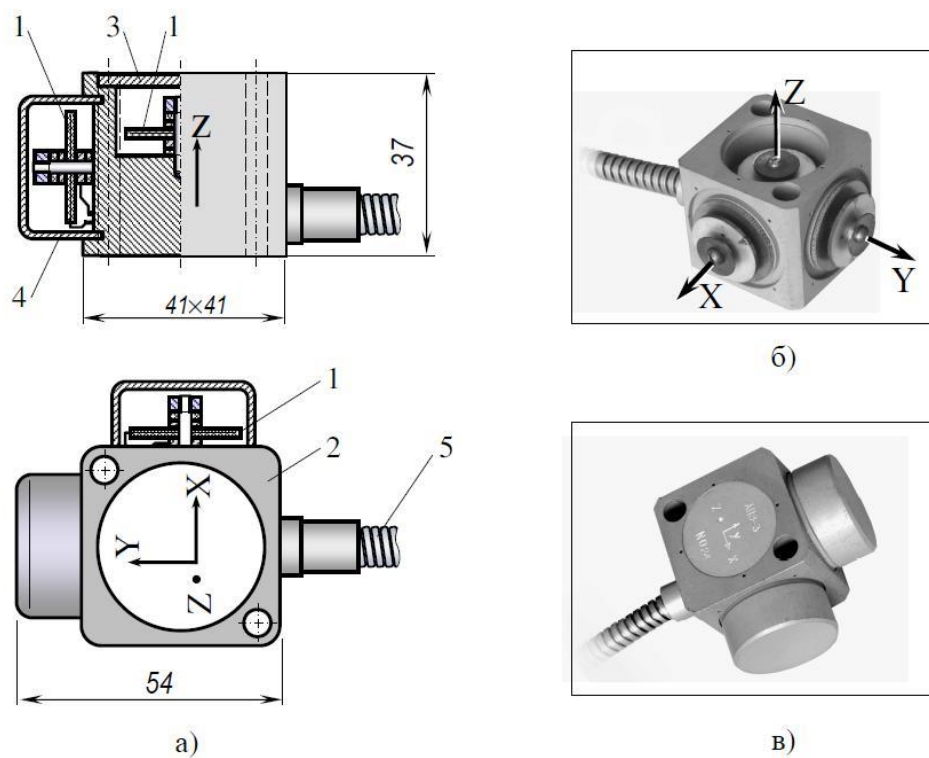


Рис. 1.14 - Трикомпонентний акселерометр АПЕ-3:

а - конструктивна схема, б - вигляд зі знятими кришками; в - зовнішній вигляд;

1 - п'єзоелемент; 2 - основа; 3, 4 - кришка; 5 - металорукав кабелю

Кращий вибір для вимірювання вібрації - це п'єзоелектричні акселерометри, завдяки їх широкій частотній характеристиці, гарній чутливості і високій роздільній здатності. Залежно від типу вихідного

сигналу вони можуть бути з зарядовим виходом і з виходом по напрузі. Останнім часом широко використовуються акселерометри з вольта вихідним сигналом, оскільки вони зручні в застосуванні.

Орієнтація на методи віброакустичної діагностики, що базується на принципах оперативності та універсальності, дозволяє успішно вирішувати поставлені завдання, завдяки величезній інформаційній ємності віброакустичних процесів, які супроводжують функціонування машин і механізмів, використання нових методів обробки вимірювальної інформації, застосування мікроелектронної вимірювальної техніки. Методи віброакустичної діагностики дозволяють не тільки виявити вже розвинулася несправність і запобігти катастрофічні руйнування, але і виявити розвивається дефект на дуже ранній стадії.

2 ВІБРОМЕТРИ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ

2.1 Класифікація віброперетворювачів

Джерелом сигналу вимірювальної інформації про значення вимірюваних параметрів вібрації є вібровимірювальний перетворювач (віброперетворювач). Сучасні віброперетворювачі, в основному, побудовані на принципах електричних вимірів не електричних величин (сигналів), коли механічні коливання перетворюються в електричні. Вібровимірювальні перетворювачі класифікуються по ряду незалежних ознак:

- за значенням - вимірювальні перетворювачі можуть призначатися для вимірювання різних параметрів вібрації. Залежно від вимірюваного параметра вібрації віброперетворювачі можуть бути: акселерометрами - для вимірювання прискорення і велосіметрами - для вимірювання швидкості.

- за зв'язком (взаємодією) сприймаючої (чутливої) частини з об'єктом вимірювання розрізняють контактні і безконтактні перетворювачі. Застосування контактних або безконтактних перетворювачів залежить від розмірів і маси вібруючих виробів. Якщо розміри і маси виробів сумірні або менше розмірів і мас контактних перетворювачів, то необхідно застосовувати безконтактні вимірювальні перетворювачі.

- за принципом вимірювання відносно системи відліку вимірювальні перетворювачі можуть бути засновані: на визначенні координат окремих точок виробу відносно нерухомої системи відліку, з якої ведуться спостереження - кінематичний принцип: на створенні штучної нерухомої системи відліку у вигляді інерційного елемента, що з'єднується з вібруючим виробом через пружний підвіс (м'яку пружину) - динамічний принцип. При здійсненні динамічного принципу вимірювання параметрів вібрації виробу, що виробляється в умовах усталеного процесу, відносно інерційного елемента буде абсолютним. Перетворювачі побудовані за динамічним принципом часто називають інерційними.

- за принципом перетворення механічних коливань в інші види коливань розрізняють активні і пасивні вимірювальні перетворювачі. В активних вимірювальних перетворювачах вихідний сигнал виходить за рахунок вхідної механічної енергії і постійного джерела енергії. До активних перетворювачів відносяться фотоелектричні, гамма-квантові, ємнісні та ін. У пасивних вимірювальних перетворювачах вихідний сигнал виходить тільки за рахунок вхідної механічної енергії. До пасивних перетворювачів відносяться: п'єзоелектричні, електретні та ін.

- за родом вимірюваних компонентів вібрації розрізняють перетворювачі для вимірювання лінійних компонентів коливань (однокомпонентні, двокомпонентні, трикомпонентні), а також для вимірювання кутових компонентів.

- за напрямом докладання сили при механічних впливах розрізняють вимірювальні перетворювачі спрямованої і ненаправленої дії. У інерційних перетворювачів ненаправленої дії пружний підвіс забезпечує збереження положення й орієнтації в абсолютному просторі. Тому вони можуть видавати всі шість компонентів вібрації. У перетворювачах спрямованої дії забезпечується вимір тільки одного лінійного або кутового компонента вібрації.

- по фізичному явищу покладеному в основу методу вимірювання параметрів механічних коливань, вимірювальні перетворювачі можна об'єднати в такі основні групи: механічні, акустичні (ультразвукові), електричні, електромагнітні (радіотехнічні), оптичні (світлові) та радіаційні.

2.2 Структура основних вібровимірювальних приладів

В основі всіх засобів вимірювання та аналізу сигналів вібрації і шуму лежать три типи пристроїв, що виконують різні операції. Перший - датчик вібрації або мікрофон, що перетворює коливання в електричний сигнал. Другий - фільтр, що виділяє компоненти сигналу в необхідній області частот.

Третій - детектор, службовець для оцінки амплітуди (потужності) виділених компонент. Далеко не завжди фільтр підключається до виходу датчика і виконується у вигляді електронного пристрою. Він може бути акустичним, як, наприклад, резонатор або механічним, як, наприклад, пружна прокладка, і встановлюватися перед датчиком. Різні прилади містять різні комбінації цих трьох типів пристроїв, залежно від того, з якою інформаційною технологією вони використовуються.

Найпростішими є вимірник загального рівня вібрації (шуму) і прилад для вимірювання пікфактора сигналу вібрації, тобто реєстратор ударних імпульсів. Структура цих приладів показана на рис.2.1 і рис.2.2 відповідно. У вимірнику загального рівня фільтр може бути відсутній, якщо немає спеціальних вимог до смуги частот вимірюваного сигналу. У вимірювачі пікфактора для простоти реалізації звичайно використовується механічний резонатор у вигляді металевого стержня з резонансом на частотах вище 25 кГц. Настільки висока частота резонансу, з одного боку, знижує габарити резонатора, а з іншого боку, дозволяє одержати більш високу величину пікфактора за рахунок того, що на високих частотах стабільна в часі вібрація, що є перешкодою і порушувана силами тертя в контрольованих вузлах машини, мінімальна.

З найбільш часто використовуваних засобів вимірювань, що реалізуються на базі обчислювальної техніки, можна виділити аналізатори форми, спектральні аналізатори та аналізатори спектру обвідної, структура яких також наведена на малюнках. Функції аналізатора форми (рис.2.3) полягають у вимірюванні амплітуд і фаз окремих складових сигналу і в порівняльному аналізі форми окремих ділянок сигналу, початок і кінець яких визначається кутом повороту вала. Подібні аналізатори широко використовуються для діагностики машин зворотно-поступального типу й роторів у процесі їх балансування. Аналізатор спектру (рис.2.4) зазвичай застосовується при моніторингу всіх типів машин і устаткування. Аналізатор спектра обвідної (рис.2.5) призначений для дослідження

випадкових процесів, потужність яких періодично змінюється в часі. Найбільш доступним засобом вимірювання та аналізу сигналів в даний час можна вважати персональний комп'ютер із пристроями перетворення сигналів вібрації і шуму в цифрову форму і введення їх в оперативну пам'ять комп'ютера.

Такий засіб виміру дозволяє використовувати будь-яку з розглянутих інформаційних технологій або їх комбінації. В якості перерахованих пристроїв з невеликою доопрацюванням можна застосовувати професійні звукові плати. Можуть бути використані також випускаються рядом фірм спеціальні входні пристрої, структура яких наведена на рис.2.6, і відповідне програмне забезпечення до них.

