

Міністерство освіти та науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет


Механічний факультет

Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

ДИПЛОМНА РОБОТА


магістра

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСТОТНИХ МЕТОДІВ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ ВИМІРЮВАЛЬНІЙ ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ДОРОЖНЬОЇ МАШИНИ

Завідувач кафедри канд. техн. наук, доцент  О. І. Богатов

Нормоконтролер канд. техн. наук, доцент  І. В. Грайворонська

Керівник канд. техн. наук, доцент  Д. Є. Петрукович

Студент гр. ММ-61-22  Б. С. Міщенко

Харків - 2023

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет механічний

Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

Освітній рівень магістр

Спеціальність: 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

 О. І. Богатов

«11» жовтня 2023 р.

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

Міщенко Богдану Сергійовичу

1. Тема роботи: «Дослідження частотних методів в інтелектуальній вимірювальній інформаційній системі дорожньої машини».

Керівник роботи Петрукович Дмитро Євгенович, к.т.н., доцент.

Затвержені наказом по університету від «11» жовтня 2023 р. № 130

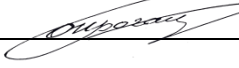

2. Строк виконання роботи «01» грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: 1 ТТХ двигунів автомобілів; 2 Режим роботи – динамічний; 3 Вимірювальні величин – акустичні сигнали роботи двигунів автомобілів під час роботи на різних видах палива.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: 1 Вступ; 2 Аналіз основних акустичних показників автомобіля; 3 Обґрунтування інтелектуальної вимірювальної інформаційно системи для розпізнавання типу автомобіля; 4 Дослідження акустичних сигналів роботи двигуна дорожньої машини за допомогою частотних методів; 5 Висновки; 6 Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1 Структура акустичних сигналів роботи двигунів автомобілів на різних видах палива; 2 Результати спектрального аналізу акустичних сигналів роботи двигунів автомобілів на різних видах палива.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	О. І. Богатов к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 19 вересня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор №	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення літератури	20.09.2023	виконано
2	Аналіз джерела акустичних сигналів під час роботи двигуна дорожньої техніки	15.10.2023	виконано
3	Обґрунтування інтелектуальної вимірювальної інформаційно системи для розпізнавання типу автомобіля	04.11.2023	виконано
4	Дослідження акустичних сигналів роботи двигуна дорожньої машини за допомогою частотних методів	14.11.2023	виконано
6	Формулювання результатів досліджень	20.11.2023	виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	25.11.2023	виконано
8	Створення презентації на Power Point	28.11.2023	виконано
9	Подання роботи керівнику	30.11.2023	виконано
10	Подання роботи на рецензію	01.12.2023	виконано

Студент



(підпис)

Міщенко Б. С.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)



(підпис)

Петрукович Д. Є.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи: 89 с., 29 рис., 2 таблиці, 1 додаток, 24 джерела.

АКУСТИЧНІ СИГНАЛИ ДВИГУНІВ АВТОМОБІЛІВ, ДІАГНОСТИКА НЕСПРАВНОСТЕЙ ДВИГУНІВ, СПЕКТР СИГНАЛУ, СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ

Мета роботи – виявлення особливостей спектральних характеристик акустичних сигналів роботи двигунів дорожніх машин.

Об'єкт дослідження – акустичні сигнали двигунів дорожніх машин.

Метод дослідження – спектральний аналіз акустичних сигналів двигунів дорожніх машин.

У роботі досліджені акустичні сигнали двигунів дорожніх машин, які працюють на різних видах палива. Проаналізовані основні джерела акустичних сигналів, які виникають під час роботи двигуна дорожньої машини, а також основні акустичні показники роботи двигуна автомобіля. Розроблені пропозиції щодо використання спектрального аналізу для дослідження акустичні сигнали двигунів автомобілі, що працюють на різних видах палива. Побудовані спектри акустичних сигналів двигунів автомобілів під час їх роботи на різних оборотах та різних видах палива. Аналіз форм спектрів дозволив виділити особливості частотних характеристик роботи двигуна на різних видах палива, що у подальшому може бути використано для діагностики несправностей двигунів автомобілів.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць скорочень і термінів.....	6
Вступ.....	7
1 Аналіз основних акустичних показників автомобіля	9
1.1 Аналіз джерела акустичних сигналів під час роботи двигуна дорожньої техніки	9
1.2 Основні акустичні показники роботи двигуна дорожньої машини..	14
2 Обґрунтування інтелектуальної вимірювальної інформаційно системи для розпізнавання типу автомобіля.....	24
2.1 Структура інтелектуальної вимірювальної інформаційної системи для вимірювання акустичних сигналів.....	24
2.2 Аналіз акустичних сигналів роботи двигуна автомобіля на різних видах палива.....	32
3 Дослідження акустичних сигналів роботи двигуна дорожньої машини за допомогою частотних методів.....	43
3.1 Спектральний аналіз акустичних сигналів роботи двигуна дорожньої машини.....	43
3.2 Аналіз роботи двигунів на різних видах палива за результатами акустичних вимірювань.....	47
4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	65
4.1 Вимоги до розміщення обладнання	66
4.2 Освітлення на робочому місці.....	66
4.3 Опалення і вентиляція в приміщеннях	68
4.4 Безпека у надзвичайних ситуаціях.....	69
Висновки.....	72
Перелік посилань.....	73
Додаток А. Ілюстративний матеріал до дипломної роботи.....	75

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ
І ТЕРМІНІВ

ДВЗ – двигуна внутрішнього згорання

АС – акустичний сигнал

ШПФ – швидке перетворення Фур'є

ДПФ – дискретного перетворення Фур'є

Кафедра МБЖД

ВСТУП

В сучасних умовах існує велика кількість дорожніх машин, які працюють на різних видах палива, таких як бензин, дизельне паливо або газ. Рівні акустичної потужності роботи двигуна автомобіля відрізняються від виду палива на якому він працює, що у свою чергу впливає на його показники. Двигун автомобіля є складним джерелом шуму і звукове поле роботи двигуна складається з декількох акустичних сигналів, що надходять від декількох незалежних джерел.

Найбільш поширеним методом аналізу акустичних сигналів роботи двигунів внутрішнього згорання автомобіля являються частотні методи розрахунку двигуна. Даний метод вимагає для забезпечення якісного проведення розрахунків отримання великої кількості вихідних даних, що не завжди є можливим. Тому для дослідження роботи двигунів дорожніх машин доцільно використовувати вимірювальні інформаційні системи. Актуальною задачею являється дослідження роботи двигунів автомобілів за результатами акустичних вимірювань.

На підставі отриманих даних спектральної щільності та взаємних спектрів обчислюють частотні характеристики сигналів. Спектральний аналіз акустичних сигналів здійснюється на базі швидкого перетворення Фур'є (ШПФ).

Метою роботи є виявлення особливостей спектральних характеристик акустичних сигналів роботи двигунів дорожніх машин на різних видах палива.

Об'єкт дослідження – акустичні сигнали двигунів дорожніх машин, що працюють на різних видах палива.

Предмет дослідження – спектральний аналіз акустичних сигналів двигунів дорожніх машин, що працюють на різних видах палива.

Для дослідження часових реалізацій акустичних сигналів роботи двигунів автомобілі, що працюють на різних видах палива пропонується використовувати спектральний аналіз. Проаналізовані основні джерела шуму,

що виникає під час роботи двигуна автомобіля, а також основні акустичні показники роботи двигуна автомобіля.

Розроблені пропозиції щодо використання спектрального аналізу для дослідження акустичні сигнали двигунів автомобілі, що працюють на різних видах палива. У подальшому це може бути використано для діагностики несправностей двигунів автомобілів.

Кафедра МБЖД

1 АНАЛІЗ ОСНОВНИХ АКУСТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛЯ

У розділі показано, що двигун внутрішнього згорання автомобіля є складним джерелом шуму і звукове поле роботи двигуна складається з декількох (є сумою) акустичних сигналів, що надходять від декількох незалежних джерел. Розглянуті основні акустичні показники роботи двигуна автомобіля та етапи акустичного розрахунку двигуна. Визначена задача дослідження, що вирішується у дипломній роботі.

1.1 Аналіз джерела акустичних сигналів під час роботи двигуна дорожньої техніки

Під шумом двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) автомобіля розуміють акустичне випромінювання, яке виробляється двигуном під час його роботи [1]. Шум двигуна вимірюють величиною рівня і спектром, які характеризують шум двигуна у точці простору. Необхідно зазначити, що шум шкідливо діє перш за все на органи слуху водія, пасажирів автомобіля та пішоходів. Шум дратує, діючи на нервову систему, знижує продуктивність праці водія, заважає сприйняттю корисних звукових сигналів, людській мові.

Дослідження показують [1, 2], що двигун внутрішнього згорання є складним джерелом шуму. Тобто звукове поле ДВЗ формується не одним джерелом акустичного випромінювання, а сумою (сукупністю) акустичних сигналів, що надходять від декількох незалежних джерел. У залежності від механізму виникнення шуму у двигуні розрізняють аеродинамічний та структурний шуми (рисунок 1.1) [2]. У свою чергу аеродинамічний шум може бути поділений на шум від процесів газообміну, який обумовлений процесами впуску та випуску роботи двигуна, та шум системи охолодження, який перш за все обумовлений роботою вентилятора. Структурний шум також можна розподілити на шум від коливання двигуна на підвісці та шум від коливання

зовнішніх поверхонь. До таких шумів можна віднести удари у рухомих зчленуваннях та шум робочого процесу у циліндрах двигуна.

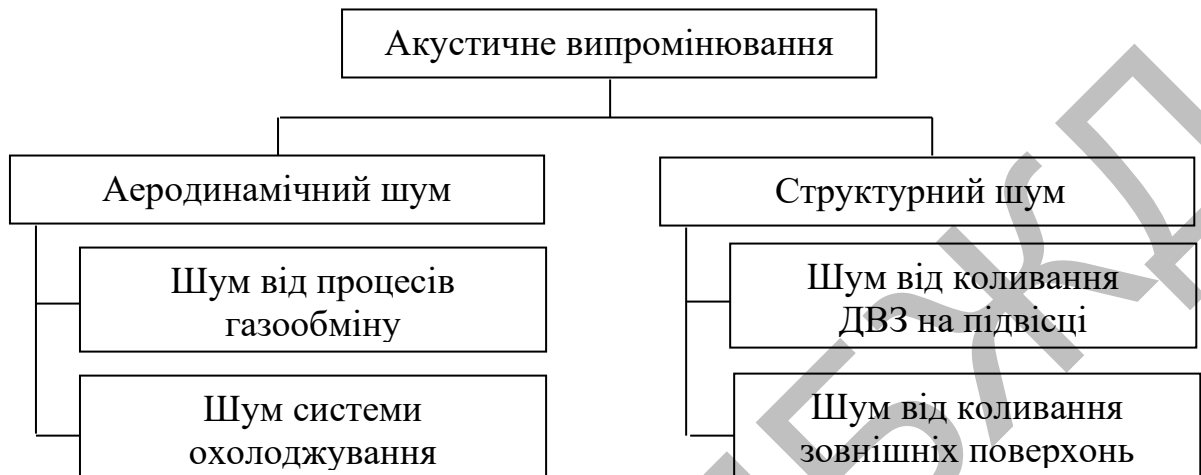


Рисунок 1.1 – Види шумів роботи двигуна внутрішнього згорання

Таким чином, можна сказати, що аеродинамічний шум виникає в результаті газообміну двигуна з навколишнім середовищем під час процесу впуску і випуску, а також під час взаємодії лопатей вентилятора з повітрям, а структурний шум випромінюється зовнішніми поверхнями деталей двигуна під час механічних коливань його структури.

Необхідно зазначити, що характер акустичних шумових сигналів роботи двигуна автомобіля та їх вплив на звукове поле, що формується під час роботи двигуна, неоднакове. На сам перед це залежить від технічних та експлуатаційних характеристик двигуна, що досліджується. Характеристики акустичних шумових сигналів залежать, як від типу побудови двигуна (карбюраторний або інжекторний) та виду палива, що в ньому використовується (бензин, дизельне паливо або газ), так і типом системи охолодження і показниками його потужності. Також на характер акустичних сигналів можуть впливати індивідуальні особливості конструкції і технології виготовлення як двигуна в цілому, так його окремих вузлів і деталей [1, 3].

