

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Механічний факультет
Кафедра метрології та БЖД

ДИПЛОМНА РОБОТА

магістра

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЧАС-ЧАСТОТНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ
ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВПЛИВОВИХ ФАКТОРІВ В
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ
СИСТЕМАХ

Завідувач кафедри, канд. техн. наук, доц.



О. І. Богатов

Нормоконтролер, канд. техн. наук, доц.



І. В. Грайворонська

Керівник, канд. техн. наук, доц.



А. О. Коваль

Студентка гр. ММ-61-22



А. О. Гусєва

Харків – 2023

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет механічний
Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності
Освітній рівень другий (магістерський)
Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
Освітня програма «Інтелектуальні інформаційно-вимірювальні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

О. І. Богатов
О. І. Богатов

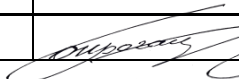

« 11 » жовтня 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТ

Гусєві Анні Олексіївні

1. Тема роботи: "Дослідження методів час-частотного аналізу для ідентифікації впливових факторів в інтелектуальних вимірювальних інформаційних системах".
Керівник роботи Коваль Андрій Олександрович, канд. техн. наук, доц.
Затверджені наказом Вченої ради механічного факультету від "11" жовтня 2023 р. № 130 .
2. Строк подання студентом роботи 30.11.2023 р.
3. Вхідні дані до роботи: 1) Дані вимірювань просторово розподіленої інтелектуальної вимірювальної інформаційної системи вібрацій; 2) Результати оцінювання вібрацій в просторово розподіленій інтелектуальній вимірювальній інформаційній системі; 3) Параметри вібрацій дорожніх машин при різних динамічних навантаженнях
4. Перелік питань, які потрібно розробити: 1. Вступ; 2. Обґрунтування необхідності підвищення точності вимірювання параметрів вібрацій дорожніх машин; 3. Методика вимірювань параметрів вібрацій дорожніх машин з використанням вейвлет-аналізу; 4 Час-частотний аналіз вібрацій рами дорожньої машини; 5. Охорона праці і навколишнього середовища; 6. Висновок; 7. Перелік посилань.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): плакати (слайди); 1 Результати досліджень у вигляді схем та графіків.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів проекту, що їх стосуються:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
4	Богатов О. І.		

7. Дата видачі завдання «13» вересня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення літератури	20.09.2023	виконано
2	Обґрунтування необхідності підвищення точності вимірювання параметрів вібрацій дорожніх машин	30.09.2023	виконано
3	Методика вимірювань параметрів вібрацій дорожніх машин з використанням вейвлет-аналізу.	01.10.2023	виконано
4	Час-частотний аналіз вібрацій рами дорожньої машини	20.10.2023	виконано
5	Охорона праці і навколишнього середовища	01.11.2023	виконано
8	Формулювання висновків	10.11.2023	виконано
9	Оформлення пояснювальної записки	20.11.2023	виконано
10	Створення презентації на Power Point	27.11.2023	виконано
11	Подання роботи керівнику.	30.11.2023	виконано
12	Подання роботи на рецензію.	01.12.2023	виконано
13	Допуск до захисту.	05.12.2023	виконано

Студентка  Гусєва А. О.

Керівник роботи  Коваль А. О.

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 93 с., 31 рис., 2 таблиці, 1 додаток, 27 джерел.

АВТОГРЕЙДЕР, ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗ, ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ,
ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА, ПАРАМЕТРИ ВІБРАЦІЇ,
ФУР'Є ПЕРЕТВОРЕННЯ

Мета роботи – підвищення точності вимірювання параметрів вібрацій в дорожніх машинах.

Об'єкт дослідження – вібрації автогрейдера ДЗк250В в різних динамічних режимах роботи.

Предмет дослідження – інтелектуальна інформаційна вимірювальна система вібрацій.

В магістерській роботі проведені дослідження точності вимірювань параметрів вібрацій в дорожніх машинах, проаналізовано недоліки Фур'є перетворення при вимірювання параметрів вібрацій. Обґрунтована та апробована методика вейвлет-аналізу для вимірювання параметрів вібрації ДМ при різних динамічних навантаженнях

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	7
Вступ.....	8
1 Обґрунтування необхідності підвищення точності вимірювання параметрів вібрацій дорожніх машин	9
1.1 Параметри вібрацій дорожніх машин при різних динамічних навантаженнях.....	11
1.2 Висновки до розділу	20
2 Методика вимірювань параметрів вібрацій дорожніх машин з використанням вейвлет-аналізу.....	21
2.1 Обґрунтування необхідності використання вейвлетів при вимірюванні параметрів вібрацій.....	21
2.2 Спектри на основі віконного перетворення Фур'є.....	25
2.3 Використання вейвлет-перетворення для дослідження вимірювальних сигналів.....	31
2.4 Вейвлет-аналіз даних вимірювань в інтелектуальній вимірювальній системі тиску.....	41
2.5 Використання скалеограми для аналізу вимірюваного тиску.....	46
2.6 Висновки до розділу	48
3 Час-частотний аналіз вібрацій рами дорожньої машини.....	49
3.1 Результати експериментальних досліджень параметрів вібрацій на раму ДЗк 250В.....	50
3.1.1 Варіації метрики масивів вимірюваного тиску	44
3.2 Вейвлет-аналіз вимірювальних часових вибірок.....	53
3.3 Висновки до розділу.....	59
4 Охорона праці і навколишнього середовища.....	60
4.1 Законодавча база охорони праці.....	60
4.2 Вимоги до мікроклімату	61

4.3 Електромагнітні випромінювання і рівні іонізації.....	62
4.4 Вимоги до освітлення	63
4.5 Техніка безпеки. Організація робочого місця.....	64
4.6 Пожежна безпека.....	67
4.7 Інженерні розрахунки в області охорони праці.....	67
4.8 Висновок до розділу.....	70
Висновки.....	71
Перелік посилань.....	73
Додаток А Ілюстративний матеріал до дипломної роботи	75

Кафедра МБЖД

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ,
ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ВДТ – відеодисплейні термінали

ВП – вимірювальний перетворювач

ГДК – гранично допустимі концентрації

ДМ – дорожня машина

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина

ЕПТ – електронна променева трубка

ЗПФ – зворотне перетворення Фур'є

ІВІС — Інтелектуальна вимірювальна інформаційна система

КВТ – контрольно-вимірювальна техніка

КІХ – кінцева імпульсна характеристика

НШПФ – небезпечні і шкідливі виробничі фактори

ПЕОМ – Персональна електронна обчислювальна машина

ПК – персональний комп'ютер

ППФ – пряме перетворення Фур'є

СКО – середньоквадратичне відхилення

ШПФ – швидке перетворення Фур'є

ВСТУП

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

Підвищення точності вимірювання вібрацій в дорожніх машинах є основним напрямом забезпечення їх надійності. Особливе значення має проектування дорожніх машин на заданий ресурс і збереження їх проектної якості при виготовленні і експлуатації.

Об'єкт дослідження – вібраційний процес взаємодії деталей агрегатів автогрейдерів, який створює проблему системного підходу в підвищенні точності вимірювання вібрацій.

Основним методом теоретичних досліджень був системний аналіз, узагальнення ознак вібраційних сигналів, вібраційних характеристик, статистичних даних про граничні значення структурних і вібраційних параметрів їх зв'язку з технічним станом автогрейдерів і режимами його роботи.

Точність та достовірність вимірювальної інформації на виході інтелектуальної інформаційної системи в значній мірі залежить від розміщення первинних датчиків-перетворювачів, правильного їх вибору та методик проведення вимірювань. Узагальнення і розробка методів підвищенні точності вимірювання вібрацій в автогрейдерах по їх вібродіагностичним характеристикам на стадіях проектування, виготовлення і експлуатації має значний науковий інтерес в галузі машинобудування.

1 ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙ ДОРОЖНІХ МАШИН

Вібрація серед всіх видів механічних впливів для технічних об'єктів найбільш небезпечна. Знакозмінні напруження, викликані вібрацією сприяють накопиченню пошкоджень в матеріалах, появі тріщин та руйнуванню [1]. Найчастіше і досить швидко руйнування об'єкта настає при вібраційних впливах за умов резонансу. Вібрації викликають також й відмови машин, приладів.

Вібрація – це рух механічної системи, при якому відбуваються коливання, які характеризують її скалярні величини.

Основними параметрами вібрації є:

- амплітуда вібропереміщення – χ_m , м;
- амплітуда коливальної швидкості (віброшвидкості) – V_m , м/с;
- амплітуда коливального прискорення (віброприскорення) – a_m , м/с²;
- період коливань – T , с;
- частота коливань – f , Гц=1/с.

Через специфічні властивості органів чуття визначає при оцінці дії вібрації є значення вище перерахованих параметрів, що діють. Значення віброшвидкості [2], що так діє, є середньоквадратичне миттєвих значень швидкості $V(t)$ за час усереднювання t_y , яке вибирають з урахуванням характеру зміни віброшвидкості в часі:

$$V_y = \sqrt{\frac{1}{t_y} \int_t^{t+t_y} V^2(t) dt} \quad (1.1)$$

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

У практиці віброакустичних досліджень весь діапазон частот вібрацій розбивають на октавні діапазони. У октавному діапазоні верхня гранична частота

удвічі більше ніжній $f_2/f_1 = 2$. Аналіз і побудова спектрів параметрів вібрації можуть проводитися також в третьоктавних смугах частот – $f_2/f_1 = \sqrt[3]{2}$. Якщо f_1 – нижня гранична частота, а f_2 – верхня, то як частота, що характеризує смугу в цілому, береться середньгеометрична частота $f_{c2} = \sqrt{f_1 \times f_2}$.

Средньгеометричні частоти октавних смуг частот вібрації стандартизовані і складають: 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 [2]. Логарифмічний рівень коливань – характеристика коливань, що порівнює дві однойменні фізичні величини, пропорційні десятковому логарифму відношення оцінюваного і початкового значення величини. Як початковий використовуються опорні значення параметрів, що вважають початком відліку. Вимірюються рівні в дБ. Тоді рівень віброшвидкості визначатиметься по формулі:

$$L_v = 10 \log (\overline{V^2}/\overline{V_0^2}) = 20 \log (V_y/V_0) \quad (1.2)$$

де V_y – усереднене значення віброшвидкості у відповідній смузі частот;

V_0 – опорне значення віброшвидкості, рівне $5 \cdot 10^{-8}$ м/с, міжнародна стандартна величина.

Рівень віброприскорення визначається виразом:

$$L_a = 20 \log \frac{a}{10^{-6}} \quad (1.3)$$

1.1 Параметри вібрацій дорожніх машин при різних динамічних навантаженнях

Діагностування стану машин і оцінка ступеня небезпеки пошкодження на основі даних контролю вібрації – один з найбільш ефективних методів підвищення надійності і довговічності устаткування [3].

Вібровимірювальна апаратура служить для дослідження механічного стану устаткування точок з метою виявлення дефектів на ранніх стадіях їх виникнення. Спостерігаючи за зміною параметрів вібрації в характерних для даного виду устаткування крапках, можна визначити вигляд і місцеположення дефекту, оцінити ступінь його небезпеки, а отже, і необхідність останову устаткування аварійної ситуації.

Вібровимірювальну апаратуру використовують при експлуатації роторних машин всіх типів (авіаційних двигунів, турбін, насосів, компресорів, вентиляторів), застосовують для контролю якості збірки і наладки об'єктів, визначення стану інструменту у верстатах і багатьох інших випадках.

Ступінь ефективності застосування штатної вібровимірювальної апаратури і розширення її функцій зростає у міру накопичення даних аналізу вібрації машин на різних станціях обробки і експлуатації об'єктів.

Простою формою вібрації є гармонічне коливання тіла, яке як функція часу є синусоїдою, поширеніша форма вібрації – квазігармонійна з безперервною зміною частоти [4]. Найбільша частина коливань, що зустрічаються на практиці, має форму спотвореної синусоїди. Для опису цієї форми вібрації використовують метод перетворення Фур'є, що полягає в тому, що будь-яку періодичну залежність розглядають як комбінацію ряду гармонічних коливань з взаємозалежними частотами. Якщо функція $x(t)$ може бути представлена рядом Фур'є $x(t) = A_1 \sin \omega t + A_2 \sin \lambda \omega t + \dots$, то параметри $A_1, \omega; A_2, \lambda, \omega_i \dots$ називають амплітудами і частотами (першою, другою і т. д.) відповідних гармонічних складових.

Гармонійні складові визначають частотний спектр вібрації, який представляється графічним набором дискретних ліній.

До параметрів лінійної вібрації відносяться переміщення, швидкість, прискорення, різкість, силу і потужність. До параметрів кутової вібрації відносяться кут повороту, кутове прискорення, кутову різкість, момент сил. До параметрів обох видів вібрацій відносять також фазу, частоту і коефіцієнт нелінійних спотворень [5]. Миттєве значення координати положення крапки при коливному русі називають переміщенням і позначають $s(t)$.

Першу похідну переміщення за часом називають:

- швидкістю $v = \frac{ds(t)}{dt} = \dot{s}$;
- другу - прискоренням $a = \frac{d^2s(t)}{dt^2} = \ddot{s}$
- третю - різкістю $u = \frac{d^3s(t)}{dt^3} = \dddot{s}$.

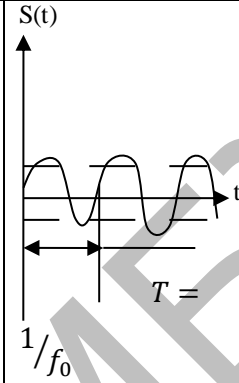
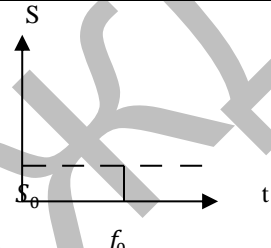
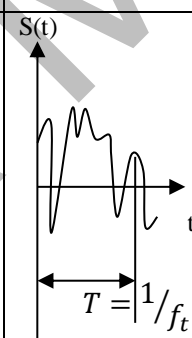
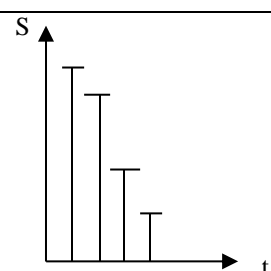
Опис ряду вібраційних процесів приведено в табл. 1.1. Переміщення як діагностичний параметр становить інтерес у тих випадках, коли необхідно знати відносний зсув об'єкта або деформацію. Якщо досліджують ефективність вібраційних машин, а також вплив вібрацій на організм людини, то вивчають швидкість вібрації, оскільки саме вона визначає імпульс сили і кінетичну енергію. Основним вимірюваним параметром є прискорення, проте в ряді випадків дослідників цікавить і різкість вібрацій [5].

Вимірюють миттєві, амплітудні (пікові), що діють і середні значення параметрів вібрації.

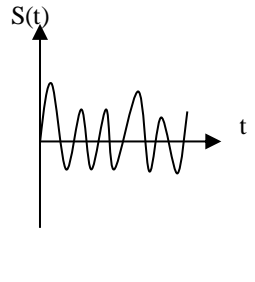
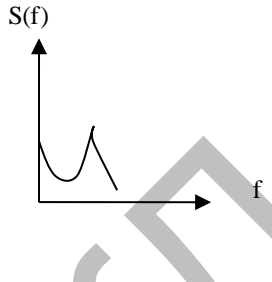
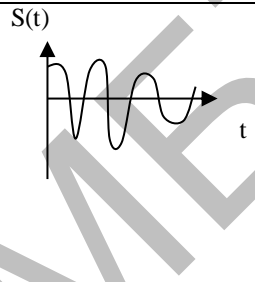
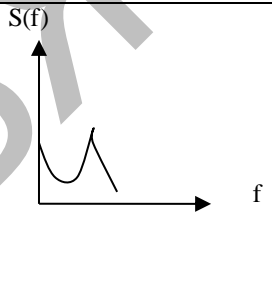
Періодичну вібрацію поділяють на гармонічну і полігармонічну. Полігармонійний процес складається з постійної x_0 і нескінченної кількості синусоїдальних гармонік з амплітудами x_n і початковими фазами φ . При цьому частоти всіх гармонік кратні основній частоті f_1 , що видно із спектру полігармонійного процесу без урахування початкових фаз (див. табл. 1.1).

При дослідженні полігармонійних вібрацій доцільно використовувати параметри, безпосередньо пов'язані з енерговміст коливань. У цьому випадку

найбільш важливими характеристиками є середнє арифметичне, середньоквадратичне і пікове значення коливного параметра.

Вид процесу	Функція часу	Форма	Частотний спектр
гармонічний	$s(t) = s \sin(\omega t + \varphi)$ $s(t) = s \sin 2\pi f_0 t$		
полігармонічний	$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos 2\pi n \times$ $\times f t + b_n \sin 2\pi n f_1 t)$ $a_n = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) \times \cos 2\pi n f_1 t dt$ $n = 1, 2, 3 \dots$ $s(t) = s_0 + \sum_{n=1}^{\infty} s_n \times$ $\times \cos(2\pi n f t - \varphi_n)$ $s_0 = \frac{a_0}{2}$ $s_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$ $n = 1, 2, 3 \dots$ $\varphi_n = \arctg(b_n / a_n)$ $n = 1, 2, 3 \dots$		

Продовження таблиці 1.1 – Періодичні та неперіодичні вібраційні процеси

Майже періодичний	$s(t) = \sum_{n=1}^{\infty} s_n \times \sin(2\pi f_n t + \varphi)$		
Вид процесу	Функція часу	Форма	Частотний спектр
Перехідний	$s(t) = \begin{cases} A e^{-at} \cos bt & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$ $s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-2\pi jft} dt$		

Якщо фізичний зміст задачі дозволяє розділити розглянутий діапазон на ділянки, то їх називають під діапазону або смугами частот. Ширину смуги висловлюють в інтервалах; при цьому інтервал, для якого $f_B = 2f_H$ називають октавою.

Неперіодичні вібраційні процеси поділяють на майже періодичні і перехідні [5].

Майже періодичні процеси можуть бути описані функцією часу, наведеною в табл. 1.1, де не всі відносини являють собою раціональні числа. Такі процеси частіше зустрічаються при підсумуванні двох або більшого числа незалежних гармонійних процесів. Частоти гармонік такого процесу несумірні.

При майже періодичних вібраціях вимірюваними параметрами є діючі і пікові значення параметрів вібрації та форма коливань.

Перехідні неперіодичні процеси численні і різноманітні. Основна їх відмінність полягає в тому, що вони не можуть бути представлені у вигляді дискретного спектра. Процес, для якого зміна фізичної величини в часі відбувається випадковим чином, називається випадковим. Такий процес

характеризується випадковою функцією часу $x(t)$ яку можна розглядати як нескінченну сукупність або безліч функцій $\{x(t)\}$, званих вибірковими, кожна з яких представляє одну з можливих реалізацій випадкової функції. Випадковий процес можна описати в будь-який момент часу усередненням ймовірнісних характеристик по безліч вибірових функцій.

Для вимірювання параметрів вібрації використовують різні фізичні принципи перетворення механічних коливань в електричний сигнал [5].

За принципом роботи перетворювачі абсолютної вібрації розділяють на генераторні і параметричні вимірювальні перетворювачі (ВП).

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

Параметричні ВП є пристроями, в яких під дією вимірюваних вхідних механічних параметрів змінюються електричні параметри схем: опір, ємність, частота і так далі [6].

До параметричних ВП відносяться резистори, реостатні, тензорезистивні, ємкісні, індуктивні, трансформаторні, магнітопружні, віхретокові, вібраційно-частотні, електронно-механічні і ін.

Зі всього різноманіття існуючих ВП найбільшого поширення набули перетворювачі з п'єзоелектричним, тензорезистивним, електромагнітним (індуктивним), ємнісним і струнним чутливими елементами. Кожен з перерахованих ВП має свою сферу раціонального застосування. Так, п'єзоелектричні ВП найдоцільніше використовувати за наявності в динамічному процесі широкого спектру частот (до декількох десятків тисяч герц) і великих значень прискорень. Тензорезистивними, індуктивними, ємнісними і вібраційно-частотними ВП доцільно одночасно вимірювати змінну і постійну складову динамічного процесу. Дані ВП є контактними, їх закріплюють на досліджуваному об'єкті і кабелем сполучають з контрольною - вимірювальною апаратурою.

Переваги безконтактних вимірювань вібрації полягають в можливості проведення вимірювань з підвищеною точністю в труднодоступних місцях в умовах високих температур і агресивних середовищ за наявності різних зовнішніх фізичних полів. У безконтактних вимірюваннях реалізується кінематичний принцип вимірювання параметрів вібрацій і використовуються оптичні, радіохвильові, акустичні, радіаційні, електромагнітні і магнітні методи (рис. 1.1) [5].

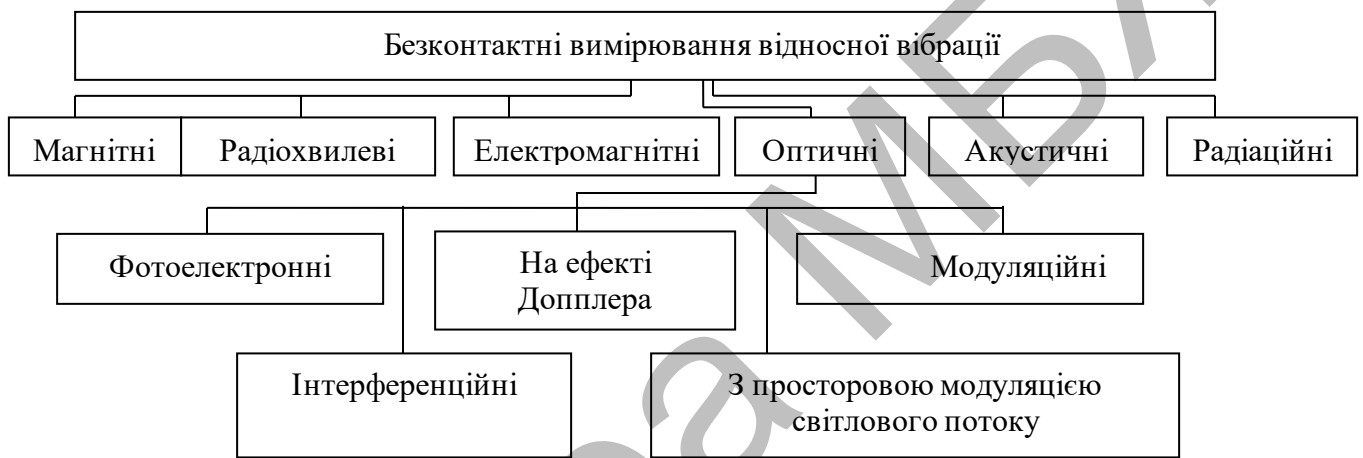


Рисунок 1.1 – Класифікація вимірювання відносної вібрації

Оптичні методи вимірювання параметрів вібрації за способом виділення інформації про вимірюваний параметр ділять на амплітудні і частотні. До амплітудних методів вимірювання відносять фотоелектронні, дифракційні і інтерференційні методи вимірювання, а також методи з використанням просторової модуляції світлового потоку.

Вимірювання параметрів вібрації, засноване на зміні частоти випромінювання оптичного генератора, відбитого від об'єкту, проводять вимірювальними пристроями, дія яких заснована на використанні ефекту Доплера.

Метод вимірювання вибирають з урахуванням конкретного завдання, а також можливості забезпечення необхідної похибки вимірювання, чутливості методу, діапазону вимірюваних параметрів.

По ступеню функціональної і конструктивної складності апаратури для контролю вібрації устаткування можна розділити на наступні групи [5]:

— ручні вібрографи типу важеля із записом на папері контрольованої вібрації;

— портативні віброметри (вібротестери) з виносним вібровимірювальним перетворювачем у вигляді віброщупа і вимірювального підсилювача з вбудованим індикатором;

— стаціонарні одноканальні прилади, що містять вібровимірювальний перетворювач граничного типу і контактну систему, ув'язнені в одному корпусі, що жорстко закріплюється на об'єкті контролю (граничний акселерометр) [7], що видають сигнал про перевищення допустимого рівня вібрації;

— стаціонарні одноканальні прилади, що складаються з виносного вібровимірювального перетворювача, що встановлюється на об'єкті, і вимірювального підсилювача, що має індикатор і контакти для підключення звукової або світлової сигналізації або виконавчих механізмів;

— одноточечну апаратуру з аналізатором спектру і покажчиком амплітуд гармонік на виході;

— стаціонарну багатоточкову апаратуру, що складається з виносних вібровимірювальних перетворювачів, що встановлюються на контрольованому об'єкті, і ВП з вбудованим покажчиком і ручним перемикачем, що комує вібровимірювальні перетворювачі на вході ВП [7];

— стаціонарну багатоточкову апаратуру із записом контролюємих параметрів вібрації (розмаху вібропереміщення, середньоквадратичного значення віброшвидкості, пікового значення прискорення) на самописець з автоматичним перемикачем виносних вібровимірювальних перетворювачів на вході одноканального вимірювального підсилювача;

— стаціонарну багатоточкову апаратуру з вибіркоким контролем по показчику і автоматичній реєстрації самописцем параметрів вібрації, що складається з виносних вібровимірювальних перетворювачів, двоканального ВП, на вході одного з каналів якого вібровимірювальні перетворювачі комутуються перемикачем з метою вимірювання оператором параметрів вібрації, а на вході іншого – автоматично перемикаються для видачі попереджувального і аварійного сигналів про перевищення допустимого рівня вібрації в будь-якій з контрольованих точок;

— багатоканальні системи контролю вібрації, що здійснюють одночасний контроль заданого параметра вібрації у всіх контрольованих крапках з видачею попереджувального і аварійного сигналів про перевищення допустимого рівня вібрації в будь-якій з контрольованих крапок; системи складаються з вібровимірювальних перетворювачів і ВП, поодинці на кожен ВП; пристрій, що видає сигнал попереджувальної і аварійної сигналізації, може бути в кожному з каналів або загальним для групи каналів;

— багатоканальні системи контролю з видачею попереджувального і аварійного сигналів і підключенням до каналу, на виході якого сигнал досяг гранично допустимого значення, що реєструється осцилографом, магнітофоном або аналізатором. Останній дозволяє визначити спектральний склад вібрації, на підставі аналізу якого можна встановити причину механічної несправності контрольованого устаткування;

— одно - і багатоканальні системи, що здійснюють спектральний аналіз по всіх каналах вимірювання і сигналізують про перевищення допустимого

— значення амплітуди гармонійних складових спектру;

— багатоканальні системи захисту устаткування при вібрації, що перевищують допустимі норми, з видачею сигналу в систему управління захисту устаткування, що містять з метою підвищення надійності дублюючі канали;

— багатоканальні системи, що мають уніфікований вихід для введення інформації про вібрацію устаткування, яка захищається, в ЕОМ.

У основу вибору вібровимірювальної апаратури мають бути покладені результати аналізу вібрації даного класу устаткування і дані про амплітудно-частотний склад вібрації і характер його вимірювання у зв'язку з виникненням різних видів несправностей, небезпечних для функціонування машини. Чим більше число однотипних машин обстежене і більший об'єм даних статистично оброблено, тим достовірніший висновок про характер вібрації машини і його зміну при виникненні дефектів.

При виборі апаратури насамперед слід встановити місцеположення точок контролю, необхідне і достатнє число контрольованих точок, число вимірюваних компонентів в кожній точці вимірювання, контрольований параметр вібрації, діапазон частот, в якому виникнення характерного і небезпечного дефекту приводить до зміни амплітуд окремих гармонійних складових спектру або загального рівня вібрації [8].