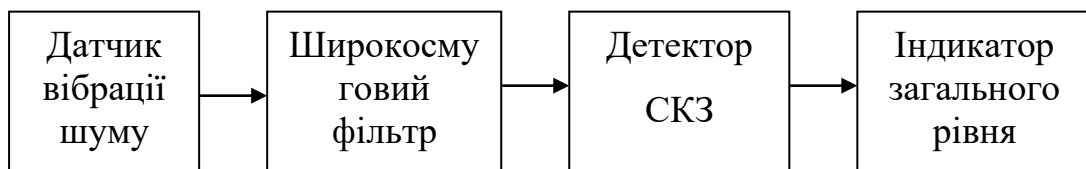


Рис. 2.1. - Структура основних видів приладів для вимірювання та аналізу сигналів вібрації і шуму (СКЗ - середньоквадратичне значення)



Рис. 2.2 - Структура основних видів приладів для вимірювання та аналізу сигналів вібрації і шуму

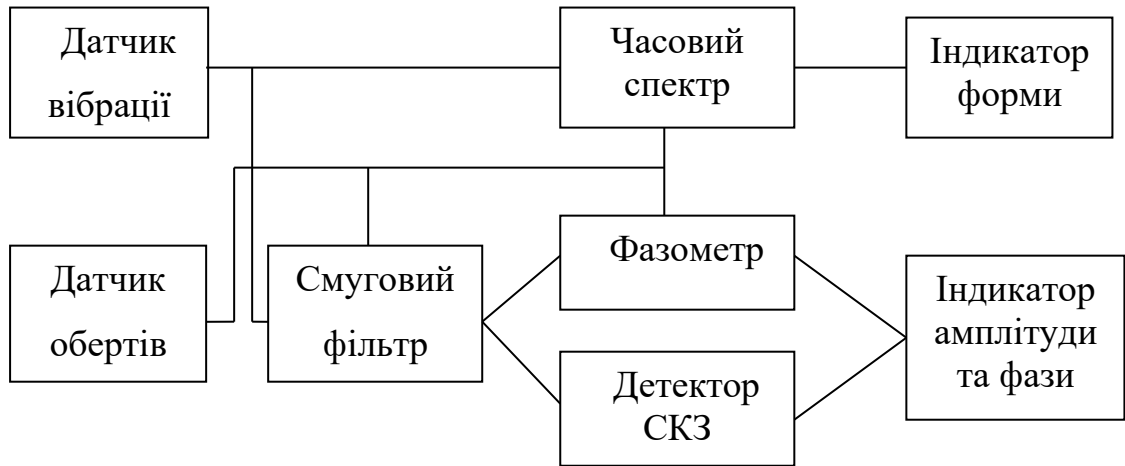


Рис. 2.3- Структура основних видів приладів для вимірювання та аналізу сигналів вібрації і шуму

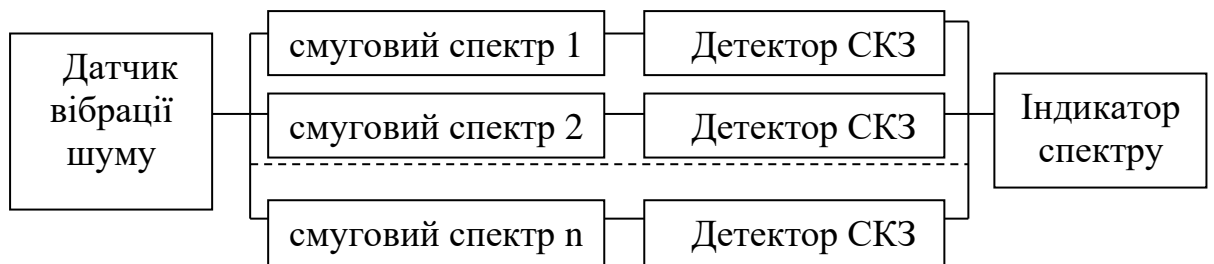


Рис. 2.4- Структура основних видів приладів для вимірювання та аналізу сигналів вібрації і шуму

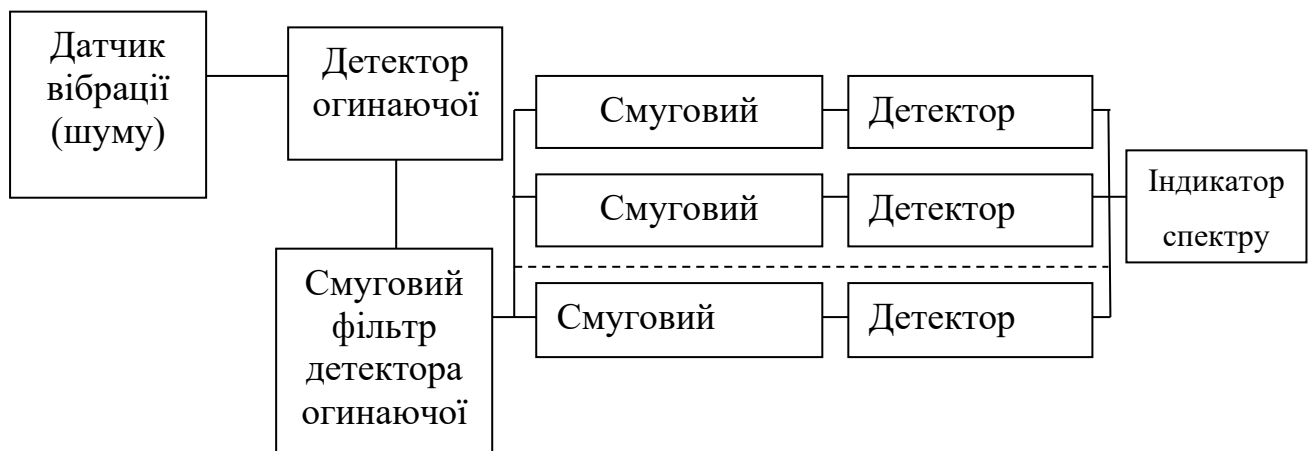


Рис. 2.5- Структура основних видів приладів для вимірювання та аналізу сигналів вібрації і шуму

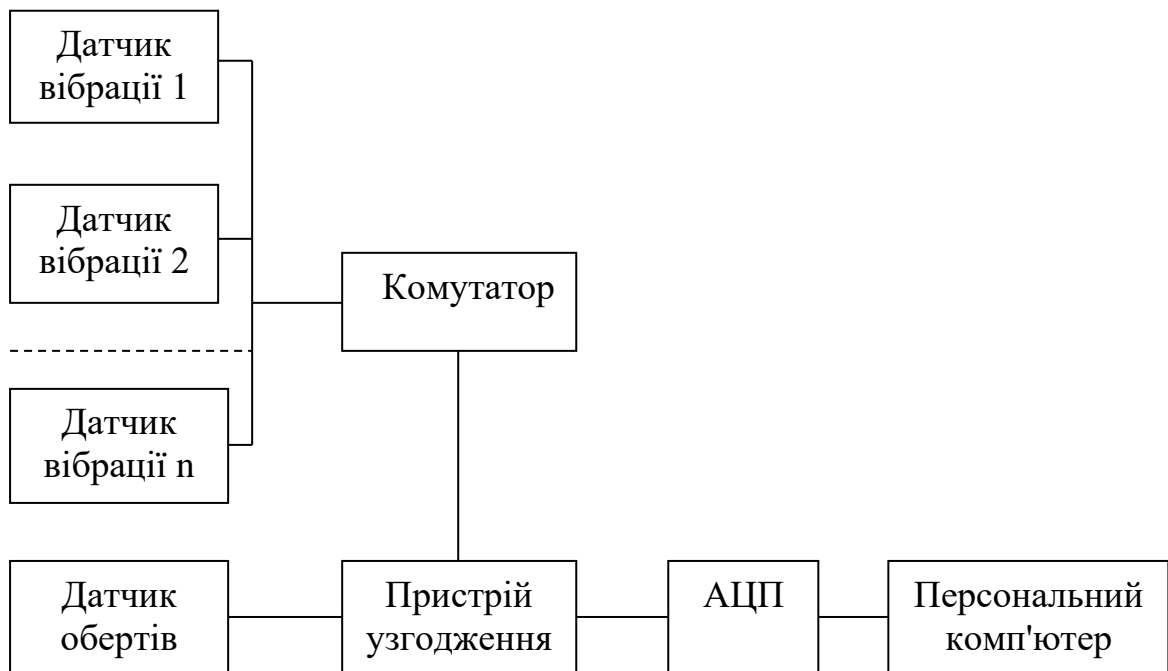


Рис.2.6 - Структура вхідного пристрою
(АЦП - аналого - цифровий перетворювач)

2.3 Основні параметри віброперетворювачів

Основні параметри, що характеризують віброперетворювачі (віброметри) і дозволяють здійснити їх порівняння і вибір найбільш прийнятних для вимірювань є наступні:

- вимірюваний параметр лінійної вібрації: переміщення (S), швидкість (V), прискорення (a), різкість (г), частота (Г), коефіцієнт нелінійних спотворень (p) і т.д;

- діапазон значень вимірюваного параметра вібрації, для якого нормовані допустимі похибки. При розгляді віброперетворювача спільно з віброметром мінімальне значення вимірюваного параметра визначається напругою шуму узгоджувального підсилювача $\left(\frac{\text{сигнал}}{\text{шум}} \gg 6\text{дБ}\right)$;

- дійсний коефіцієнт перетворення віброперетворювача - відношення зміни сигналу на виході віброперетворювача що викликає його зміни параметра вібрації на вході:

$$K_D = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta E}{\Delta V} = \frac{dE}{dV} \quad (2.1)$$

де ΔE - зміна величини сигналу на виході;

ΔV - зміна вимірюваного параметра вібрації.

При лінійної залежності між E і V :

$$K_D = \frac{E}{V} = \text{const} \quad (2.2)$$

- мінімальна зміна вимірюваного параметра вібрації, що викликає відповідну зміну показань віброметр, називається порогом чутливості;

- робочий діапазон частот гармонійних вібрацій визначається діапазоном частот, в межах якого нерівномірність амплітудно-частотної характеристики по відношенню до базової частоті 1000 Гц не перевищує встановленого значення;

- основна похибка віброперетворювача (віброметр) визначається:

а) при постійному значенні величини вимірюваного параметра вібрації в межах виміру робочого діапазону частот (нерівномірність амплітудно-частотної характеристики);

б) при різних значеннях величини вимірюваного параметра на незмінній частоті в межах встановленого діапазону вимірювань (не лінійність амплітудної характеристики).