Коротко розглянемо джерела шумових сигналів двигунів автомобілів, що зазначені на рисунку 1.1. Як правило, шум аеродинамічний походження

виникає в результаті коливання тиску і швидкості у газових потоках та об'ємах. Основними джерелами аеродинамічного шуму є вхідні і вихідні отвори систем впуску і випуску двигуна та вентилятор системи охолодження. Для зменшення шуму від процесів газообміну необхідно удосконалювати систему газообміну двигуна за рахунок модернізації елементів підведення газу до турбіни турбокомпресора та випуску відпрацьованих газів.

Шум вентилятора системи охолодження, особливо на вантажних автомобілях, може значним та інтенсивним і мати рівень близький до рівня шуму двигуна. Загальний рівень шуму вентилятора обумовлений дискретними частотами, кратними частоті обертання валу вентилятора та числу його лопатей. При цьому, інтенсивність шуму вентилятора пропорційна середній осьовій швидкості потоку. Крім того, зменшення розмірів радіатора за інших рівних умов приводить до зростання шуму вентилятора. Також шум вентилятора може підвищуватися за рахунок існуючих спотворення структури потоку повітря, які залежать від його осьової швидкості [3].

Як вже зазначалося вище структурний шум утворюється під час взаємодії поверхонь двигуна, що коливаються, з навколишнім середовищем. При цьому основними джерелами акустичного випромінювання є коливання двигуна як єдиного цілого на пружній підвісці та коливання окремих елементів зовнішніх поверхонь. Такий шум двигуна утворюється у середньо- і високочастотних областях спектру та є найбільш неприємним для фізіологічного сприйняття людиною. Також необхідно зазначити, що структурний шум є найбільш гучним видом акустичного випромінювання двигунів сучасних автомобілів, який найскладніше усунути.

Розглянемо джерела шуму коливань ДВЗ на підвісці (рисунок 1.1). Причинами коливань двигуна внутрішнього згорання на підвісці, за рахунок яких виникає відповідний шум є декілька факторів. Основними з них є невірноважені сили інерції, перекидаючий момент, крутильні коливання колінчастого валу та коливання автомобіля. Шум, який обумовлений коливаннями ДВЗ на підвісці, як правило, виявляється на низьких частотах. На

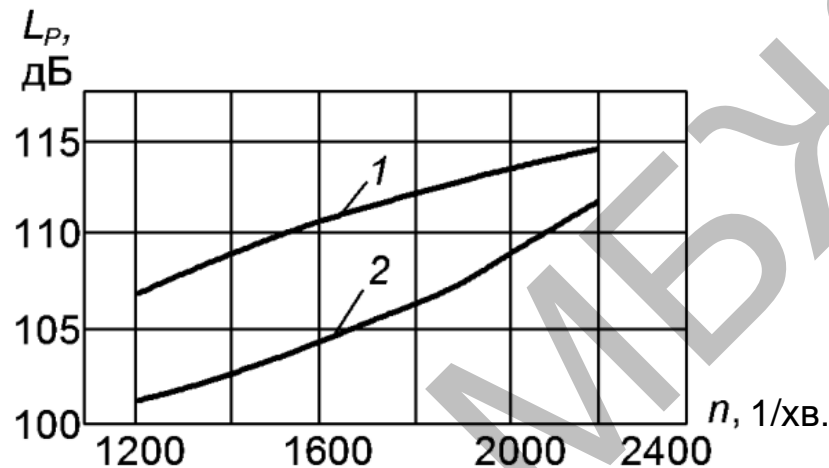
рівні цього виду шуму також впливає тип, розташування і фізичні характеристики пружних елементів підвіски. Необхідно зазначити, що інтенсивність вказаного джерела структурного шуму у сучасних двигунах під час роботи на холостому русі не є визначальною. Але під час роботи двигуна на підвищених обертах (великих обертання по частоті) шуму від коливань двигуна на підвісці значно збільшується [3, 4].

Шум від коливань окремих елементів зовнішніх поверхонь (рисунок 1.1) виникає за рахунок коливань структури ДВЗ з подальшим випромінюванням його зовнішніми поверхнями двигуна. Основними джерелами цього виду структурного шуму є імпульси газових сил під час здійснення робочого процесу у циліндрах двигуна та удари у рухомих зчленуваннях механізмів і систем двигуна. При цьому, акустичне випромінювання, що виникає від імпульсів газових сил при здійсненні робочого процесу у циліндрах двигуна називають шумом від робочого процесу, а акустичне випромінювання ДВЗ, що викликається ударами у рухомих зчленуваннях механізмів і систем двигуна називають шумом від зіткнень. Коливання окремих зовнішніх поверхонь двигуна визначають середньо- і високочастотний структурний шум поршневих двигунів внутрішнього згорання.

Шум від робочого процесу перш за все обумовлений коливальною енергією від процесу згорання, яка передається на зовнішні поверхні двигуна через головку блоку циліндрів та її кріплення або через поршень, колінчастий вал і корінні опори на картер. Співвідношення між шумом від робочого процесу і акустичним випромінюванням від зіткнень в рухомих зчленуваннях ДВС неоднаково для різних двигунів

Шум від робочого процесу роботи двигуна та шум від зіткнень можна знизити за рахунок застосуванні альтернативних палив, наприклад, природного газу. На рисунку 1.2 наведені загальні рівні звукової потужності двигуна дорожньої машини під час роботи на дизельному паливі (крива 1) та на газовому паливі (крива 2) [3].

Як видно з аналізу ходу кривих на рисунку 1.2, рівень звукової потужності двигуна автомобіля, що працює на газовому паливі менше від звукової потужності двигуна автомобіля, який працює на дизельному паливі на 7 дБ на невеликих обертах роботи двигуна, і до 3 дБ на середніх обертах роботи двигуна [3, 4].



1 – робота на дизельному паливі; 2 – робота на газовому паливі

Рисунок 1.2 – Загальні рівні звукової потужності двигуна КАМАЗ

Таким чином, двигун автомобіля є складним джерелом шуму і звукове поле роботи двигуна складається з декількох (є сумою) акустичних сигналів, що надходять від декількох незалежних джерел.

У теперішній час основним методом обробки акустичних сигналів є спектральний аналіз. Цей метод застосовують для оцінки основних спектральних характеристик сигналів – спектральної щільності, взаємних спектрів, а також для визначення кореляційних функцій сигналів та ін. Крім того, на підставі цих характеристик обчислюють частотні характеристики сигналів [2]. Спектральні характеристики дозволяють добре виявляти періодичні процеси, що виникають під час роботи двигуна автомобіля, але наочність представлення результатів спектрального аналізу не забезпечує задовільного розпізнавання типу автомобілю за формою спектру акустичного сигналу роботи їх двигуна.

Для аналізу часових реалізацій акустичних сигналів двигунів автомобілів пропонується використовувати побудовані на псевдофазовій площині фазові портрети.

Також, у зв'язку з бурхливим розвитком обчислювальної техніки, все частіше для діагностики несправності двигуна автомобіля використовуються спеціалізовані засоби на базі персональних ЕОМ, які носять назву вимірювальні інформаційні системи [5]. Передбачається, що у програмі буде створена база даних різних шумів двигуна, яка буде містити запис отриманого акустичного сигналу, поточну настройку фільтру, опис спектральної області, розшифровку несправності, марку автомобіля та модель двигуна, але у теперішній час такої бази даних немає.

Таким чином, для діагностики несправності двигуна автомобіля використовуються сучасні інформаційні технології, що реалізуються в інтелектуальних вимірювальних інформаційних системах [6]. Але методики та алгоритми обробки та аналізу акустичних сигналів відпрацьовані не достатньо.

1.2 Основні акустичні показники роботи двигуна дорожньої машини

Двигун автомобіля як джерело акустичного випромінювання характеризують значенням випромінюваної акустичної потужності, її спектром і діаграмою спрямованості випромінювання.

Розглянемо особливості акустичних показників роботи двигуна автомобіля та у подальшому проведемо дослідження акустичних сигналів під час його роботи на різних видах палива.

Розглянемо спочатку як визначається рівень акустичного сигналу. Відомо [1], що звуковий тиск p у звуковій хвилі дорівнює різниці тиску середовища у присутності та у відсутності хвилі. Рівнем акустичного сигналу (АС) називають двадцятикратний логарифм відношення звукового тиску до порогового значення $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}^2$.

Будемо вважати, що двигун, який є джерелом АС, розміщується у точці O , яка є початком координат системи x, y, z (рисунок 1.3).

Акустичний сигнал роботи двигуна випромінюється у навколишній простір у різний бік, формуючи при цьому півсферу S радіусу r . Якщо виділити на цій півсфері одиничну площину, яку позначимо A , то можна визначити силу звуку I . Сила звуку це кількість звукової енергії, що пройшла через одиничну площину, перпендикулярну радіусу r , в одиницю часу.

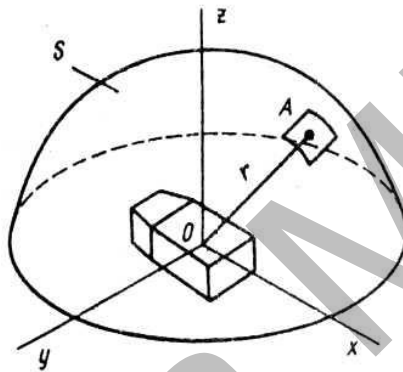


Рисунок 1.3 – Проходження акустичного сигналу через одиничну площину

Силу звуку виражають у $\text{Вт}/\text{м}^2$; вона пропорційна квадрату звукового тиску, тому рівень акустичного сигналу іноді визначають як десятковий логарифм відношення сили звуку до порогового значення $I_0 = 10^{-12} \text{ Вт}/\text{м}^2$. Таким чином, рівень акустичного сигналу L можна визначити у децибелах за наступною формулою:

$$L = 10 \lg(I / I_0) = 20 \lg(p / p_0) \quad (1.1)$$

Ще одним акустичним показником роботи двигуна автомобіля є його акустична потужність W . Акустичною потужністю двигуна називають величину $W = \oint IdS$, яка виражається у ватах, тобто це загальна кількість енергії, що випромінюється двигуном у навколишній простір у вигляді звуку і, яка рухається через поверхню півсфери радіусу r в одиницю часу.

Рівнем акустичної потужності називають величину, яку можна розрахувати за формулою:

$$L_w = L + 20 \lg r + 10 \lg \Omega - 10 \lg \Phi, \quad (1.2)$$

де $W_0 = 10^{-12}$ Вт.

Рівень акустичної потужності пов'язаний з рівнем акустичного сигналу виразом:

$$L_w = L + 20 \lg r + 10 \lg \Omega - 10 \lg \Phi, \quad (1.3)$$

де Ω – тілесний кут, в який здійснюється випромінювання;

Φ – фактор спрямованості випромінювання.

За умови, того, що центр акустичного випромінювання роботи двигуна автомобіля знаходиться у центрі O півсфери, то у виразі використовується значення $10 \lg(\Omega/8)$.

Фактор спрямованості випромінювання є величиною p_r^2 / p_{cp}^2 , тобто відношенням квадрату звукового тиску у довільній точці півсфери радіусу r до квадрату звукового тиску, усередненого по всіх точках вимірювання на поверхні S .

Величину L у точці вимірюють за допомогою спеціальних приладів з лінійною частотною характеристикою, наприклад, використовуються шумоміри.

Акустична потужність обчислюється за формулою:

$$W = 10^{0,1L_w - 12} \text{ Вт.} \quad (1.4)$$

Як зазначалося вище, під час роботи двигуна акустичне випромінювання перш за все виникає за рахунок робочого процесу двигуна, що пов'язане з підведенням теплоти Q_1 до робочого тіла у циліндрі двигуна. Для порівняння

якості конструкцій різних двигунів використовують коефіцієнт акустичного випромінювання двигуна, що може бути визначений за формулою:

$$n_{ак} = W / Q_1. \quad (1.5)$$

Зазначений коефіцієнт характеризує здатність перетворити частину теплової енергії Q_1 двигуна в енергію звукового випромінювання. Якщо у одного з двигунів цей коефіцієнт вищий, то слід вважати, що його конструкція менш досконала з погляду на акустичні характеристики. Сучасні двигуни внутрішнього згорання автомобілів під час роботи на нормальних режимах роботи випромінюють від 2 Вт до 3 Вт акустичної потужності. В точках простору навколо двигуна, що працює на стенді, на відстані 1 м від його поверхні виникають рівні шуму від 104 дБ до 120 дБ [1, 2].