Механічний стан працюючої машини оцінюють спостереженням одним з параметрів, що характеризує загальний рівень вібрації: розмахом вібропереміщення, середньоквадратичним значенням віброприскорення.

Розмах вібропереміщення контролюють на машинах з малою робочою частотою обертання ротора (до 1000 об/хв.) і в області середніх частот (до 50 Гц), якщо вібрація близька до моногармонічної.

Вібрацію більшості дорожніх машин, як правило, визначають по розмаху вібрацій модульних елементів дорожньої машини. Для машин з складним спектром вібрації слід використовувати апаратуру, що має в робочому діапазоні частот рівномірну амплітудно-частотну і пропорційну (або нульову) фазочастотну характеристики. Середньоквадратичне значення віброшвидкості рекомендується вибирати як контрольований параметр для машин з робочою частотою обертання ротора від 1000 об/хв до 10000 об/хв. і складним частотним спектром вібрації, коли однаково небезпечним для роботи машин є виникнення дефектів, що характеризуються зміною амплітуди різних гармонійних

складових: з частотами обертання: $0,5 f$ об., $2 f$ об., $3 f$ об. і так далі. В цьому випадку середньоквадратичне значення віброшвидкості є параметром, що дозволяє надійно оцінити небезпеку роботи ДМ при виникненні різного роду несправностей, а отже, що дає найбільш достовірну інформацію про механічний стан машини [9].

Статистична обробка матеріалів вібраційних досліджень машин дозволяє складати карти розпізнавання дефектів.

1.2 Висновки до розділу

За даними статистично обробки даних вібраційних досліджень можна судити про ознаки дефектів і вибрати частотний діапазон апаратури, необхідний для виявлення характерних несправностей машини. У всіх випадках верхня межа частотного діапазону не має бути нижче подвоєної частоти вібрацій в даному динамічному режимі роботи дорожньої машини.

2 МЕТОДИКА ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙ ДОРОЖНІХ МАШИН З ВИКОРИСТАННЯМ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗУ

2.1 Обґрунтування необхідності використання вейвлетів при вимірюванні параметрів вібрацій

За допомогою вейвлетів сигнал представляється сукупністю хвильових пакетів-вейвлетів, утворених на основі деякої вихідної (базової, що утворює) функції [10]. Ця сукупність різна в різних частинах часового інтервалу визначення сигналу і коректовані множниками, що мають вид часом складних часових функцій, і являє сигнал з тим або іншим ступенем деталізації (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Ілюстрація до вейвлет синтезу сигналу

Такий підхід називають вейвлет-аналізом сигналів.

Вейвлет-аналіз в розумінні, на жаль, істотно складніше, ніж перетворення Фур'є. Тому для практичного застосування вейвлетів важливо чітко зрозуміти відмінності між цими перетвореннями. Основоположна відмінність – втрата інформації і часу існування частотних компонент сигналу при звичайному Фур'є-

перетворенні ми вже відзначали. В основі подання періодичного сигналу $y(t)$ поруч Фур'є лежить співвідношення:

$$y(t) \sim \sum_{n=0}^N c_n e^{itn} \quad (2.1)$$

де i – уявна одиниця. Функція $y(t)$ представляється сумою синусоїд, представлених членом e^{itn} , на коефіцієнти Фур'є c_n . Вони обчислюються як:

$$c_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} y(t) e^{-itn} dt \quad (2.2)$$

Коефіцієнти Фур'є – комплексні числа. Вони представляють набір (спектр) гармонійних сигналів, які називаються гармоніками. Число n – номер гармоніки (1,2,3 ...). Теоретично ряд Фур'є має нескінченне число членів (гармонік), але на практиці воно завжди звичайне, і один N . Тому ряд записується як наближений. Гармоніки, що представляють собою синусоїди з різною частотою, кратною частоті першої гармоніки, і різною фазою, утворюються множенням c_n на e^{itn} [10].

З позицій точного уявлення перетворенням Фур'є довільних сигналів і функцій можна відзначити цілий ряд його недоліків:

- непридатність до аналізу нестационарних сигналів;
- перетворення Фур'є навіть для однієї заданої частоти вимагає знання сигналу не тільки минулого, але й у майбутньому, що є теоретичною абстракцією;
- в умовах практично неминучого обмеження числа гармонік чи спектра коливань точне відновлення сигналу після прямого і зворотного перетворення

Фур'є теоретично (і, тим більше, практично) неможливо, зокрема, через появу ефекту Гібса [11];

- базисною функцією при розкладанні в ряд Фур'є є гармонійне (синусоїдальне) коливання, яке математично визначено в інтервалі часу від $-\infty$ до $+\infty$ і має незмінні у часі параметри;

- чисельне інтегрування в часовій області від $-\infty$ до $+\infty$ при прямому перетворенні Фур'є (ППФ) та від $-\infty$ до $+\infty$ в частотній області при зворотному перетворенні Фур'є (ЗПФ) зустрічає великі обчислювальні труднощі;

- окремі особливості сигналу (наприклад, розриви або піки) викликає незначні зміни частотного образу сигналу у всьому інтервалі частот від $-\infty$ до $+\infty$, які «розмазуються» по всій частотній осі, що робить їх виявлення за спектром практично неможливим;

- ясно, що така плавна базисна функція, як синусоїда, в принципі взагалі не може представляти перепади сигналів з нескінченною крутизною, хоча такі сигнали (наприклад, прямокутні імпульси) застосовуються досить широко;

- єдиним пристосуванням до подання швидких змін сигналів, таких, як згладжування або перепади, є різке збільшення числа гармонік, які впливають на форму сигналу та їх характер;

- для нестационарних сигналів (а таких зараз більшість), труднощі ППФ і ОПФ (і, відповідно, швидкого перетворення Фур'є (ШПФ)) багато разів.

Проблеми спектрального аналізу частково вирішуються переходом до віконного перетворення Фур'є. Ідея цього перетворення дуже проста: часовий інтервал існування сигналу розбивається на ряд проміжків - часових вікон. У кожному проміжку обчислюється своє перетворення Фур'є. Якщо в якомусь вікні існували частотні складові деякого сигналу, то вони будуть присутні в спектрі. А якщо ні – будуть відсутні. Таким чином, можна перейти до частотно-часового зображення сигналів, яке є особливим розділом техніки обробки сигналів.

Віконне перетворення виконується з використанням виразу:

$$A(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} y(t) \cdot w(t - b) \cdot e^{-i\omega t} dt. \quad (2.3)$$

Тут, на відміну інтеграла Фур'є, функція $y(t)$ під знаком інтеграла додатково множиться на віконну функцію $w(t, b)$. Параметр b вікна задає його зсув на часовій осі. Зазвичай задається ряд фіксованих значень b в межах повного вікна [11]. Наприклад, для найпростішого прямокутного вікна функція $w(t, b)$ у межах вікна дає 1, а за межами вікна перегляду – 0. При цьому, для кожного вікна виходить свій набір комплексних амплітуд сигналу в частотній області рис. 2.2.

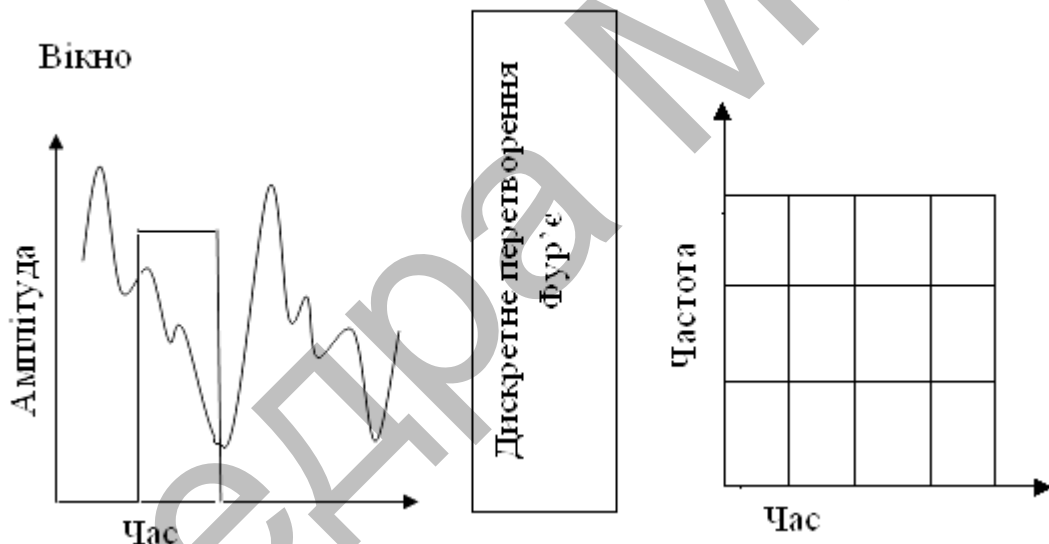


Рисунок 2.2 – Ілюстрація до методики віконного перетворення Фур'є

Зазначене пояснює (рис. 2.2). Вікно, показане на часовій залежності сигналу (ліворуч), стрибками переміщається, і за деяке число таких переміщень дозволяє «переглянути» весь сигнал. У кожному вікні виконується своє спектральне розкладання, так що замість зазвичай однієї спектрограми отримуємо набір спектрограм, схематично показані в правій частині (рис 2.2) у вигляді прямокутників.

Природно, що оскільки кожне вікно охоплює невелику ділянку за

часом, точність опису локальних змін сигналу може бути підвищена. Часто використовуються вікна Гауса, що забезпечують малі спотворення спектра через граничні явища і зменшують прояв ефекту Гібса.

Проте ситуація не так проста. Вона впирається у відомий принцип невизначеності Гейзенберга. Згідно з ним, неможливо отримати одночасно високу частоту та високе часове розрізнення. Вибираючи вікно з малою шириною по часу отримуємо високе часове розрізнення [10]. Взевши вікно з великою шириною в часі отримуємо гарне розрізнення по частоті, але погане в часі. Віконне перетворення оперує з вікнами, які мають однакову ширину, а по тому дане протиріччя для нього не вирішується. Ще один принциповий недолік віконного перетворення Фур'є: у ньому як і раніше використовується єдина базисна функція – синусоїда з усіма її зазначеними раніше недоліками.

2.2 Спектри на основі віконного перетворення Фур'є

Істотним недоліком спектрів, отриманих при звичайному перетворенні Фур'є, є їх мала інформативність. Локальні особливості сигналів, наприклад короткі сплески чи провали, розриви і сходинки і т.д. ведуть до появи в спектрі вищих гармонік з малою амплітудою, розмазаних по всій частотній осі. Визначити по них характер локальних особливостей досить важко. Кардинальне вирішення цього завдання криється в застосуванні вейвлет-перетворень. Але й на основі використання Фур'є-перетворень також був запропонований ряд сучасних методів спектрального аналізу, що дозволяють з високою детальністю представляти спектри складних сигналів [11]. Деякі з уявлень спектра, мають певні переваги навіть перед вейвлет-перетвореннями.

Проаналізуємо можливості віконного перетворення Фур'є.

Вікно можна задавати або вектором його коефіцієнтів або індексом для ряду заздалегідь визначених вікон, реалізованих у вигляді фільтра з КІХ:

- `rectangular`

- tapreq rectanqlar
- trianqlar
- hanning
- hamming
- blackman

Формула для такого перетворення

$$X(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int x(\tau) \cdot w(\tau - t) \cdot e^{-j\omega\tau} d\tau \quad (2.4)$$

для сигналу, який являє собою дві пачки синусоїдальних коливань з різною частотою [11].

На відміну від звичайного перетворення Фур'є функція $x(\tau)$ множиться на вікно $w(\tau - t)$, значення якого (у першому наближенні) рівний 1 в межах вікна і 0 за його межами. Це вікно переміщається з часової осі без перекриття і спектр за методом Фур'є обчислюється в межах кожного вікна. Таким чином, отримуємо набір спектрограм в площині час-частота. З метою аналізу можливостей віконного перетворення імпульсних сигналів вібрацій зображених на рис. 2.3, 2.8 та 2.10. Відповідні їм спектрограми зображені на рис. 2.4-2.7, 2.9 та 2.11. Спектрограми вимірювальних сигналів будуть представлені для вікон різної ширини.

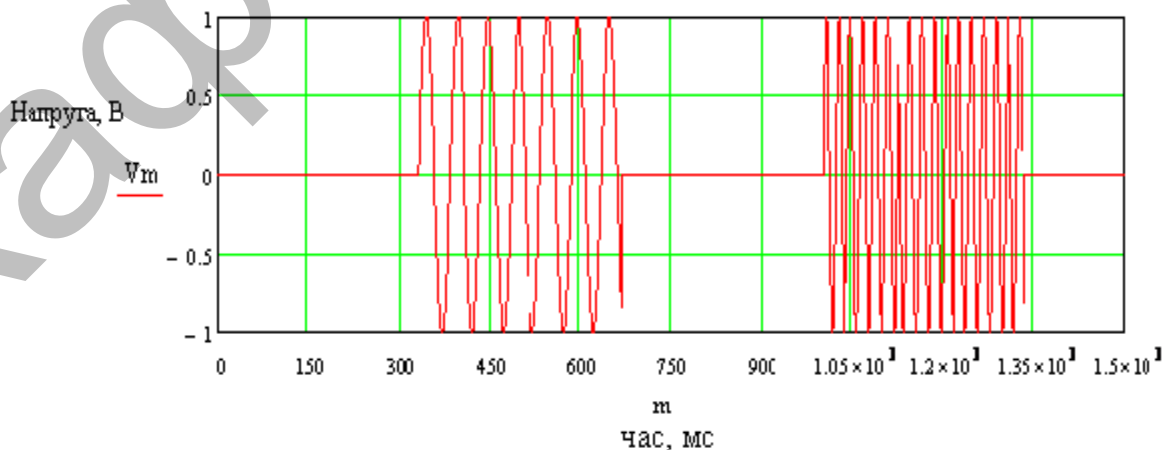


Рисунок 2.3 – Сигнали імпульсних вібрацій

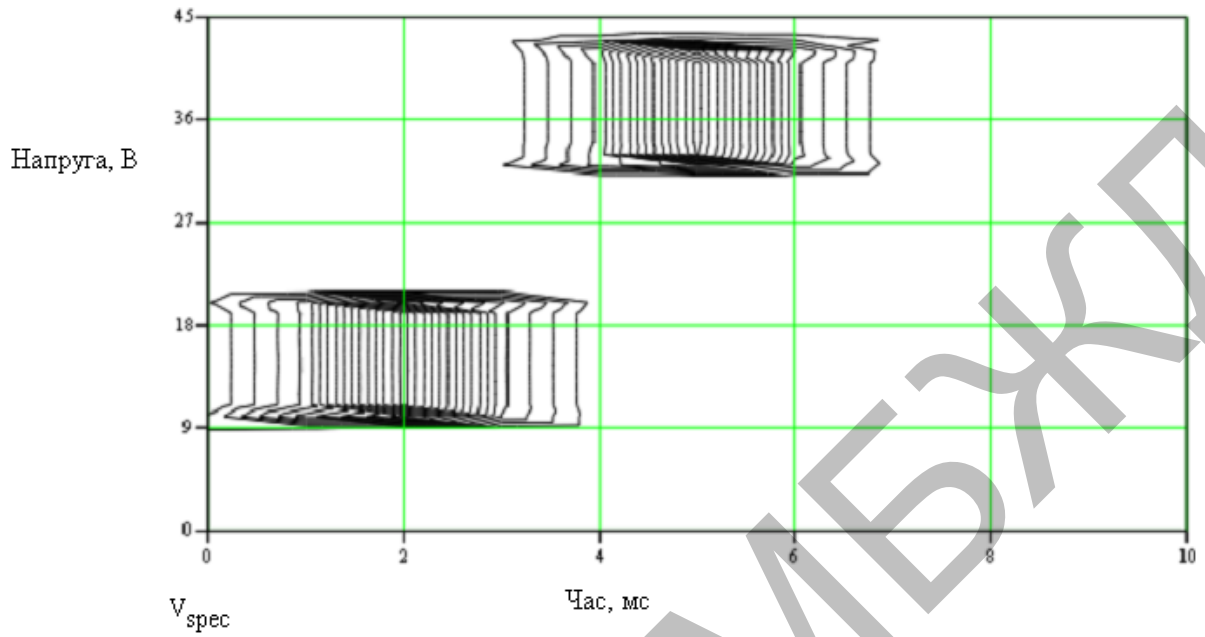


Рисунок 2.4 – Віконне перетворення Фур'є (розмір вікна – 100 відліків)

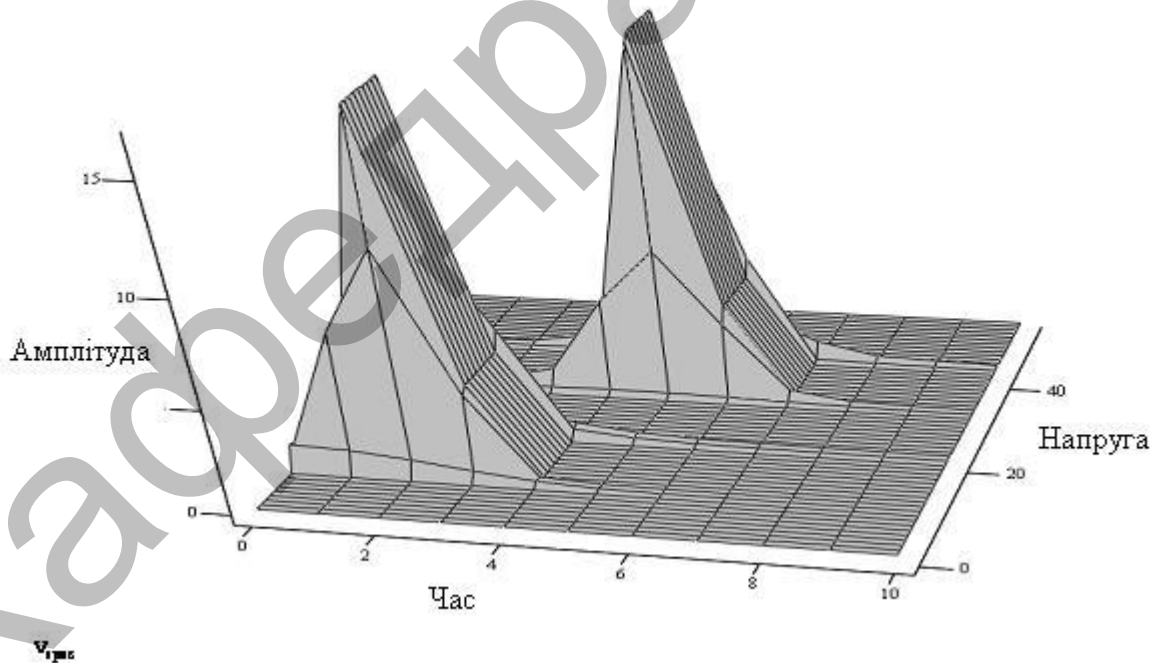


Рисунок 2.5 – Віконне перетворення Фур'є у просторі (розмір вікна – 100 відліків)

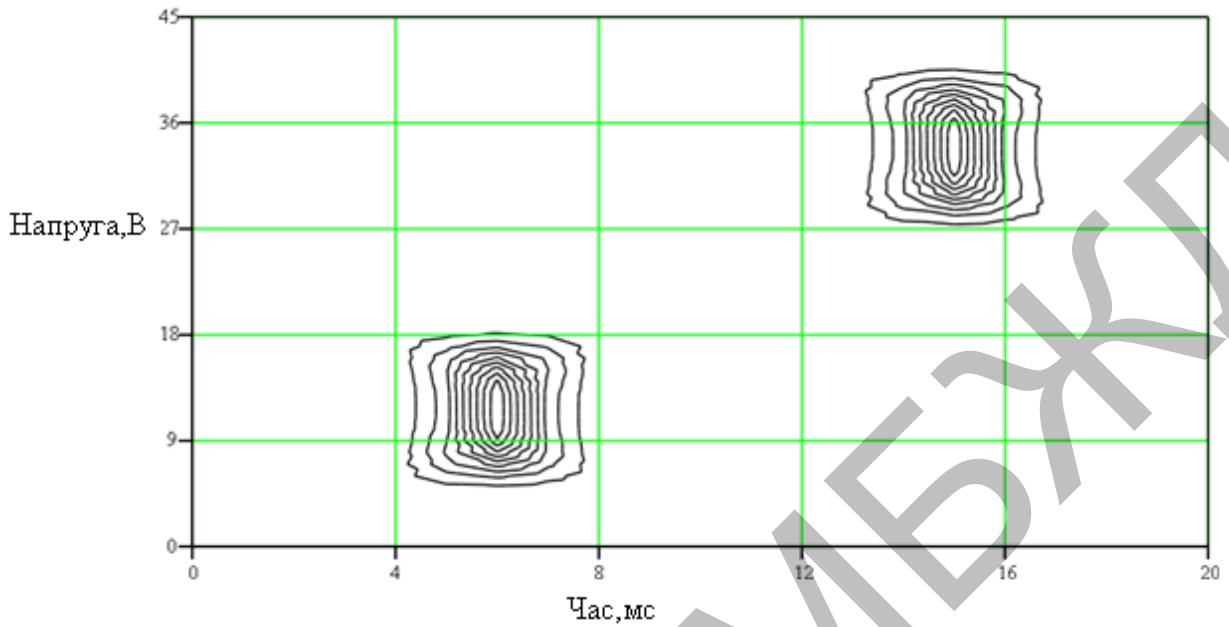


Рисунок 2.6 – Віконне перетворення Фур'є (розмір вікна – 300 відліків)

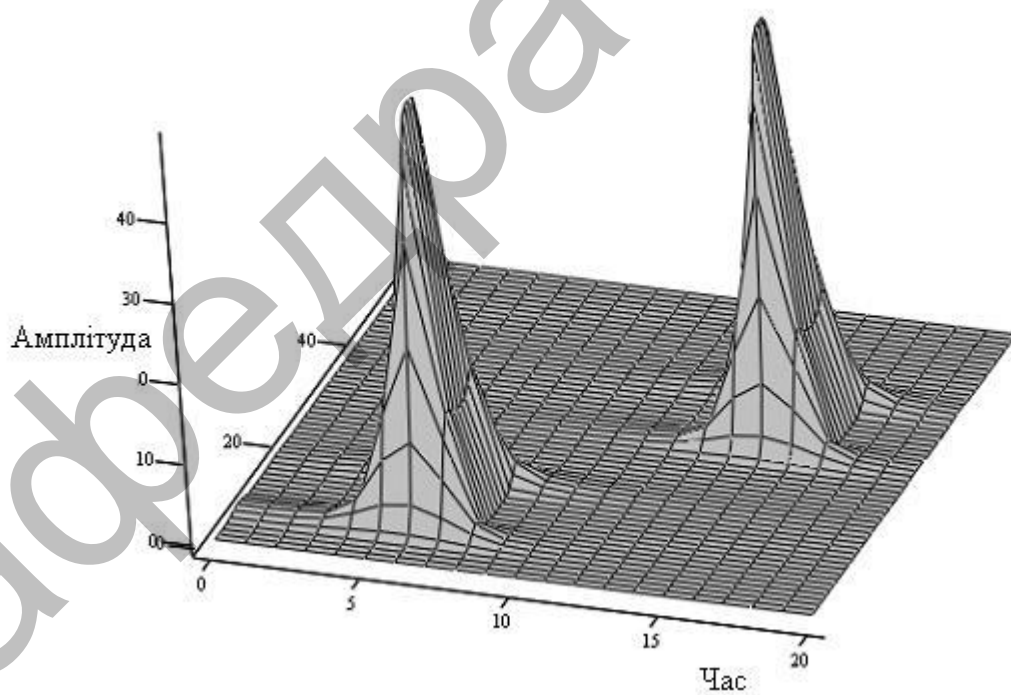


Рисунок 2.7 – Віконне перетворення Фур'є у просторі (розмір вікна – 300 відліків)

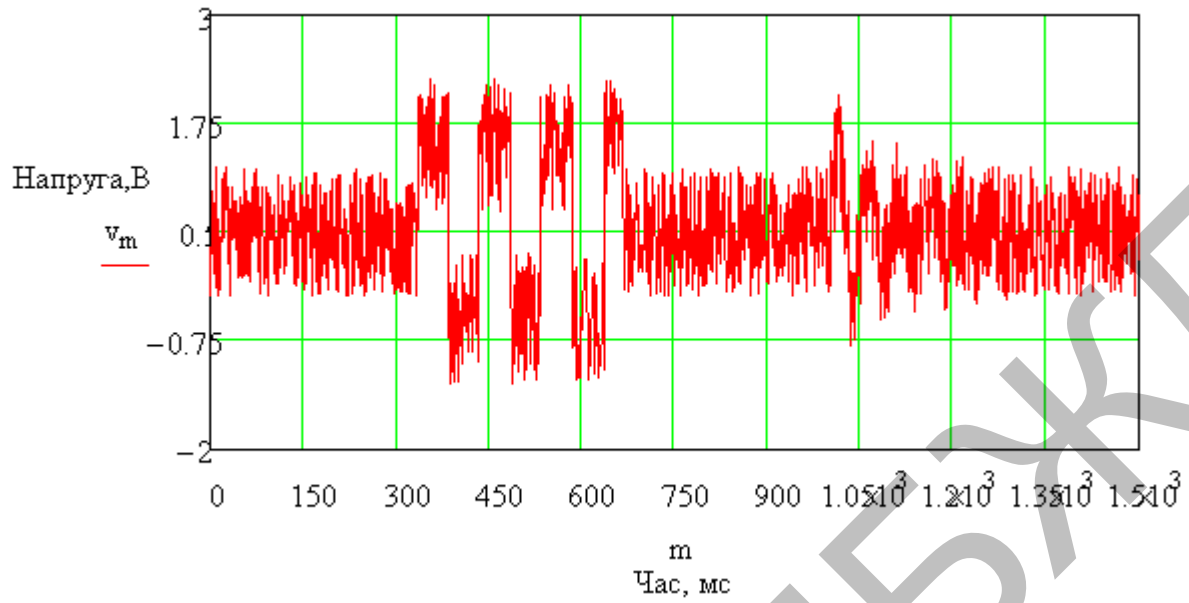


Рисунок 2.8 – Віконне перетворення Фур'є з сигналом шуму

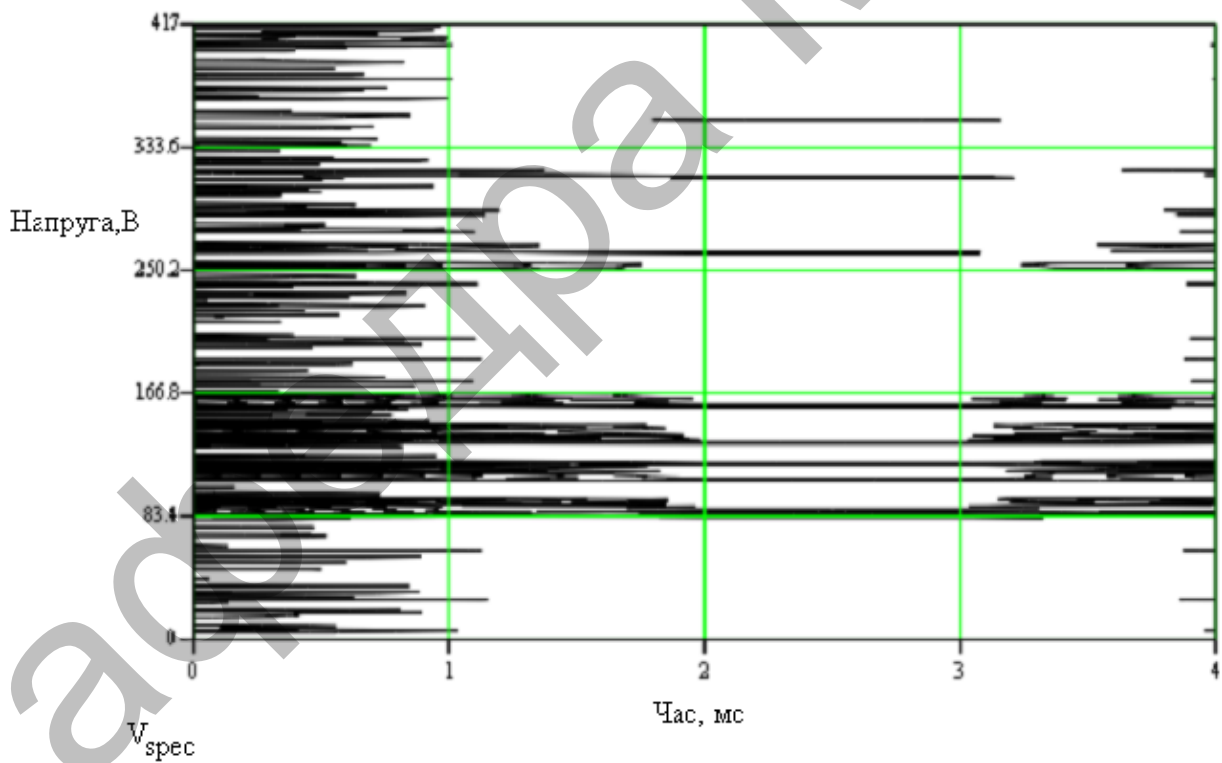


Рисунок 2.9 – Віконне перетворення Фур'є з сигналом шуму

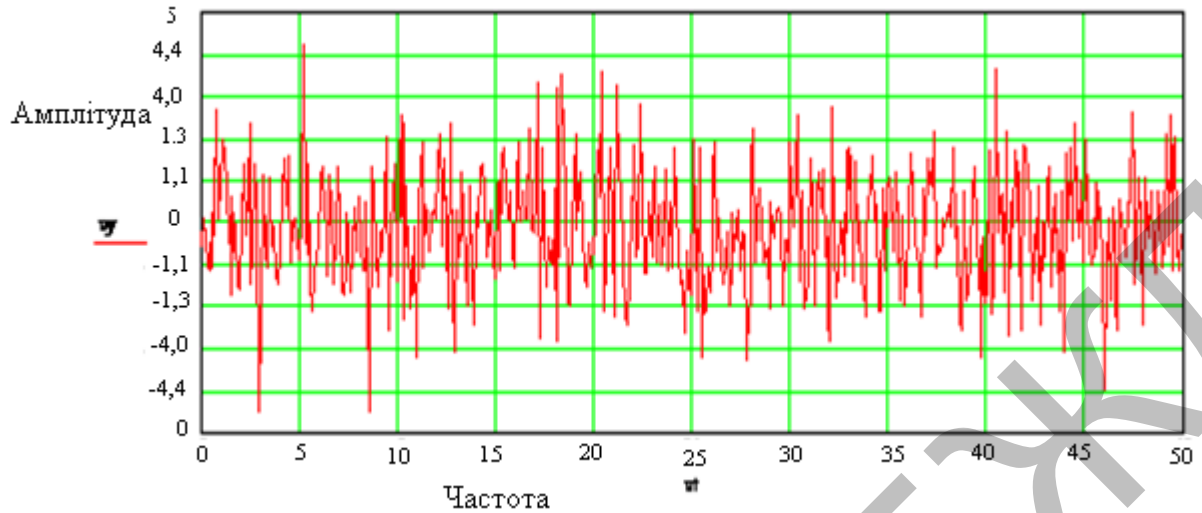


Рисунок 2.10 – Осцилограма сигналу, що має чотири косинусоїдальні компоненти з частотами 30, 20, 10 і 5 Гц