- коефіцієнт поперечного перетворення віброперетворювача відношення зміни сигналу на виході віброперетворювача, встановленого перпендикулярно напрямку діючих коливань, до викликає його зміни параметра вібрації на вході:

$$K_n = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta E}{\Delta V} = \frac{dE}{dV} \quad (2.3)$$

де ΔE - зміна величини сигналу на виході;

ΔV - зміна вимірюваного параметра вібрації.

При лінійної залежності між E і V :

$$K_n = \frac{E}{V} \quad (2.4)$$

де E - максимальне значення сигналу при ряді вимірювань в різних положеннях віброперетворювача.

- відносний коефіцієнт поперечного перетворення віброперетворювача - відношення коефіцієнта поперечного перетворення до коефіцієнту перетворення:

$$K_{op} = \frac{K_n}{K_d} \cdot 100 \quad (2.5)$$

- можливість використання віброперетворювача при температурних, вологісних та інших кліматичних впливах;

- незалежність вимірювання від зовнішніх електричних і магнітних полів;

- можливість використання віброперетворювача для вимірювань в експлуатаційних, лабораторних та виробничих умовах, а також для метрологічних цілей.

3 СУЧАСНІ ВИМОГИ ДО ПРОВЕДЕННЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙ

Вимірювання вібрації необхідно проводити в умовах, які відтворюють або імітують типові умови експлуатації машин та обладнання. Типові умови вибирають з найбільш поширених (за часом або кількістю випадків) умов практичного застосування об'єкта. Вимірювання вібрацій слід проводити в період усталеного режиму роботи механізмів (машин), розташованих в даній робочій зоні (при роботі не менше $2/3$ з числа встановлених в кожному приміщенні агрегатів, механізмів).

При вимірюванні рівня вібрації на робочих місцях у виробничих і службових приміщеннях віброперетворювач треба встановлювати на підлозі або на майданчику обслуговування і орієнтувати його у вертикальній площині. У кожній точці вимірювання слід проводити не менше 3 разів при заданому режимі роботи обладнання.

При різних нормах і корекціях за частотою загальної вібрації у вертикальному і горизонтальному напрямках вимірювання повинні проводитися у вертикальному напрямку, а в горизонтальному напрямку допускається обмежитися вимірами тільки в напрямку максимальної вібрації. При однакових нормах локальної та загальної вібрації і однакових корекціях за частотою допускається робити вимірювання тільки в одному напрямку, якщо вимірюваний параметр більше ніж в інших напрямках не менше ніж у 2 рази (на 6 дБ).

Вимірювання проводять відповідно з вимогами до проведення вимірювань за ГОСТ 12.1.012.

Результати вимірювань в одній точці усереднюють з внесенням поправок на чутливість апаратури і віброперетворювача. Час усереднення (інтегрування) приладу при вимірюванні локальної вібрації повинно бути не

менше 1 с, а загальної вібрації - не менше 10с. вимірювання проводять безперервно або дискретно (через рівні проміжки часу).

Дискретні вимірювання характеризуються часом (інтервалом) між послідовним зняттям відліків. Відлік проводять наприкінці обраного інтервалу.

При дискретно вимірі спектрів та коректованих по частоті значень інтервал між зняттям відліків повинен бути для локальної вібрації не менше 1 с; для загальної вібрації – не менш 10с.

Інтервал між відліку повинен бути кратний 1 з або 10 с і відповідати реальним фізичним можливостям людини, провадить вимірювання та фіксацію результатів. При використанні приладів зі стрілочним покажчиком або цифровою індикацією свідчення фіксують у момент відліку незалежно від поведінки стрілки (її руху) або цифровий індикації (зміни показань), не проводячи візуального усереднення показань.

Дискретні вимірювання починають з проведення вихідного числа спостережень не менше 3. Необхідне число спостережень, забезпечує необхідну точність результатів, визначають за підсумками обробки результатів вимірювань.

Безперервні вимірювання характеризуються часом вимірювання, рівним тривалості накопичення сигналу, запису та фіксації вібраційного процесу. При безперервному вимірі спектрів і коректованих за частотою значень тривалість вимірювання повинна бути для локальної вібрації не менше 3 с; для загальної вібрації - не менше 30 с.

При безперервному вимірі еквівалентного корегованого значення контрольованого параметра тривалість спостереження повинна бути для локальної вібрації – не менше 5 хв, а для загальної вібрації – не менше 15 хв.

При розкиді значень відліків вихідного числа спостережень не більше ніж в 1,5 рази (на 3 дБ) в якості результату вимірювань слід приймати максимальне значення. При вимірі спектрів та корегованого за частотою значення контрольованого параметра при розкиді значень відліків більш ніж

в 1,5 рази (на 3 дБ) необхідно провести ще не менше 2 спостережень. За значеннями перших 5 відліків розраховують коефіцієнт P за формулою:

$$P = \frac{U_{max}}{U_{min}} \quad (3.1)$$

де U_{max} , U_{min} - максимальне і мінімальне значення з результатів вимірювань.

При підготовці даних для проведення вимірювань виконують наступні дії:

1. Визначення даних про об'єкт вимірювань: найменування робочого місця; найменування, тип обладнання і рік його випуску; режим роботи машини (сталий, номінальний, тощо).

2. Опис конструктивної схеми об'єкта (заповнюється при первинному обстеженні): тип несучої конструкції перекриття і число працюючих.

3. Опис і матеріали основних огорожувальних конструкцій приміщення (при первинному обстеженні): підлога, стіни і колони.

4. Номенклатура основного обладнання (при первинному обстеженні) із зазначенням його габаритних розмірів, кількості і режиму експлуатації: постійно діюче, що включається періодично на певний термін і т.п.

5. Схема розстановки технологічного обладнання (включаючи систему вентиляції) із зазначенням часу перебування обслуговуючого персоналу в приміщенні (при первинному обстеженні): постійно або тимчасово.

6. Визначення виду вібрації (локальна або загальна) і категорія вібрації.

7. Складання схеми устаткування для вимірювання загальної вібрації категорії 3 (технологічної).

8. Виявлення місць (зон) перебування персоналу при обслуговуванні даного робочого місця і час перебування в них.

9. Визначення точок вимірювання вібрації і розташування їх на робочому місці і схемою обладнання. кількість точок вимірювання рівня вібрації та їх розташування на об'єкті повинні вибиратися з таким розрахунком, щоб результати вимірювання могли дати найбільш повну картину про фактичні рівнях вібрації на робочих місцях досліджуваного

об'єкта і про ефективність заходів, проведених по захисту від вібрації. Точки вимірювання вибираються в місцях контакту оператора з віброуючою поверхнею. Якщо установка вібровимірювального перетворювача (датчика) у місцях охоплення рукою або під опорною поверхнею утруднена, то місце установки вибирають так, щоб вимірюваний параметр відрізнявся від значень в місці контакту більш ніж на 1 дБ. Якщо оператор в процесі виробничої діяльності переміщається в межах робочого місця (зони), то точки вимірювання призначаються через кожен метр його шляху. Допускається зменшувати обсяг вимірювань шляхом виконання вимірювань тільки в одній або декількох точках з максимальною вібрацією.

10. Для вимірювання локальної вібрації з участю людини-оператора віброперетворювач (датчик) встановлюють на перехідному елементі-адаптер. Рекомендовані розміри та конструкції адаптерів наведені в ГОСТ 12.1.012.

Допускається кріплення віброперетворювача на різьбовий шпильці, магнітом, жорстким хомутом і т.п. При цьому власна частота закріпленого віброперетворювача з деталями для кріплення повинна бути не нижче 2000Гц.

11. При вимірюванні загальної вібрації віброперетворювач встановлюють на проміжній платформі біля ніг оператора, працюючого стоячи, або на проміжному диску, що розміщується під опорними поверхнями оператора, що працює сидячи. Рекомендовані розміри та конструкції проміжної платформи і диска наведені в ГОСТ 12.1.012.

12. Віброперетворювач встановлюється на проміжній платформі або диску на різьбовий шпильці, магніті або іншим способом. При цьому власна частота закріпленого віброперетворювача з деталями для кріплення повинна бути не нижче 200 Гц.

4 АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ТА МЕТОДІВ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙ ТА РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ВИМІРЮВАНЬ

4.1 Системи вимірювання і аналізу вібрацій

Системи вимірювання та аналізу вібрації являють собою сукупність пристроїв, що забезпечують розв'язання комплексу задач, які стоять перед дослідниками при вивченні впливу вібрації на різні об'єкти, відпрацюванні рівномірних конструкцій, випробуванні виробів на міцність і вібростійкість, а також при вібродіагностуванні.

Вони можуть бути розділені на окремі групи:

- найпростіші вимірювальні вузькоцільового призначення;
- вимірювальні багатофункціональні;
- аналого-цифрові;
- автоматизовані системи.

4.1.1 Найпростіші вузько цільові системи

Вони містять віброперетворювач, вимірювальний блок і призначені для вимірювання окремих параметрів вібрації. Ці системи звичайно застосовуються для окремих вібрацій в польових умовах. Оскільки вони мають невисокі технічні дані і швидкість, у них можуть використовуватися узгоджуючі підсилювачі, які дають інформацію про переміщення, швидкості, прискорення на дискретних частотах вібрації. При цьому передбачають, що форма вібрації є близькою до синусоїдальної.

Схема найпростішої вузькоцільової системи наведена на рис. 4.1, де 1 - віброперетворювач; 2 - віброметр з підсилювачем заряду; 3 – динамічний

аналізатор; 4 - слідкуючий фільтр; 5 - розгортальний генератор; 6 – двокоординатний самопис.