Найбільш розповсюдженим методом аналізу акустичних сигналів, що наближається до суб'єктивного сприйняття звуку людиною є спектральний аналіз. При цьому частотна характеристика АС враховує особливості сприйняття людиною звуків різної частоти. При цьому орган слуху людини не однаково реагує на звуки з однією амплітудою, але різної частоти. Спектр акустичного сигналу роботи двигуна показує розподіл енергії випромінювання по частотному діапазону. У спектрах акустичних сигналів роботи двигунів присутні дискретні складові, кратні частоті обертання, кількості циліндрів, як показано на рисунку 1.4. Октавні спектри звукової потужності служать основною характеристикою АС роботи двигуна автомобіля. Акустичне випромінювання двигуна може існувати і в інфразвуковій (до 20 Гц) області, але найчастіше основна частка енергії звуку, що випромінюється двигуном, концентрується переважно в області від 20 Гц до 8000 Гц.

Ще одною характеристикою акустичного сигналу роботи двигуна є величина віддачі звукової енергії одиницею поверхні двигуна. З її допомогою зручно оцінювати конструкцію двигуна і різні способи кріплення агрегатів на

двигуні, конструкцію кришок, піддонів. У сучасних двигунах величина звукової віддачі лежить в межах від 95 дБ/м² до 110 дБ/м².

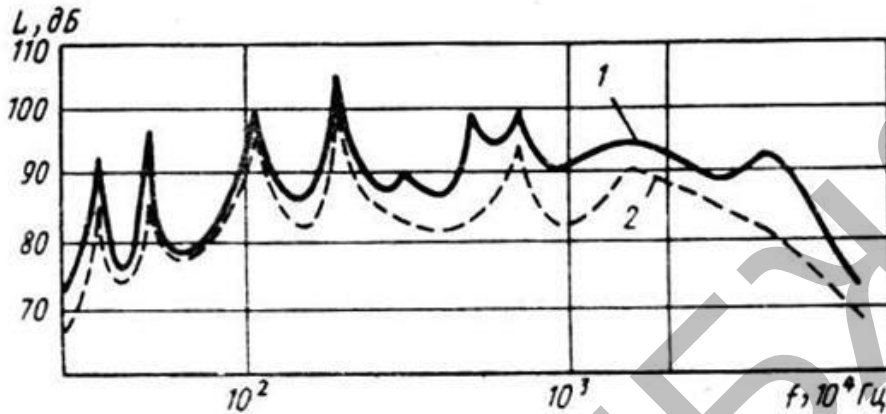


Рисунок 1.4 – Акустичний сигнал робот дизельного двигуна у точці простору на відстані 1 м від його бічної поверхні при $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$, $p_e = 0,5 \text{ МПа}$ (1) і холостому ході (2)

Таким чином, причинами виникнення акустичного випромінювання двигуна може бути взаємодія тіла, що коливається, з середовищем, «швидке» виділення енергії в кінцевому об'ємі середовища та підведення кінцевої кількості речовини у певну кінцеву область середовища, а також взаємодія потоку речовини з твердим тілом. Як вже зазначалося вище всі ці фізичні процеси одночасно або послідовно виникають під час здійсненні робочого циклу двигуна автомобіля. При цьому у всіх випадках акустичне випромінювання буде виникати внаслідок збурення коливальної системи, розповсюдження в ній коливань і подальшого процесу випромінювання енергії коливань у навколишній простір [3].

Розглянемо процес виникнення акустичного випромінювання під час роботи двигуна дорожньої машини.

Якщо скласти складові, які впливають на акустичну потужність, то отримаємо рівняння акустичного балансу двигуна дорожньої машини у робочому циклі, яке можна записати у наступному вигляді:

$$W_{\partial} = W_{en} + W_{вин} + W_{деф} + W_{зг} + W_n + W_{уд} + W_{аг}, \quad (1.6)$$

де W_n - енергія коливання двигуна на підвісці;

W_{en} - акустична потужність на такті впуску;

$W_{вин}$ - акустична потужність на такті випуску;

$W_{аг}$ - акустична потужність роботи різних агрегатів на двигуні;

$W_{уд}$ - акустична потужність при ударах різних деталей;

$W_{деф}$ - енергія коливань стінок у вигляді звуку;

$W_{зг}$ - акустичне випромінювання під час згорання.

Рівняння акустичного балансу двигуна автомобіля (1.6) містить основні складові акустичного сигналу. Дослідження показують, що елементи поверхні двигуна випромінюють різну кількість акустичної енергії. Якщо виділити на поверхні двигуна характерні зони або поверхні окремих деталей, а потім, підсумувати акустичну потужність, яка випромінюється всіма поверхнями, можна записати рівняння акустичного балансу двигуна по поверхні у вигляді:

$$W_{\partial} = W_{en} + W_{вин} + \sum_{i=1}^m W_i, \quad (1.7)$$

де W_i – акустичне випромінювання, яке здійснюється i -им елементом поверхні двигуна;

m – кількість елементів, на яку розбита вся поверхня двигуна.

Дослідження показують, що у залежності від особливостей конструкції двигуна та організації робочого процесу, його поверхня площиною 1 м² випромінює питому акустичну потужність від 90 дБ до 115 дБ [1, 2]. Акустичне випромінювання ділянок поверхні двигуна, горловини трактів впускання і випуску ототожнюють з дією простих випромінювачів нульового та першого порядку, а випромінювачі вищих порядків не враховують. За таким припущенням існує третій різновид акустичного балансу двигуна по випромінювачах, який можна записати у наступному вигляді:

$$W_d = \sum_{i=1}^k W_{0i} + \sum_{j=1}^l W_{1j}, \quad (1.8)$$

де W_0, W_1 – випромінювання нульового та першого порядку;

k – кількість випромінювачів нульового порядку;

l – кількість випромінювачів першого порядку.

Виходячи з цього, складання акустичного балансу роботи двигуна у різних модифікаціях дає можливість визначити найбільш істотні складові акустичного сигналу двигуна, вказати причини виникнення, вивчити процес формування, знайти найбільш раціональні шляхи зменшення його потужності.

Для зниження рівня акустичних сигналів роботи двигунів використовується віброізоляція та вібропоглинання, а також звукоізоляція та звукопоглинання, як окремих елементів двигуна, так і в цілому.

Під час розробки конструкції ДВЗ дуже часто виникає необхідність розрахункових оцінок акустичної потужності, яка випромінюється двигуном. Такі оцінки називають частотним розрахунком двигуна. Розрахунковим шляхом можна отримати всі основні складові частотного балансу двигуна. У загальному вигляді акустичний розрахунок ДВЗ містить [1, 2, 7]:

- розрахунок рівнів і спектрів індикаторних діаграм на основі моделювання робочих процесів або збурюючих чинників;
- визначення узагальненої частотної індивідуальної характеристики двигуна;
- розрахунок рівнів і спектрів акустичної потужності по складовим акустичного балансу двигуна.

Моделювання робочого циклу може бути реалізоване покроковим визначенням його параметрів по куту повороту колінчастого валу або з використанням аналітичних функцій, які описують різні ділянки індикаторної діаграми (стиснення, згорання, розширення).

При моделюванні передавальної функції найбільш загальні її закономірності можуть бути визначені при представленні даного двигуна

еквівалентною циліндровою оболонкою, що має масу, площу зовнішніх поверхонь, довжину, коефіцієнт Пуассона, модуль Юнга і щільність матеріалу такі ж, як у даного двигуна. Функція, яка визначається, є відношенням звукової потужності акустичного випромінювання до квадрата сили тиску газів.

Дослідження показують, що у дизельних двигунів спектри індикаторних діаграм ширші, ніж в бензинових [1, 2]. Тенденція підвищення ступеня стиснення у бензинових двигунах збільшує ширину спектру та рівень акустичних сигналів під час згорання. Дослідження показують, що переобладнання дизельних двигунів на газове паливо дозволяє значно знизити рівень акустичного сигналу під час згорання.

На рисунку 1.5 показана індикаторна діаграма роботи дизельного двигуна та двигуна при застосування природного газу у якості палива. Отриманий робочий процес з індикаторною діаграмою, спектр якої на три октави вужчий, ніж аналогічний спектр при традиційному робочому процесі.



Рисунок 1.5 – Спектри індикаторних діаграм двигунів на оборотах $n = 2200 \text{ хв}^{-1}$ під час роботи на дизельному та газовому паливі

Загальний шум двигуна при цьому знижується на від 6 дБ до 10 дБ практично на всіх швидкісних режимах та навантаженнях (рисунки 1.7, 1.8). Це показує, що методи організації робочого процесу з використанням традиційних

способів утворення суміші у поєднанні з робочими процесами на газовому паливі надають широкі можливості для забезпечення норм по шуму у перспективних ДВЗ при високій паливній економічності і виконанні вимог по токсичних характеристиках.

Для аналізу акустичних сигналів роботи двигунів внутрішнього згорання широко використовується метод частотного розрахунку двигуна. Але для якісного проведення розрахунків необхідно отримати велику кількість вихідних даних.

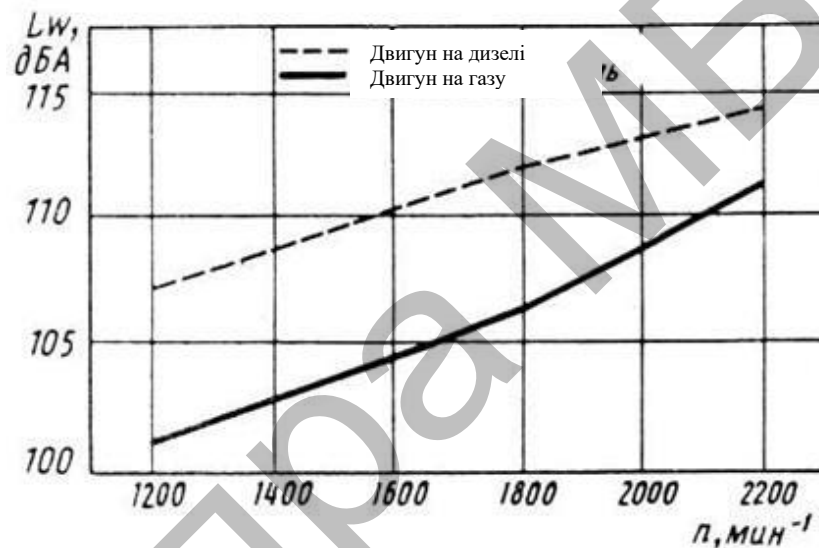


Рисунок 1.6 – Загальні рівні звукової потужності двигуна

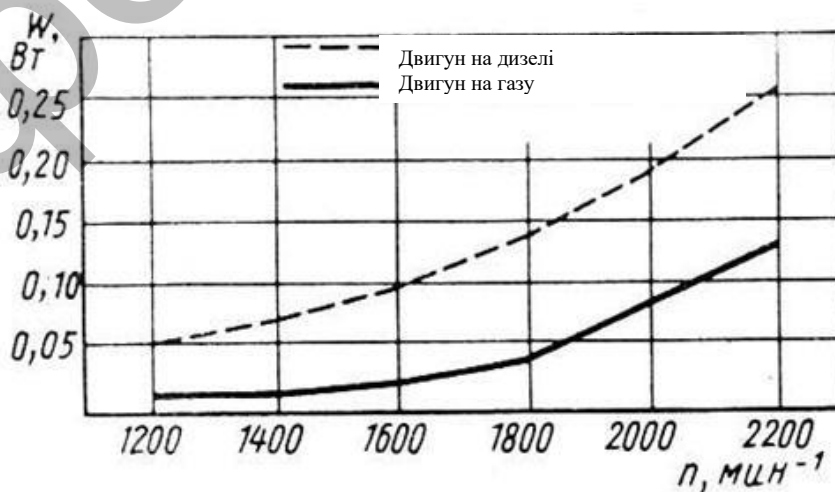


Рисунок 1.7 – Акустична потужність двигунів

Тому для дослідження роботи двигунів доцільно використовувати вимірювальні інформаційні системи. Крім того, є актуальною задачею є дослідження роботи двигунів, які працюють на різних видах палива, за результатами акустичних вимірювань.

Кафедра МБЖД

2 ОБГРУНТУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО СИСТЕМИ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ТИПУ АВТОМОБІЛЯ

У розділі розглянутий підхід щодо створення інтелектуальної вимірювальної інформаційної системи для дослідження роботи двигуна дорожньої машини частотним методом. Приведені форми акустичних сигналів та досліджені особливості часових реалізацій акустичних сигналів під час роботи двигуна дорожньої машини на різних видах палива.