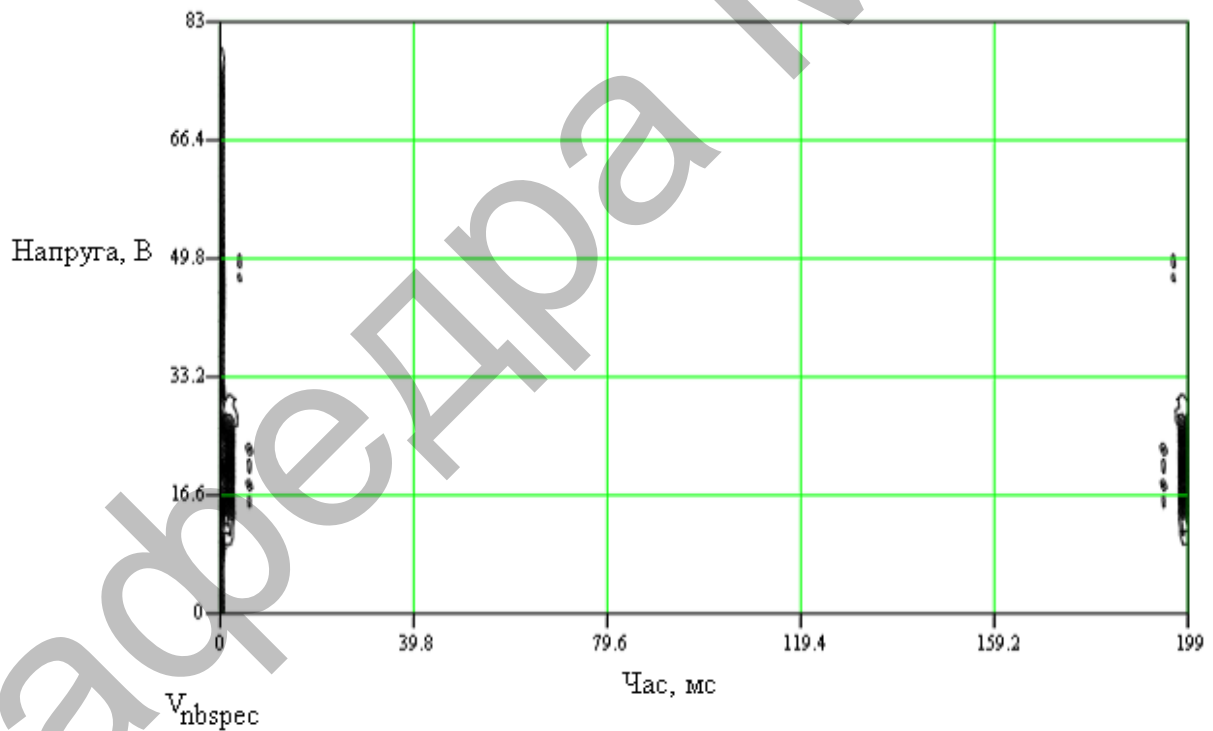


Рисунок 2.11 – Віконне перетворення Фур'є (розмір вікна – 5 відліків)

Реальний сигнал вібрації містить кілька частотних компонент, що кожна з компонент (починаючи з самої високочастотної) на інтервалі часу 1000 мс існує

всього по 250 мс. Таким чином, переходимо від розгляду стаціонарного сигналу до розгляду не стаціонарного сигналу [12].

2.3 Використання вейвлет-перетворення для дослідження вимірювальних сигналів

Вейвлет-перетворення одновимірного сигналу полягає в його розкладанні по базису, сконструйованому з такою функцією, яка володіє певними властивостями солітоноподібної функції (вейвлета) за допомогою масштабних змін і перенесень. Кожна з функцій цього базису характеризує як певну просторову (часову) частоту, так і її локалізацію у фізичному просторі (часу).

Таким чином, на відміну від традиційного вживаного для аналізу сигналів перетворення Фур'є вейвлет-перетворення забезпечує двовимірну розгортку досліджуваного одновимірного сигналу, при цьому частота і координата розглядаються як незалежні змінні. В результаті з'являється можливість аналізувати властивості сигналу одночасно у фізичному (час, координата) і в частотному просторах. Сказане легко узагальнюється на не одновимірні сигнали або функції [11].

У зарубіжній літературі вже прийнято спектр Фур'є називати *single spectrum* на відміну від спектру, отриманого на основі коефіцієнтів вейвлет-перетворення, - *time - scale spectrum* або *wavelet spectrum*.

Область використання вейвлетів не обмежується аналізом властивостей сигналів і полів різної природи, отриманих чисельно, в експерименті або при спостереженнях. Вейвлети починають застосовуватися і для прямого чисельного моделювання – як ієрархічний базис, добре пристосований для опису динаміки складних нелінійних процесів, збурень, що характеризуються взаємодією, в широких діапазонах просторових і часових частотах.

Відомі труднощі, що зустрічаються при обробці коротких високочастотних сигналів або сигналів з локалізованими частотами. Вейвлет-перетворення виявляється зручним інструментом для адекватної розшифровки таких даних,

оскільки елементи його базису добре локалізовані і володіють рухомими частотно-часовим вікном.

Далеко не випадково багато дослідників називають вейвлет аналіз «математичним мікроскопом» – назва чудово відображає властивість методу зберігати хороший дозвіл на різних масштабах. Здатність цього «мікроскопа» виявити внутрішню структуру істотно неоднорідного об'єкту і випромінювати його локальні скейлінгові властивості продемонстровані на багатьох прикладах, зокрема, на таких класичних, як фрактальні функції Вейерштраса і імовірнісні заходи канторовських рядів [12]. Застосування вейвлет-аналізу до турбулентного поля швидкості у вітровому тунелі при великих числах Рейнольдса вперше дало наочне підтвердження наявності каскаду Річардсона. Показана схожість енергетичного каскадного процесу із структурою мультифрактальних неоднорідних канторовських рядів.

Ще ефективнішим виявилось застосування вейвлет-аналізу до мультифрактальних інваріантних заходів деяких добре відомих динамічних систем, що моделюють спостережувані в дисипативних системах ситуації переходу до хаосу.

Таким чином, вейвлети можуть з успіхом застосовуватися для вирішення різних проблем. Проте вони ще недостатньо широко відомі кругу дослідників, експериментальних і натурних даних, що займаються аналізом. У справжній роботі зроблена спроба по можливості наочно і просто викласти відомості з теорії вейвлетів, необхідні при практичному застосуванні вейвлет-перетворення для аналізу сигналів різної природи [12].

Інтегральне перетворення Фур'є і ряди Фур'є є основою гармонійного аналізу. Отримувані в результаті перетворення коефіцієнти Фур'є піддаються достатньо простою фізичній інтерпретації, причому простота у жодному випадку не зменшує важливості подальших висновків про характер досліджуваного сигналу. Застосування інтегрального перетворення і рядів Фур'є (у обчисленнях, аналітичних перетвореннях) дуже наочно, всі необхідні властивості і формули

випишуються за допомогою всього двох дійсних функцій $\sin t, \cos t$ (або однієї комплексної-синусоїдальної хвилі $\exp(it) = \cos t + i \sin t$, і достатньо легко доводяться.

Вейвлет-перетворення не так добре і широко відомо, оскільки застосовується порівняно недавно і математичний апарат знаходиться у стадії активної розробки. Тому для більшої наочності будемо, слідуючи [11], вводити необхідні поняття вейвлет-аналізу, проводячи аналогії і порівняння з аналізом Фур'є, значущість і привабливість якого для широкого кола дослідників незаперечні і перевірені часом.

Визначення, властивості і їх наслідки проводяться для одновимірних функцій, рядів даних. При необхідності все сказане може бути узагальнене на багатовимірні випадки. Для визначеності ми говоримо про функції, залежні від часу, про часові ряди і, відповідно, про частоти. Проте без порушення спільності незалежна координата може бути просторовою (з відповідними хвилевими числами) і будь-який інший.

Одновимірне перетворення Фур'є дає також одновимірну інформацію про відносний внесок (амплітудах) різних часових масштабів (частот). Результатом вейвлет-перетворення одновимірного ряду є двовимірний масив амплітуд вейвлет-перетворення – значень коефіцієнтів $W(a, b)$. Розподіл цих значень в просторі (a, b) дає інформацію про еволюцію відносного внеску компонент різного масштабу в часі і називається спектром коефіцієнтів вейвлет-перетворення, (частотно) масштабно-часовим спектром або вейвлет-спектром (time - scale spectrum, або wavelet spectrum на відміну від single spectrum перетворення Фур'є).

Спектром $W(a, b)$ одновимірного сигналу є поверхня в тривимірному просторі. Способи візуалізації цієї інформації можуть бути різними. Замість зображення поверхонь часто представляють їх проекції на площину ab з ізолініями або ізорівнями, що дозволяють прослідкувати зміну інтенсивності амплітуд вейвлет-перетворення на різних масштабах і в часі, а також картини

ліній локальних екстремумів цих поверхонь (так званий «skeleton», що чітко виявляють структуру аналізованого процесу. Термін «скелет» або «скелетон» добре відображає характер картин ліній локальних екстремумів.

Для дослідження дискретного вейвлет-перетворення використовуватимемо програму на Python та сигнал із динамічним частотним спектром, який з часом збільшується. Початок сигналу містить низькочастотні значення, а кінець сигналу містить частоти короткохвильового діапазону (рис.2.12). Це дає нам змогу легко визначити, яку частину частотного спектра відфільтровано, просто поглянувши на часову вісь:

```
from pylab import *
from numpy import*
x = linspace(0, 1, num=2048)
chirp_signal = sin(250 * pi * x**2)
fig, ax = subplots(figsize=(9,4))
ax.set_title("Сигнал з динамічним частотним спектром ")
ylabel('Амплітуда')
xlabel('Час')
ax.plot(chirp_signal)
grid(color='k', linestyle='--', linewidth=0.5)
show()
```

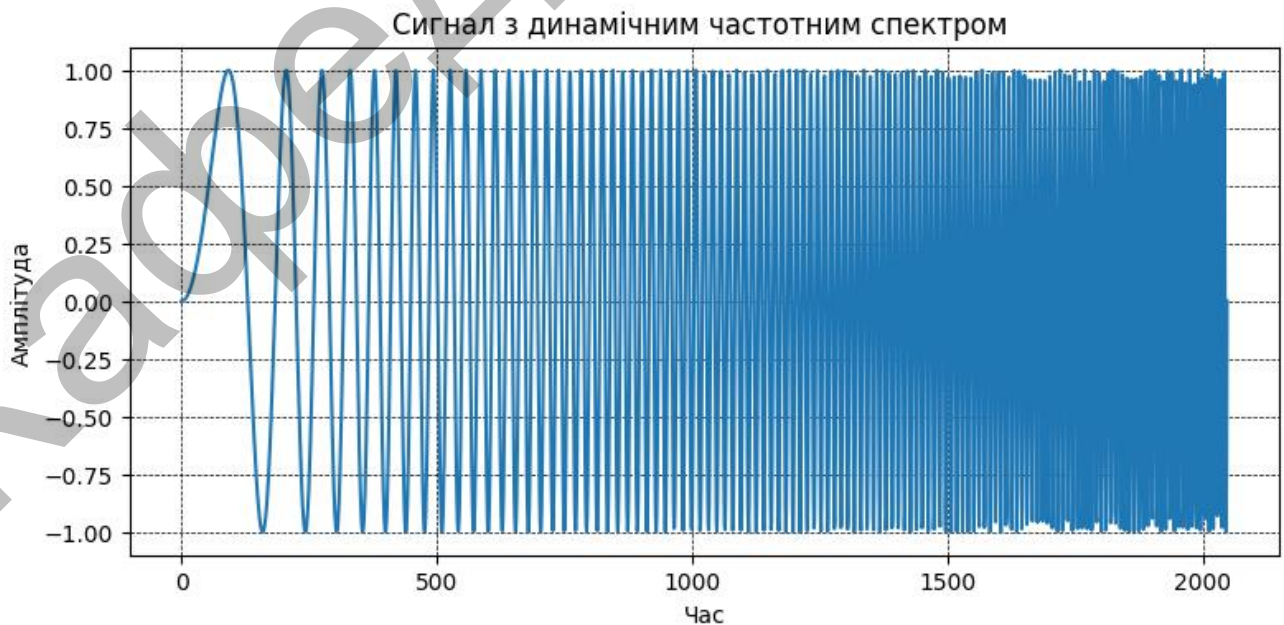


Рисунок 2.12 – Сигнал з динамічним частотним спектром

Дискретним вейвлет-перетворенням у бібліотеці PyWavelets 1.0.3 є функція `pywt.dwt()`, яка обчислює коефіцієнти першого рівня апроксимації `cA` та коефіцієнти деталізації `cD` вейвлет-перетворення сигналу, заданого таким вектором (рис. 2.13):

```
import pywt
from pylab import *
from numpy import *
x = linspace (0, 1, num = 2048)
y = sin (250 * pi * x**2)
st='sym5'
(cA, cD) = pywt.dwt(y, st)
fig, ax = subplots(figsize=(9,4))
subplot(2, 1, 1)
plot(cA, 'b', linewidth=1, label='cA, level-1')
ylabel('Амплітуда')
xlabel('Час')
grid(color='k', linestyle='--', linewidth=0.5)
legend(loc='best')
subplot(2, 1, 2)
plot(cD, 'r', linewidth=1, label='cD, level-1')
ylabel('Амплітуда')
xlabel('Час')
grid(color='k', linestyle='--', linewidth=0.5)
legend(loc='best')
show()
```

Лістинг програми для 2, 3, 4 та 5 рівнів вейвлет-перетворення сигналу має наступний вид:

```
import pywt
from pylab import *
from numpy import *
x = linspace (0, 1, num = 2048)
y = sin (250 * pi * x**2)
st='sym5'
(cA, cD) = pywt.dwt(y, st)
(cA, cD) = pywt.dwt(cA, st)
(cA, cD) = pywt.dwt(cA, st)
(cA, cD) = pywt.dwt(cA, st)
(cA, cD) = pywt.dwt(cA, st)
```

```

fig, ax = subplots(figsize=(9,7))
subplot(2, 1, 1)
plot(cA,'b',linewidth=2, label='cA,level-5')
ylabel('Амплітуда')
xlabel('Час, мс')
grid(color='k', linestyle='--', linewidth=0.5)
legend(loc='best')
subplot(2, 1, 2)
plot(cD,'r',linewidth=2, label='cD,level-5')
ylabel('Амплітуда')
xlabel('Час, мс')
grid(color='k', linestyle='--', linewidth=0.5)
legend(loc='best')
show()

```

Результати виконання першого рівня вейвлет-перетворення сигналу вібрацій приведено на рис. 2.13, а п'ятого рівня на рис. 2.14

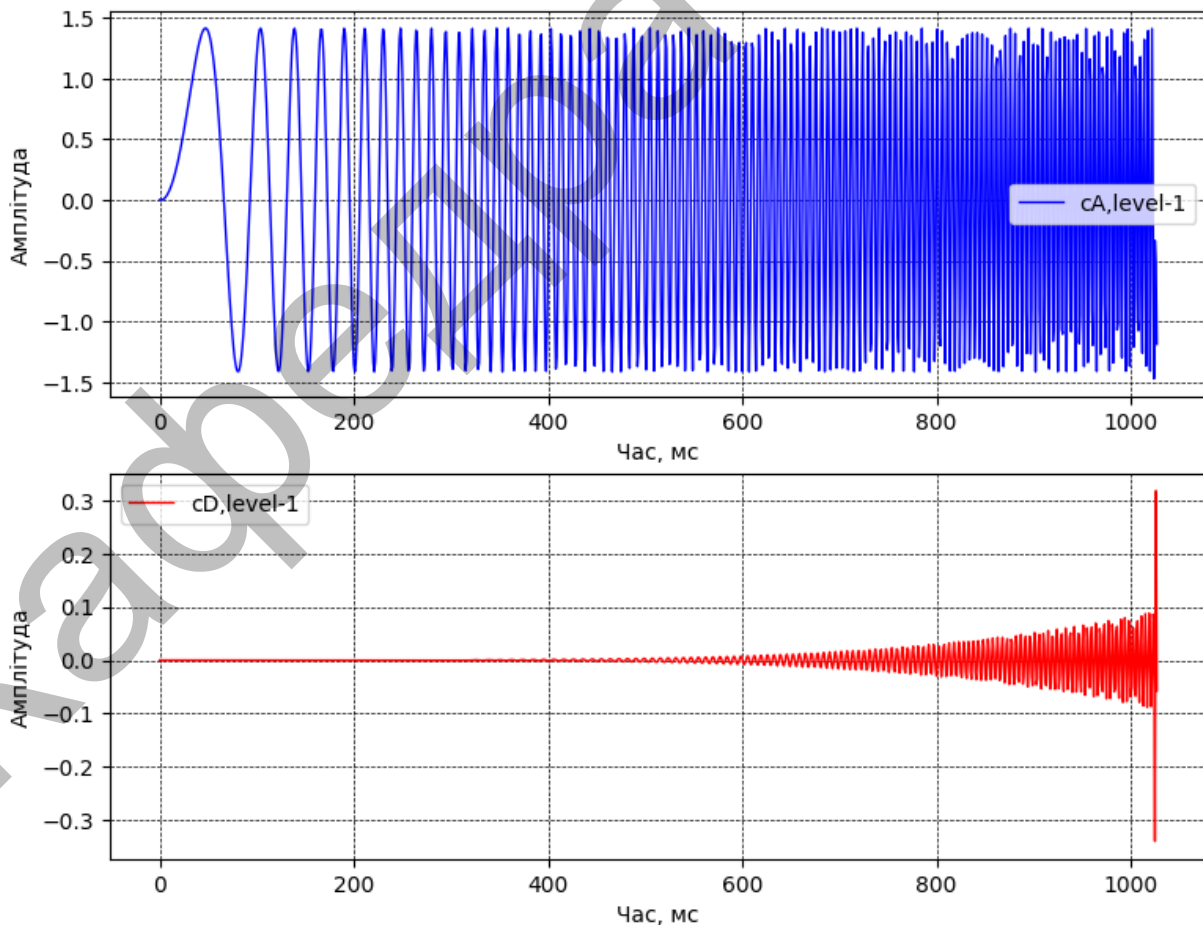


Рисунок 2.13 – Перший рівень вейвлет-перетворення сигналу

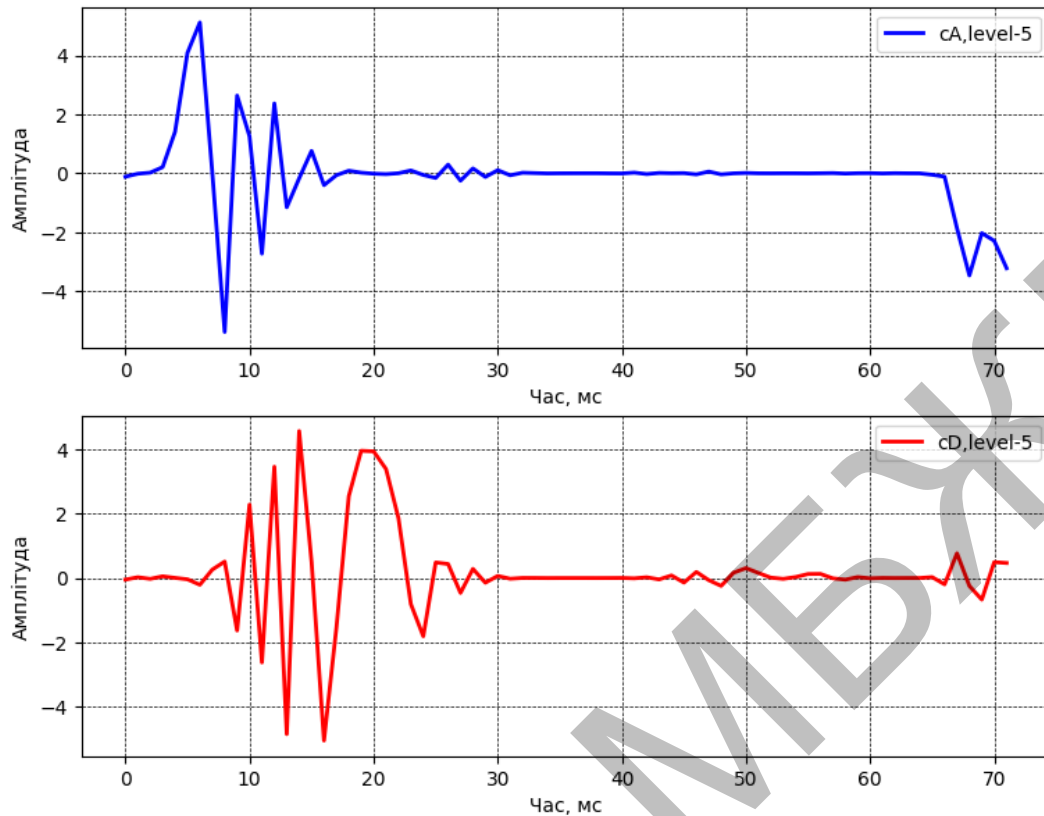


Рисунок 2.14 – Перший рівень вейвлет-перетворення сигналу

Коефіцієнти апроксимації (сА) (рис. 2.14) представляють вихід фільтра нижніх частот (фільтра усереднення) DWT. Коефіцієнти деталізації (сD) представляють вихід фільтра високих частот (різницевого фільтра) дискретного вейвлет-перетворення.

Однак, дискретне вейвлет-перетворення завжди реалізується як банк фільтрів (хвильових функцій) у вигляді каскаду високочастотних і низькочастотних фільтрів. Банки фільтрів є дуже ефективним способом розділення сигналу на кілька частотних піддіапазонів.

На першому етапі (рис.2.13) з малим масштабом аналізуємо високочастотну поведінку сигналу. На другому етапі шкала збільшується з коефіцієнтом два (частота зменшується з коефіцієнтом два), і ми аналізуємо поведінку близько половини максимальної частоти. На третьому етапі масштабний фактор дорівнює чотирьом, і ми аналізуємо частотну поведінку

близько чверті максимальної частоти. І це триває доти, доки ми не досягнемо максимального рівня декомпозиції (рис.2.14).

Максимальний рівень декомпозиції можна обчислити за допомогою функції `pywt.wavedec()`, при цьому декомпозиція і деталізація матиме вигляд:

```
import pywt
from pywt import wavedec
from pylab import *
from numpy import *
x = linspace (0, 1, num = 2048)
data= sin (250 * pi * x**2)
n_level=pywt.dwt_max_level(len(data), 'sym5')
print('Максимальний рівень декомпозиції: %s'%n_level)
x = linspace (0, 1, num = 2048)
y = sin (250 * pi * x**2)
st='sym5'
coeffs = wavedec(y, st, level=7)
subplot(2, 1, 1)
plot(coeffs[0], 'b', linewidth=2, label='cA, level-7')
grid(color='k', linestyle='--', linewidth=0.5)
legend(loc='best')
subplot(2, 1, 2)
plot(coeffs[1], 'r', linewidth=2, label='cD, level-7')
grid(color='k', linestyle='--', linewidth=0.5)
legend(loc='best')
show()
Максимальний рівень декомпозиції: 7
```

Декомпозиція зупиняється, коли сигнал стає коротшим, ніж довжина фільтра для даного вейвлета `sym5`. Для прикладу припустимо, що в нас є сигнал із частотами до 1000 Гц. На першому етапі ми поділяємо наш сигнал на низькочастотну і високочастотну частини, тобто 0-500 Гц і 500-1000 Гц. На другому етапі ми беремо низькочастотну частину і знову поділяємо її на дві частини: 0-250 Гц і 250-500 Гц. На третьому етапі ми розділили частину 0-250 Гц на частину 0-125 Гц і частину 125-250 Гц. Це триває доти, доки ми не досягнемо максимального рівня декомпозиції (рис.2.15).