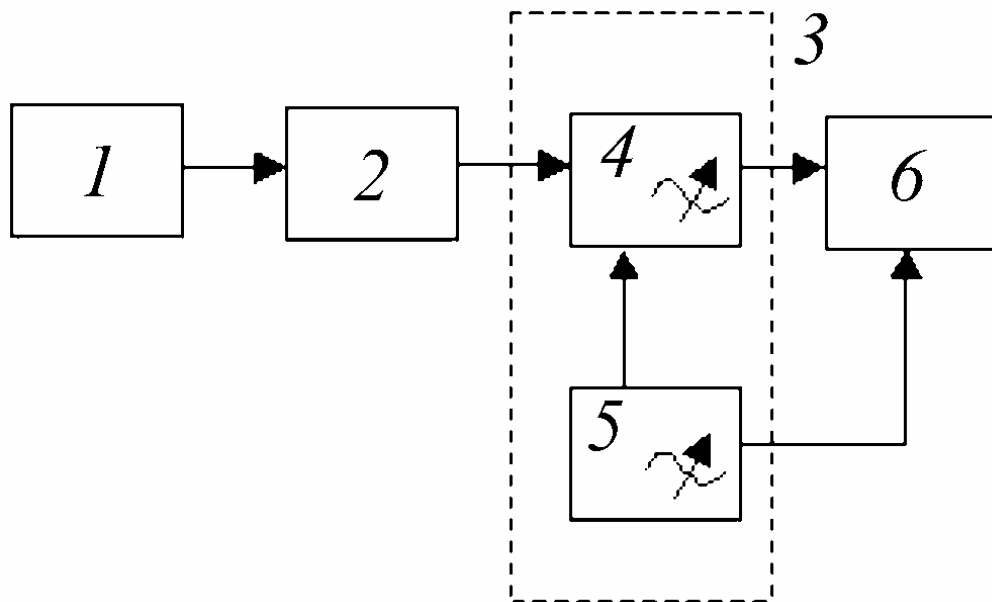


Рис. 4.1 - Схема найпростішої вузько цільової системи

Для діагностики електромеханічного обладнання важливим є частотний аналіз.

Для статистичного аналізу рівня сигналу використовують аналізатор статистичного розподілу. На рис. 4.2 наведений приклад гістограми розподілу рівнів вібрації.

На рис. 4.3 показана система, в якій частотний аналіз виконується супровідним аналізатором з постійною шириною смуги частот (для електродів), де 1 - віброперетворювач; 2 - передпідсилювач; 3 - вимірювальний підсилювач; 4 – гетеродинний супровідний фільтр; 5 - самопис рівня; 6 - помножувач спряжених частот; 7 - тахометр.

Іноді здійснюється запис на магнітну стрічку.

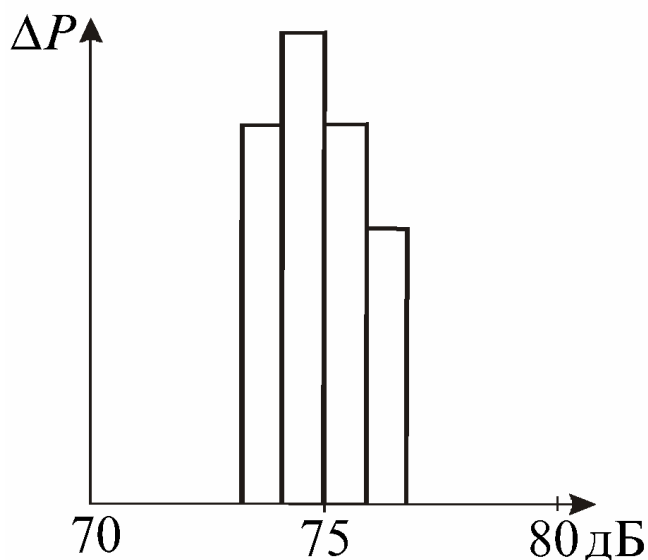


Рис. 4.2 - Гістограма розподілу рівнів вібрації

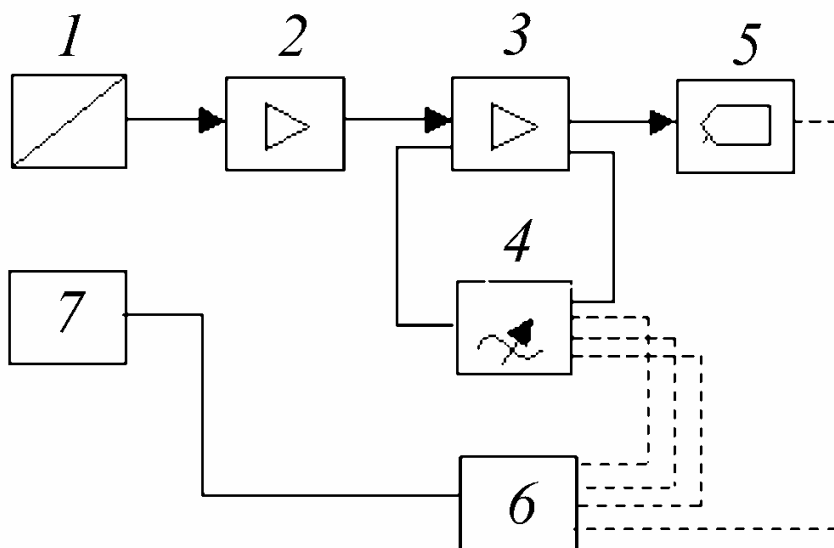


Рис. 4.3 - Система, в якій частотний аналіз виконується супровідним аналізатором з постійною шириною смуги частот

Вхідні і вихідні імпеданси та рівні сигналів у загальному випадку узгоджуються за допомогою перехідних пристроїв, а в деяких випадках, наприклад в агрегатних системах фірм "Брюль і К'єр" (Данія) та "Едевко" (США), ці параметри узгоджені з метою полегшення їх взаємоз'єднання.

4.1.2 Багатофункціональні системи

Для вимірювання та аналізу вібрації аналоговими засобами, цифрової обробки результатів і отримання на виході гістограм розподілу рівнів вібрації, фазових діаграм, частотної і часової залежності рівня або фазисистеми. Схема багатофункціональної системи показана на рис. 4.4.

Ці системи дозволяють виконувати вимірювання вібрацій, а також формувати сигнали, близькі до реальних нестационарних випадкових сигналів, які потім відтворюються вібратором.

За допомогою генератора 1 широкопasmових випадкових сигналів можна отримувати нормальні широкопasmові випадкові вібропроцеси з необхідним енергетичним спектром, вузькоспasmові випадкові вібропроцеси, забарвлений і смуговий шум, полігармонічні сигнали; вносити зміни в спектр вібропроцесів, що генеруються для компенсації спотворень, створюваних випробним обладнанням.

Генератор 2 сукупності спеціальних сигналів формує полігауссові і майже періодичні випадкові вібропроцеси. Блок задання нестационарності, встановлений в генераторі 2, дозволяє в реальному масштабі часу керувати параметрами вібропроцесів і генерувати програмні сигнали.

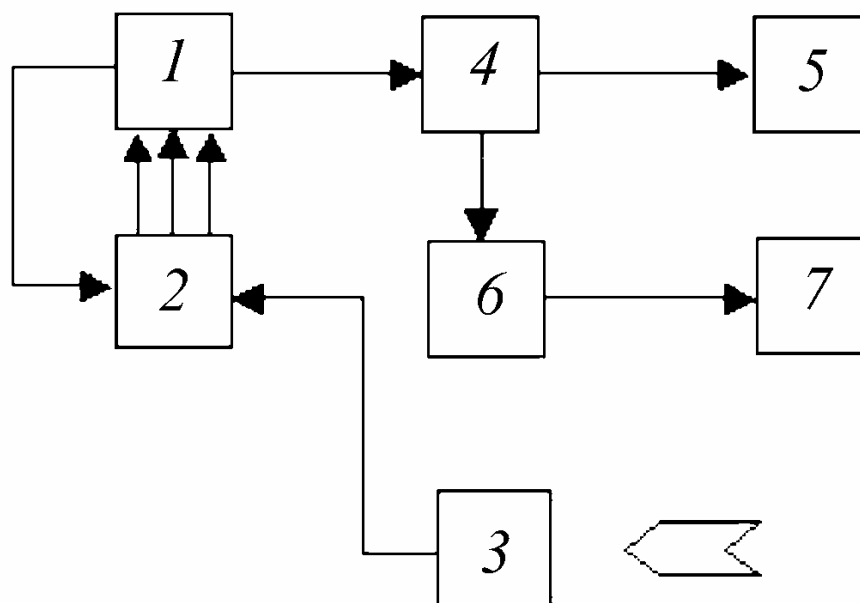


Рис. 4.4 - Схема багатофункціональної системи

4.1.3 Аналого-цифрові системи

Аналого-цифрові системи мають пристрої, що перетворюють аналоговий сигнал у цифровий і навпаки. Схема такої системи показана на рис. 4.5.

Система може виконувати спектральний аналіз випадкової вібрації, визначати автокореляційну і взаємну кореляційну функції, вимірювати передавальні функції, аналізувати вібрацію за спектральною, взаємною спектральною і квадратичною спектральною щільністю, виконувати аналіз резонансних частот.

Аналого-цифрова система НМВ (Японія) виконує вказані функції в діапазоні частот 0...25 кГц, результати виводяться на моніторі.