2.1 Структура інтелектуальної вимірювальної інформаційної системи для вимірювання акустичних сигналів

Всі основні засоби вимірювання та аналізу акустичних сигналів, які обумовлені вібрацією та шумом двигуна внутрішнього згорання, будуються з використанням трьох типів пристроїв.

Перший – датчик вібрації або мікрофон, який перетворює коливання в електричний сигнал.

Другий – фільтр, який виділяє компоненти сигналу у необхідній області частот.

Третій – детектор, який призначений для оцінки амплітуди виділених компонент [8].

Різні типи приладів можуть містити різні комбінації цих трьох елементів. Для вимірювання акустичних сигналів нам необхідний датчик. Датчики, які працюють в чутному діапазоні це мікрофони. По суті, мікрофон є датчиком тиску, пристосованим для перетворення звукових хвиль в широкому спектральному діапазоні, з якого зазвичай виключені дуже низькі частоти, нижче декількох герц. Мікрофон характеризується такими параметрами, як: чутливість, спрямованість, смуги частот, динамічний діапазон, розміри. Для роботи в різних середовищах використовуються різні конструкції акустичних датчиків. Основна відмінність між звичайним датчиком тиску і акустичним

перетворювачем полягає в тому, що останньому не доводиться вимірювати постійний або дуже повільно змінюючийся тиск. Його робочий частотний діапазон починається з декількох герц, а закінчується в районі декількох мегагерц для ультразвукових датчиків [9, 10].

Оскільки акустичні хвилі являються механічними, будь-який мікрофон має таку ж структуру, що і датчик тиску: до його складу входить діафрагма і перетворювач переміщень, що перетворює відхилення діафрагми в електричний сигнал. Тому всі акустичні перетворювачі відрізняються тільки конструкцією цих двох компонентів. Хоча деякі з них можуть також включати додаткові компоненти, такі як звукопоглинатели, фокусуючі відбивачі або лінзи.

В склад вимірювальної інформаційної системи необхідно включити електретний мікрофон. Електретні мікрофони – це електростатичні перетворювачі, що складаються з металізованої електретної діафрагми і металевої пластини, відокремлених один від одного повітряним зазором (рисунок 2.1).

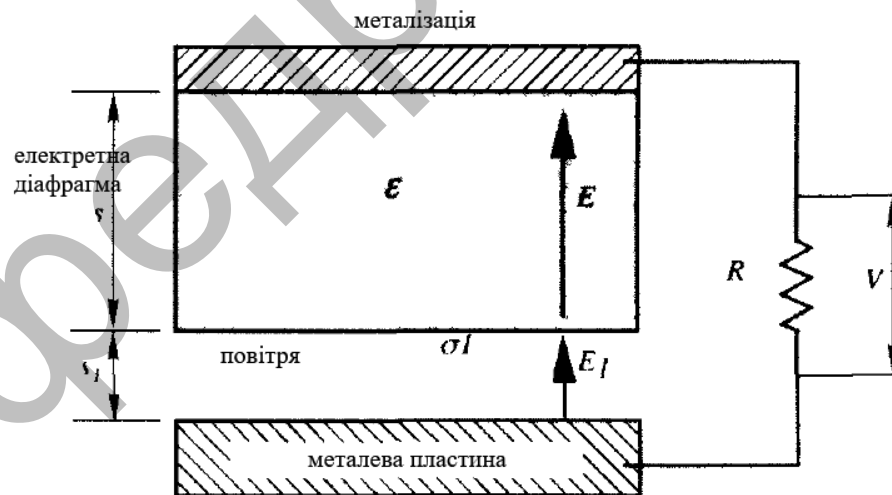


Рисунок 2.1 – Структура електретного мікрофона

Електретні мікрофони відрізняються від інших аналогічних пристроїв тим, що їм для роботи не потрібно додаткового джерела постійної напруги. Тоді як при таких же розмірах і чутливості на ємнісний мікрофон необхідно

подавати напругу вище 100 В. Механічне напруження діафрагми зазвичай досить маленька (близько 10 Н/м), тому зворотня сила визначається, в основному, стисливістю повітряного зазору. Також дані перетворювачі мають ряд переваг: вони можуть працювати в широкому частотному діапазоні від 10^3 Гц до сотень МГц, у них плоска частотна характеристика (в межах ± 1 дБ), вони мають: низький рівень нелінійних спотворень, високу вібростійкість, гарну реакцію на імпульсне збурення і нечутливість до магнітних полів [11, 12].

Структурна схема вимірювальної інформаційної системи представлена на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Структурна схема вимірювальної інформаційної системи

ВІС визначення акустичних сигналів (стиснення, розтягування), складається з електретного мікрофону, підсилювачів, комутатору, ноутбука. ВІС реалізує інформацію для подальшого аналізу досліджуваного процесу [8].

Дані вимірювання реєструються датчиком (електретним мікрофоном), посилюються за допомогою диференціального підсилювача, після чого за і записується в пам'ять комп'ютера.

Перетворення неелектричних інформативних параметрів датчиків, підключених до входів вимірювальних каналів, результати якого обробляються

мікропроцесорними обчислювальними пристроями для одержання результатів вимірювань. Вподальшому інформація оброблялася в блоці аналізу ноутбуку.

У ході проведення експериментальних досліджень використовувалася вимірювальна інформаційна система (BIC), яка була створена на базі персонального комп'ютеру типу Notebook Samsung P29 з використанням електричного мікрофону Genius MIC-01A та вимірювача дальності Laser Distance Meter.

У якості датчика отримання акустичного сигналу використовувався комп'ютерний мікрофон Genius MIC-01A, який є найбільш дешевим та простою моделлю. Одною з характеристик мікрофону є спрямованість, яка відображає чутливість мікрофону до місця розташування джерела звуку [11]. Мікрофон, що застосовувався є всепрямованим, тобто такий мікрофон сприймає звук з будь-якої точки розташування джерела звуку. Ще одною характеристикою мікрофону є чутливість, яка показує мінімальний рівень звуку, що сприймає мікрофон, чим нижче значення, тим більша чутливість мікрофону. Для мікрофону Genius MIC-01A вона складає $-(62 \pm 4)$ дБ [13]. Частотна характеристика мікрофону визначає діапазон частот, в якому мікрофон формує звук [13]. Для формування низького звуку необхідно щоб нижнє значення діапазону було низьким. Для зазначеного типу мікрофону частотна характеристика змінюється від 100 Гц до 10 кГц. Вихідний опір, що характеризує сумісність мікрофону з обладнанням, до якого він підключається, складає 2,2 кОм. Співвідношення сигнал/шум для мікрофону Genius MIC-01A складає >40 дБ, що є не дуже великим [11, 13]. Чим більше це співвідношення, тим менше спотворюється звук. Характеристики мікрофону Genius MIC-01A представлені в таблиці 2.1.

Типовий вимірник дальності Laser Distance Meter використовувався для визначення відстані від вимірювального комплексу до об'єкту дослідження (дорожньої машини).

Таблиця 2.1 – Характеристики мікрофону Genius MIC-01A

Властивість	Значення
Принцип дії	електретний
Номинальний опір (Ом)	2200
Частотний діапазон (Гц)	від 100 до 10000
Чутливість (Дб)	(62 ± 4)
Довжина з'єднувального дроту (м)	3
Вага (г)	64
Вартість (грн)	100

При цьому запис акустичних сигналів проводився з фронту автомобіля. Під час проведення експериментальних досліджень двигун автомобіля працює при різних навантаженнях: невисоких – 700 об./хв. та середніх (економічний режим роботи) – 1600 об./хв. та невисоких – 3000 об./хв.

У якості об'єкту дослідження використовувався автомобіль KIA Carens, який працює як на бензині, так і на газу. При цьому запис акустичних сигналів проводився з фронту (рисунок 2.3, а) та з лівого боку (рисунок 2.3, б) автомобіля. Також досліджувалася різниця акустичних сигналів під час роботи двигуна на бензині та газу.

Вимірювальна інформаційна система в процесі проведення експериментів фіксувала акустичні сигнали з виходу мікрофону у цифровій формі за допомогою аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) вбудованої звукової карти персонального комп'ютера HP 840 з частотою дискретизації $f_d = 22,050$ кГц ($t_d = 1/f_d \sim 45,4$ мкс). Запис здійснювався при 16 бітовому квантуванні по рівню (динамічний діапазон 96,33 дБ, відповідний 65536 рівням, 1 рівень $\sim 0,00147$ дБ) [12, 14]. При цьому показання датчика (акустичні сигнали) представлялися у вигляді табличних цифрових даних (рівнів сигналу) і записувалися у постійну пам'ять комп'ютера у вигляді wav-файла. Передбачена можливість перетворення файлу даного формату у txt-файл.



а



б



в



г

Запис з двигуна (а), фронту (б), лівого (в) та з правого боку (г) автомобіля
Рисунок 2.3 – Фотографія вимірювально-інформаційної системи

На рисунку 2.4 показаний приклад записаного сигналу під час роботи двигуна автомобіля KIA Carens на бензині (лівий бік) на невисоких обертах 700 об./хв. Відстань ВІС від лівого боку автомобіля складала 0,5 м. По осі абсцис (X) відкладено число точок записаного сигналу, а по осі ординат (Y) – рівень акустичного сигналу (число рівнів дискретизації).

Запис за часом складала $t_{\text{зап}} = 4,5$ секунд і при вказаній частоті дискретизації склала $N = 99234$ крапок ($t_{\text{д}} = t_{\text{зап}}/N \sim 45,4$ мкс). Як видно на рис. 2.4, сигнал має деяку частоту коливань, а також змінюється по амплітуді, присутня амплітудна модуляція вихідного сигналу. Крім того, на рисунку 2.4 видно, що амплітудні значення записаного сигналу розташовані нижче нуля, максимальне значення дорівнює -1248 рівня ($-1248 \text{ дБ} \times 0,00147 \text{ дБ} \sim -1,84 \text{ дБ}$), а мінімальне значення дорівнює -1513 рівня ($-2,22 \text{ дБ}$). При цьому діапазон

зміни амплітуди складає 265 рівня (0,39 дБ). Тому у подальшому аналізувати амплітуду акустичного сигналу будемо у відносних одиницях – кількість рівнів сигналу.

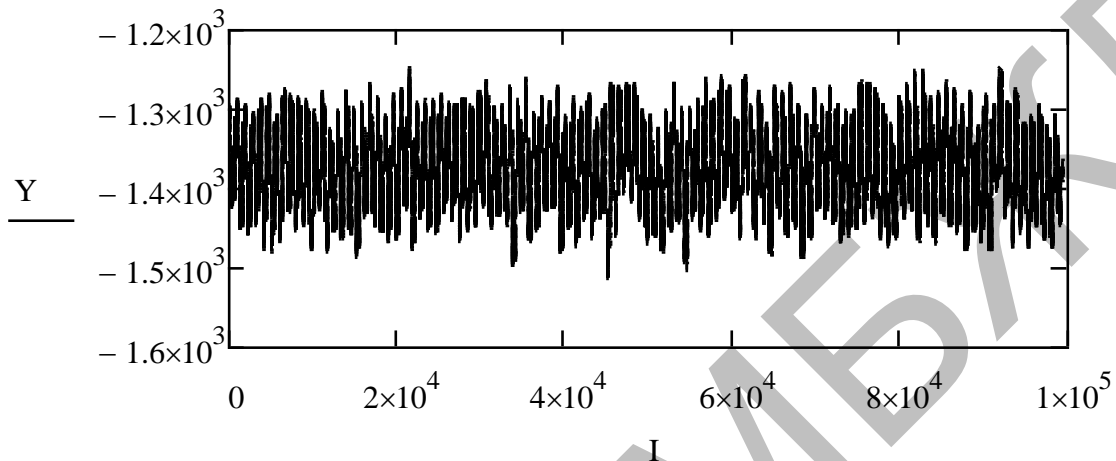


Рисунок 2.4 – Приклад записаного сигналу з лівого боку автомобіля під час роботи двигуна на бензині на невисоких обертах 700 об./хв.

Також на рисунку 2.4 видно, що візуальний аналіз довгого часового ряду не дозволяє дослідити характер зміни частоти та амплітуди сигналу, тобто неможливо дослідити особливості акустичного сигналу роботи двигуна автомобіля. Тому для аналізу сигналів необхідно робити попередню обробку. З цілих акустичних сигналів (довгих часових рядів) вирізувалися вибірки розміром $2^{13} = 8192$ точок ($8192 \times 45,4$ мкс $\sim 0,37$ секунди) для зручності розрахунку швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), тобто використовувалася «віконна» обробка довгого сигналу. «Вікна» оброблялися через 8192 точок, тобто були застосовані «стрибаючі вікна» без перекриття [12, 15].