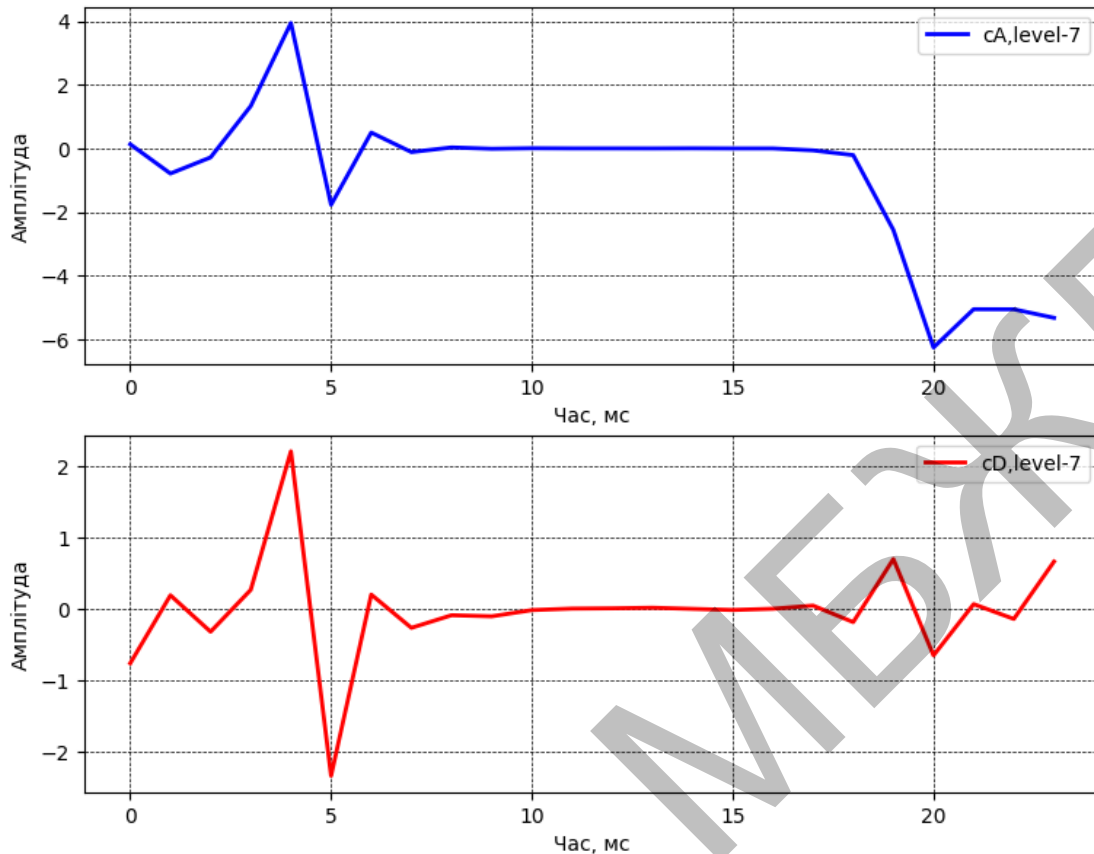


Рисунок 2.15 – Сьомий рівень вейвлет-перетворення сигналу

Коли потрібно використовувати вейвлет-перетворення замість перетворення Фур'є? Перетворення Фур'є працюватиме дуже добре, коли частотний спектр стаціонарний. При цьому частоти, присутні в сигналі, не залежать від часу, і сигнал містить частоти $x\text{Hz}$, які присутні в будь-якому місці сигналу. Що нестаціонарніший сигнал, то гіршими будуть результати. Це проблема, оскільки більшість сигналів, які ми бачимо в реальному житті, нестаціонарні за своєю природою.

Перетворення Фур'є має високу роздільну здатність у частотній області, але нульову роздільну здатність у часовій області. Покажемо це на наступних двох прикладах.

На графіку (рис.2.16) всі чотири частоти присутні в сигналі протягом усього часу його дії.

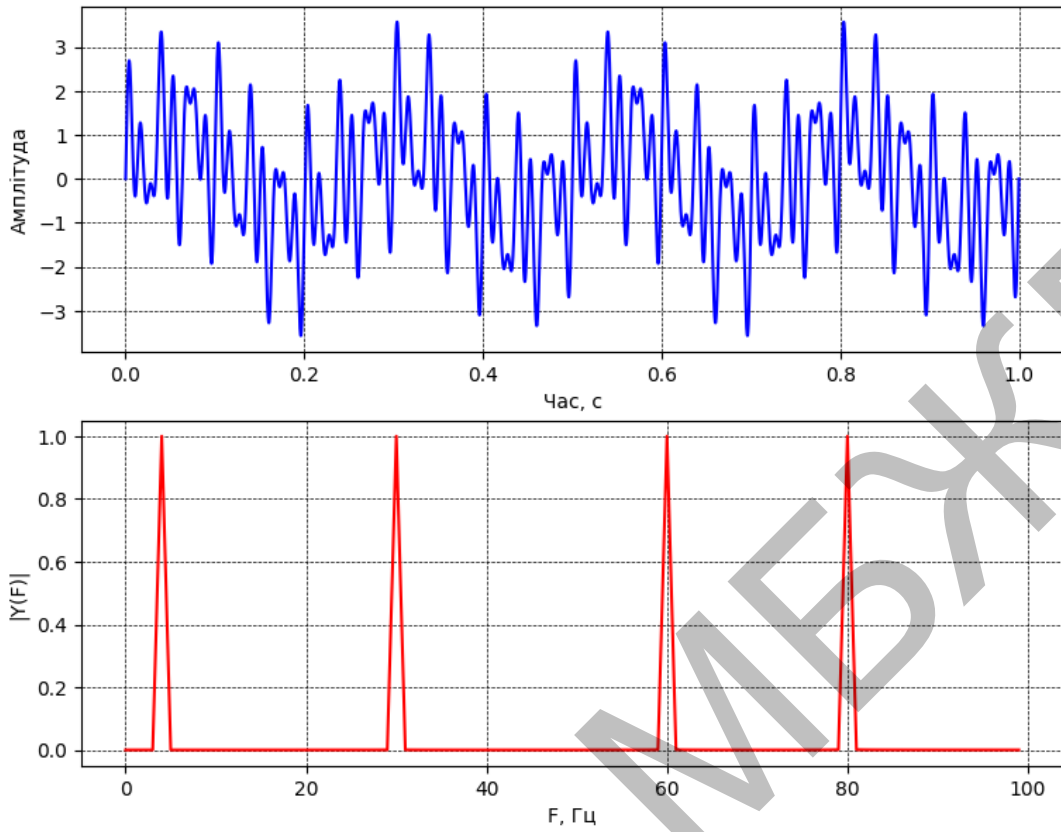


Рисунок 2.16 – Перший рівень вейвлет-перетворення сигналу

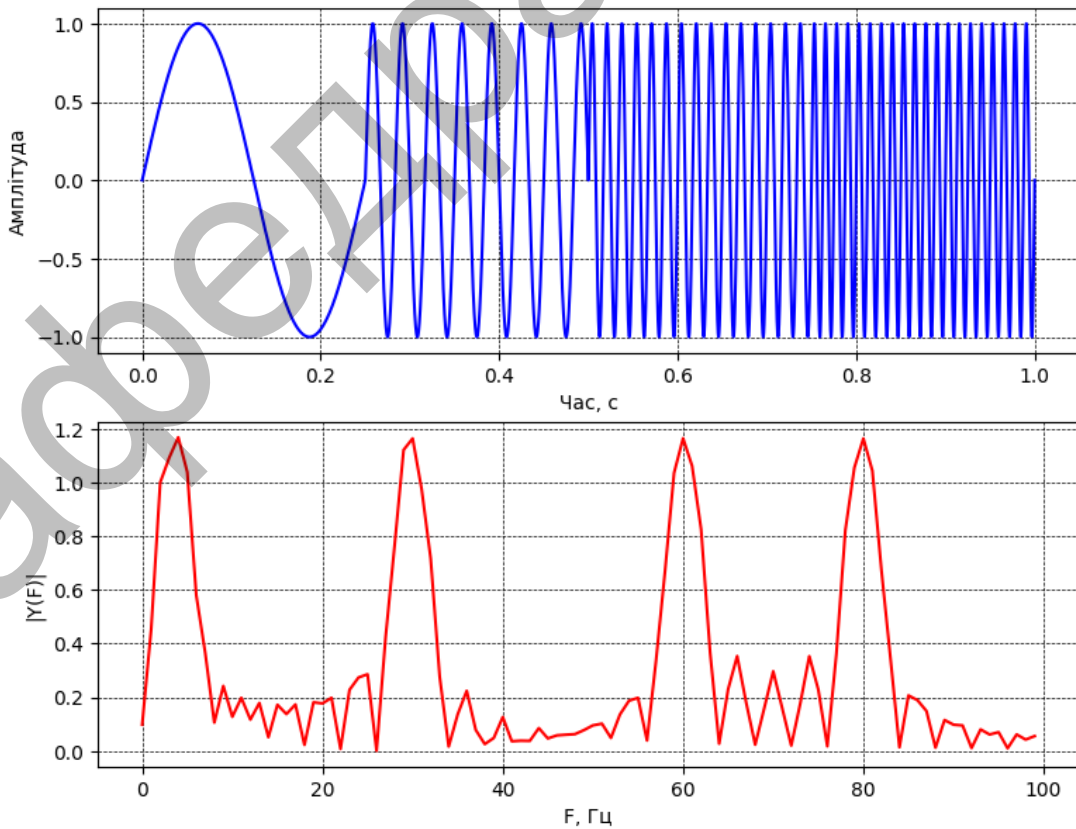


Рисунок 2.17 – Перший рівень вейвлет-перетворення сигналу

На графіку (рис.2.17) сигнали не перекриваються в часі, бічні пелюстки зумовлені розривом між чотирма різними частотами.

Для двох частотних спектрів, що містять точно такі самі чотири піки, перетворення Фур'є не може визначити, де в сигналі ці частоти присутні. Найкращим підходом для аналізу сигналів із динамічним частотним спектром є вейвлет-перетворення.

2.4 Вейвлет-аналіз даних вимірювань в інтелектуальній вимірювальній системі тиску

Набір даних тиску являє собою набір даних часових рядів, який був отриманий на технічно складному об'єкті в період з 2016 по 2020 рік. Щоб зрозуміти силу масштабограми, давайте візуалізуємо її для набору даних вимірювань разом із вихідними даними часових рядів і його перетворенням Фур'є.

Для вейвлет-аналізу часових рядів необхідно виконати такі дії за пунктами:

1. Вибрати материнський вейвлет: Вибираємо комплексний вейвлет Морле "cmorB-C":

$$\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi B}} \exp\left(-\frac{t^2}{B}\right) \cdot \exp(j2\pi Ct), \quad (2.5)$$

де B – пропускна здатність;

C – Центральна частота.

2. Визначити центральну частоту, прийнявши $dt=0,25$ для нашого часового ряду:

```
import pywt
dt = 0.25
scale=range(1,4)
```

```
frequencies = pywt.scale2frequency('cmor1.0-0.5', scale) / dt
print(frequencies)
[2.          1.          0.66666667]
```

3. Знаходимо перетворення Фур'є материнського вейвлета. Безперервний вейвлет буде оцінюватися в усьому діапазоні.

4. Вибираємо дані для часового ряду.

5. Будуємо часовий ряд із сигналом і його ковзаюче середнє значення на одному графіку:

```
from numpy import *
from scipy import *
import pandas as pd
from pylab import *
import pywt
def get_ave_values(xvalues, yvalues, n = 5):
    signal_length = len(xvalues)
    if signal_length % n == 0:
        padding_length = 0
    else:
        padding_length = n - signal_length//n % n
    xarr = array(xvalues)
    yarr = array(yvalues)
    xarr.resize(signal_length//n, n)
    yarr.resize(signal_length//n, n)
    xarr_reshaped = xarr.reshape((-1,n))
    yarr_reshaped = yarr.reshape((-1,n))
    x_ave = xarr_reshaped[:,0]
    y_ave = nanmean(yarr_reshaped, axis=1)
    return x_ave, y_ave
def plot_signal_plus_average(time, signal, average_over = 5):
    fig, ax = subplots(figsize=(10, 5))
    plt.xticks(fontsize = 12)
    plt.yticks(fontsize = 12)
    time_ave, signal_ave = get_ave_values(time, signal,
    average_over)
    ax.plot(time, signal, color='k', linestyle=':',label='Сигнал')
    ax.plot(time_ave, signal_ave, color='k', linestyle='-',label =
    'Ковзаюче середнє сигналу (n={})'.format(5))
    ax.set_xlim([time[0], time[-1]])
    ax.set_ylabel('Відносна амплітуда сигналу', fontsize=12)
```

```

ax.set_title('Сигнал + Ковзаюче середнє сигналу', fontsize=12)
ax.set_xlabel('Час, мс', fontsize=12)
grid(color='k', linestyle='--', linewidth=0.5)
ax.legend()
show()

df_nino =
N = df_nino.shape[0]
t0=1871
dt=0.25
time = arange(0, N) * dt + t0
signal = df_nino.values.squeeze()
scales = arange(1, 128)
plot_signal_plus_average(time, signal)

```

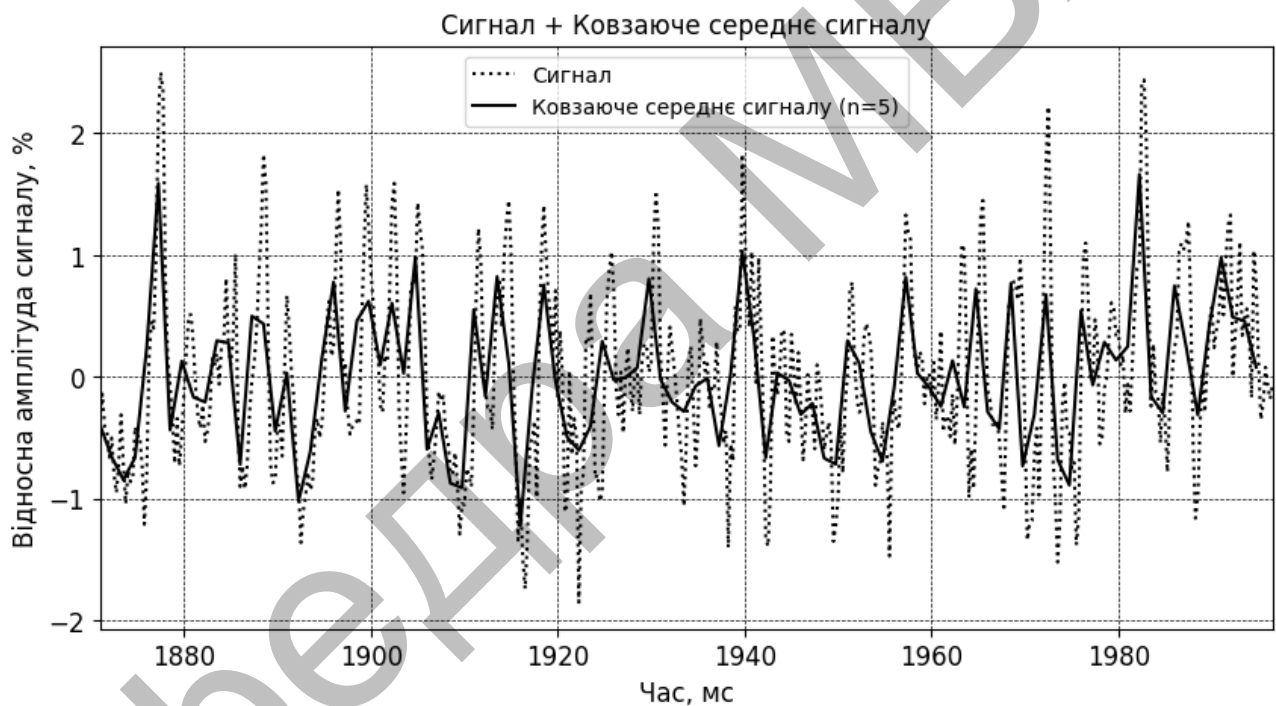


Рисунок 2.18 – Часовий ряд виміряного тиску і його ковзаюче середнє значення

6. Проводимо перетворення Фур'є і модності спектра від часового ряду.

Результати обчислень приведено на рис. 2.19.

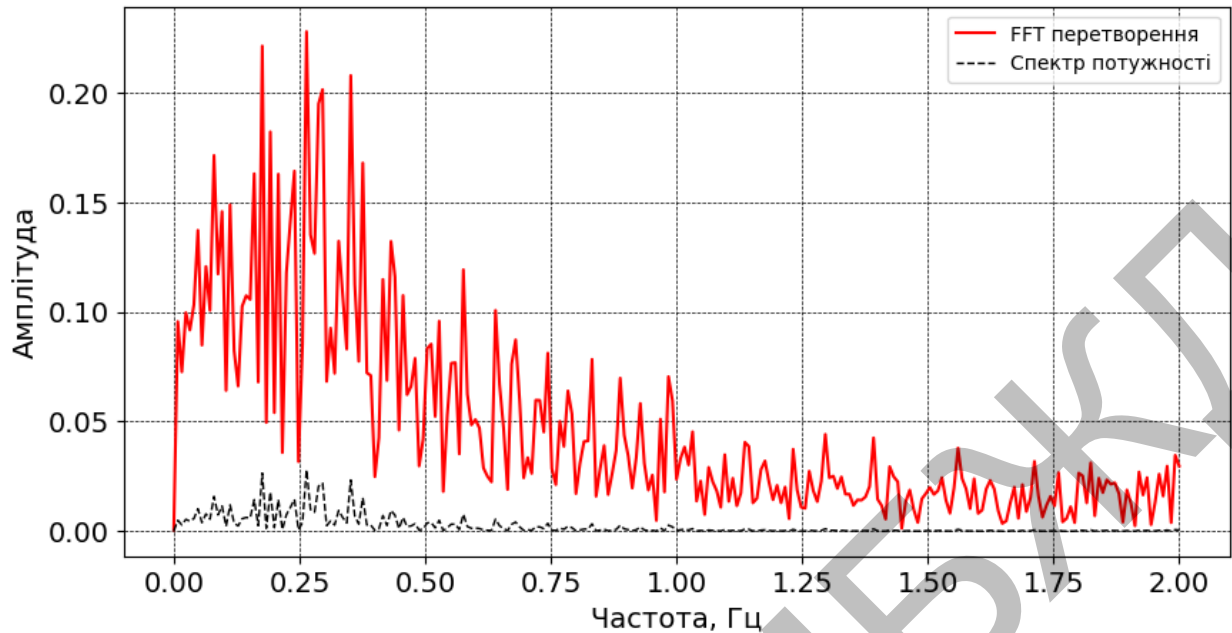


Рисунок 2.19 – Перетворення Фур’є вимірюного тиску

7. Визначаємо масштаби: `scales = arange(1, 128)`; `levels = [2** -4, 2** -3, 2** -2, 2** -1, 2** 0, 2** 1, 2** 2, 2** 3]`.

```

from numpy import *
import pandas as pd
from pylab import *
import pywt
def plot_wavelet(time, signal, scales,
                 waveletname = 'cmor1.0-0.4',
                 cmap = plt.cm.seismic,
                 title = 'Вейвлет-перетворення (спектр потужності)
сигналу',
                 ylabel = 'Період',
                 xlabel = 'Час, мс'):
    dt = time[1] - time[0]
    [coefficients, frequencies] = pywt.cwt(signal, scales,
    waveletname, dt)
    power = (abs(coefficients)) ** 2
    period = 1. / frequencies
    levels = [2** -4 , 2** -3 , 2** -2 , 2** -1 , 2** 0 , 2** 1
, 2** 2 , 2** 3]
    contourlevels = log2(levels)
    fig, ax = subplots(figsize=(15, 10))
    plt.xticks(fontsize = 14)

```

```

plt.yticks(fontsize = 14)
im = ax.contourf(time, log2(period), log2(power),
contourlevels, extend='both', cmap=cmap)
ax.set_title(title, fontsize=14)
ax.set_ylabel(ylabel, fontsize=14)
ax.set_xlabel(xlabel, fontsize=14)
yticks = 2**arange(np.ceil(log2(period.min())),
ceil(log2(period.max()))))
ax.set_yticks(log2(yticks))
ax.set_yticklabels(yticks)
ax.invert_yaxis()
ylim = ax.get_ylim()
ax.set_ylim(ylim[0], -1)
grid(color='k', linestyle='--', linewidth=0.5)
cbar_ax = fig.add_axes([0.92, 0.2, 0.03, 0.6])
fig.colorbar(im, cax=cbar_ax, orientation="vertical")
show()
N = df_nino.shape[0]
t0=1871
dt=0.25
time = arange(0, N) * dt + t0
signal = df_nino.values.squeeze()
scales = arange(1, 128)
plot_wavelet(time, signal, scales)

```

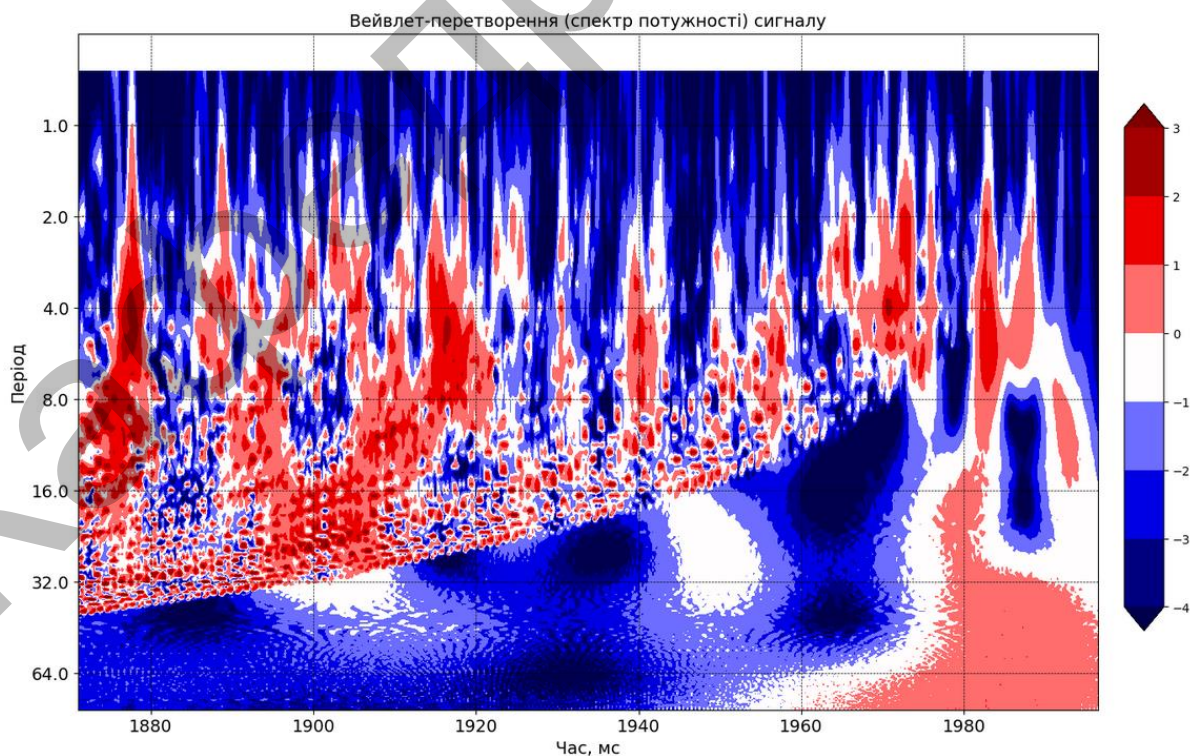


Рисунок 2.20 – Масштабограма вимірюного тиску

На масштабограмі видно, що більша частина потужності спектра сконцентрована на відрізку від 2 до 8 періодів зміни тиску, це відповідає частотам від 0,125 Гц до 0,5 Гц. У спектрі Фур'є спектр потужності так само концентрується навколо цих значень частоти. Однак вейвлет-перетворення також дає нам часову інформацію, а перетворення Фур'є – ні.

Наприклад, на масштабній діаграмі ми бачимо, що до 1920 мс було багато коливань, у той час як між 1960 мс і 1990 мс їх було не так багато. Ми також можемо бачити, що з плином часу відбувається зсув від коротших періодів до довших.

2.5 Використання скалеограми для аналізу виміряного тиску

Скалеограма – зручний інструмент для одномірного аналізу даних з безперервним вейвлет-перетворенням. Скалеограма має такі особливості:

- простота застосування;
- читабельні осі ;
- багато варіантів для зміни масштабу, фільтра спектра;
- підтримка одиниць періодичності та частоти відповідно до маркування;
- швидкість, використовує алгоритм $N * \log(N)$ для перетворень;
- портативність;
- детальні повідомлення про помилки.

Щоб показати використання скалеограми і порівняти результати з результатами попереднього прикладу, скористаємося тими самими даними – результатами вимірювань тиску в інтелектуальній вимірювальній інформаційній системі. Для цих даних: $t_0=1871$, $dt=0,25$.

```
import pandas as pd
import pywt
from numpy import *
```

```

import scaleogram as scg
from pylab import*
nino3 = pd.read_csv(url, sep = "|")
data = nino3.values.squeeze()
N = data.size
t0 = 1871; dt = 0.25
time = t0 + arange(len(data))*dt
wavelet = 'cmor1-0.5'
ax = scg.cws(time, data, scales=arange(1, 128), wavelet=wavelet,
            figsize=(10, 6), cmap="jet", cbar=None, ylabel='Період,
            мс', xlabel="Час, мс",
            title='Вейвлет-перетворення часового ряду\n(спектр
            потужності)',yscale='log')
ticks = ax.set_yticks([2,4,8, 16,32])
ticks = ax.set_yticklabels([2,4,8, 16,32])

```

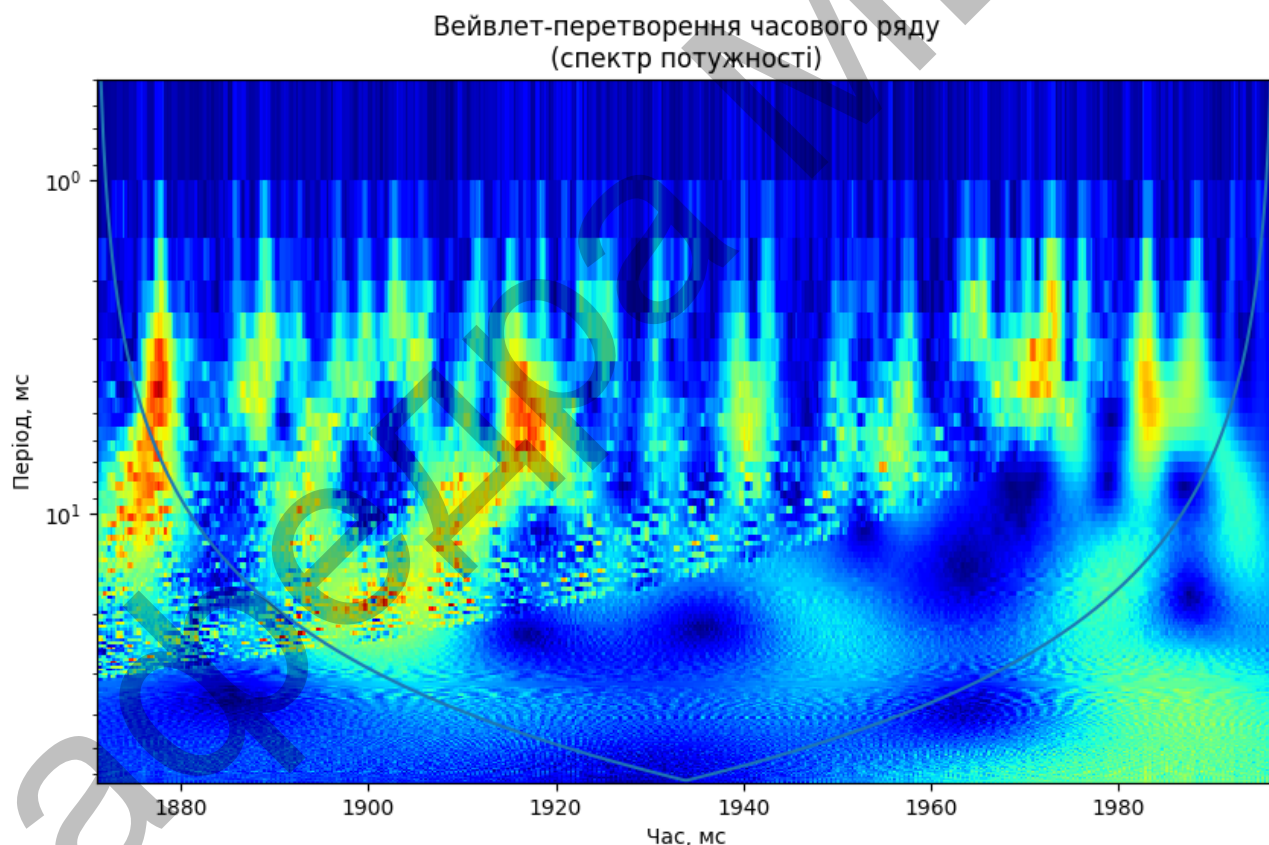


Рисунок 2.21 – Скалеограма виміряного тиску

Якщо порівнювати масштабограму (рис.2.20) з отриманою скалеограмою (рис.2.21), то, за винятком кольорової палітри, вони ідентичні, а отже, показують однакову динаміку часового ряду.