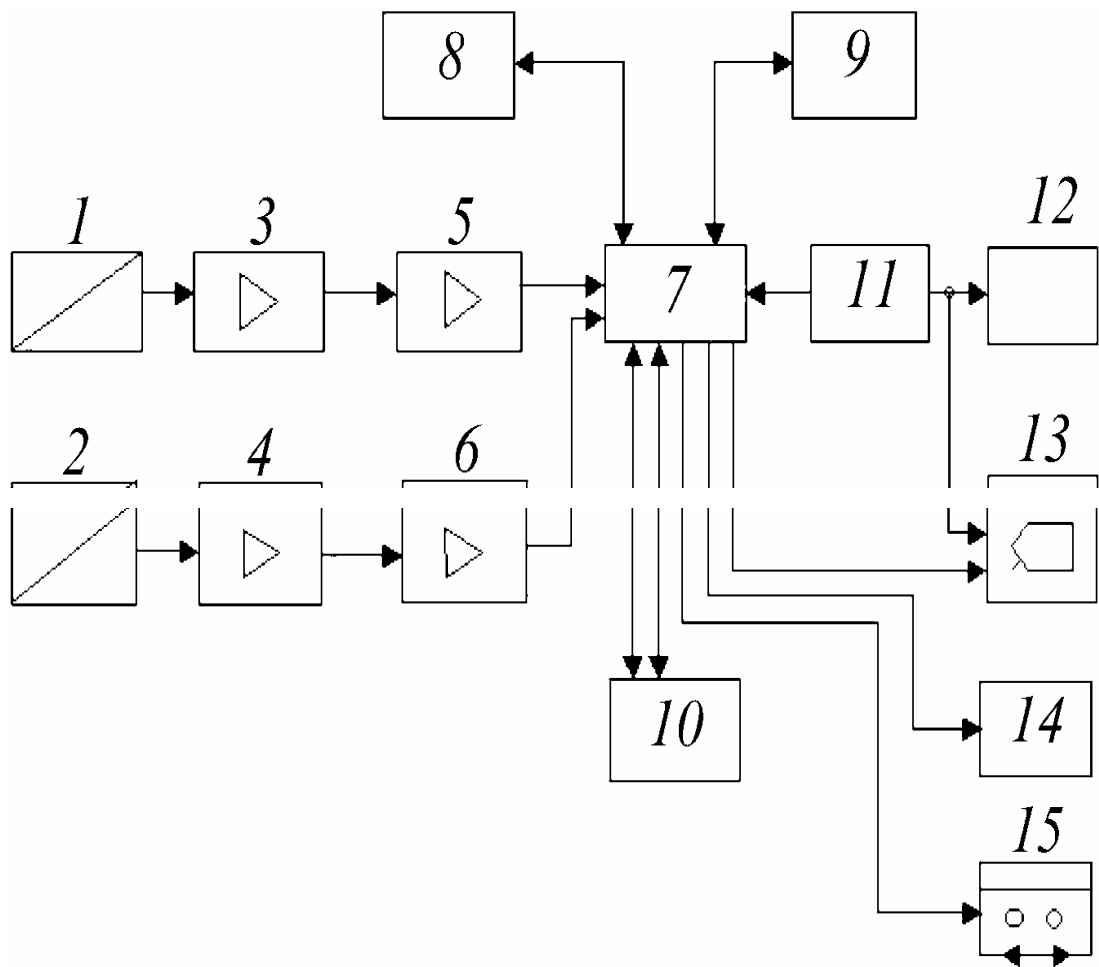


Рис. 4.5 - Схема аналого-цифрової системи

Для вимірювання та аналізу випадкової вібрації розроблені системи, в яких використані цифрові корелятори. Вони побудовані відповідно до алгоритму, в якому визначення кореляційної функції здійснюється за дискретними значеннями досліджуваного процесу.

Структурна схема системи для визначення та аналізу параметрів вібрації шляхом вимірювання автокореляційної і взаємної кореляційної (функцій наведена на рис. 4.5, де 1, 2 - віброперетворювачі; 3, 4 - передпідсилювачі заряду; 5, 6 – вимірювальні підсилювачі; 7 - пульт керування; 8 – блок вимірювання передавальних функцій; 9 – блок вимірювання функції щільності ймовірності; 10 - швидкодіючий корелятор; 11 - блок проміжної пам'яті; 12 - електронно-променевий осцилограф; 13 - самопис рівня; 14 - графопобудовник; 15 -телетайп.

Ця система розроблена фірмою ДИК (Японія) для аналізу вібрацій.

4.1.4 Автоматизовані системи вимірювання та аналізу вібрації

Ці системи належать до класу автоматизованих систем керування (АСК), які оперативно переробляють інформацію і видають керуючі впливи на об'єкт керування.

При побудові АСК необхідно розробити алгоритм процесу перетворення початкових даних у шуканий результат за скінченне число дискретних інтервалів часу і вибрати відповідні технічні засоби, здатні реалізувати вказані алгоритми. У цих системах широко використовуються ЕОМ.

АСК поділяють на три групи: в першій ЕОМ використовують для оперативної обробки сигналів, у другій ЕОМ обробляє сигнали і видає сигнал кореляції при зміні режиму випробувань, до третьої відносять повністю автоматизовані системи, в яких ЕОМ включені в ланцюг зворотного зв'язку. Такі системи використовують для обробки, аналізу і керування всім режимом роботи за програмою досліджень.

Найпростіші АСК оперативно вимірюють, аналізують характерні вібрації і порівнюють їх з еталонними.

На рис. 4.6 зображена схема частотного аналізу вібрації, де 1 - віброперетворювач; 2 - передпідсилювач; 3 - частотний спектрометр; 4 - самопис рівня; 5 - цифровий кодувальний пристрій; 6 - перфоратор стрічки; 7 - перфострічка; 8 - зчитуючий пристрій; 9 - обчислювальна машина; 10 - телетайп.

Така система дозволяє реєструвати частотний спектр на діаграмній стрічці самописа рівня та одночасно перфорувати дані про рівень вібрацій в кожній частотній смузі на паперову стрічку.

Для вимірювання та аналізу вібрації в реальному масштабі часу використовують метод паралельного частотного аналізу.

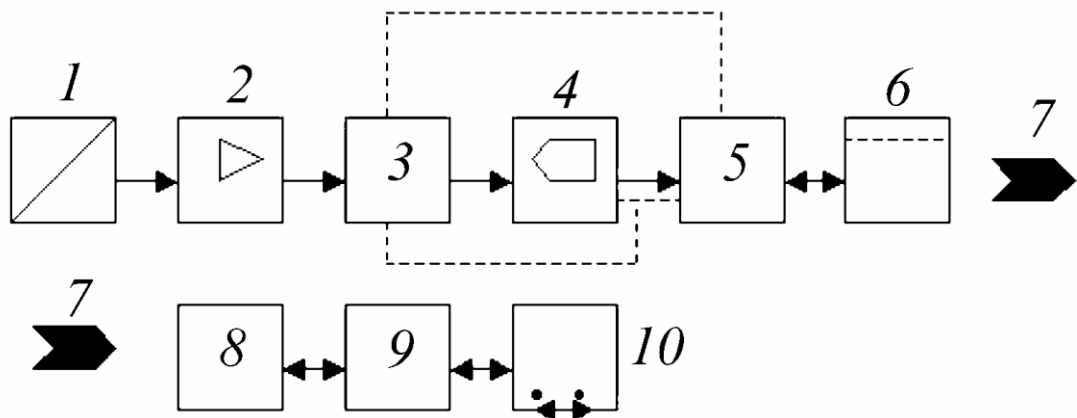


Рис. 4.6 - Схема частотного аналізу вібрації

На рис. 4.7 зображена схема паралельного частотного аналізу,

де 1 - віброперетворювач; 2 - передпідсилювач; 3 - аналізатор у реальному масштабі часу; 4 - самопис рівня; 5 - перехідний пристрій; 6 - обчислювальна машина; 7 - телетайп.

Повний спектр вібрацій в смугах частот, число яких залежить від кількості фільтрів аналізатора, відображається безпосередньо на екрані монітора аналізатора 3.

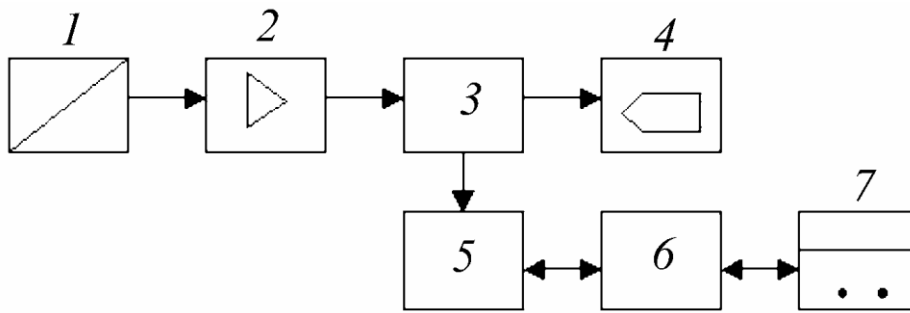


Рис. 4.7 - Схема паралельного частотного аналізу вібрації

Принципова схема системи багатоканального вимірювання та аналізу вібрацій наведена на рис. 4.8. Система має перехідний пристрій, призначений для узгодження виходів вимірювальної апаратури з входами обчислювального комплексу. Крім того, в систему введені модуль керування комутаторами обчислювального комплексу, аналого-цифровий перетворювач (АЦП), пристрої введення-виведення з клавіатурою.

На рис. 4.8 є такі позначення: 1 - об'єкт керування з вібростендом і віброперетворювачами; 2 - апаратура ПВ-10К; 3 - перехідний пристрій; 4 - обчислювальний комплекс М-6000; 5 - підсилювач потужності; 6 - система керування вібраційними установками; 7 - пристрій введення перфострічки; 8 - пристрій виведення перфострічки; 9 - аналогоцифровий перетворювач; 10 - модуль керування комутаторами; 11 - пристрій друку з клавіатурою.

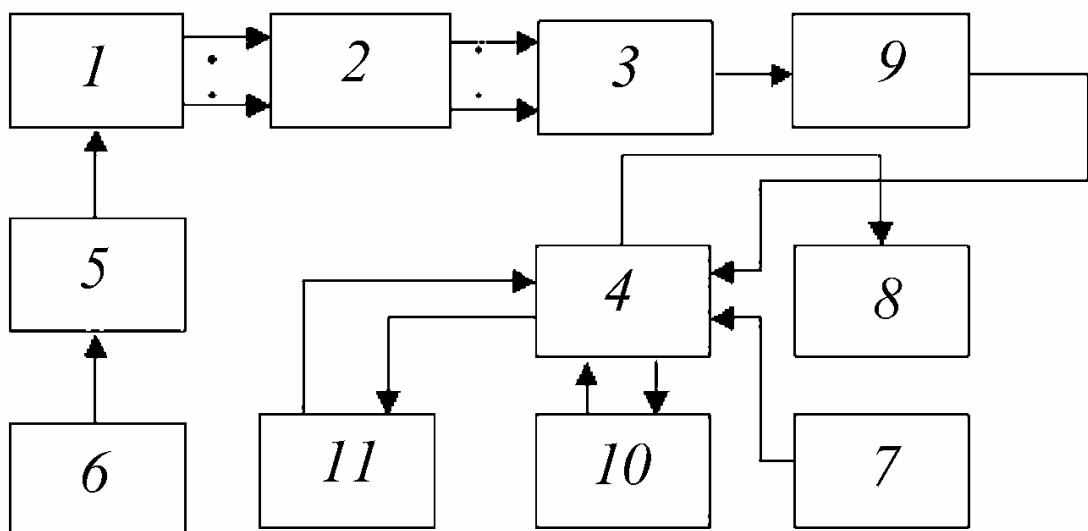


Рис. 4.8 - Схема системи багатоканального вимірювання та аналізу вібрацій

4.1.5 Спектральний аналіз

Апаратура спектрального віброакустичного аналізу повинна забезпечувати можливість обробки електричних сигналів з різних електромеханічних перетворювачів, що використовуються в кожному окремому випадку діагностики з метою отримання більш інформативних даних з п'єзоелектричних або електромагнітних датчиків сили, тиску, кінематичних величин вібрації, тензодатчиків [3].