Також для якісної побудови спектрів, сигнали нормувалися по середньому значенню амплітуди сигналу у вибірці. Крім того, аналізувалися характерні «вікна» (вибірки сигналу) в яких були зафіксовані особливості роботи двигуна для різних умов проведення експерименту.

На рисунку 2.5 показана вибірка у 5 «вікні» з сигналу (8192 точок) під

час роботи двигуна на бензині на обертах 700 об./хв. (рисунок 2.4) після попередньої обробки.

Як видно на рисунку 2.5 акустичний сигнал у «вікні» має певні параметри – амплітуду, частоту, період. На рисунку також видно, що максимальна амплітуда сигналу після нормування дорівнює +101 рівень дискретизації, мінімальна амплітуда – -106 рівень дискретизації. Діапазон зміни амплітуди складає 207 рівнів. При дослідженні акустичних сигналів роботи двигуна на різних видах палива також проводився аналіз обмеженого набору їх параметрів.

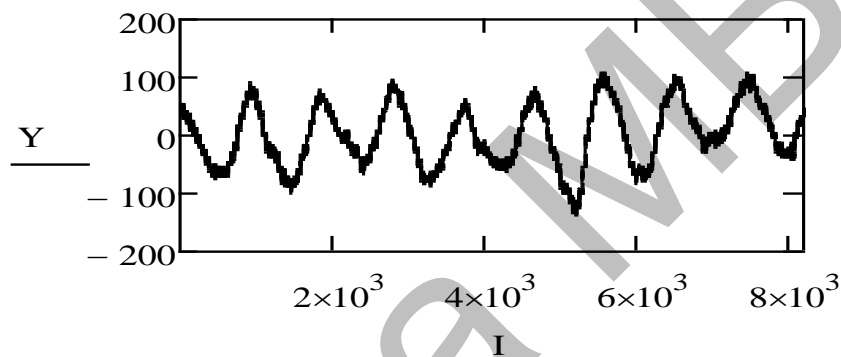


Рисунок 2.5 – Приклад вибірки розміром $2^{13} = 8192$ точок у 5 «вікні» під час роботи двигуна на бензині на обертах 700 об./хв.

Під час експериментальних досліджень проводилося по два експерименти за одних і тих умов (дальності мікрофону до автомобіля, бік з якого здійснювався запис, вид палива та обороти на яких працював двигун), результати яких записувалися в окремі файли. При подальшій обробці, отримані результати усереднювалися по проведеним експериментам [12, 15].

Таким чином, проведені експерименти дозволили отримати часові реалізації акустичних сигналів роботи двигуна автомобіля Nissan X-Trail, який працював як на бензині, так і на газу, при різних навантаженнях: невисоких – 700 об./хв. та середніх (економічний режим роботи) – 1600 об./хв. та 3000 об./хв. При цьому запис акустичних сигналів проводився з фронту та з лівого боку автомобіля.

2.2 Аналіз акустичних сигналів роботи двигуна автомобіля на різних видах палива

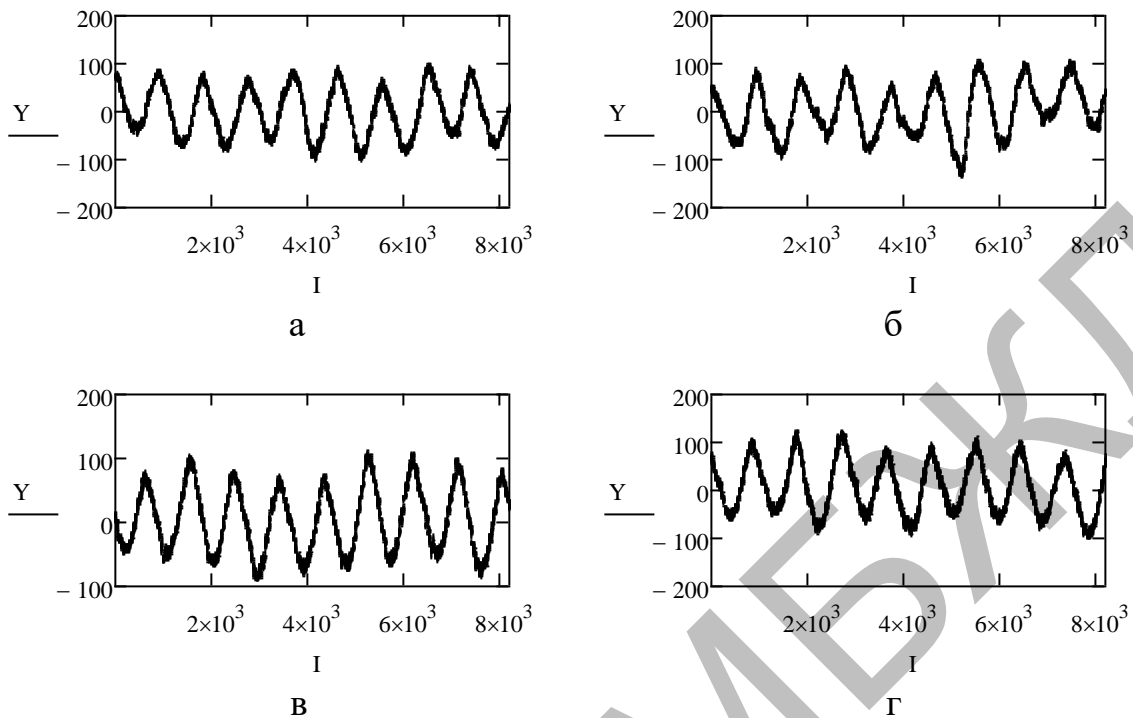
Для аналізу часових реалізацій акустичних сигналів (АС) роботи автомобіля двигуна на різних видах палива розглянемо типові сигнали у різних «вікнах» на невисоких (700 об./хв.) та середніх обертах (1600 об./хв., 3000 об./хв.), що записувалися у двох положеннях – з лівого боку та з фронту автомобіля, на відстані 0,5 м від датчика (мікрофону) до автомобіля. Аналіз будемо проводити для чотирьох типових «вікон». Узагальнені відомості про режими роботи автомобіля наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Режими роботи автомобіля, що досліджувалися

Вид палива	Навантаження	Бік запису	Номер «вікна»
на бензині	700 об./хв.	з лівого боку	1, 5, 8, 9
на бензині	1600 об./хв.	з лівого боку	1, 2, 6, 9
на бензині	3000 об./хв.	з лівого боку	1, 3, 4, 11
на газу	700 об./хв.	з лівого боку	1, 3, 6, 8
на газу	1600 об./хв.	з лівого боку	1, 3, 9, 11
на газу	3000 об./хв.	з лівого боку	2, 6, 8, 10
на бензині	3000 об./хв.	з фронту	1, 3, 7, 8
на газу	3000 об./хв.	з фронту	2, 6, 8, 10

На рисунку 2.6 наведені часові реалізації акустичних сигналів роботи двигуна під час роботи на бензині на обертах 700 об./хв. у чотирьох характерних «вікнах».

Як видно на рисунку 2.6, часові реалізації АС роботи двигуна на бензині на невеликих обертах мають синусоїдальну форму. При цьому амплітуда сигналів є невеликою (середній діапазон зміни амплітуди близько 200 рівнів), та змінюється не значно топ то модуляція майже відсутня. Період сигналу складає у середньому 920 точок, що дорівнює $T = 920 \times 45,4 \text{ мкс} \sim 0,042 \text{ секунди}$. Крім того, має місце невелика шумова складова, яка накладається на сигнал.

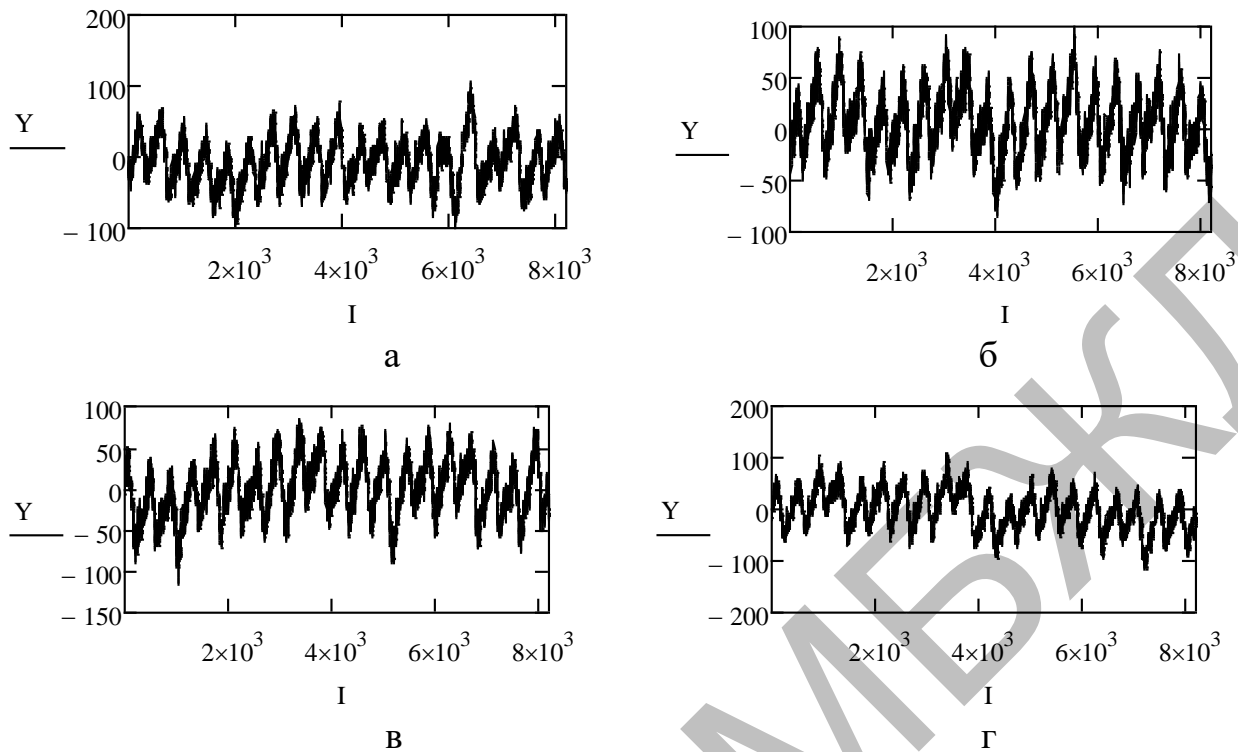


«Вікна»: 1 (а), 5 (б), 8 (в) та 9 (г)

Рисунок 2.6 – Акустичні сигнали роботи двигуна автомобіля на бензині на обертах 700 об./хв.

На рисунку 2.7 наведені часові реалізації АС роботи двигуна під час роботи на бензині на обертах 1600 об./хв. у чотирьох характерних «вікнах».

Аналіз форми АС роботи двигуна на бензині на обертах 1600 об./хв., наведених на рисунку 2.7, показує, що форми часових реалізацій сигналів відрізняються від форм АС, показаних на рисунку 2.6. Характерною особливістю даних сигналів є те, що частота сигналів більша. Період сигналу зменшується, і складає у середньому 415 точок, що відповідає $T = 415 \times 45,4 \text{ мкс} \sim 0,019$ секунди, тобто період сигналу менше приблизно у два рази. Величини амплітуд сигналів, у порівнянні з наведеними на рисунку 2.6, не змінюються (середній діапазон зміни амплітуди також близько 200 рівнів), але форма амплітудної модуляції відрізняється. При цьому, наявність шумової складової зберігається. Крім того, спостерігається не значна зміна форми сигналів у різних «вікнах» аналізу (рисунок 2.7, б, г).