2.6 Висновки до розділу

Проведені дослідження методик застосування вейвлет-перетворення показують, що коли частотний спектр і спектр потужності за Фур'є не дають змоги отримати додаткову інформацію про динаміку часового ряду, тоді використання скалеограми є кращим.

Кафедра МБЖД

3 ЧАС-ЧАСТОТНИЙ АНАЛІЗ ВІБРАЦІЙ РАМИ ДОРОЖНЬОЇ МАШИНИ

Для обґрунтування необхідності підвищення точності вимірювання частоти вібрацій ДМ в квітні-травні 2020 року на полігоні механічного факультету ХНАДУ експериментально був досліджений зразок автогрейдера ДЗк 250В. Основні дослідження проводились в наступних режимах ДМ:

- а) транспортний;
- б) слабо навантажений режим;
- в) середньо навантажений режим;
- г) сильно навантажений режим.

При слабкій загрузці грейдер працював на піщаному ґрунті. Ступінь навантаженості робочого органу складав від 15 % до 20 %.

Режим середнього навантаження властивий тим, що робота грейдера проводилася на глиняному сухому ґрунті, навантаження складало до 40 %.

В сильно навантаженому режимі роботи на змішаному кам'яному ґрунті (пісок з глиною і камінням), при цьому режимі навантаження на робочий орган складала від 80 % до 100 %.

В процесі експериментальних досліджень швидкість руху автогрейдера вибиралася наступним чином:

- незалежно від режиму навантаження швидкість руху складала 3 км/год;
- швидкість вибиралася в відповідності з режимом навантаження:

- а) слабо навантажений режим 5 км/год;
- б) режим середнього навантаження 3 км/год;
- в) сильно навантажений режим 1 км/год.

Вимірювальна інформація, отримана за результатами експериментальних досліджень характеризується:

- а) великим числом вхідних і вихідних параметрів;
- б) взаємною залежністю вимірювальних параметрів;

в) низьким ступенем упорядкованості вхідного потоку вимірjuвальної інформації;

г) малим часом, наданим експериментаторові для вимірjuвання і оцінки отриманих даних на кожній ступені вимірjuвання;

д) наявністю неконтрольованих збурювань (похибки вимірjuвань, особливості поведження конструкції при експериментах);

е) необхідністю оцінки вірогідності наданої експериментаторові інформації.

3.1 Результати експериментальних досліджень параметрів вібрацій на раму ДЗк 250В

Результати експериментальних досліджень приведені на рис. 3.3-3.8.

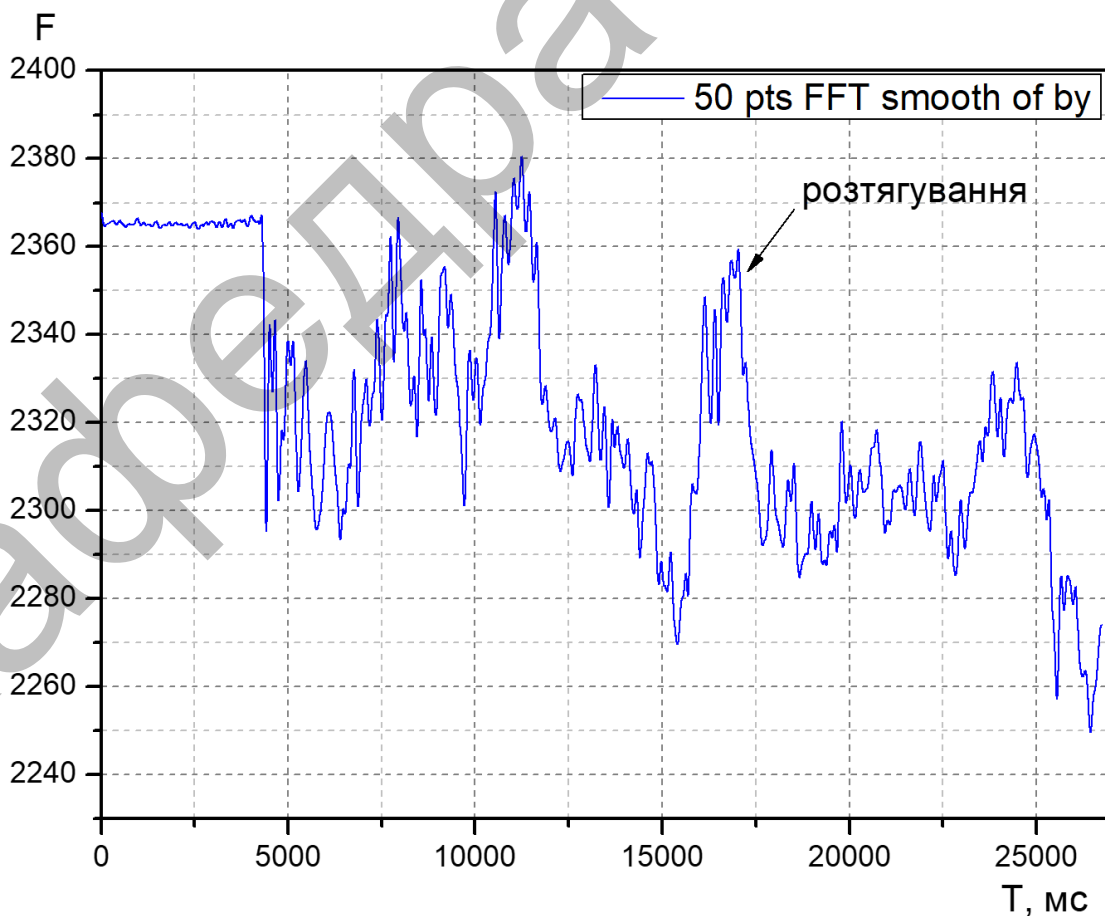


Рисунок 3.1 – Результуючий вектор деформацій бокової поверхні рами автогрейдера

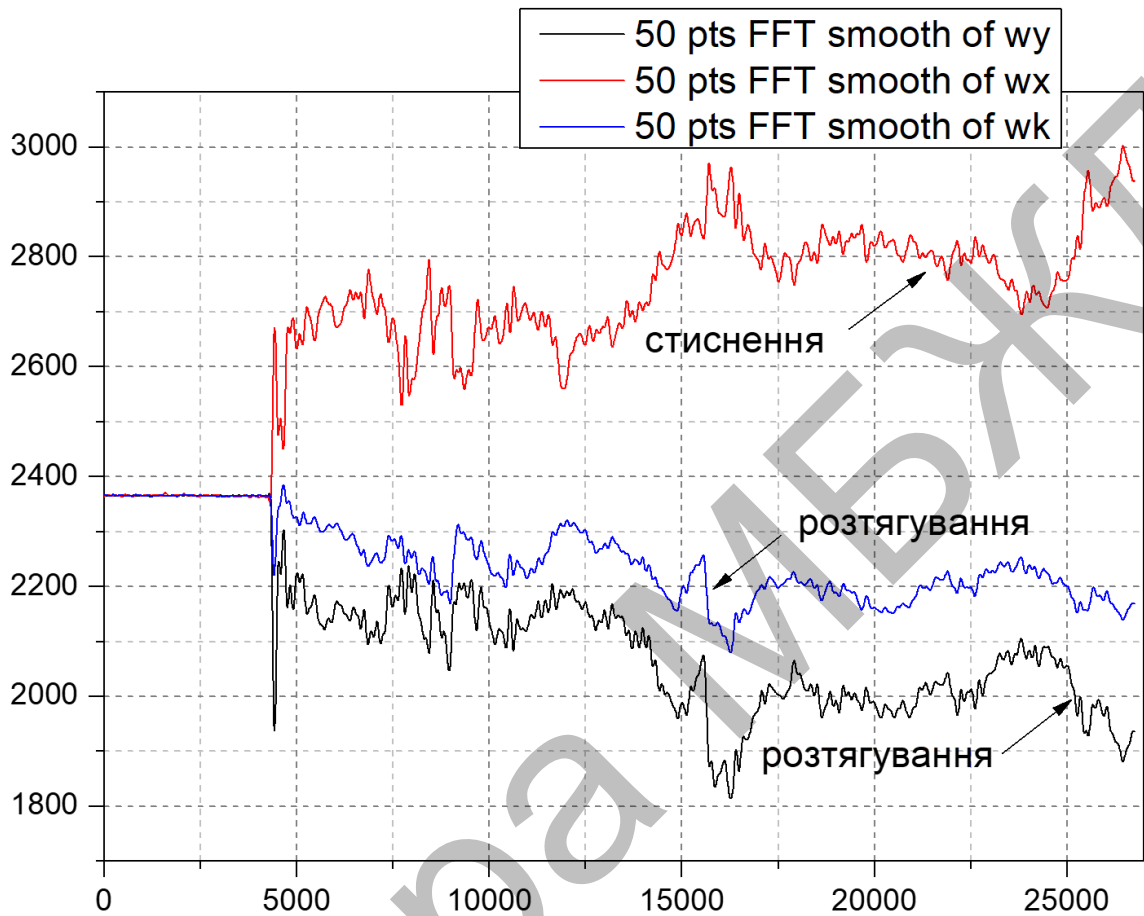


Рисунок 3.2 – Деформації на верхній поверхні рами автогрейдера

Аналіз отриманих експериментальних даних, які відображені на рис. 3.1 та рис. 3.2 свідчить про те, що:

1. Динамічні навантаження, які діють на автогрейдер носять стохастичний характер.

2. Не залежно від режиму роботи автогрейдера мають місце коливання всієї динамічної системи с періодом T від 500 мс до 800 мс, частотою від 2 Гц до 1265 Гц. Ці коливання приводять до вібрацій рами автогрейдера [5]. Поряд з цим є також і вібрації робочого органу, вони міняються в залежності від режиму роботи і становлять:

а) для слабо навантаженого режиму – 10 Гц;

б) для середньо навантаженого режиму – 7 Гц;

в) для сильно навантаженого режиму – 5 Гц.

Таким чином, як показали результати експериментальних досліджень, період коливань динамічних навантажень на робочий орган лежить в межах від 200 мс до 100 мс (від 5 Гц до 10 Гц). Ці коливання в свою чергу, незалежно від режиму роботи, передаються на раму автогрейдера і в ній виникають коливання більш низької частоти від 0,1 Гц до 1,25 Гц.

Поряд з вище сказаним слід відмітити те, що результати вимірювання параметрів вібрацій рами автогрейдера та робочих органів в значній мірі залежали як від місця установки датчиків так і від їх типу.

Експериментальні дослідження параметрів вібрацій рами та робочих органів автогрейдера склались з двох етапів [14].

На першому етапі вібрації рами автогрейдера вимірювались за допомогою аналогових п'єзоелектричного та механічного акселерометрів. Акселерометри встановлювались посередині рами автогрейдера та в його центрі мас (в кабіні водія).

На другому етапі для вимірювання вібрацій рами та робочих органів автогрейдера використовувалась вимірювальна інформація з тензодатчиків вимірювання деформацій рами автогрейдера.

Аналіз результатів експериментальних досліджень першого етапу показав, що аналогові п'єзоелектричні та механічні акселерометри мають досить низьку чутливість і не дозволяють вимірювати параметри вібрацій рами автогрейдера. Так їхня нижня гранична частота вимірювань становить (в залежності від типу та модифікації) від 10 Гц до 20 Гц. Також внаслідок їх інерційності неможливо вимірювати скачки періоду вібрацій рами і робочих органів автогрейдера. Таким чином така вимірювальна інформація не є достовірною.

Подальший порівняльний аналіз отриманих експериментальних даних вимірювання параметрів вібрацій рами автогрейдера показав, що спочатку тензодатчиками фіксувались коливання деформацій, а лише через від 200 мс до 350 мс спрацьовували акселерометри. Це свідчить про те, що джерелом вібрацій рами автогрейдера є насамперед упорядкований хаотичний характер зміни

динамічних навантажень на робочі органи та раму автогрейдера. Під їх дією в рамі виникають коливання деформацій, а це призводить до виникнення вібрацій. Тому з метою ранньої діагностики рами автогрейдера було прийнята в якості вихідної, вимірювальна інформація тензодатчиків [18].

Як встановлено раніше, ступінь вібрації рами, амплітуда та період коливання вібрацій рами автогрейдера в значній мірі залежить від режиму роботи дорожньої машини (величини динамічних навантажень) і місця розташування тензодатчиків на рамі автогрейдера.

Робочою групою прийнята гіпотеза про упорядковану хаотичну дію вібрації на раму автогрейдера, як у просторі так і в часі. Для дослідження цього явища була додатково розроблена методика експериментальних досліджень.

3.2 Вейвлет-аналіз вимірювальних часових вибірок

З метою підвищення достовірності та точності амплітуди та частоти вібрацій рами та робочих органів автогрейдера на основі методики вейвлет-аналізу часових рядів, приведеної у розділі 2, був розроблений та апробований алгоритм вейвлет-аналізу вимірювальних часових вибірок.

Основними завданнями запропонованого алгоритму (рис. 3.3) є:

— знаходження кореляційних зв'язків між вхідним вимірним часовим рядом вібрацій рами автогрейдера та вейвлетами типів `cmor1-1,5`; `cgau5`; `cgau1`; `shan0.5-2` та `mexh`;

— проведення тотожності значимих спектральних ліній для заданого рівня значимості $q \ll 1$;

— виявити сигнали вібрацій які перевищують заданий поріг виявлення.

Структурна схема алгоритму приведена на рис. 3.3. Даний алгоритм був реалізований в мові програмування Python. Отримані результати приведені на рис. 3.4-3.7. Аналіз отриманих результатів показує, що при наявності відношення сигнал/шум = 4 запропонований алгоритм з вірогідністю $P = 0,9$ дозволяє виявити сигнали вібрації.



Рисунок 3.3 – Алгоритм вейвлет-аналізу вимірювальних часових вибірок.

Вейвлет-перетворення часового ряду
(спектр потужності)

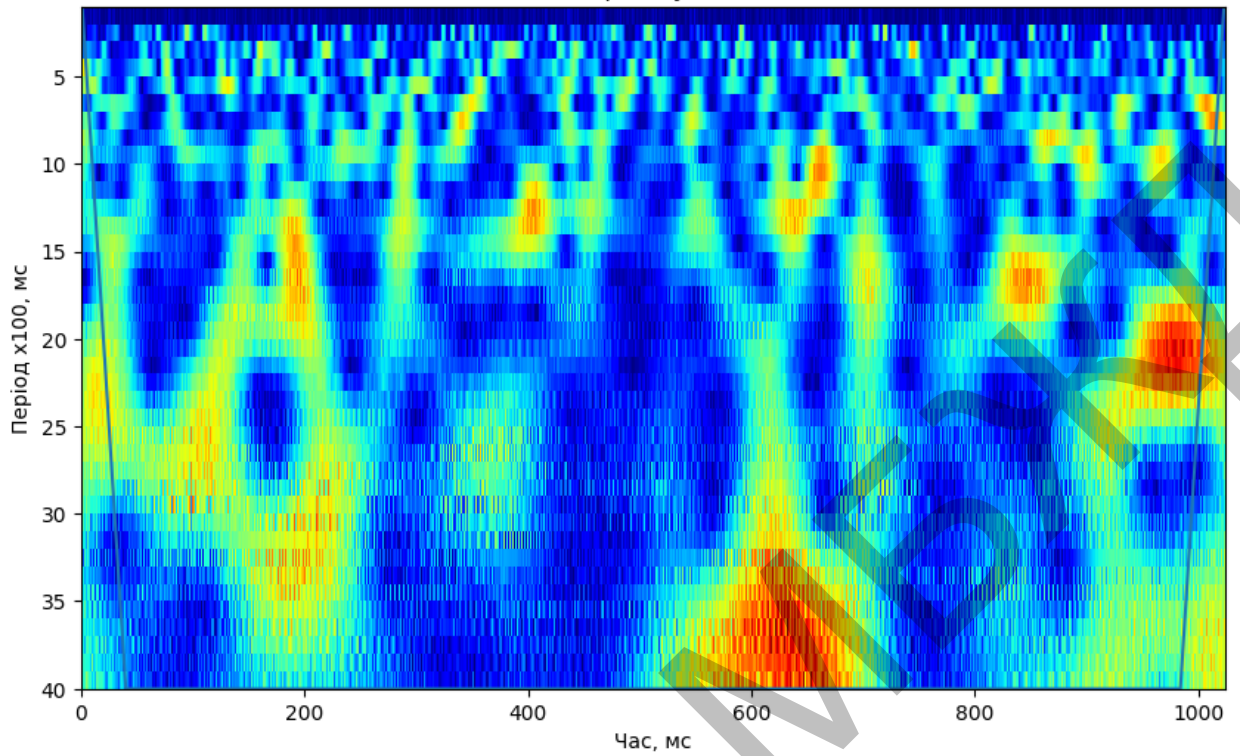


Рисунок 3.4 – Скалеограма вібрацій (вейвлет стор 1-1,5)

Вейвлет-перетворення часового ряду
(спектр потужності)

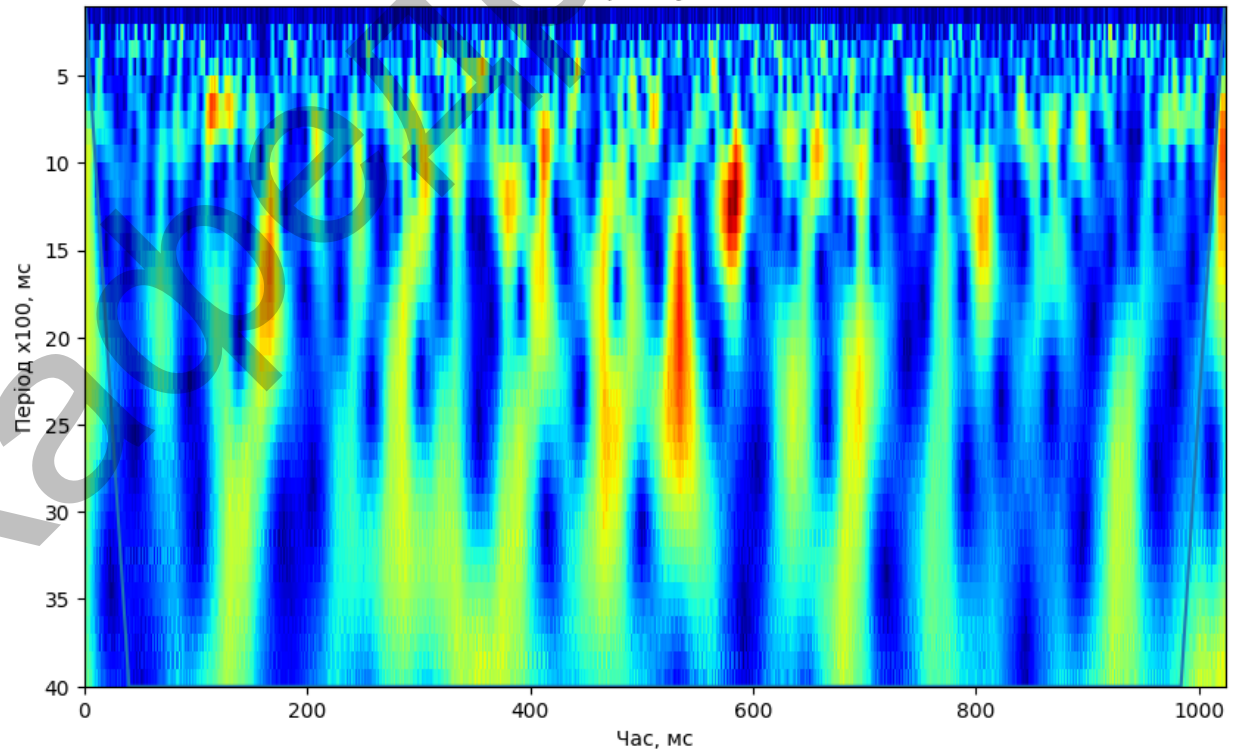


Рисунок 3.5 – Скалеограма вібрацій (вейвлет sgau5)

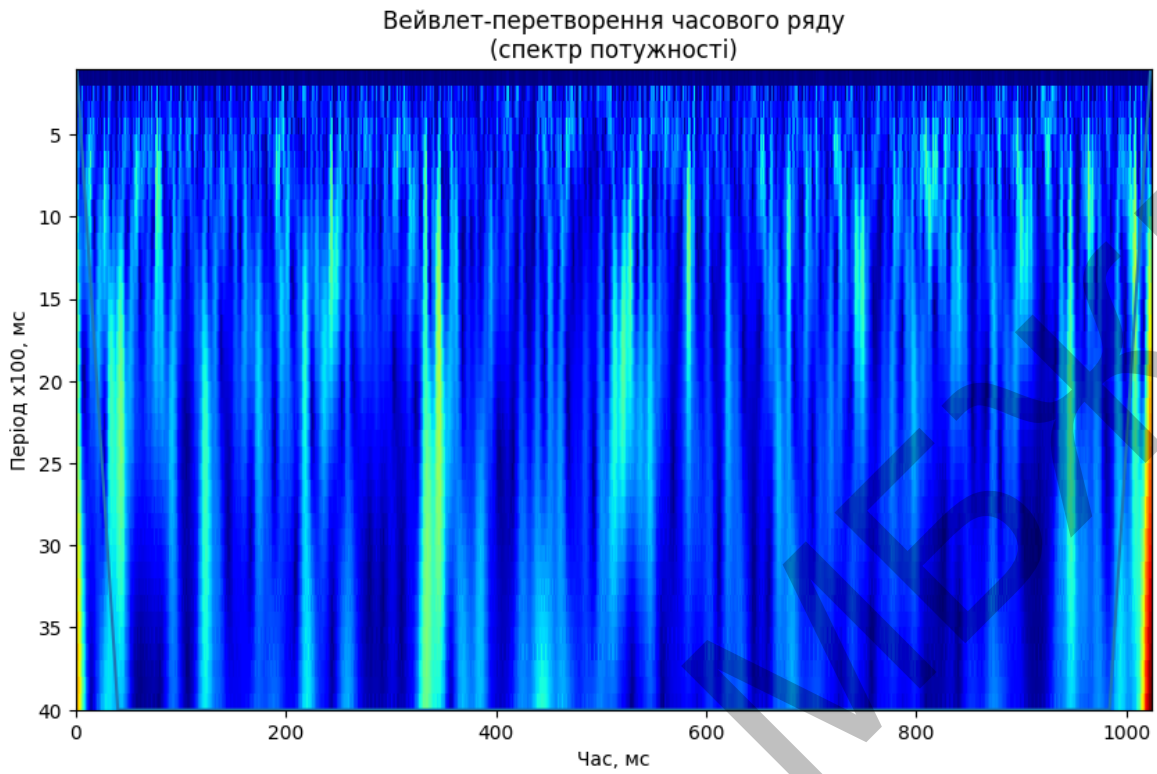


Рисунок 3.6 – Скалеограма вібрацій (вейвлет sgau1)

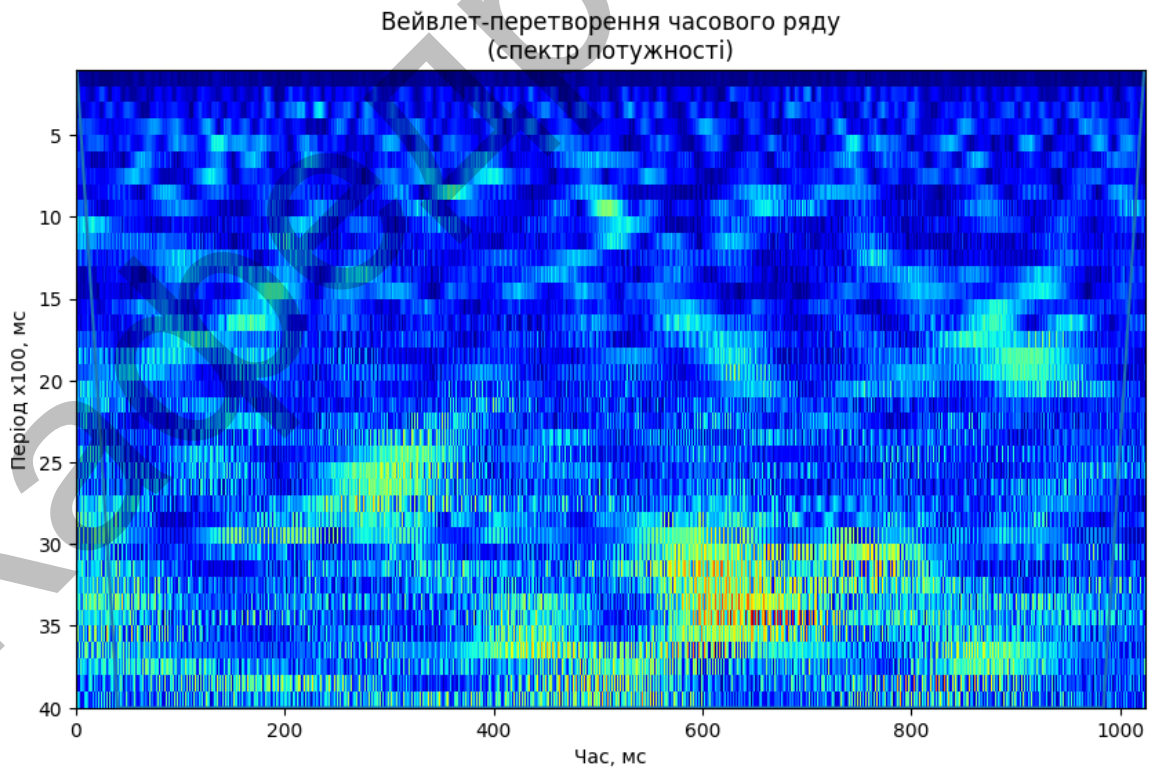


Рисунок 3.7 – Скалеограма вібрацій (вейвлет shan0,5-2)