Апаратура повинна забезпечувати можливість проведення вимірювань спектральних характеристик вібрації з виконанням багатоканального синхронного і синфазного аналізу. Це дозволяє за розподілом у просторі амплітуди вібрації на досліджуваній частоті здійснювати локалізацію інтенсивного джерела, оскільки звичайно біля такого джерела рівні вібрації мають великі значення; отримувати інформацію про фазові і кореляційні співвідношення між коливаннями різних точок або між силами, що діють у різних вузлах. Ця інформація допомагає виявити особливості динамічних процесів у механізмі, форми його коливань і побудувати математичну діагностичну модель.

Указані дослідження можуть бути виконані вимірювальним комплексом. На блок-схемі установки з аналоговою обробкою спектральних характеристик вібрації (рис. 4.9) 1 - датчики; 2 - передпідсилювачі; 3 - комутатори; 4 - вимірювальні підсилювачі; 5 - аналізатори; 6 - фазообертач; 7 - вимірники взаємних спектрів; 8 - середньоквадратичні детектори; 9 - аналізатор обвідних; 10 – багатоканальний АЦП; 11 - ЕОМ; 12 – багатоканальний магнітофон.

Застосування магнітофонів особливо продуктивне при віброакустичному контролі механізмів у короткочасних динамічних режимах, коли складно обробити великий обсяг інформації під час роботи механізму.

Для оперативного нагромадження та обробки інформації про стан механізмів необхідне застосування ЕОМ і спеціалізованих цифрових пристроїв.

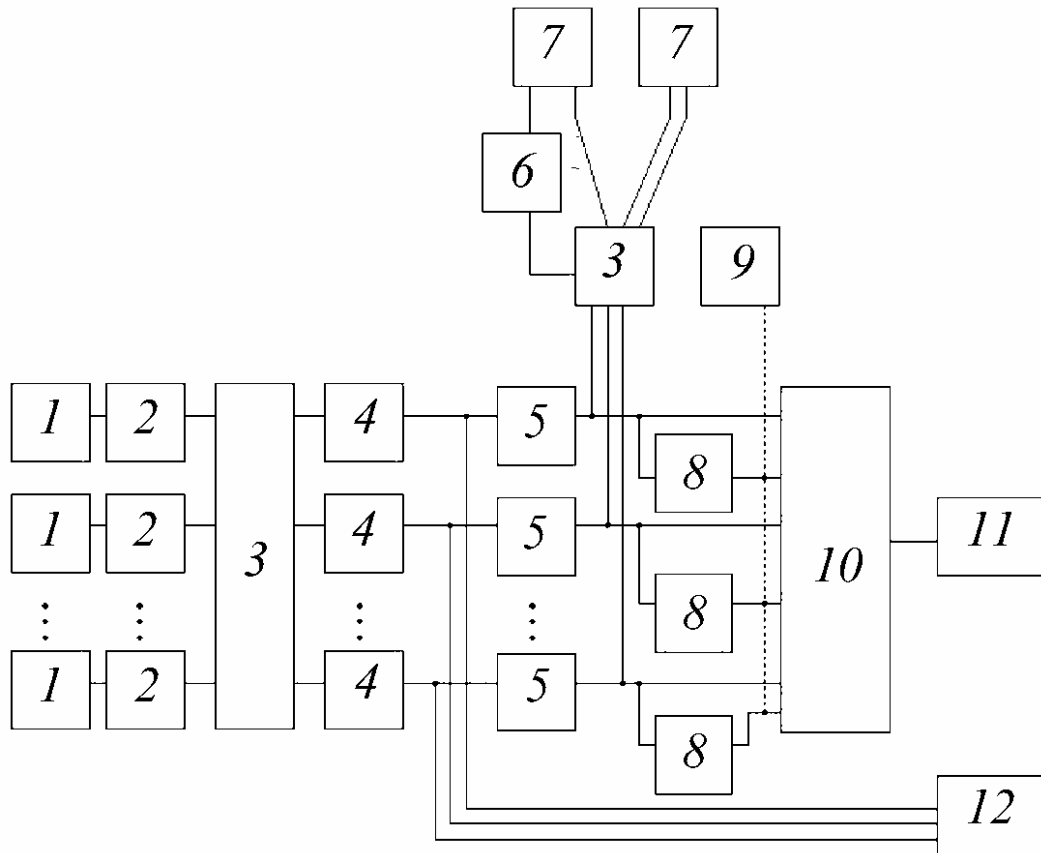


Рис. 4.9 - Блок-схема установки з аналоговою обробкою спектральних характеристик вібрації

4.1.6 Метод модуляційних характеристик

Мета модуляції – виявити частку окремих сил у створенні загальної вібрації електромеханічного обладнання.

Модуляція вібраційних процесів необхідна у зв'язку з виявом нелінійних властивостей системи, а також змін параметрів кінематичних пар та інших передавальних ланок на шляху поширення вібрації від місць її виникнення до випромінюючої поверхні механізму або установки. Наприклад, передавання на статорну конструкцію сил незрівноваженості відбувається через підшипникові вузли (ковзання або кочення), які змінюють свою жорсткість і передавальні властивості при обертанні ротора за

наявності дефектів шийки ротора, опори підшипника, кульок і т.д. У результаті модулюється амплітуда дисбалансних складових з частотами зміни параметрів підшипникових вузлів. Іншим прикладом є зміна швидкості обертання зубчастих коліс через нерівномірність і неідентичність форм зубців. Це приводить до амплітудної, фазової і частотної модуляції зубцевої складової. Вона модулюється також частотою обертання колеса, тому що дисбалансні сили, змінюючи положення колеса в просторі, впливають і на міру зачеплення зубців.

Дисбалансна складова вібрації ротора в електродвигуні впливає на зазори між магнітними полюсами, а в насосі – між направляючим і обертаючим лопатковими апаратами. Це приводить до модуляції магнітних і лопаткових складових вібрації.

Особливості модуляційних процесів індивідуальні для окремих вузлів і кінематичних пар механізмів. Цю властивість можна використати при розшифровці вібраційного процесу механізму або установки на частотах, характерних для кількох джерел вібрації.

Результуюча вібрація на частоті, на якій необхідно визначити внесок джерел, має спектр модуляції, що є суперпозицією модуляційних спектрів окремих джерел.

На рис. 4.10 показана блок-схема пристрою для вимірювання амплітудно-модульованих спектрів вібрації, де 1 – вимірювальний магнітофон; 2, 9 - вимірювальні підсилювачі; 3, 10 - фільтри; 4 - амплітудний детектор обвідної; 5 - підсилювач середніх значень; 6 – фільтр низьких частот; 7 - підсилювач; 8 - магнітофон; 11 - самопис; 12, 13 - генератори.

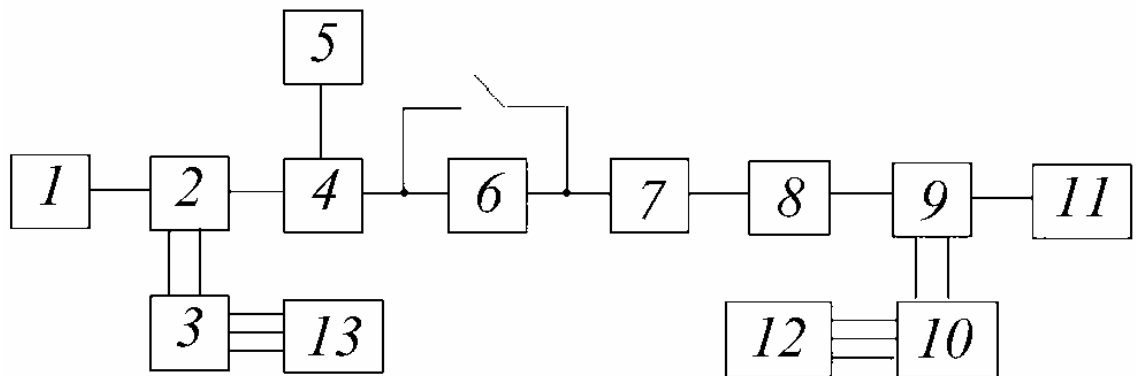


Рис. 4.10 - Блок-схема пристрою для вимірювання амплітудно-модульованих спектрів вібрації

Для гармонічних сигналів коефіцієнт глибини модуляції являє собою відношення амплітуди модулюючого коливання до амплітуди коливань несучої частоти.

У реальних сигналах як коефіцієнт глибини модуляції використовують відношення ефективного значення модулюючого сигналу (обвідної) до середнього значення сигналу несучої частоти.

4.2 Методи вимірювання параметрів вібрації

Існує дві групи методів вимірювання параметрів вібрації: контактні, які передбачають механічну зв'язок датчика з досліджуваним об'єктом, і безконтактні, тобто не пов'язані з об'єктом механічної зв'язком.

Контактні методи. Найбільш простими є методи вимірювання вібрації за допомогою п'єзоелектричних датчиків. Вони дозволяють проводити вимірювання з високою точністю в діапазоні низьких частот і відносно великих амплітуд вібрації, але внаслідок своєї високої інерційності, що приводить до спотворення форми сигналу унеможлиблює вимірювання вібрації високої частоти і малої амплітуди. Крім того, якщо маса досліджуваного об'єкта, а отже і його інерційність не велика, то такий датчик може істотно впливати на характер вібрації, що вносить додаткову помилку в вимірювання.

Ці недоліки дозволяє усунути метод відкритого резонатора. Суть методу полягає у вимірюванні параметрів ПВЧ (понад високо частотного) резонатора, що змінюються внаслідок вібрації досліджуваного об'єкта. Резонатор має два дзеркала, причому одне з них фіксоване, а інше механічно пов'язано з досліджуваним об'єктом. Реєстрація переміщень при малих амплітудах вібрації проводиться амплітудним методом по зміні вихідної потужності в разі прохідний схеми включення резонатора або відображеної потужності, у випадку застосування кінцевого включення. Цей метод вимірювання вимагає сталості потужності, що підводиться до резонатора і високої стабільності частоти збудження.