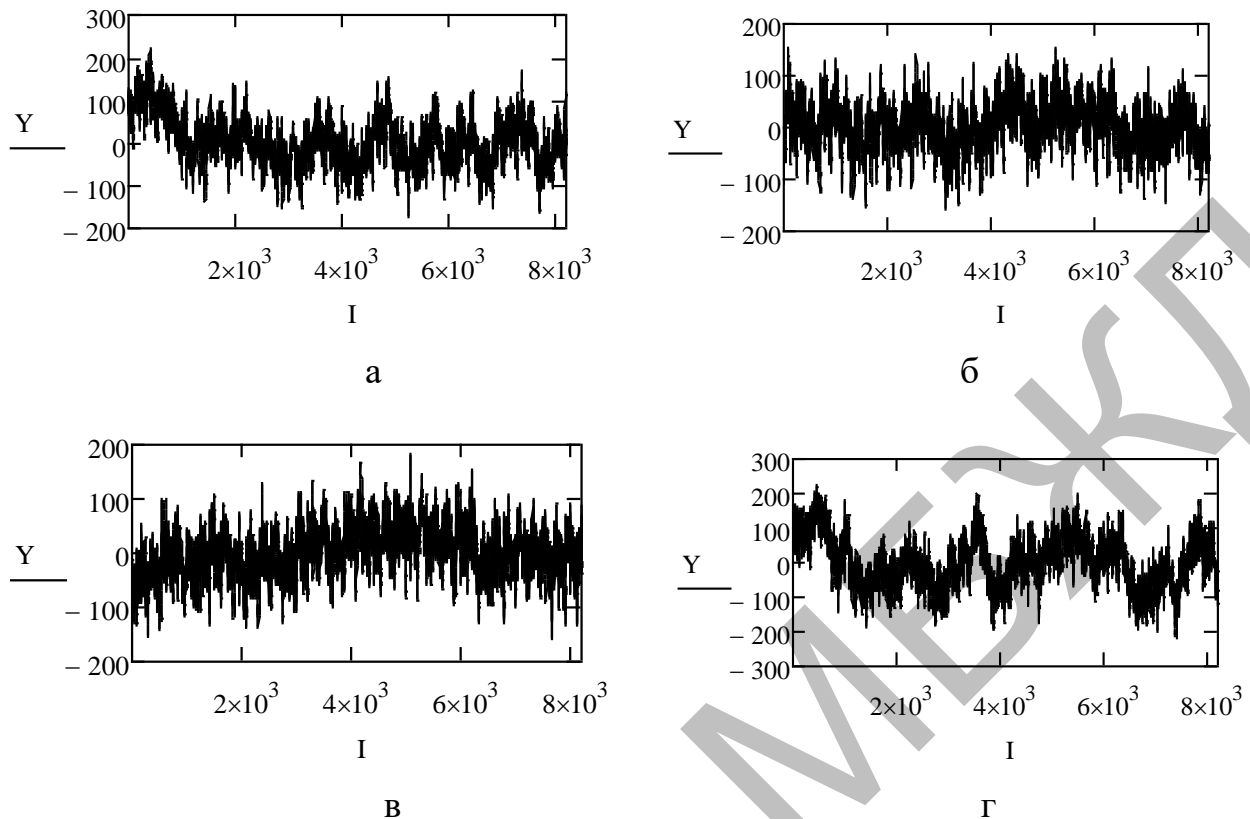


«Вікна»: 1 (а), 2 (б), 6 (в) та 9 (г)

Рисунок 2.7 – Акустичні сигнали роботи двигуна автомобіля на бензині на обертах 1600 об./хв.

На рисунку 2.8 наведені часові реалізації акустичних сигналів роботи двигуна під час роботи на бензині на обертах 3000 об./хв. у чотирьох характерних «вікнах».

Порівняння АС роботи двигуна на середніх обертах (1600 об./хв. та 3000 об./хв.) показує, що форма сигналу при більших обертах стає ще складнішою. Частота сигналів стає ще більшою, а визначити синусоїдальний характер сигналу стає складною задачею. Період сигналу ще зменшується і складає у середньому 220 точок, що відповідає $T = 220 \times 45,4 \text{ мкс} \sim 0,01 \text{ секунди}$, тобто період сигналу також зменшується приблизно у два рази. Величини амплітуд сигналів збільшується від 1,5 до 2 рази (середній діапазон зміни амплітуди складає від 300 до 400 рівнів), у порівнянні з амплітудами сигналів наведеними на рисунку 2.6 та рисунку 2.7.



«Вікна»: 1 (а), 3 (б), 4 (в) та 11 (г)

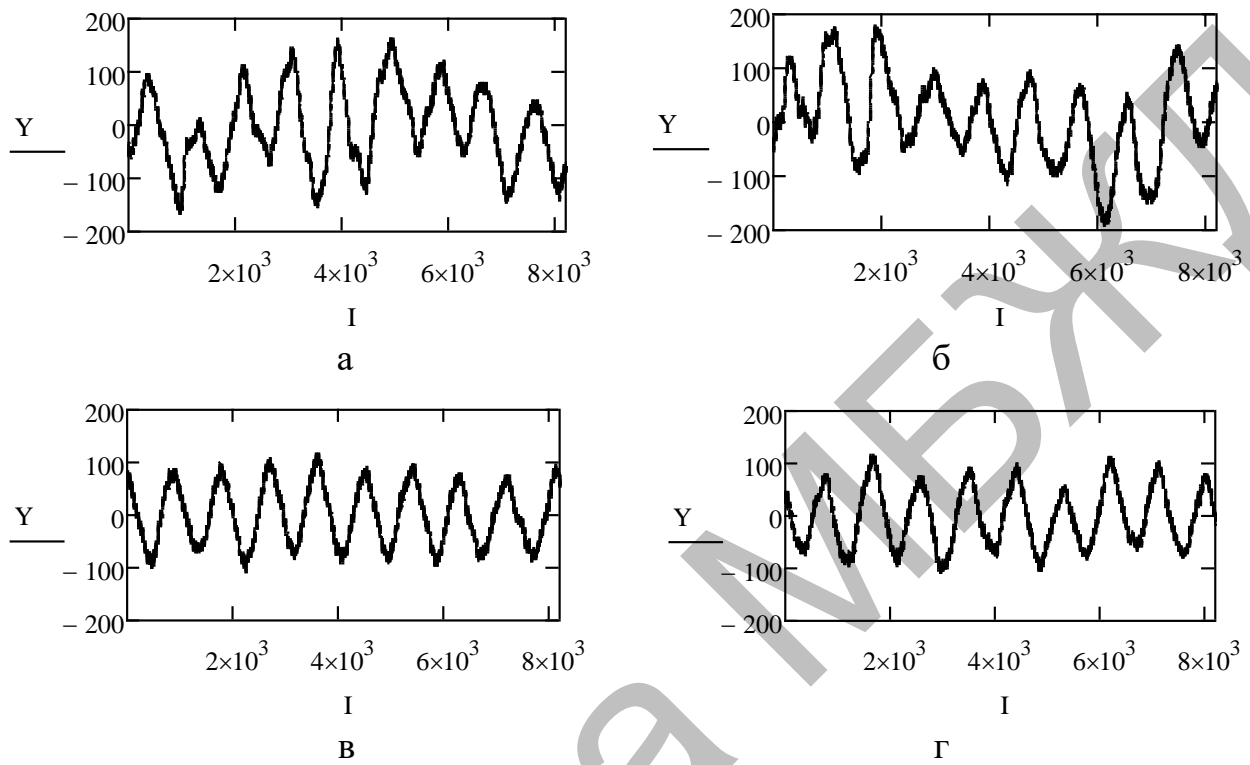
Рисунок 2.8 – Акустичні сигнали роботи двигуна автомобіля на бензині на обертах 3000 об./хв.

Крім того, на рисунку 2.8 добре спостерігається синусоїдальна форма амплітудної модуляції. Наявність шумової складової при цьому практично не можливо відрізнити від сигналу роботи двигуна. Також, як і на рисунку 2.6 та рисунку 2.7 на рисунку 2.8 спостерігається зміна форми сигналів у різних «вікнах» аналізу (рисунок 2.8 б, г).

Можна зробити висновок, що форми акустичних сигналів роботи двигуна на бензині при різних навантаженнях відрізняються в основному за частотою та амплітудною модуляцією. Необхідно зазначити, що аналіз роботи двигуна автомобіля за допомогою форми часових реалізацій акустичних сигналів є складним.

Розглянемо форми акустичних сигналів роботи двигуна автомобіля, що працює на газу. На рисунку 2.9 наведені часові реалізації акустичних сигналів

роботи двигуна під час роботи на газу на обертах 700 об./хв. у чотирьох характерних «вікнах».



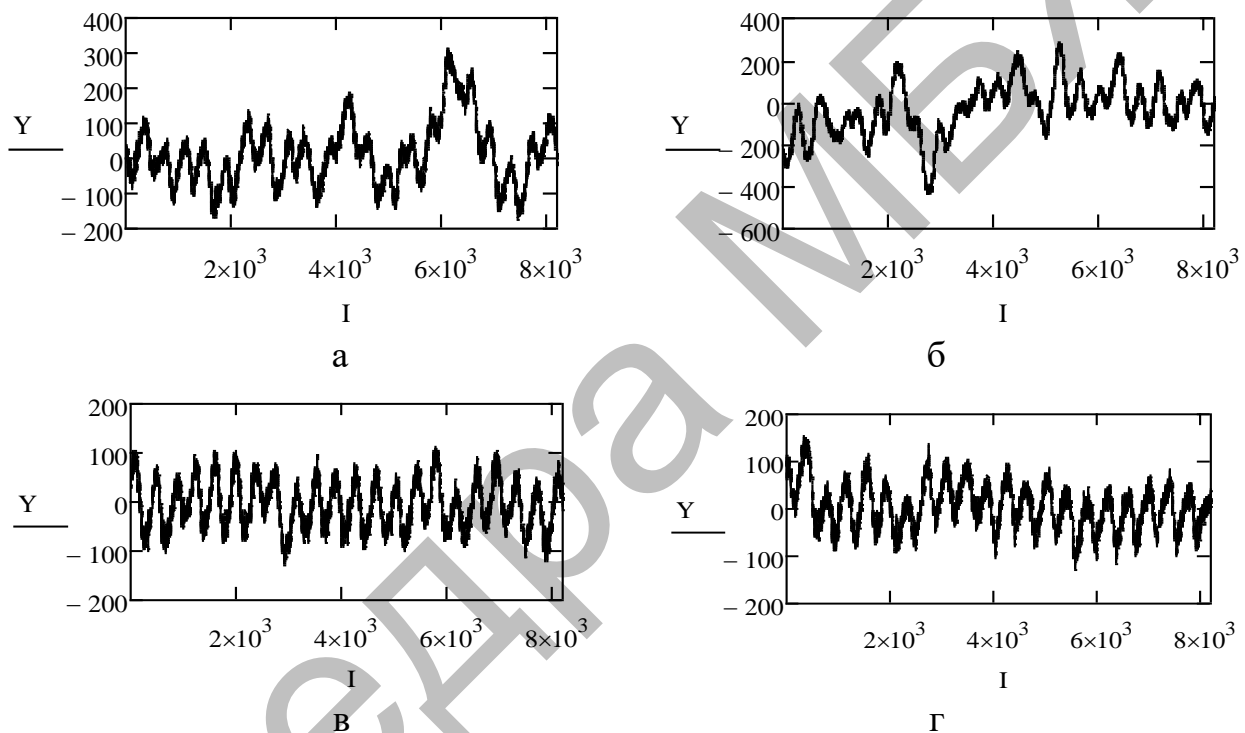
«Вікна»: 1 (а), 3 (б), 6 (в) та 8 (г)

Рисунок 2.9 – Акустичні сигнали роботи двигуна автомобіля на газу на обертах 700 об./хв.

Як видно на рисунку 2.9, часові реалізації акустичних сигналів роботи двигуна на газу на обертах 700 об./хв. також мають синусоїдальну форму. Порівняно з роботою на бензині амплітуда сигналів збільшується не значно (середній діапазон зміни амплітуди близько 220 рівнів), а у деяких «вікнах» спостерігається більша амплітудна модуляція (рисунки 2.9 а, б), тобто для досягнення сталого режиму роботи двигуна необхідно більше часу. Період сигналу також складає у середньому 920 точок, що відповідає $T \sim 0,042$ секунди. Але на відміну від роботи на бензині, шумова складова, яка накладається на сигнал, є меншою, що характеризує більш плавну роботу двигуна на газу.

Таким чином, часові реалізації акустичних сигналів роботи двигуна на бензині та на газу на невеликих обертах практично не відрізняються за основними параметрами. Особливості АС роботи двигуна на газу проявляються у меншій шумовій складовій сигналу та більш тривалому часі встановлення роботи у сталий режим.