Вейвлет-перетворення часового ряду
(спектр потужності)

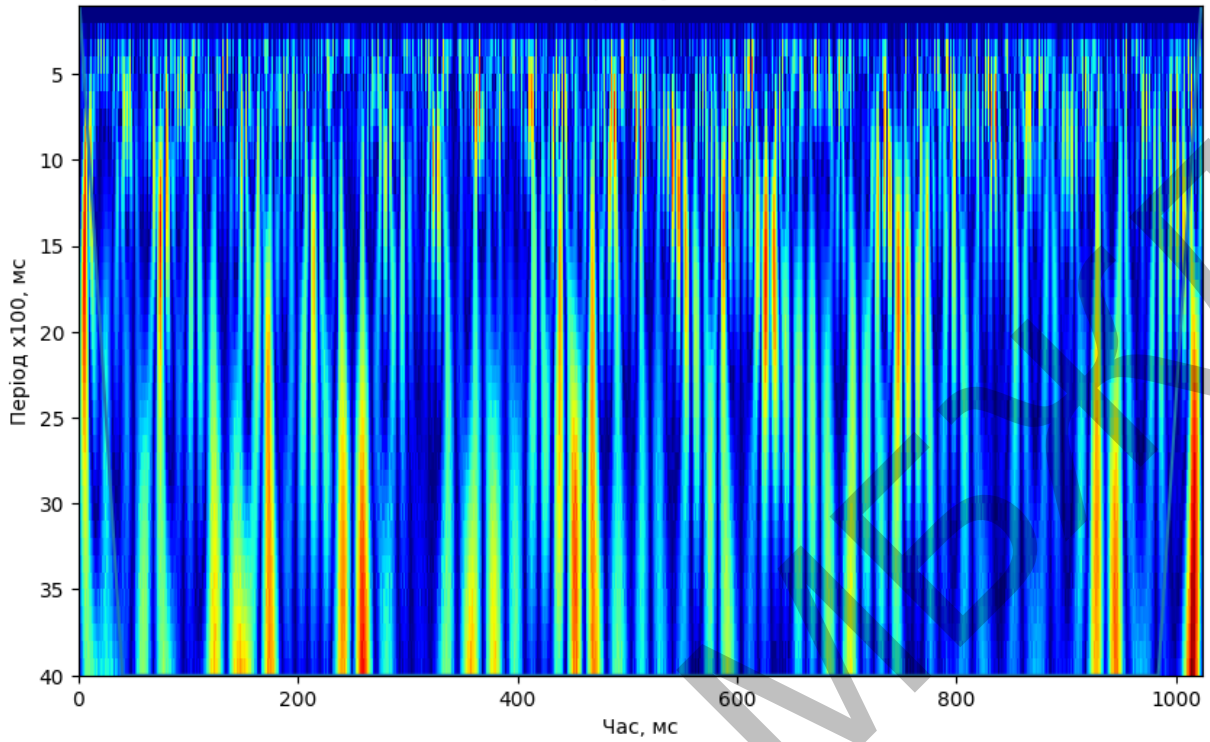


Рисунок 3.7 – Скалеограма вібрацій (вейвлет мех)

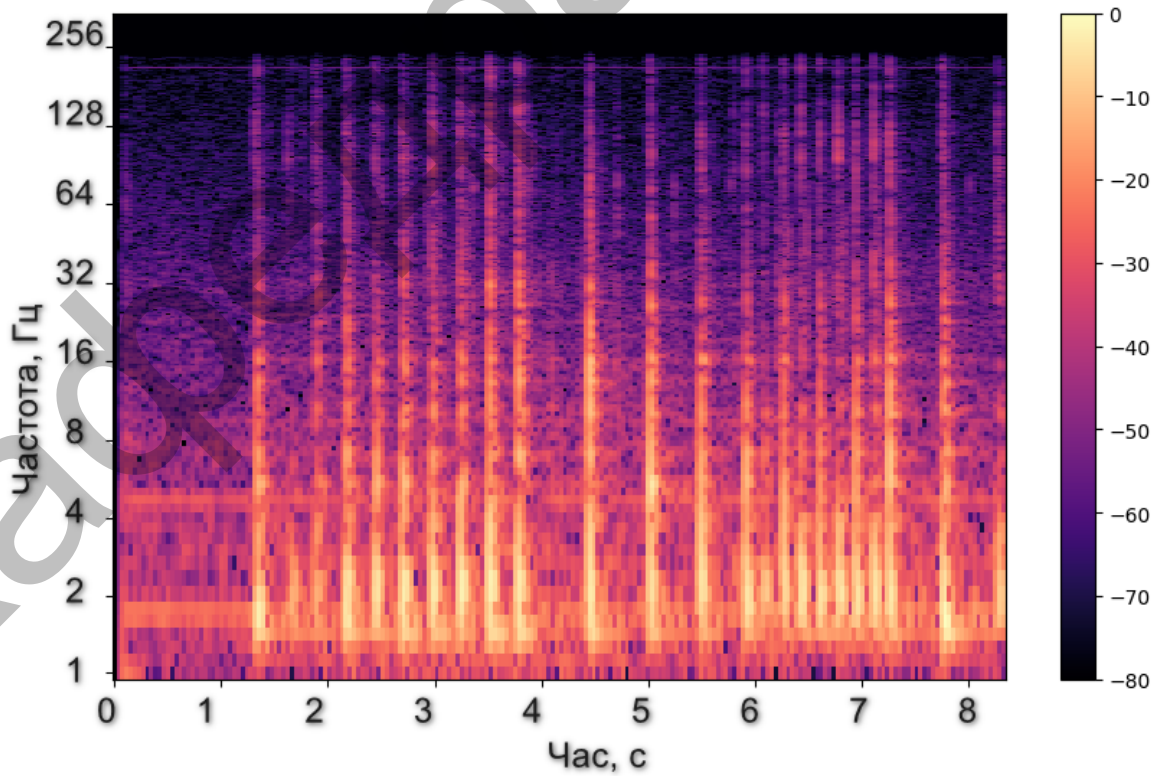


Рисунок 3.9 – Спектрограма вібрацій при сильно навантаженому режимі

На рис. 3.4-3.7 приведені результати обробки одного і того ж масиву вимірних вібрацій, але з використанням різних типів вейвлетів: *smor1-1,5*; *sgau5*, *sgau1*; *shan0.5-2* та *mxh*. Аналіз отриманих результатів показує, що вейвлет-аналіз дозволяє в процесі досліджень оперативно змінювати масштаб і тим самим більш детально вивчати особливості спектру на тому чи іншому відрізку часу. Найбільш масштабуючим є вейвлет *smor1-1,5*.

З метою порівняння методів просторово-частотного аналізу при дослідженні вібрацій рами дорожньої машини було також досліджені спектрограми вібрацій при сильно навантаженому режимі ДМ.

Спектрограма - це спосіб візуального представлення сили або "величини" сигналу на різних частотах у часі. Наприклад, можна не тільки побачити, чи є енергія більшою або меншою на частотах 2 Гц і 10 Гц. Можна також побачити, як рівні енергії змінюються з часом. Спектрограму часто малюють у вигляді теплової карти, тобто зображення, що показує інтенсивність у різних кольорах і яскравості.

Спектрограми зазвичай створюються одним з двох способів: шляхом апроксимації у вигляді серії фільтрів, отриманих із серії смугових фільтрів (це був єдиний спосіб до появи сучасних методів цифрової обробки сигналів) Цей метод обчислюється з часового сигналу з використанням або віконного перетворення Фур'є, або швидкого перетворення Фур'є. Ці два методи фактично створюють різні частотно-часові розподіли другого порядку, але є еквівалентними за певних умов.

В аналоговій обробці для розділення вхідного сигналу на смуги частот часто використовується метод смугового фільтра. Генерація спектрограм з використанням віконних перетворень Фур'є зазвичай виконується за допомогою цифрової обробки. Відбувається цифрова дискретизація даних у часовій області. Сигнал зазвичай розбивається на частини, що перекриваються, потім виконується перетворення Фур'є і обчислюється величина частотного спектра

кожної частини. Кожному сегменту відповідає вертикальна лінія на зображенні (значення амплітуди як функція частоти в кожний момент часу).

Спектрограму сигналу $s(t)$ можна оцінити, обчисливши квадрат амплітуди віконного перетворення Фур'є сигналу $s(t)$. Ми будемо будувати спектрограму за допомогою Python. Фрагмент програми, де обчислюється спектрограма сигналів вібрацій має вид:

```
import numpy as np
X = np.abs(librosa.stft(y))
Xdb = librosa.amplitude_to_db(X, ref=np.max)
plt.figure(figsize=(10, 6))
librosa.display.specshow(Xdb, sr=sr, x_axis='time', y_axis='log')
plt.colorbar()
```

Результати досліджень приведені на рис. 3.9. На спектрограмі більш чітко виділяються періодичні вібросигнали. Але це не завжди так, все залежить від стаціонарності вимірюваного процесу. тому доцільно комплексне використання обох методів.

3.3 Висновки до розділу

Аналіз отриманих результатів показує, що вейвлет-аналіз дозволяє в процесі досліджень оперативно змінювати масштаб і тим самим більш детально вивчати особливості спектру на тому чи іншому відрізку часу. На спектрограмі більш чітко виділяються періодичні вібросигнали. Але це не завжди так, все залежить від стаціонарності вимірюваного процесу, тому доцільно комплексне використання обох методів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

У цій дипломній роботі розглядається розробка методу вимірювання параметрів вібрації з використанням вейвлет-аналізу. Дослідження проводилося на ДЗК з напругою 250 В, а інформація, отримана з датчиків, відображалася та аналізувалася на комп'ютері.

4.1 Законодавча база охорони праці

Метою галузі з охорони праці є надання майбутнім фахівцям теоретичних знань і практичних навичок, необхідних для забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці, розробки та використання нової техніки і технологічних процесів, вирішення питань, пов'язаних з організацією виробництва без негативного впливу на людину і навколишнє середовище.

Правовою основою законодавства про охорону праці є Конституція України, Кодекс законів про працю України, закони України "Про охорону праці", "Про охорону здоров'я", "Про пожежну безпеку", "Про використання ядерної енергії та радіацію", "Про захист населення від впливу використання ядерної енергії та радіації", "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення", "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання", "Про охорону здоров'я", "Про охорону праці", "Про пожежну безпеку", "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення", "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності" та прийняті на їх основі нормативно-правові акти. Нормативно-правові акти, прийняті на їх основі [15-27].

Основним законодавчим актом у сфері охорони праці є Закон України "Про охорону праці". Чинність дійсного Закону поширюється на всіх юридичних і фізичних осіб, що відповідно до законодавства використовують найману працю, і на всіх працюючих.

Цей закон визначає основні положення по реалізації конституційного права працівників на охорону їхнього життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці, регулює при участі відповідних органів державної влади відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці і виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Основним нормативним актом, що визначає порядок і види навчання та форми перевірки знань з питань охорони праці, є ДНАОП 0.00-4.12-99 "Типове положення про навчання з питань охорони праці".

Цей нормативний документ спрямований на впровадження в Україні системи безперервного навчання з питань охорони праці.

4.2 Вимоги до мікроклімату

Мікрокліматичні умови – параметри температури, відносної вологості, швидкості руху повітря в робочій зоні або в зоні обслуговування та на постійних робочих місцях, установлені відповідними нормами. В основу принципів нормування параметрів мікроклімату покладена диференційна оцінка цих величин у залежності від теплової характеристики виробничого приміщення, категорії робіт за ступенем важкості та періоду року.

Робота користувача КВТ відноситься до категорії робіт 1а, 1б категоріям. Оптимальні параметри мікроклімату приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Оптимальні умови мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	1а	від 22 до 24	від 40 до 60	0,1
	1б	від 21 до 23	від 40 до 60	0,1
Теплий	1а	від 23 до 25	від 40 до 60	0,1
	1б	від 22 до 24	від 40 до 60	0,2

Приміщення повинні бути обладнані системами опалення, кондиціонування повітря або вентиляцією.

Об'єм у повітрі робочої зони не повинне перевищувати:

- озону – 0.1 мг/м³;
- оксидів азоту – 5 мг/м²;
- пилу – 4 мг/м².

Під вентиляцією розуміють сукупність заходів та засобів, призначених для забезпечення на постійних робочих місцях та зонах обслуговування виробничих приміщень метеорологічних умов та чистоти повітряного середовища, що відповідають гігієнічним та технічним вимогам. Основне завдання вентиляції – вилучити із приміщення забруднене або нагріте повітря та подати свіже, тобто забезпечити в приміщеннях метеорологічні умови (температуру, відносну вологість та швидкість руху повітря), що відповідають нормативним вимогам, а також виключити можливість вмісту в повітрі шкідливих речовин, які перевищують гранично допустимі концентрації (ГДК).

4.3 Електромагнітні випромінювання і рівні іонізації

Рівні іонізації (кількість іонів у 1 см². повітря):

- n⁺ – від 1500 до 3000 оптимальні, від 400 до 50000 припустимі;

— n – від 3000 до 5000 оптимальні, від 600 до 50000 припустимі.

Вимоги до рівнів неіонізуючого електромагнітного випромінювання, електростатичного та магнітного полів. Допуски на неіонізуюче електромагнітне випромінювання::

— напруженість електромагнітного поля на відстані 50 см навколо ВДТ по електричній складовій не повинна перевищувати: у діапазоні частот від 5 кГц до 2 кГц – 25 В/м; у діапазоні частот від 2 кГц до 400 кГц – 2,5 В/м.

— щільність магнітного потоку: діапазон частот від 5 кГц до 2 кГц – 250 нТл; діапазон частот від 2 кГц до 400 кГц – не повинен перевищувати 25 нТл.

— поверхневий електростатичний потенціал не повинний перевищувати 500 В.

4.4 Вимоги до освітлення

Загальні вимоги до природного та штучного освітлення:

1. Яскравість світла випромінюючих поверхонь (вікна, штучні джерела світла) в полі зору не повинна перевищувати 200 кд/м²

2. Пряма відбита засліпленість повинна бути обмежена шляхом вибору типу світильника і розташування робочого місця по відношенню до природних і штучних джерел світла. При використанні системи відбитого освітлення яскравість відблисків на дисплеях відео терміналів не повинна перевищувати 40 кд/м², а яскравість стелі – 200 кд/м².

3. Співвідношення значень яскравості робочої поверхні не повинно перевищувати 3:1, а співвідношення значень яскравості робочої поверхні до навколишніх предметів (стін, обладнання) не повинно перевищувати 5:1

4. Повинна використовуватися система вимикачів, що дозволяє регулювати інтенсивність штучного освітлення відповідно до інтенсивності природного світла, а також висвітлювати тільки ті ділянки роботи, які потребують освітлення

5. Вікна та лампи слід чистити щонайменше двічі на рік, а лампи слід замінювати після закінчення терміну їхньої служби.

4.5 Техніка безпеки. Організація робочого місця

Технічний стан, обладнання та екіпірування транспортних засобів будь-якого типу, марки і призначення, а також усіх машин і механізмів з об'ємом циліндрів понад 50 см³ повинні відповідати Правилам технічної експлуатації автомобільних транспортних засобів, Правилам дорожнього руху України, Правилам охорони праці для водіїв автотранспортних засобів та інструкціям заводів-виробників.

Однією з головних особливостей КВТ є використання комп'ютерів для зберігання та обробки інформації. Наявність відео дисплейних терміналів дозволяє надавати користувачам візуальну інформацію. Крім того, комп'ютери можуть бути оснащені додатковими пристроями та елементами системи, такими як дискові накопичувачі, принтери, сканери, модеми, пристрої миші та інші периферійні пристрої.

Відео дисплейний термінал (ВДТ) ВДТ є ключовим компонентом ПК і призначений для візуального представлення інформації, що зберігається в електронному вигляді. Він може швидко відображати алфавітно-цифрову та графічну інформацію.

ВДТ є джерелом:

— Електромагнітне випромінювання у високочастотному діапазоні. При цьому високочастотні магнітні поля виникають під впливом електронного променя і пов'язані з частотою формування елементів зображення та інтенсивністю променя; низькочастотні магнітні поля виникають в системі горизонтальної розгортки, а дуже низькочастотні магнітні поля пов'язані з формуванням (вертикальна розгортка);

— магнітні поля, спричинені наявністю дефлектора;

Процесорний блок. Наявність механічних рухомих частин. Процесорний блок є джерелом шуму.

Клавіатура. Конструкція клавіатури має важливе значення в організації праці, оскільки клавіатура "спрямовує" робочу позу користувача при виконанні завдань і генерує прямий психофізіологічний небезпечний виробничий фактор.

Пристрої типу "миша". Було виявлено ряд захворювань, специфічних для тривалого використання миші. До них відносяться скелетні та м'язові порушення у верхній частині тіла, розвиток хронічного стресу через перенапруження пози та необхідність постійного контролю за якістю рухів.

Принтери. Використовуються лазерні, струменеві та матричні принтери. Шум є основним фактором, що негативно впливає на робоче середовище користувача, пил діє менш ефективно.

Площа, виділена для одного робочого місця без відео терміналу та комп'ютера, повинна бути не менше $4,5 \text{ м}^2$, а об'єм – не менше 15 м^3 . У разі встановлення робочих місць з відео терміналами та комп'ютерами необхідно дотримуватися наступних вимог.

1. Відео термінали та комп'ютеризовані робочі місця повинні розташовуватися на відстані не менше 1 м від будь-якої стіни з отвором.

2. Відстань між боковими сторонами відео терміналів має бути не менше 1,2 м.

3. Відстань між задньою стінкою відео терміналу та екраном іншого відео терміналу має бути не менше 2,5 м.

4. Конструкція робочого місця користувача відео терміналу (при роботі сидячи) повинна забезпечувати можливість підтримання оптимальної робочої пози з наступними ергономічними характеристиками:

- Ступні ніг - на підлозі або на підставках;
- Стегна - в горизонтальній площині;
- Передпліччя - вертикально;

— Лікті – під кутом від 70 градусів до 90 градусів до вертикальної площини;

— Зап'ястя – зігнуті під кутом не більше 20 градусів до горизонтальної площини;

— Нахил голови – від 15 градусів до 20 градусів до вертикальної площини.

У випадках, коли використання відео терміналів і комп'ютерів є основним завданням, зазначену техніку розміщують на основному робочому столі, як правило, з лівого боку.

Висота робочої поверхні столу для відео терміналів повинна бути в діапазоні від 680 мм до 800 мм, а ширина – дозволяти проводити роботи зі зручним доступом до моторного відсіку.

Рекомендовані розміри столу: висота 725 мм, ширина від 600 мм до 1400 мм, глибина від 800 мм до 1000 мм.

Простір для ніг на столі повинен бути не менше 600 мм заввишки, 500 мм завширшки, 450 мм завглибшки на рівні колін і 650 мм завглибшки на рівні витягнутих ніг.

Робочі стільці повинні бути піднятими і регульованими по висоті, куту між сидінням і спинкою, відстані між спинкою і переднім краєм сидіння і висоті підлокітника. Відстань від екрана до очей працівника визначається по формулі (4.1)

$$L = A / \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right), \quad (4.1)$$

де A – половина ширини екрана ПЕОМ;

α – оптимальний кут огляду (30°) еквівалентний для пристроїв відображення інформації, що вимагають точного та швидкого зчитування.

Клавіатуру слід розміщувати на відстані від 100 до 30 мм від найближчого до працівника краю, на поверхні столу або на спеціальній регульованій по висоті

робочій платформі, відокремленій від столу. Клавіатура повинна бути нахилена під кутом не більше 15 градусів.

Принтери та інші пристрої введення/виведення на робочому місці повинні бути розташовані в легкодоступній частині ігрової зони на висоті від 900 мм до 1300 мм і глибині від 400 мм до 500 мм, так, щоб екрани були добре видні, а пристрої введення/виведення можна було легко використовувати вручну.

Для зменшення вібрації та шуму під матричним принтером слід покласти килимки.

4.6 Пожежна безпека

Залежно від специфіки виробничого процесу, крім загальних протипожежних вимог, для окремих видів виробництва, технологічних процесів і виробничих об'єктів передбачаються спеціальні протипожежні заходи. Такі заходи для будівель і приміщень, де використовуються відео термінали та комп'ютери, визначені в Правилах пожежної безпеки в Україні, ДНАОП 0.00-1.31-99 та інших нормативних документах.

Приміщення для зберігання інформації, приміщення для зберігання перфокарт, магнітних стрічок та упаковок магнітних дисків повинні розташовуватися в окремих приміщеннях з вогнетривкими стелажами та шафами. Такі носії інформації повинні зберігатися на стелажах у металевих касетах. У комп'ютерному залі слід зберігати тільки ті носії інформації, які необхідні для поточних операцій.

4.7 Інженерні розрахунки в області охорони праці

Визначимо об'єм повітря відповідно до кількості людей, необхідний для вентиляції автомобіля з об'ємом $V = 9\text{ м}^3$, якщо в його салоні знаходиться $n = 5$ чоловік. Природна вентиляція є можливою.

Якщо об'єм приміщення на одну людину становить менше 20 м^3 , об'єм свіжого повітря, необхідний для вентиляції, повинен становити щонайменше $G_1 = 30 \text{ м}^3/\text{год}$ на людину. Знаходимо обсяг, який приходить на 1 чоловіка по формулі (4.2)

$$V_1 = \frac{V}{n} = \frac{9}{2} = 4,5 \text{ м}^3/\text{чол} \quad (4.2)$$

Оскільки $V_1 < 20 \text{ м}^3/\text{чол}$, подача повітря на одного працівника становить $G_1 = 30 \text{ м}^3/\text{год}$.

Враховуючи кількість працівників, кількість повітря, що подається, розраховується за формулою (4.3).

$$G = G_1 \cdot n = 30 \cdot 2 = 60 \text{ м}^3/\text{год} \quad (4.3)$$

Якщо ми знаємо, що в лабораторії перебуває одна людина, давайте розрахуємо кількість повітрообміну відповідно до залишкового тепла в лабораторії: одна людина. У лабораторії є ноутбук потужністю $2,5 \text{ кВт}$ і принтер потужністю $0,5 \text{ кВт}$. Температура повітря становить 20°C . Максимальна кількість сонячної радіації, що надходить через вікно, становить $Q_{\text{рад}} = 150 \text{ кВт}$.

$$Q_{\text{над}} = Q_{\text{уст}} + Q_{\text{л}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{рад}}, \text{ Вт} \quad (4.4)$$

де $Q_{\text{уст}}$ – виділення тепла від устаткування;

$Q_{\text{л}}$ – виділення тепла від людей;

$Q_{\text{осв}}$ – виділення тепла від освітлювальних приладів;

$Q_{\text{рад}}$ – надходження тепла від сонячної радіації.

$$Q_{\text{уст}} = n \cdot P \cdot k_1 \cdot k_2 \quad (4.5)$$

$$Q_{\text{уст}} = 2 \cdot 300 \cdot 0,8 \cdot 0,5 = 240 \text{ Вт}$$

де n – кількість устаткування; P – установлена потужність устаткування,

$$P = P_{\text{принт}} + P_{\text{комп}} = 0,5 + 2,5 = 3 \text{ кВт} = 300 \text{ Вт};$$

$do_1 = 0,8$ – коефіцієнт використання встановленої потужності;

$do_2 = 0,5$ – коефіцієнт одночасної роботи устаткування.

$$Q_{\text{л}} = n_{\text{м}} q_{\text{м}} + n_{\text{ж}} q_{\text{ж}} \quad (4.6)$$

де $n_{\text{м}} = 1$ – кількість чоловіків;

$n_{\text{ж}} = 1$ – кількість жінок;

$q_{\text{м}} = 99 \text{ Вт}$ – кількість тепла, виділюваного одним чоловіком;

$q_{\text{ж}} = 85\% \cdot q_{\text{м}}$ – кількість тепла, виділюваного одною жінкою.

$$Q_{\text{л}} = 1 \cdot 99 + 0,85 \cdot 99 = 99 + 84,15 = 183,15 \text{ Вт}$$

$Q_{\text{осв}} = 0$, так як немає приладів освітлення.

$$Q_{\text{над}} = 240 + 183,15 + 150 = 573,15$$

Зробимо розрахунок повітрообміну за надлишком тепла в лабораторії згідно з формулою (4.7)

$$L = \frac{360 \cdot Q_{\text{над}}}{c_p \cdot \rho (t_{\text{уд}} - t_{\text{пр}})} \text{ м}^3 / \text{год} \quad (4.7)$$

де 3600 – коефіцієнт для конвертації $\text{м}^3/\text{с}$ в $\text{м}^3/\text{год}$

$$c_p = 1000 \text{ Дж/кг } ^\circ\text{C};$$

$$\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3;$$

$t_{\text{уд}}$ температура повітря, що видаляється;

$t_{\text{пр}}$ температура приточного повітря.

$$L = \frac{3600 \cdot 573,15}{1000 \cdot 1,2 \cdot 6} = 286,58 \text{ м}^3/\text{год}$$

4.8 Висновки до розділу

1. В результаті аналізу робочого місця оператора виявляються небезпечні та шкідливі фактори і вживаються заходи щодо їх усунення.

2. Це покращує умови праці на робочому місці, підвищує працездатність та запобігає виробничому травматизму.

3. Також були проведені певні розрахунки. Було визначено кількість необхідного повітря, виходячи з кількості людей, та розраховано кількість повітрообміну за рахунок залишкового тепла в лабораторії. Це дозволяє регулювати мікроклімат в лабораторії, створюючи ефективне робоче середовище для співробітників.

ВИСНОВКИ

Дослідження з розробки методів вимірювання параметрів вібрації з використанням вейвлет-аналізу показали, що серйозним недоліком спектрів, отриманих за допомогою звичайних перетворень Фур'є, є їхня низька інформативність. Локальні особливості сигналу, такі як короткі сплески, провали, розриви і сходинки, призводять до появи малоамплітудних гармонік високого порядку в спектрі по всій частотній осі. Визначити природу цих локальних особливостей, не кажучи вже про їх вимірювання, дуже складно.

Проблема спектрального аналізу частково вирішується переходом до віконного перетворення Фур'є. Природно, що кожне вікно охоплює невелику область в часі, таким чином підвищуючи точність опису локальних змін сигналу. Гаусові вікна часто використовують для зменшення спектральних спотворень, зумовлених граничними явищами, і для зменшення прояву ефекту Гіббса. Однак ситуація не така проста. Вона ґрунтується на відомому принципі невизначеності Гейзенберга. Згідно з ним, неможливо досягти високої частотної роздільної здатності і високої часової роздільної здатності одночасно. Якщо вибрати вікно з невеликою часовою шириною, можна досягти високої часової роздільної здатності. Якщо ж вибрано вікно з великою часовою шириною, то частотна роздільна здатність буде вищою, але часова - нижчою. Оскільки віконні перетворення працюють з вікнами однакової ширини, це протиріччя не вирішується. Іншим основним недоліком віконного перетворення Фур'є є те, що воно все ще використовує єдину базову функцію - синусоїду.

Вейвлет-перетворення одновимірному сигналу полягає в розкладанні солітоноподібної функції (вейвлету) внаслідок зміни масштабу або зсуву в базис функцій з певними властивостями. Кожна функція в цьому базисі характеризує як певну просторову (часову) частоту, так і її положення у фізичному просторі (часі). Таким чином, на відміну від звичайних перетворень Фур'є, що використовуються в аналізі сигналів, вейвлет-перетворення розглядає частоту і

координати як незалежні змінні і забезпечує двовимірне розкладання одновимірного досліджуваного сигналу. В результаті можна одночасно аналізувати характеристики сигналу у фізичному просторі (час, координати) і частотному просторі.