У разі великих амплітуд вібрації реєструється зсув резонансної частоти, що можна зробити з дуже високою точністю. Для підвищення добротності та зменшення дифракційних втрат використовують сферичні дзеркала. Роздільна здатність даного методу 3 мкм. Метод має малу інерційність в порівнянні з описаним вище, але його застосування рекомендується, якщо маса дзеркала принципово менше маси досліджуваного об'єкта. Однак механічна зв'язок датчика з досліджуваним об'єктом далеко не завжди допустима, тому останні роки основна увага приділяється розробці безконтактних методів вимірювання параметрів вібрації. Крім того, їх загальним перевагою є відсутність впливу на досліджуваний об'єкт і зневажливо мала інерційність.

Безконтактні методи. Всі безконтактні методи вимірювання вібрації засновані на зондуванні об'єкта звуковими та електромагнітними хвилями.

Однією з останніх розробок є метод ультразвукової фазометрії. Він полягає у вимірюванні поточного значення різниці фаз опорного сигналу ультразвукової частоти і сигналу, відбитого від досліджуваного об'єкта. В якості чутливих елементів використовується п'єзоелектрична кераміка.

На частоті ультразвуку 240 кГц. чутливість вимірювання віброперемещення 10 мкм. в діапазоні від 10 до $5 \cdot 10$ мкм., відстань до

об'єкту до 1.5 м. На частоті 32 кГц. чутливість 30 мкм., відстань до об'єкту до 2 м. Із зростанням частоти зондуючого сигналу чутливість зростає.

В якості достоїнств методу можна відзначити дешевизну і компактність апаратури, малий час виміру, відсутність обмеження знизу на частотний діапазон, високу точність вимірювання низькочастотних вібрацій. Недоліками є сильне загасання ультразвуку в повітрі, залежність від стану атмосфери, зменшення точності вимірювання із зростанням частоти вібрації.

Великого поширення набули методи, засновані на зондуванні об'єкта видимим світлом. Всі оптичні методи поділяються на дві групи. До першої відносяться методи, засновані на реєстрації ефекту Доплера. Найпростішим з них є гомодінний метод, який дозволяє вимірювати амплітуди і фази гармонійних вібрацій, але з його допомогою неможливо досліджувати негармонійні і великі по амплітуді вібрації. Ці недоліки можна усунути використовуючи гетеродинні методи. Але вони вимагають калібрування та, крім того, вимірювальна апаратура сильно ускладнюється.

Істотним недоліком перерахованих вище методів є високі вимоги до якості поверхні досліджуваного об'єкта. Але вони втрачають своє значення при використанні голографічних методів, які і утворюють другу групу. Голографічні методи володіють високою роздільною здатністю (до 0.05), але вони вимагають складного і багато вартісного обладнання. Крім того, час вимірювань дуже велике.

Загальними недоліками оптичних методів вимірювання вібрації є складність, масивність і висока вартість обладнання, велике енергоспоживання, високі вимоги до якості поверхні досліджуваного об'єкта, високі вимоги до стану атмосфери (визначена вологість, відсутність запиленості і т.п.). Крім того, лазерне випромінювання надає шкідливий вплив на зір обслуговуючого персоналу і вимагає додаткових заходів обережності і захисту.

Частину цих недоліків можна усунути застосовуючи методи, засновані на використанні ПВЧ випромінювання. Вони підрозділяються на

інтерференційні і резонаторні. В основі інтерференційних методів лежить зондування досліджуваного об'єкта хвилями ВЧ та ПВЧ діапазонів, прийом і аналіз відображених (розсіяних) об'єктом хвиль. Між випромінювачем і досліджуваним об'єктом в результаті інтерференції утворюється стояча хвиля. Вібрація об'єкта приводить до амплітудної і фазової модуляції відбитої хвилі і до утворення сигналу биття. У виділеного сигналу змінного струму амплітуда пропорційна віброперемещення, а частота відповідає частоті вібрації об'єкта.

4.3 Методика виконання контролю та оцінки вібраційного стану компресорного та іншого обладнання по вібраційних характеристиках

Коливання, реєстровані віброакустичним датчиком, встановленим у контрольній точці, являють собою суперпозицію коливань від різних віброакустичних джерел. Кожне віброакустичне джерело має свій спектр, який треба виділити із загального і для оцінки його інтенсивності визначити сумарний рівень. Інтенсивність віброакустичних джерел визначається потужністю збудження, яка залежить від конструктивних параметрів складових частин компресорного або насосного агрегату і від їх розташування, від технологічних дефектів, від технічного стану їх кінематичних пар і елементів проточної частини, режиму роботи та точки вимірювання параметрів віброакустичних сигналів. Конструктивні параметри і дефекти складових частин агрегату впливають не тільки на рівень вібрації, але й на перерозподіл енергії між різними частинами складових спектра.

Значення параметра віброакустичного сигналу в певному діапазоні (вузькополосному, третьоктавному і більш широкому) не дозволяють досить точно оцінити інтенсивність основних віброакустичних джерел в контрольних точках, так як порівнюються й аналізуються лише окремі спектральні складові спектру. У вузькополосному спектрі цих складових

велике число (від 800 і більше), що значно ускладнює аналіз результатів вимірювання.

Запропонований спосіб оцінки інтенсивності основних віброакустичних джерел полягає у встановленні для них інтегральних характеристик, тобто дозволяє представити інформацію в стислому вигляді. Ці характеристики визначають при обробці усередненого (або миттєвого, максимального) вузькосмугового спектру віброакустичних сигналів від датчиків, встановлених у найбільш інформативних контрольних точках, шляхом виконання таких операцій:

- виділення і підсумовування усереднених дискретних складових спектру (середньоквадратичних або миттєвих, пікових значень) параметра вібрації (віброшвидкості, віброприскорення, віброзміщення) для кожного віброакустичного джерела періодичних і квазіперіодичних коливань з урахуванням характерних його особливостей;

- ідентифікація безперервних (суцільних) складових усередненого (або миттєвого) спектру параметра вібрації за сукупністю ознак і виділення, при необхідності, інформативних частотних діапазонів з безперервним спектром;

- підсумовування тільки усереднених рівнів складових безперервного спектру у вибраному інформативному діапазоні.

Для визначення інтенсивності віброакустичного джерела безперервного спектру допускається визначати інтегральну характеристику шляхом виключення дискретних і істотних вузькосмугових та широкосмугових екстремумів спектру в цікавому частотному діапазоні і підсумовування залишилися складових спектра.

Для ідентифікації частотних складових спектра використовують різні методи відключення, виключення або виділення віброакустичних джерел. Вибирають найбільш інформативні контрольні точки для визначення вібраційних характеристик, проводять спеціальні випробування агрегату і визначають швидкісну, режимну, контурну і мастильну вібраційні

характеристики, визначають резонансні частоти, які необхідно розділити за походженням на механічні та аеродинамічні і т.д.

Методика і алгоритми визначення інтенсивності віброакустичних джерел викладені в державних стандартах України (ДСТУ 3160-95 - ДСТУ 3163-95).

При експлуатації машини для оцінки технічного стану її складових частин використовуються вібраційні методи і проводиться контроль зміни основних показників режиму роботи. Так як значення вібрації складових частин машин залежить від режиму роботи та стану опорних конструкцій, то при аналізі її змін необхідно це враховувати.

Рівні контролю та оцінки вібраційного стану компресорного та іншого обладнання по вібраційних характеристиках (встановлені ДСТУ 3161 та Системою ТООР Мінпромполітики України):

1-й рівень - визначення загальних значень параметрів вібрації (віброшвидкості, вібропереміщення і віброприскорення) в стандартному частотному діапазоні для експрес-аналізу та визначення точок контролю з максимальним їх значенням, яке порівнюється з нормативними значеннями, наведених в ДСТУ 3161 або в інших нормативних документах;

2-й рівень - визначення значень параметрів вібрацій у певних смугах частот для оцінки зміни інтенсивності джерел вібрації, які визначають рівень у аналізованій смузі, та інформування обслуговуючого персоналу про порушення нормального функціонування об'єкта контролю;

3-й рівень - визначення значень параметрів вібрацій у вузьких смугах частот і порівняння їх з базовими значеннями, використовуючи набір масок спектру для оперативного аналізу причин зміни вібрації об'єкта контролю;

4-й рівень - визначення інтенсивності основних віброакустичних джерел параметрів вібрації для більш об'єктивного визначення причин зміни їх рівня та розробки заходів щодо забезпечення показників надійності об'єкта контролю та декларації його безпеки.

Для оцінки технічного стану додатково необхідно використовувати інформацію про зміну фази коливань оборотних частот і про нестационарності вібраційного процесу (коефіцієнт ексцесу, пік-фактор, інтегральний і диференціальний закони розподілу, а також, при можливості, повну діагностику гнучкого ротора: середнє положення шийки валу щодо вкладишів опорного підшипника, орбіта валу, графіки повного спектру і т.д.).

На вібраційне навантаження (віброприскорення) складових частин техніки значний вплив робить режим його експлуатації. Рівень віброприскорення робить значний вплив на надійність використовуваного обладнання. Порівняльний аналіз інтенсивності основних віброакустичних джерел елементів і їх відмов показав тісну регресійну залежність між ними.

Для оцінки технічного стану складових частин застосовуються чотири критерії, як і в стандартах ISO: добре (зона А); прийнятно (зона В); припустимо (зона С); неприпустимо (зона Д).

За результатами порівняння поточних вібраційних характеристик (віброшвидкості, віброприскорення, віброзміщення) і показників режиму роботи з базовими складається паспорт технічного стану основних елементів кожної складової частини компресорного агрегату і виявляються суттєві їх зміни (зона С і Д).

Несправності і дефекти машин (пов'язані із зносом кінематичних пар і проточної частини, з дефектами монтажу і збірки, з дисбалансом рухомих частин, з несприятливими режимами роботи і т.д.) визначаються за допомогою змін вібраційних характеристик і показників режиму роботи. Для цього використовуються діагностичні словники і спеціально побудовані графіки (діаграми), функціональні та регресійні залежності.