На рисунку 2.10 наведені часові реалізації акустичних сигналів роботи двигуна під час роботи на газу на обертах 1600 об./хв. у чотирьох характерних «вікнах».



«Вікна»: 1 (а), 3 (б), 9 (в) та 11 (г)

Рисунок 2.10 – Акустичні сигнали роботи двигуна автомобіля на газу на обертах 1600 об./хв.

Аналіз часових реалізацій АС роботи двигуна на газу на обертах 1600 об./хв. показує, що у перших «вікнах» аналізу сигнали мають більшу амплітудну модуляцію, як і при роботі на обертах 700 об./хв. (рисунок 2.10 а, б та рисунок 2.9 а, б), тобто існує деякий час для досягнення сталого режиму роботи двигуна. Такого не спостерігається під час роботи двигуна на бензині. Порівняно з роботою на бензині амплітуда та частота сигналів також збільшується (середній діапазон зміни амплітуди близько 250 рівнів, частота

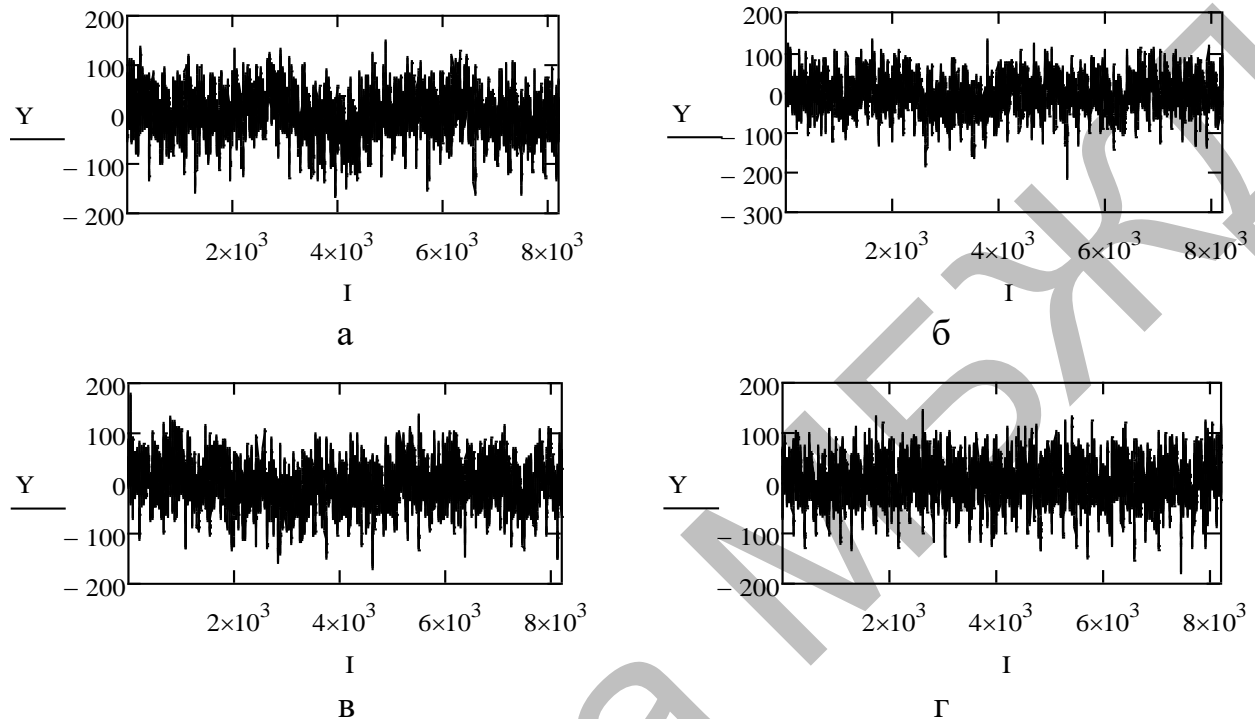
збільшується приблизно у два рази). Період сигналу зменшується, і складає у середньому $T \sim 0,019$ секунди. Необхідно зазначити, що синусоїдальна форма сигналу та шумова складова зберігаються, але амплітудна модуляція складніша, у порівнянні роботою на невеликих обертах. Також, як і при роботі на газу на обертах 700 об./хв. на середніх обертах, шумова складова, яка накладається на сигнал, є меншою, у порівнянні з роботою двигуна на бензині (рисунок 2.9 в, г та рисунок 2.7 в, г). Таким чином, відмінні характеристики акустичних сигналів роботи двигуна на газі зберігаються і на обертах 1600 об./хв.

На рисунку 2.11 наведені часові реалізації акустичних сигналів роботи двигуна під час роботи на газу на обертах 3000 об./хв. у чотирьох характерних «вікнах».

Як видно на рисунку 2.11, форма АС роботи двигуна на газу, також як і під час роботи на бензині, на обертах 3000 об./хв. має складний характер. Синусоїдальний характер сигналу за часовою реалізацією визначити важко, а частота сигналів збільшується і визначити її стає практично не можливо. Величини амплітуд сигналів збільшується не значно (середній діапазон зміни амплітуди близько 300 рівнів). На відміну роботи двигуна на бензині, де добре спостерігалася синусоїдальна форма амплітудної модуляції, під час роботи на газу ця модуляція виражена слабкіше. Шумова складова під час роботи на газу практично співпадає з високочастотною складовою сигналу роботи двигуна. Амплітудна модуляція краще спостерігається на рисунок 2.11 а, в.

Таким чином, проведений аналіз часових реалізацій АС роботи двигуна, записаних з лівого боку, під час роботи на різних видах палива та різному навантаженні показав, що вони мають синусоїдальну форму та амплітудні модуляцію. Крім того, у залежності від навантаження сигнали відрізняються частотою. Все це приводить до різних форм акустичних сигналів роботи двигуна на різних видах палива та на різних обертах. Особливістю АС роботи двигуна на газу є менша шумова складова сигналу та більш тривалий час встановлення роботи у сталий режим на невеликих обертах. Але аналіз

частотних характеристик АС роботи двигуна на різних видах палива та різних обертах є дуже складним завданням.

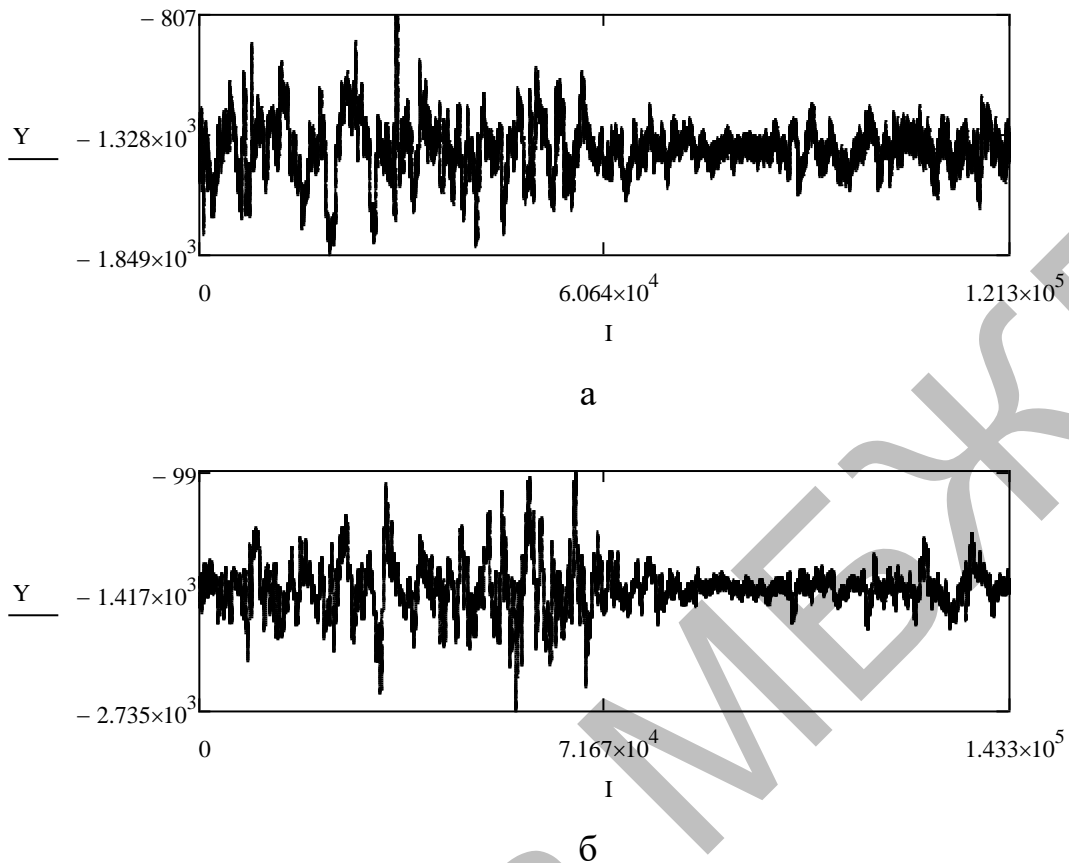


«Вікна»: 2 (а), 6 (б), 8 (в) та 10 (г)

Рисунок 2.11 – Акустичні сигнали роботи двигуна автомобіля на газу на обертах 3000 об./хв.

Розглянемо форми акустичних сигналів роботи двигуна автомобіля, що працює на бензині та газу під час запису сигналів з фронту автомобіля. На рисунку 2.12, а наведена часова реалізація акустичного сигналу під час роботи двигуна на бензині, а на рисунку 2.12, б – під час роботи на газу, на обертах 1600 об./хв.

Аналіз форми АС роботи двигуна, записаних з фронту, показує, що на відміну від АС, записаних з лівого боку, ці сигнали не носять явно вираженого синусоїдального характеру з відповідною частотою коливань та амплітудною модуляцією. Тобто ці сигнали менш детерміновані. Розглянемо форми цих сигналів у характерних «вікнах».



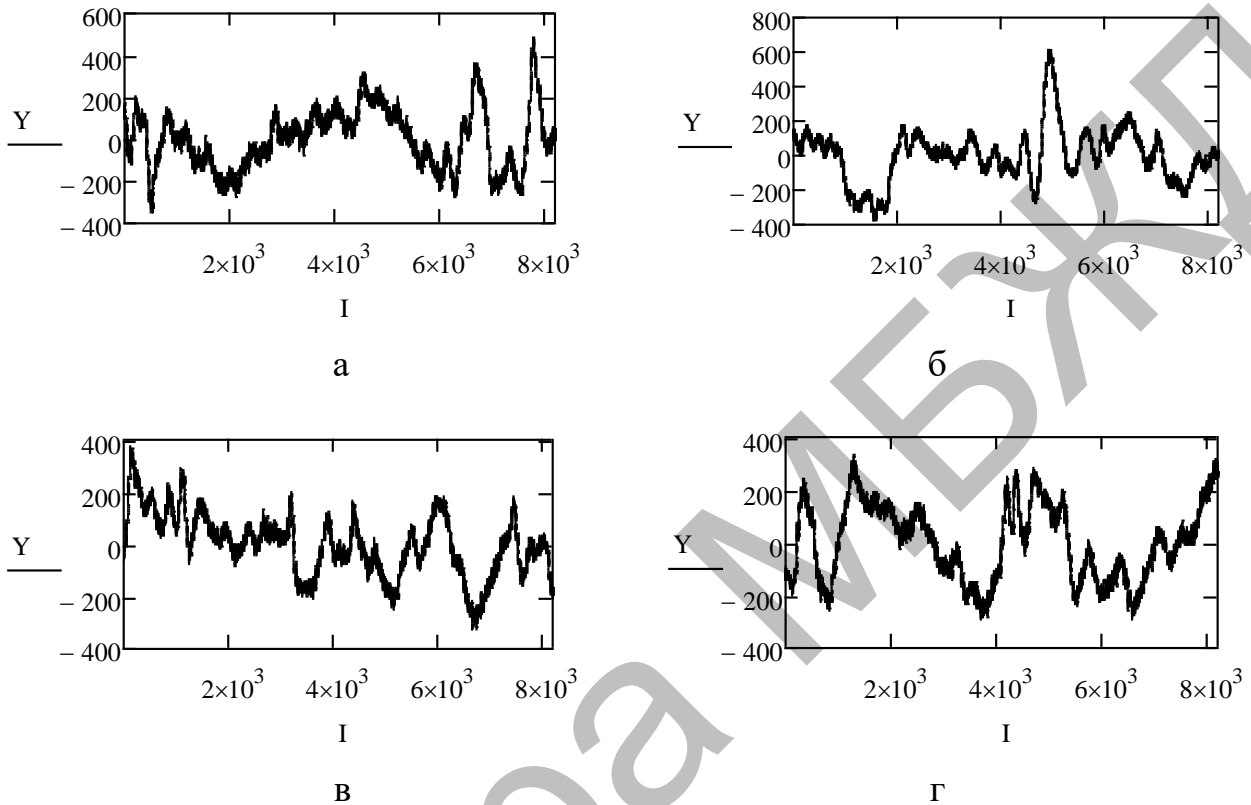
Робота двигуна на бензині (а) та газу (б)

Рисунок 2.12 – Записані акустичні сигнали з фронту автомобіля під час роботи двигуна на обертах 1600 об./хв.