З метою підвищення достовірності та точності визначення амплітуди та частоти коливань ходової частини автогрейдера та робочого органу розроблено та апробовано алгоритм вейвлет-аналізу для вимірювання часових вибірок. Алгоритм було протестовано з використанням Python.

Аналіз отриманих результатів показує, що вейвлет-аналіз дозволяє в процесі досліджень оперативного змінювати масштаб і тим самим більш детально вивчати особливості спектру на тому чи іншому відрізку часу. На спектрограмі більш чітко виділяються періодичні вібро сигнали. Але це не завжди так, все залежить від стаціонарності вимірюваного процесу, тому доцільно комплексне використання обох методів.

Результати показують, що запропонований алгоритм здатен виявляти вібраційні сигнали з імовірністю $P = 0,9$ при відношенні сигнал/шум 4.

Таким чином, мета дослідження була досягнута і всі завдання на дипломну роботу були виконані.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Про метрологію та метрологічну діяльність
URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/113/98-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 15.10.2023)
2. Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. *CITAC Guide CG* – 2012. URL: <http://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/QUAM2012P1.pdf>. (дата звернення: 15.10.2023)
3. Паракуда В. В., Колпак Б. Д., Чалий В. П. Еволюція вимог до метрології. *Український метрологічний журнал*. Харків. 2005. №3. С. 56-60.
4. Мержисівська В. В. Оцінювання невизначеності вимірювання параметрів автомобільних двигунів під час стендового випробовування. *Збірник наукових праць XIII. Системи обробки інформації*. 2008. №9. С. 43-47.
5. Чубатенко В. Я. Основи забезпечення єдності вимірювань. Невизначеність вимірювання та її оцінювання від час випробовування продукції. Методики виконання вимірювання: розрахунок невизначеності вимірювання: курс лекцій. Дніпро : ДП "УкрНДНЦ", 2009. 102 с.
12. Коваль А. О., Єфіменко Н. М. Обґрунтування необхідності інтелектуалізації інформаційно-вимірювальної системи дорожніх машин. *Проблеми інформатики и моделирования*: сб. науч. тр. 10-й Межд. конф., НТУ "ХПИ". 2010. С. 98-105.
13. Electronic Components Datasheet Search. URL: <http://www.alldatasheet.com/view/jsp&Searchword> (дата звернення: 15.10.2023)
14. Коваль А. О., Коваль О. А. Просторово розподілені інтелектуальні вимірювальні інформаційні системи: монографія. Харків : Лідер, 2017. 146 с.
15. Конституція України: [Електронний ресурс] // Президент України. – Режим доступу: <https://www.president.gov.ua/documents/constitution>
16. Про охорону праці: Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ [Електронний ресурс] // Верховна Рада України. – Режим доступу:

<http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>.

17. ДСТУ 2293-99 «Охорона праці. Терміни та визначення основних понять».

18. ДСТУ OHSAS 18001:2010. Системи управління гігієною та безпекою праці

19. ДБН В.2.5-28-2006 «Природне та штучне освітлення».

20. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку

21. ДБН В.2.5-67 – 1026 Опалення, вентиляція та кондиціонування.

22. ПУЕ. Правила улаштування електроустановок. вид. 3-тє, перероб. і доп.– К.: Мінпаливенерго України, 2010, 2010.– 736с.

23. НАПБ В.01.054-2015/510 Правила пожежної безпеки для підприємств і організацій автомобільного транспорту України. 2016 р

24. НАПБ А.01.001-2004 Правила пожежної безпеки України, затверджені наказом МНС України з питань надзвичайних ситуацій від 19 жовтня 2004 р. № 126.

25. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [Електронний ресурс] // Будстандарт online. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=65419.

26. ДСТУ ISO 6309:2007 Протипожежний захист

27. ДСТУ 3855-99 Пожежна безпека. Визначення пожежної небезпеки матеріалів та конструкцій. Терміни та визначення.

ДОДАТОК А
ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

Кафедра МБЖД

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Факультет механічний
Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ
магістра

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЧАС-ЧАСТОТНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВПЛИВОВИХ ФАКТОРІВ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Завідувач кафедри, канд. техн. наук, доц.

Нормоконтролер, канд. техн. наук, доц.

Керівник, канд. техн. наук, доц.

Студентка гр. ММ-61-22



О. І. Богатов

І. В. Грайворонська

А. О. Коваль

А. О. Гусєва

м. Харків – 2023

МЕТА, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єкт дослідження — просторово розподілена трьохканальна інтелектуальна вимірювальна інформаційна система тиску.

Мета роботи — підвищити точність вимірювання параметрів вібрацій в дорожніх машинах.

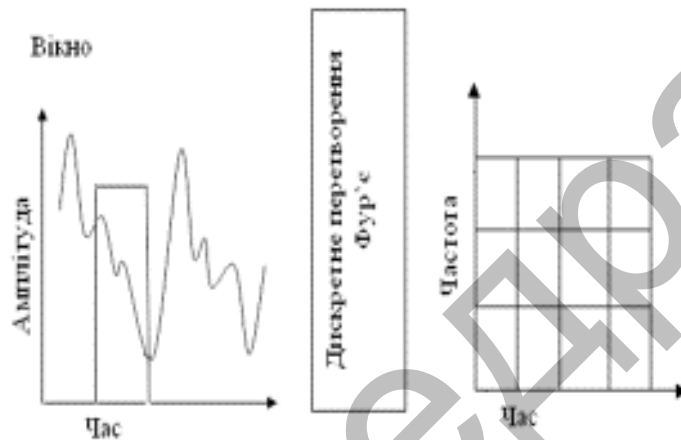
Метод дослідження — спектрального, статистичного та часового аналізу даних вимірювань просторово розподіленої інтелектуальної вимірювальної інформаційної системи вібрацій.

Предмет дослідження — процес просторово-часової обробки вимірюваних масивів даних вібрацій.

В магістерській роботі проведені дослідження точності вимірювань параметрів вібрацій в дорожніх машинах, проаналізовано недоліки Фур'є перетворення при вимірювання параметрів вібрацій. Обґрунтована та апробована методика вейвлет-аналізу для вимірювання параметрів вібрації ДМ при різних динамічних навантаженнях.

ВІКОННЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є

методика віконного перетворення Фур'є

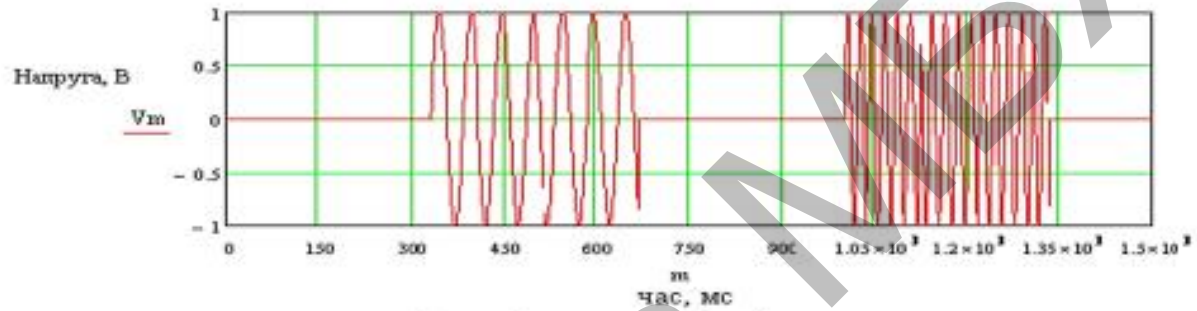


принцип невизначеності Гейзенберга

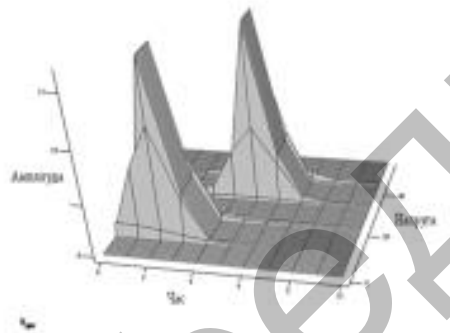
Неможливо отримати одночасно високу частоту та високе часове розрізнення. Вибираючи вікно з малою шириною по часу отримуємо високе часове розрізнення. Взявши вікно з великою шириною в часі отримуємо гарне розрізнення по частоті, але погане в часі.

Віконне перетворення оперує з вікнами, які мають однакову ширину, а по тому дане протиріччя для нього не вирішується. Ще один принциповий недолік віконного перетворення Фур'є: у ньому як і раніше використовується єдина базисна функція - синусоїда з усіма її зазначеними раніше недоліками.

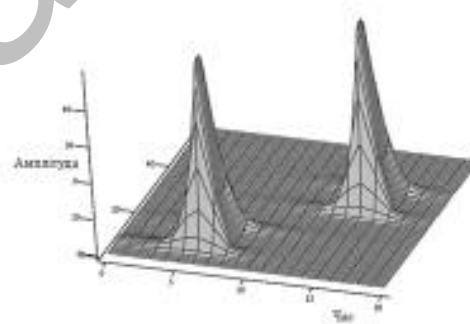
ВІКОННЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є



Сигнали імпульсних вібрацій

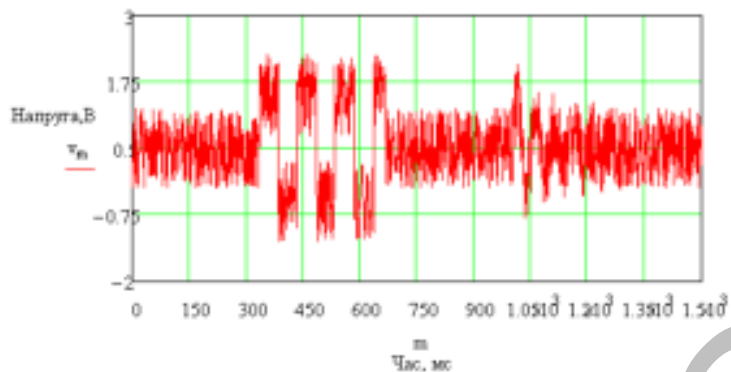


Віконне перетворення Фур'є (розмір вікна – 100 відліків)

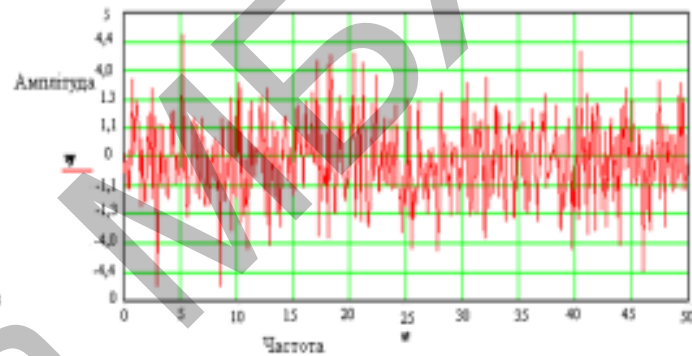


Віконне перетворення Фур'є (розмір вікна – 300 відліків)

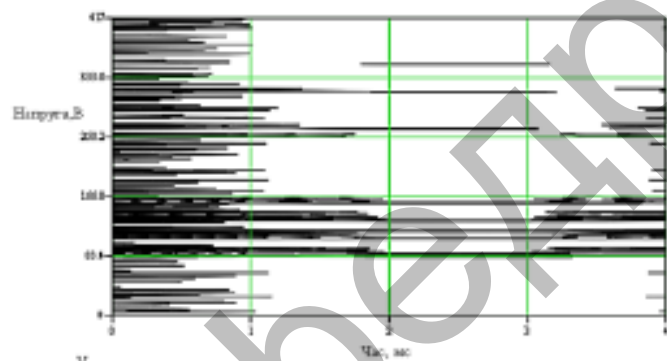
ВІКОННЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є СИГНАЛУ З ШУМОМ



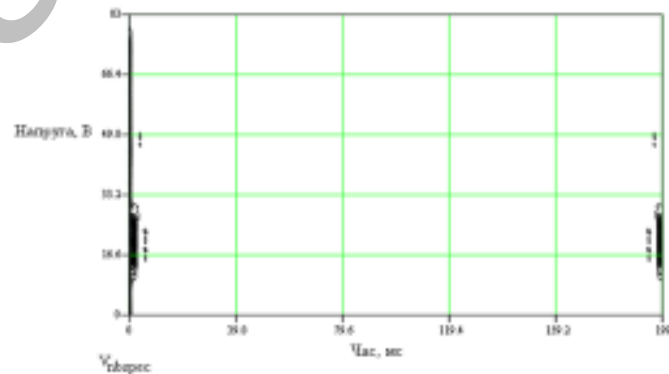
Сигнал з шумом



Сигнал вібрацій з частотами 30, 20, 10 і 5 Гц



шумом (розмір вікна – 5 відліків)



ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ СИГНАЛУ

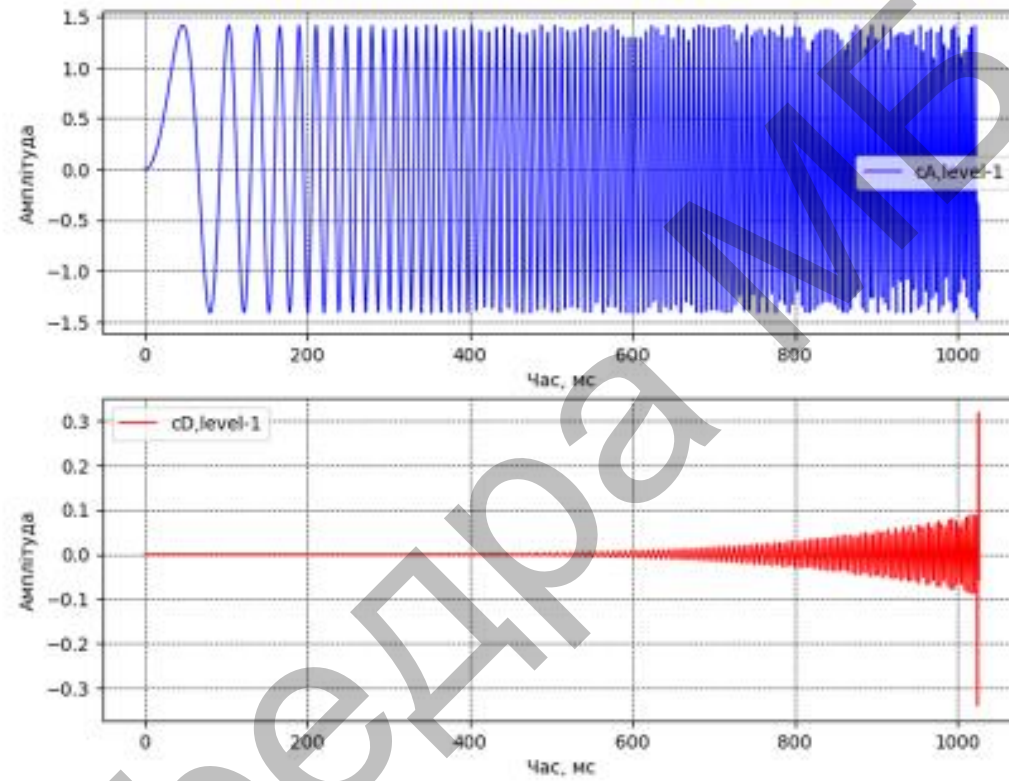


Рисунок 1 – Вейвлет-перетворення сигналу

ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ СИГНАЛУ

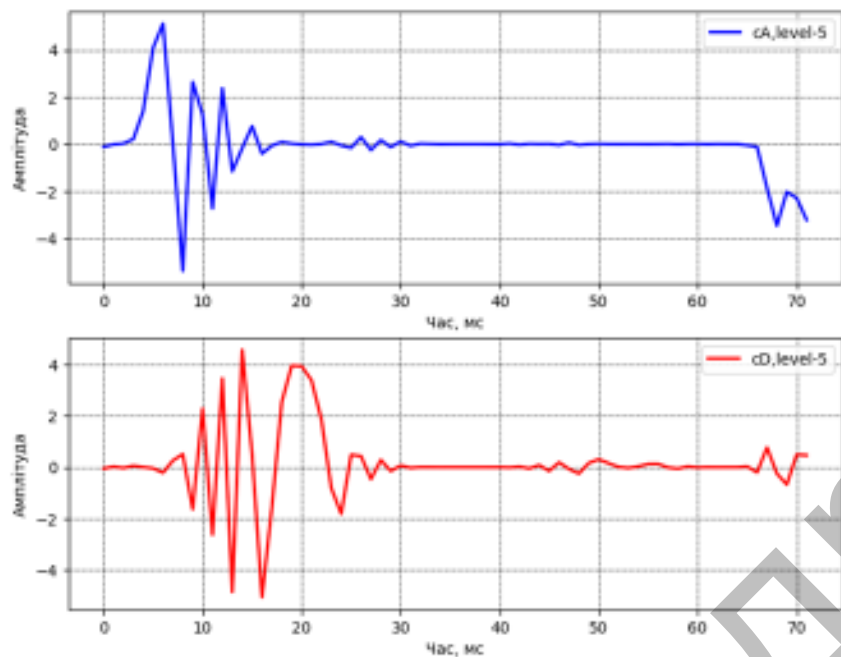


Рисунок 2 – Перший рівень вейвлет-перетворення сигналу

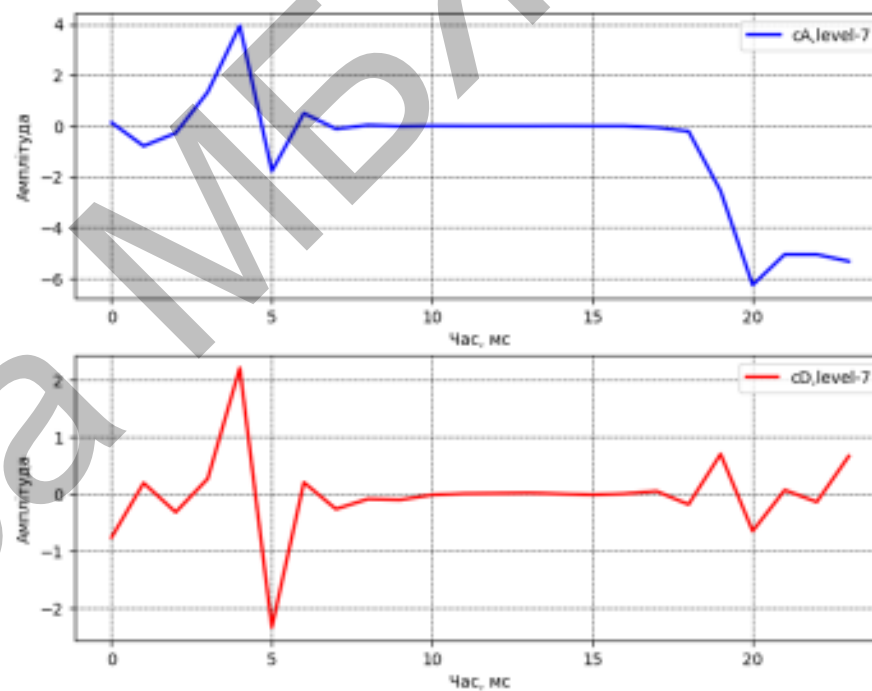


Рисунок 3 – Сьомий рівень вейвлет-перетворення сигналу

ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ СИГНАЛУ

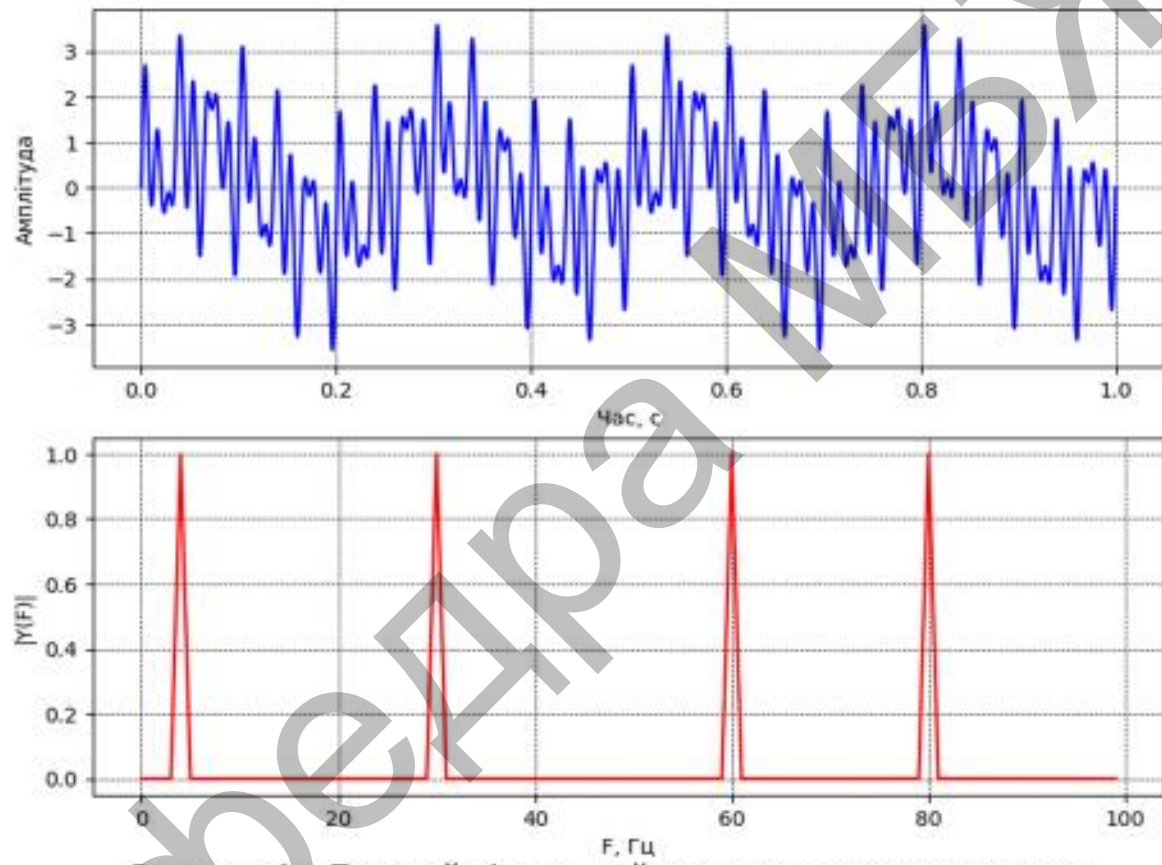


Рисунок 4 – Перший рівень вейвлет-перетворення сигналу

ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ СИГНАЛУ

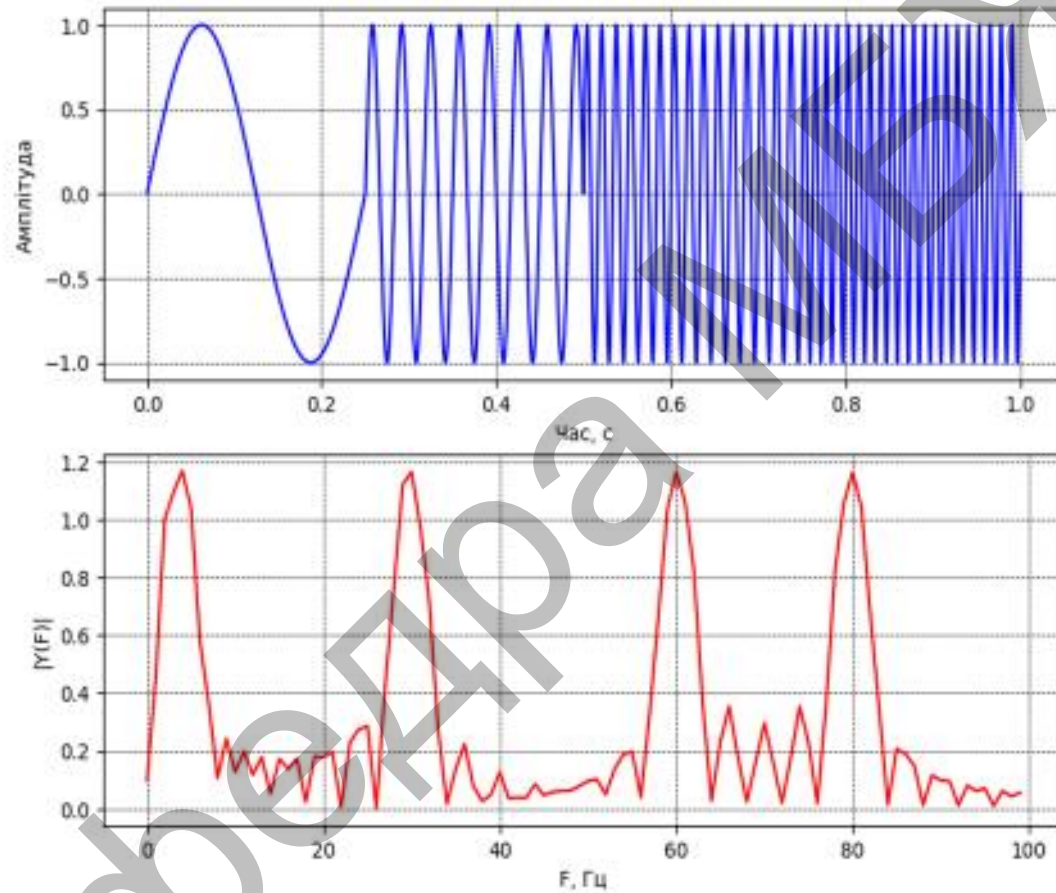


Рисунок 5 – Перший рівень вейвлет-перетворення сигналу

ЧАСОВИЙ РЯД ВИМІРЯНОГО ТИСКУ

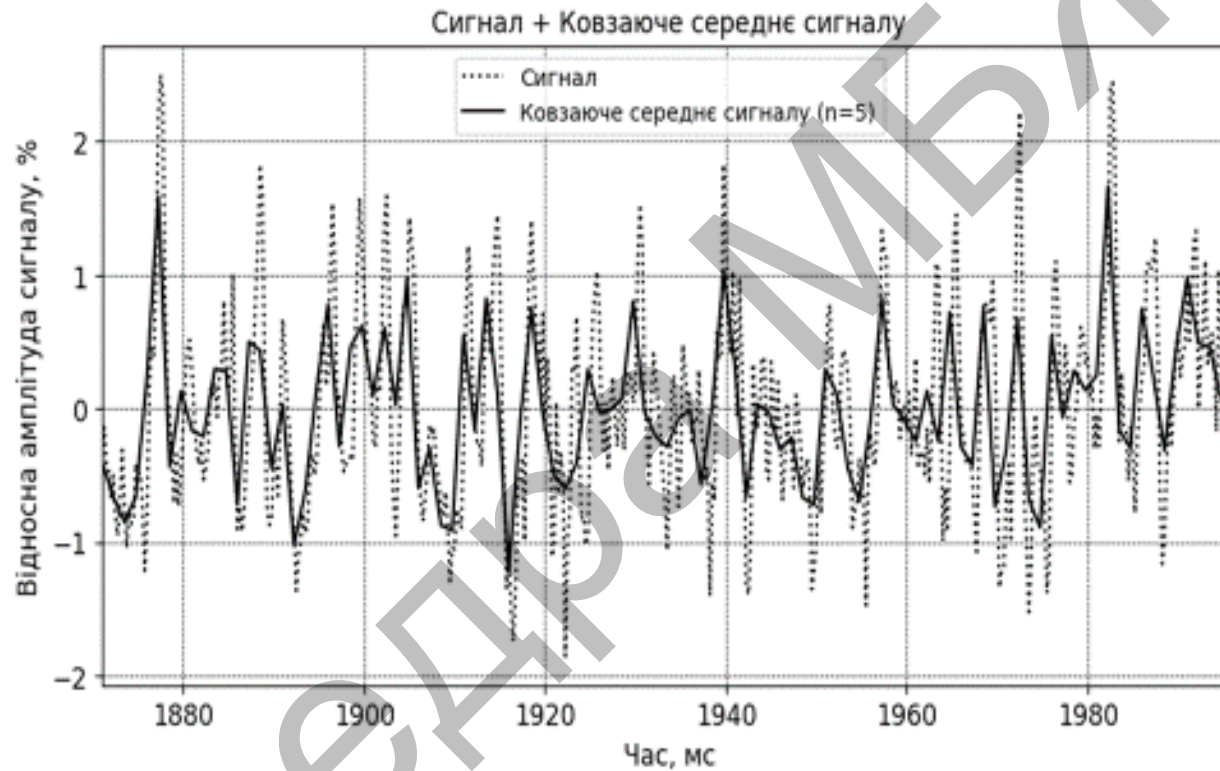


Рисунок 6 – Часовий ряд виміряного тиску і його ковзаюче середнє значення

ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є ВИМІРЯНОГО ТИСКУ

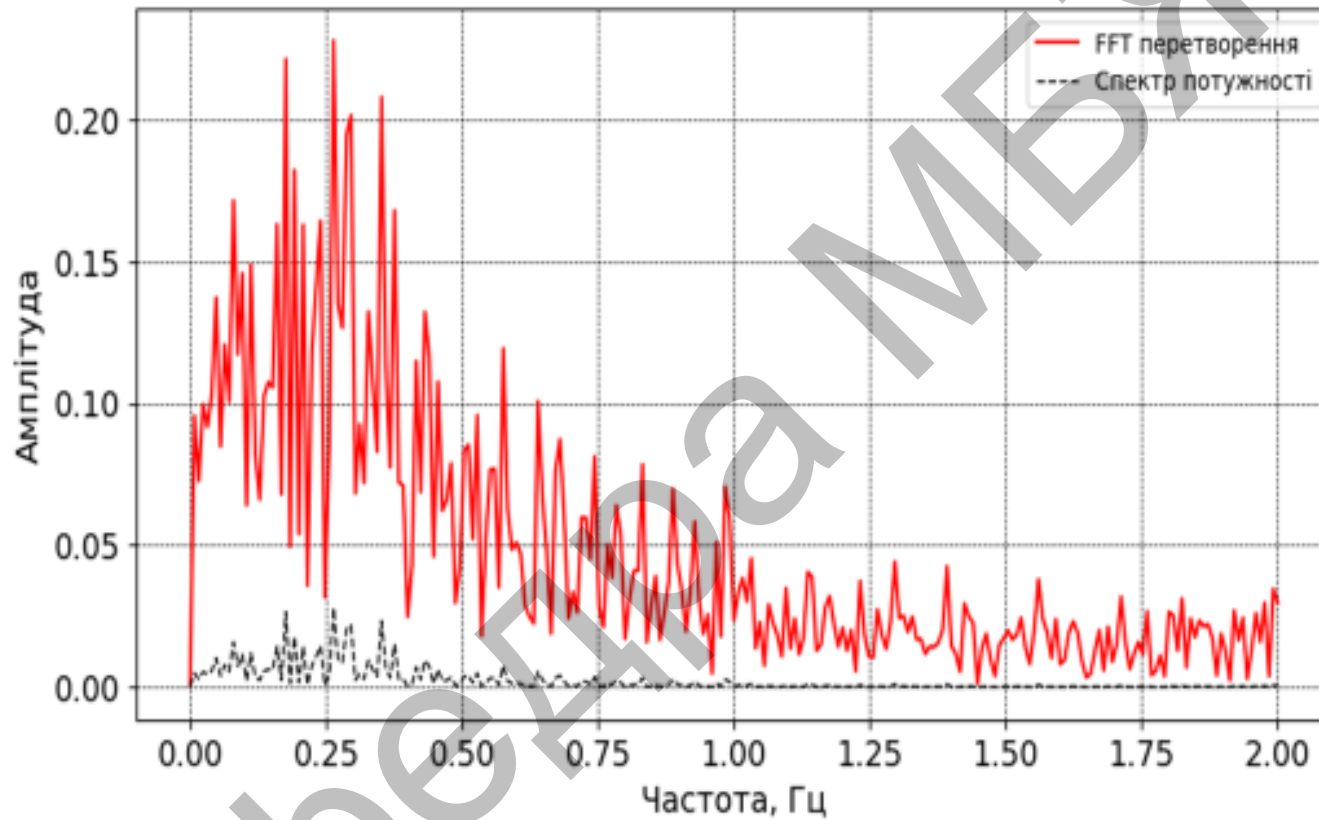


Рисунок 7 – Перетворення Фур'є виміряного тиску

ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ СИГНАЛУ

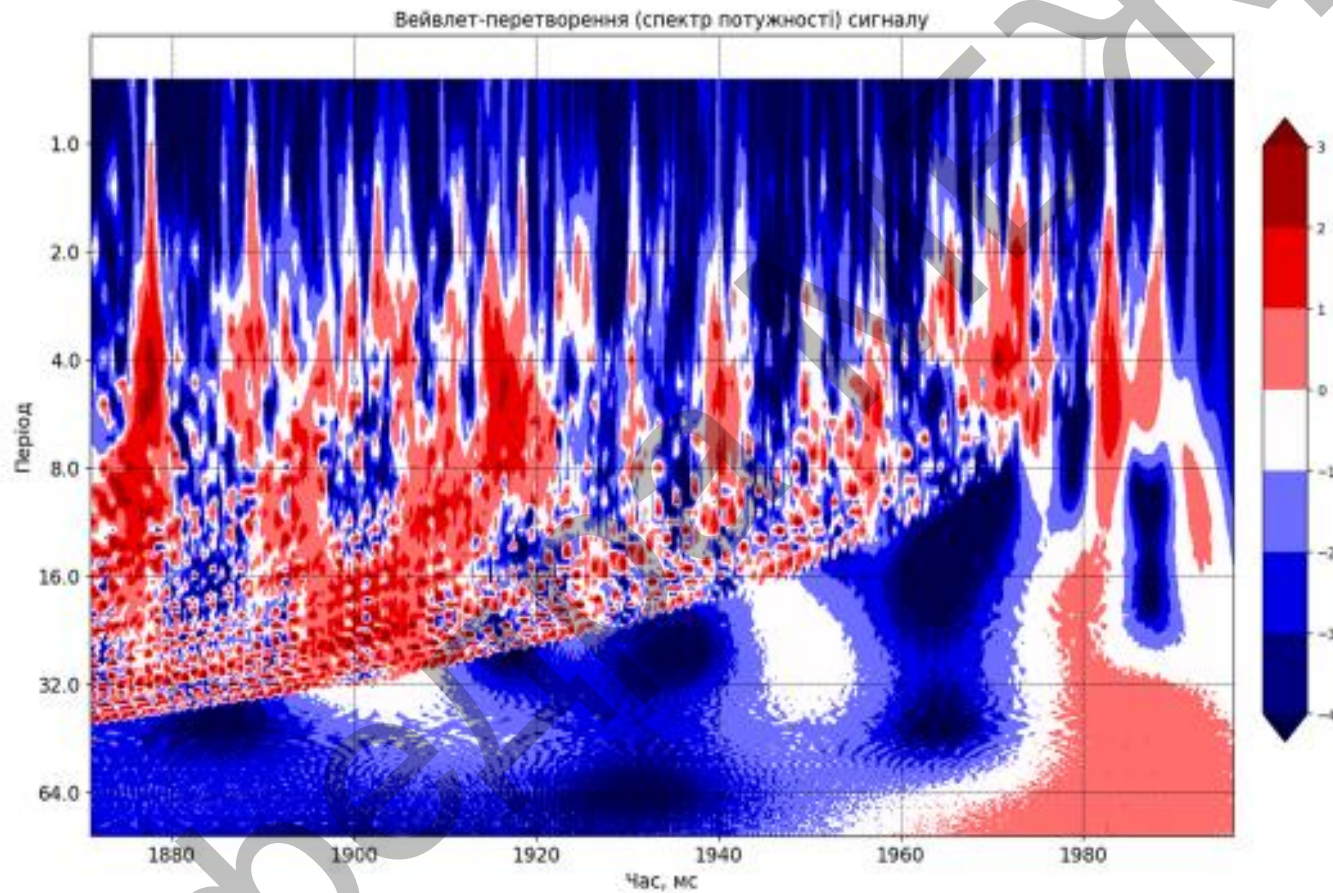


Рисунок 8 – Масштабограма виміряного тиску

ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ СИГНАЛУ

Вейвлет-перетворення часового ряду
(спектр потужності)

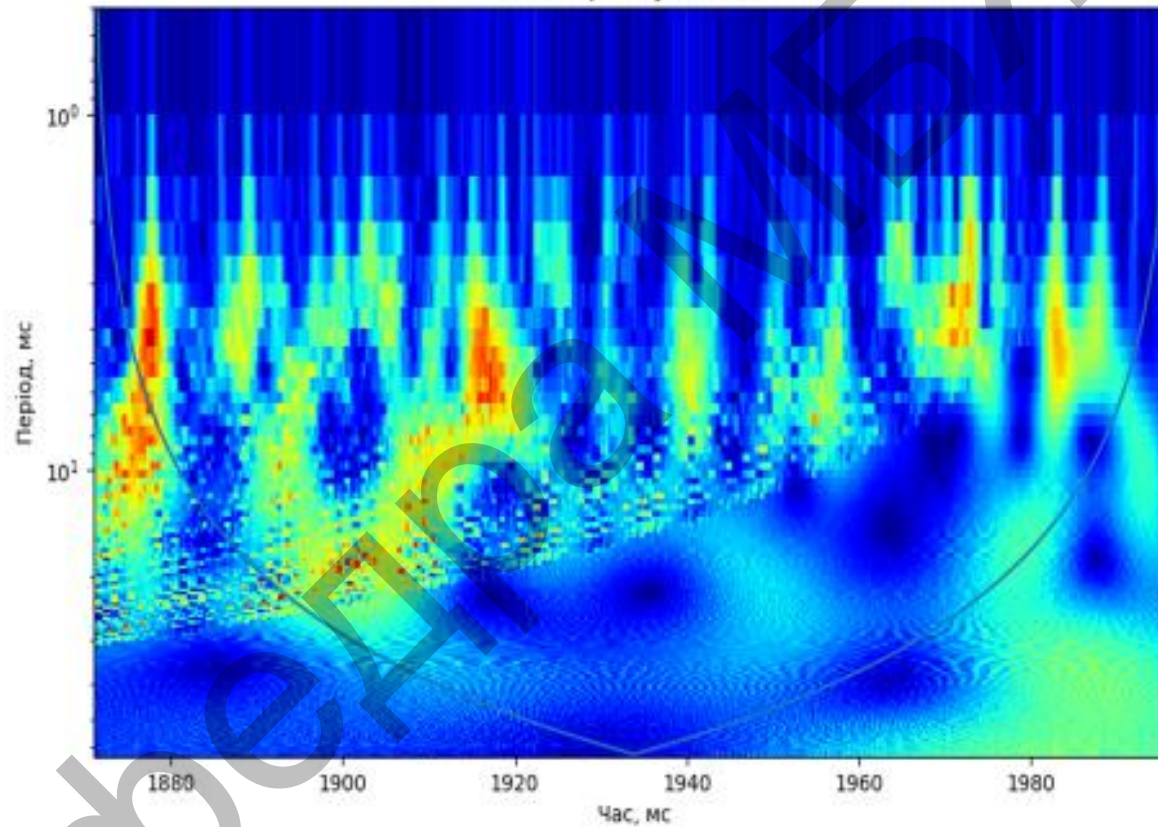


Рисунок 9 – Скалеограма виміряного тиску

ДЕФОРМАЦІЇ НА ВЕРХНІЙ ПОВЕРХНІ РАМИ

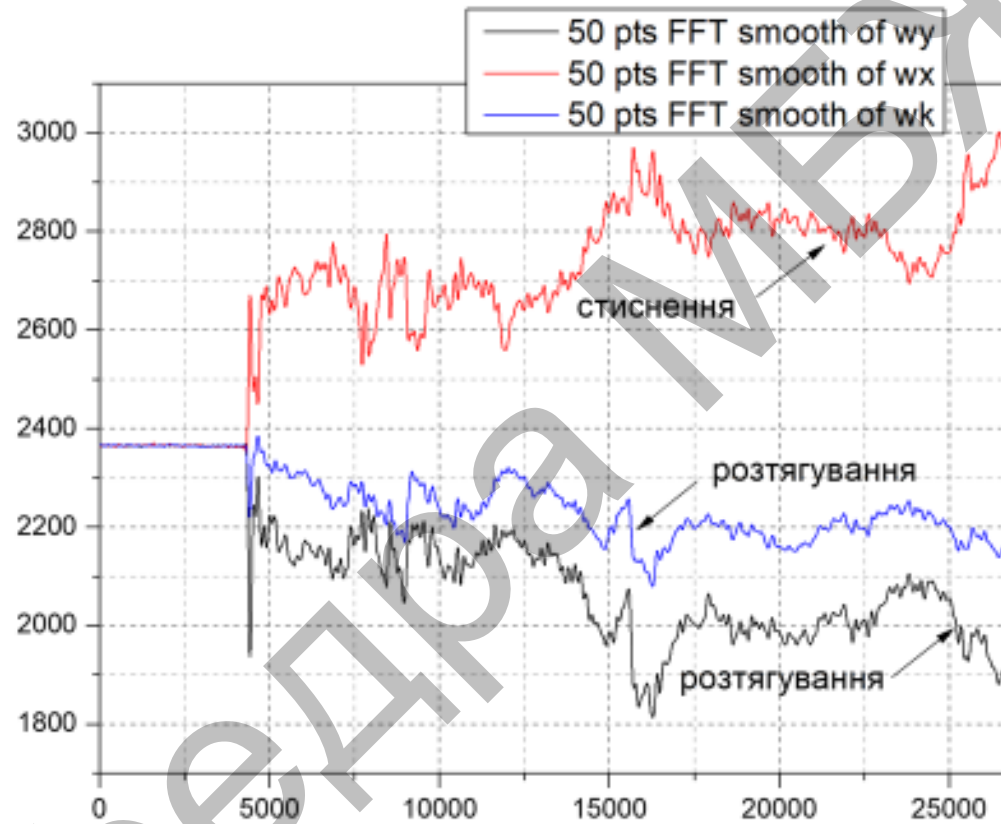


Рисунок 10 – Деформації на верхній поверхні рами автогрейдера

ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ СИГНАЛУ ВІБРАЦІЙ

Вейвлет-перетворення часового ряду
(спектр потужності)

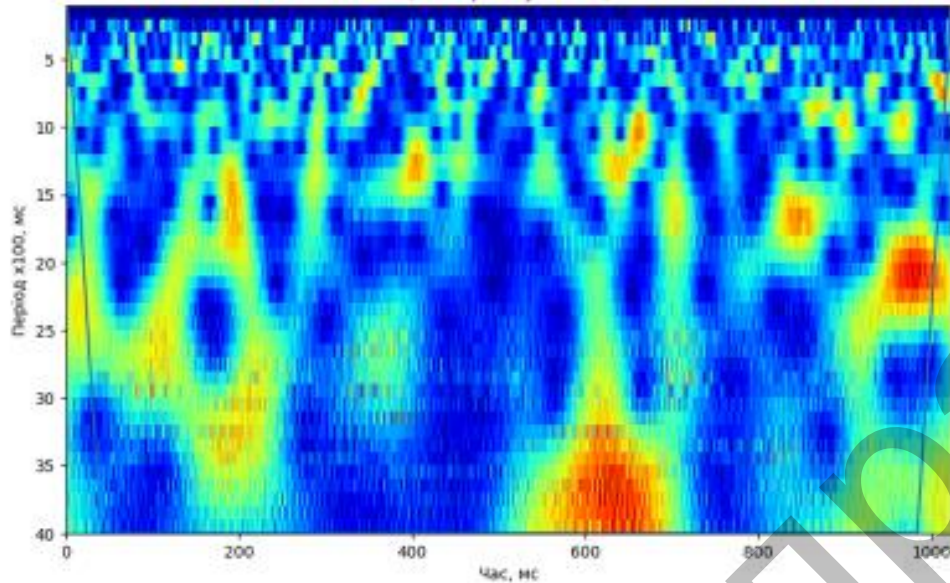


Рисунок 11 – Скалеограма вібрацій (вейвлет stog1-1,5)

Вейвлет-перетворення часового ряду
(спектр потужності)

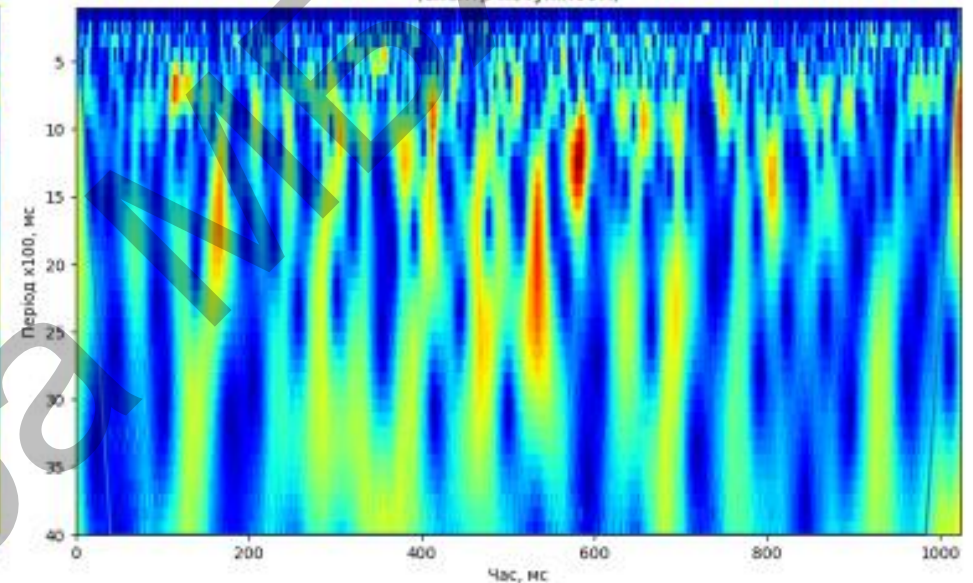


Рисунок 12 – Скалеограма вібрацій (вейвлет sgau5)

ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ СИГНАЛУ ВІБРАЦІЙ

Вейвлет-перетворення часового ряду
(спектр потужності)

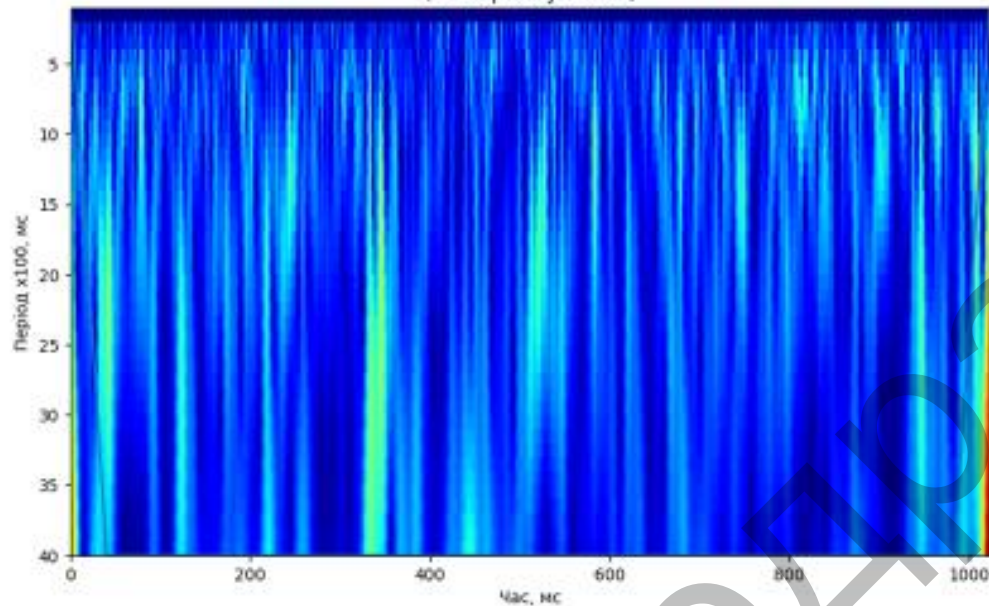


Рисунок 13 – Скалеограма вібрацій (вейвлет sgau1)

Вейвлет-перетворення часового ряду
(спектр потужності)

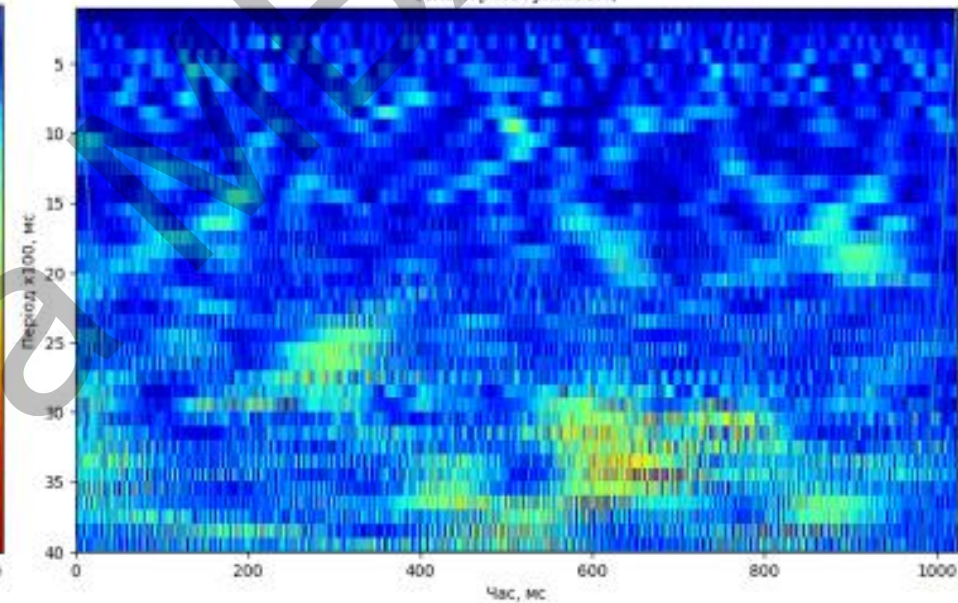


Рисунок 14 – Скалеограма вібрацій (вейвлет mexh)

ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ СИГНАЛУ ВІБРАЦІЙ

Вейвлет-перетворення часового ряду
(спектр потужності)

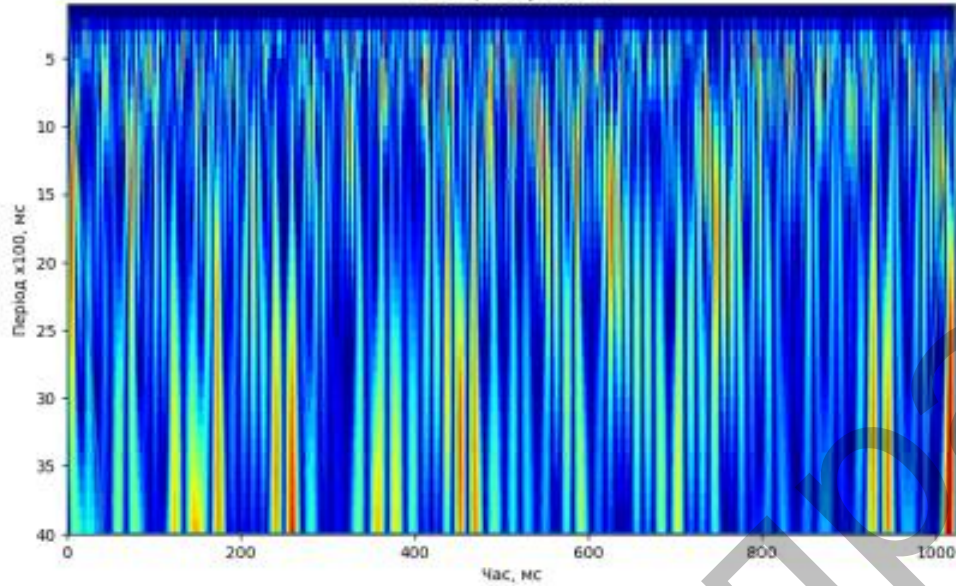


Рисунок 15 – Скалеограма вібрацій (вейвлет мех)

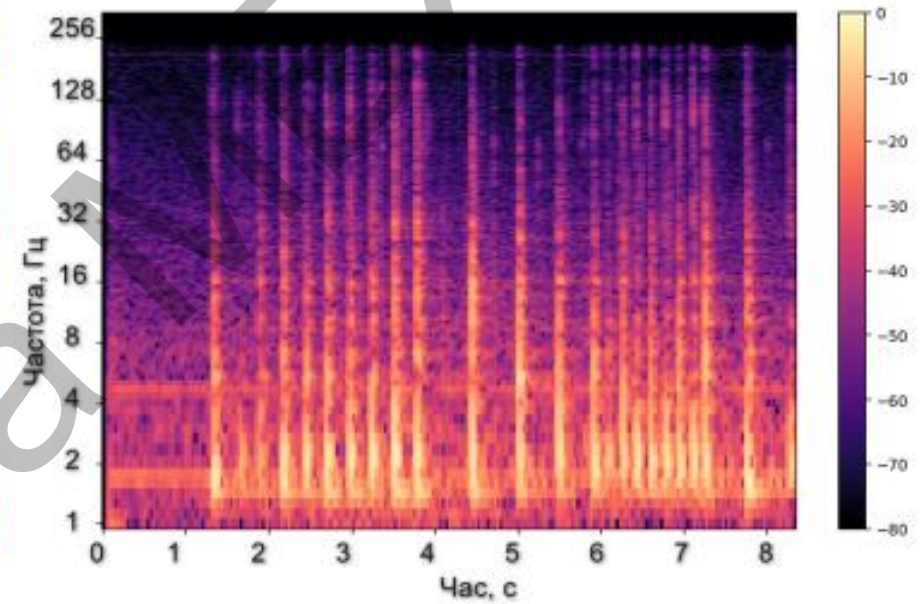


Рисунок 16 – Спектрограма вібрацій при сильно навантаженому режимі

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломної роботи була вирішена науково-практична задача з дослідження методів час-частотного аналізу для ідентифікації впливових факторів в інтелектуальних вимірювальних інформаційних системах.

З метою підвищення достовірності та точності визначення амплітуди та частоти коливань ходової частини автогрейдера та робочого органу розроблено та апробовано алгоритм вейвлет-аналізу для вимірювання часових вибірок. Алгоритм було протестовано з використанням Python.

Аналіз отриманих результатів показує, що вейвлет-аналіз дозволяє в процесі досліджень оперативно змінювати масштаб і тим самим більш детально вивчати особливості спектру на тому чи іншому відрізку часу. На спектрограмі більш чітко виділяються періодичні вібрисигнали. Але це не завжди так, все залежить від стаціонарності вимірюваного процесу, тому доцільно комплексне використання обох методів.

Результати показують, що запропонований алгоритм здатен виявляти вібраційні сигнали з імовірністю $P = 0,9$ при відношенні сигнал/шум 4.

Таким чином, в результаті проведених досліджень мета роботи досягнута, а завдання на магістерську роботу виконано у повному обсязі.

Запропоновані в даній дипломній роботі рішення доцільно використовувати в процесі наукових досліджень просторово розподілених інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем та в навчальному процесі.