По суттєвим змінам складових вузькосмугового спектру, інтенсивності основних віброакустичних джерел і показників режиму роботи визначають перелік найбільш ймовірних несправностей і дефектів, встановлюються основні причини їх виникнення та додаткові діагностичні ознаки для уточнення діагнозу (скорочення переліку можливих дефектів, після

проведення додаткових обстежень об'єкта). Метод дослідження причин вібрації машин заснований на методі наступного винятку, що дозволяє з групи можливих причин виділити ті, які найбільш вірогідні.

Вібраційне дослідження об'єктів проводять з метою вивчення впливу різних факторів (показників режиму роботи і певних структурних показників) на вібраційні характеристики з метою отримання режимних або еталонних вібраційних характеристик, а також для з'ясування та усунення причин підвищеної вібрації складових частин об'єкта.

ВИСНОВКИ

Уникнути механічних коливань на практиці майже не можна, тому що вони обумовлені динамічними явищами, що супроводжують присутність допусків, зазорів і поверхневих контактів окремих деталей машин і механізмів і сил, що виникають при обертанні і зворотно-поступальному русі неврівноважених елементів і деталей. Навіть механічні коливання з малою амплітудою часто викликають резонансні коливання інших елементів конструкцій, посилюються і стають важливим джерелом вібрації і шуму.

Вимірювання вібрації необхідно проводити в умовах, які відтворюють або імітують типові умови експлуатації машин та обладнання. Вимірювання проводять відповідно з вимогами до проведення вимірювань за ГОСТ 12.1.012. Результати вимірювань в одній точці усереднюють з внесенням поправок на чутливість апаратури і віброперетворювача.

Найпростіші вимірювальні системи вузькоцільового призначення видають інформацію у вигляді іменованих чисел або їх відношень, що є безпосередніми результатами прямих, непрямих або сукупних вимірювань.

Багатофункціональні системи дозволяють вимірювати параметри вібрацій, здійснювати частотний аналіз і аналіз функції розподілу, обчислювати функції кореляції тощо.

Аналого-цифрові системи обробляють інформацію, що вводиться в аналоговому або цифровому вигляді, і надають результати оператору для її корегування.

Отже, в процесі виконання магістерської роботи були розглянуті джерела та природа механічних коливань, ми визначили структуру основних вібровимірювальних приладів, провели аналіз сучасних вимог до проведення вимірювання параметрів вібрацій, була запропонована методика виконання контролю та оцінки вібраційного стану компресорного та іншого обладнання по вібраційних характеристиках.

Запропонований спосіб оцінки інтенсивності основних віброакустичних джерел полягає у встановленні для них інтегральних характеристик, тобто дозволяє представити інформацію в стислому вигляді.

Вібраційне дослідження об'єктів проводять з метою вивчення впливу різних факторів (показників режиму роботи і певних структурних показників) на вібраційні характеристики з метою отримання режимних або еталонних вібраційних характеристик, а також для з'ясування та усунення причин підвищеної вібрації складових частин об'єкта.

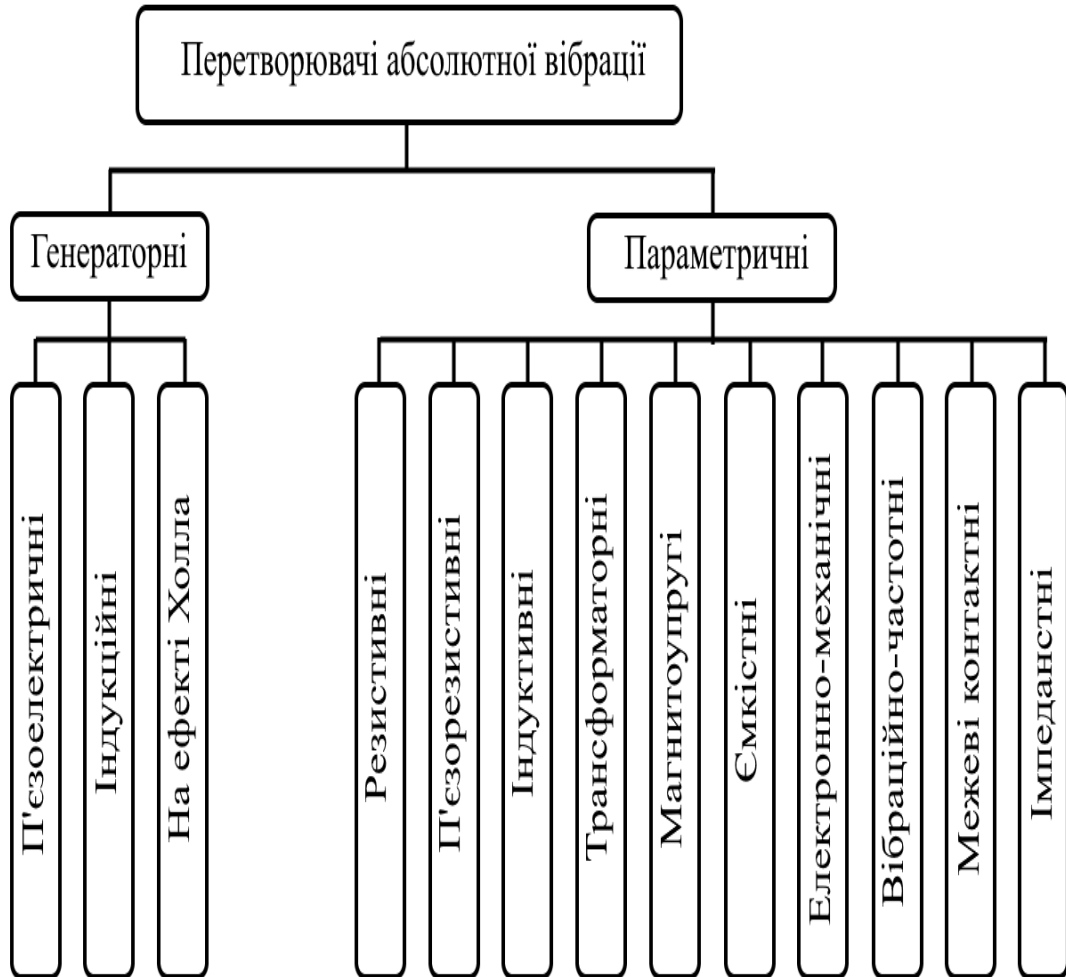
Список використаних джерел

1. ДСТУ 12.1.012:2008 ССБТ. Вібраційна безпека. Загальні вимоги.
2. ДСТУ 2300-93. Вібрація. Терміни та визначення.
3. ДСТУ 2681-94 «Метрологія Терміни та визначення».
4. ISO 8042:1988. Shock and vibration measurements. — Characteristics to be specified for seismic pick-ups. Publication date : August 23, 2007.
5. ISO 5348:1998. Mechanical vibration and shock — Mechanical mounting of accelerometers. Publication date : 1998-05.
6. ДСТУ. ГОСТ 1.1.012: 2008. ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования: Держстандарт України, 2009.
7. ДСТУ. ГОСТ 26568: 2009. "Вибрация. Методы и средства защиты. Классификация". Держстандарт України, 2009р.
8. ДСТУ. ГОСТ 25980: 2009. "Вибрация. Методы и средства защиты. Номенклатура параметров". Держстандарт України, 2009р.
9. ДСТУ. ГОСТ 26043: 2009. "Вибрация. Динамические характеристики стационарных машин. Основные положения". Держстандарт України, 2009р.
10. Азаренков М.О., Гірка В.О., Лапшин В.І., Муратов В.І. Теорія коливань та хвиль / М.О.Азаренков, В.О.Гірка, В.І.Лапшин, В.І. Муратов. – Харків, 2005. – 154с. Режим доступу http://ftfsite.ru/wp-content/files/fiz_koleb_voln_kniga_2.2.pdf
11. Вібраційні процеси та обладнання: Навч. посіб. / В.О. Повідайло; Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Л., 2004. - 248с.
12. Дідковський В.С., Маркелов П.О. Шум і вібрація. Підручник - К.: "Вища школа", 1995. – 208с.
13. Шумілов Ю. А. Шум і вібрація електричних машин. Конспект лекцій – електронний варіант. – 2006. – 76 с.

14. Гуров А.П. Вібродіагностика: навчальний посібник / А.П. Гуров, Д.Ю. Шарейко. -Миколаїв: УДМТУ, 2003. -116с.
15. Надійність електричних машин: Вібрації та шуми електричних машин: комп'ютерний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ., які навчаються за освітньою програмою “Електричні машини і апарати” / КПІ ім. І. Сікорського; уклад.: О.А. Гераскін. – Електронні текстові дані (1 файл: 10 Мбайт). – Київ: КПІ ім. І. Сікорського, 2019. – 108 с.
16. Посудін Ю.І. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища / Ю.І. Посудін. - К.: Світ, 2003.- 288с.
17. Стеценко А.А., Стеценко О.А. Стандартизация в области вибрации, контроля технического состояния, диагностики и прогнозирования ресурса промышленных машин // Вибрация машин: измерение, снижение, защита – Донецк, ДонГНУ, Ассоциация механиков, 2006, № 2 - С. 34-43.
18. Губаревич О.В. Надійність і діагностика електрообладнання: Підручник / О.В. Губаревич. –Сєверодонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2016. – 248 с.
19. Витвицька Л. А. Теорія автоматичного керування [Електронний ресурс] : конспект лекцій / Л. А. Витвицька, Ю. М. Кучірка. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2015. – 54 с.
20. Кононенко М. А. Методи і засоби вимірювань [Електронний ресурс] : конспект лекцій / М. А. Кононенко. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2014. – 297 с.
21. Безвесільна О.М., Подчашинський Ю.О. Наукові дослідження в галузі автоматизації та приладобудування. Проектування та моделювання комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем : підручник. – К. : НТУУ "КПІ ім. І. Сікорського; Ж.: Державний університет "Житомирська політехніка", 2021. – 896с.

ДОДАТОК А

Класифікація перетворювачів абсолютної вібрації



ДОДАТОК Б

Блок-схема процесу управління обладнанням для моніторингу та вимірювань