На рисунку 2.13 наведені часові реалізації акустичних сигналів у чотирьох характерних «вікнах» під час роботи двигуна на бензині, а на рисунку 2.14 – під час роботи на газу, на обертах 1600 об./хв., що записані з фронту автомобіля .

На рисунку 2.13 видно, що форма АС роботи двигуна на бензині, який записаний з фронту, не є синусоїдальною, а має складний характер і суттєво відрізняється від АС, що записаний з лівого боку (рисунок 2.7). Період такого сигналу неможливо, тому що він є неперіодичним. Іншою характерною особливістю цих сигналів є те, що величини амплітуд сигналів, у порівнянні з сигналами наведеними на рисунку 2.7, значно більше (середній діапазон зміни амплітуди близько 650 рівнів), що у три рази більше ніж під час запису з лівого боку. Також на рисунку 2.13 спостерігається наявність шумової складової, яка

накладається на сигнал. Крім того, спостерігається значна зміна форми сигналів у різних «вікнах» аналізу.



«Вікна»: 1 (а), 4 (б), 5 (в) та 7 (г)

Рисунок 2.13 – Акустичні сигнали роботи двигуна на бензині на обертах 1600 об./хв., що записані з фронту

На рисунку 2.14 видно, що форма АС роботи двигуна на газу, який записаний з фронту, також не є синусоїдальною, і також має складний характер, який суттєво відрізняється від АС, що записаний з лівого боку (рисунок 2.9). Також, як і для АС роботи двигуна на бензині, що записаний з фронту визначити період сигналу неможливо. Величини амплітуд сигналів, у порівнянні з сигналами наведеними вище на рисунку 2.14, ще більше (середній діапазон зміни амплітуди близько 1400 рівнів), тобто у два рази більше ніж під час роботи двигуна на бензині, та майже у шість разів більше ніж під час запису з лівого боку.

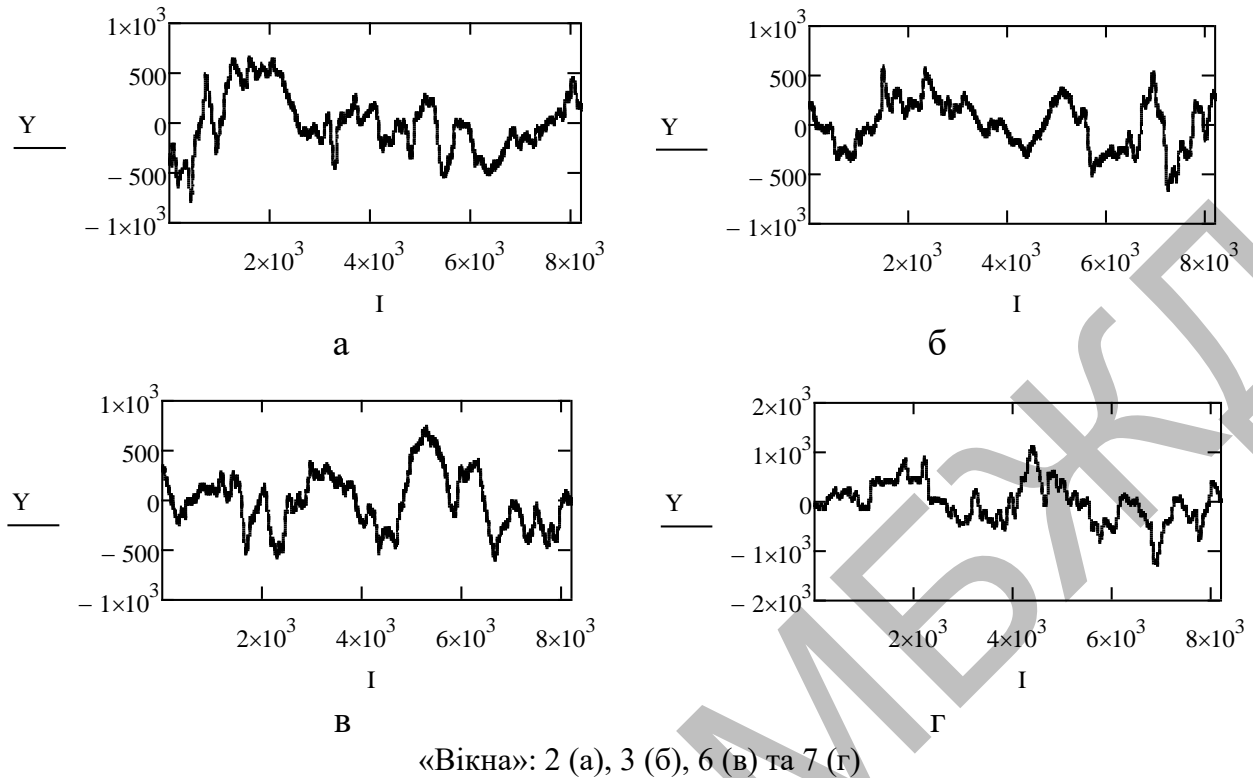


Рисунок 2.14 – Акустичні сигнали роботи двигуна на газу на обертах 1600 об./хв., що записані з фронту

З порівняння рисунку 2.13 та рисунку 2.14 видно, що шумова складова, яка накладається на сигнал роботи двигуна на газу менше, ніж під час роботи двигуна на бензині. Такий характер шумової складової спостерігався і на сигналах, що записані з лівого боку. Також необхідно зазначити, що форми сигналів у різних «вікнах» аналізу значно змінюються.

Таким чином, порівняльний аналіз часових реалізацій акустичних сигналів роботи двигуна, записаних з фронту та з лівого боку на середніх обертах показав, що сигнали мають значні розбіжності. Так, форма АС роботи двигуна, який записаний з фронту, є синусоїдальною і має складний характер, що не дозволяє визначити період сигналу. Величини амплітуд цих сигналів у рази більше ніж під час запису з лівого боку. Характер шумової складової, що накладається на сигнал, такий ж самий, як і на сигналах, що записані з лівого боку.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ РОБОТИ ДВИГУНА ДОРОЖНЬОЇ МАШИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЧАСТОТНИХ МЕТОДІВ

У розділі розглянута можливість дослідження акустичних сигналів роботи двигуна на різних видах палива з використанням спектрального аналізу. Розраховані спектри акустичних сигналів роботи двигуна, що працює на різних навантаженнях та різних видах палива. Показано, що за допомогою аналізу характеристик спектру можна визначити частотні особливості роботи двигуна на різних видах палива. Розроблені пропозиції щодо використання спектрального аналізу в акустичних вимірюваннях роботи двигуна.

3.1 Спектральний аналіз акустичних сигналів роботи двигуна дорожньої машини

У теперішній час основним методом обробки акустичних сигналів є спектральний аналіз. Цей метод застосовують для оцінки основних спектральних характеристик сигналів – спектральної щільності, взаємних спектрів, а також для визначення кореляційних функцій сигналів та ін. Крім того, на підставі цих характеристик обчислюють частотні характеристики сигналів [16, 17].

Найбільш часто спектральний аналіз акустичних сигналів здійснюється на базі швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), яке реалізується за допомогою швидкодіючих процесорів ШПФ або програмно на персональному комп'ютері. Швидке перетворення Фур'є дозволяє отримувати порівняно вузькосмугові спектри, що забезпечує проведення спектрального аналізу з високим розрізненням за частотою, та відповідну швидкість обробки великих масивів даних. Крім того, спектральний аналіз дозволяє визначити кількість гармонік у складі сигналу, а також амплітуду та частоту кожної гармоніки. Спектральний аналіз також використовується для визначення наявності або відсутності шуму.

У разі наявності шуму за допомогою спектрального аналізу можна визначити його середньоквадратичне відхилення.

Акустичні сигнали роботи двигуна на різних видах палива та різних навантаженнях мають синусоїдальну форму та амплітудну модуляцію, а також відрізняються за частотою. Також спостерігається, що сигнали, які записані з фронту автомобіля не є синусоїдальними з своїми частотами та амплітудами та, і на них ще, можливо, накладається шум. Тому доцільно провести спектральний аналіз досліджуваних акустичних сигналів.

Коротко розглянемо суть дискретне перетворення Фур'є тому що записані за допомогою АЦП є дискретизацією безперервних сигналів [17].

Будемо вважати, що спектр акустичного сигналу $Y(t)$, який заданий на інтервалі T , є обмеженим верхньою частотою F_B . Згідно з теоремою Котельникова (теоремою відліків Вінера) сигнал може бути представлений дискретними значеннями Y_n ($n = 0, 1, \dots, N-1$), які беруться через інтервали часу $\Delta t = 1/2F_B$. При цьому число дискретних значень – відліків сигналу буде дорівнювати $N = T/\Delta t$.

Гармоніки спектру безперервного сигналу можна розрахувати за допомогою виразу:

$$C_k = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} Y(t) \exp(-j \cdot k \cdot \omega_1 \cdot t) dt. \quad (3.1)$$

Виходячи з того, що акустичний сигнал є дискретним, отримаємо вираз для розрахунку гармонік спектру такого сигналу. Для цього вираз (3.1) запишемо за допомогою суми, з застосуванням наступних замінін:

$$dt \rightarrow \Delta t, \quad T = N \cdot \Delta t, \quad \omega_1 = 2\pi \cdot \frac{1}{N \cdot \Delta t}.$$

$$c_k = \frac{1}{N \cdot \Delta t} \sum_{n=0}^{N-1} Y_n \exp \left[-j \cdot k \cdot \left(2\pi \cdot \frac{1}{N \cdot \Delta t} \right) \cdot n \cdot \Delta t \right] \Delta t, \quad (3.2)$$

де $t = N \cdot \Delta t$ – поточний час.

Вираз для дискретного перетворення Фур'є (ДПФ) має наступний вигляд:

$$c_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} Y_n \exp \left(-j \cdot k \cdot 2\pi \cdot \frac{1}{N} \cdot n \right). \quad (3.3)$$

Спектральні складові ДПФ, що представлено виразом (3.3) мають певні властивості:

$$c_0 = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} Y_n, \quad (3.4)$$

$$c_N = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} Y_n \exp(-j \cdot 2\pi \cdot n). \quad (3.5)$$

Для цілих індексів n маємо $\exp(-j2\pi n) = \cos(2\pi n) - j \sin(2\pi n) = 1$. Тоді, як видно з порівняння виразів (3.4) та (3.5), $c_N = c_0$.

Розглянемо вирази для гармонік, якщо $k = 1$ та $k = N + 1$:

$$c_1 = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} Y_n \exp \left(-j \cdot 2\pi \cdot \frac{1}{N} \cdot n \right), \quad (3.6)$$

$$\begin{aligned} c_{N+1} &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} Y_n \exp \left(-j \cdot [N+1] \cdot 2\pi \cdot \frac{1}{N} \cdot n \right) = \\ &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} Y_n \exp \left(-j \cdot 2\pi \cdot \frac{1}{N} \cdot n \right) \cdot \exp(-j \cdot 2\pi \cdot n). \end{aligned} \quad (3.7)$$

З порівняння виразів видно (3.6) та (3.7), $c_{N+1} = c_1$. Можна показати, що $c_2 = c_{N+2}$ і т. д., тобто при ДПФ число гармонік, що розраховується дорівнює числу відліків N . Також можна дослідити, що гармоніки, які симетричні відносно $c_{N/2}$, є комплексно спряженими.

Вираз для зворотного перетворення Фур'є має наступний вигляд:

$$Y_n = \sum_{k=0}^{N-1} c_k \exp\left(+j \cdot k \cdot 2\pi \cdot \frac{1}{N} \cdot n\right). \quad (3.8)$$

Для розрахунку ДПФ (прямого та зворотного) за виразами (3.3) та (3.8) необхідно N^2 операцій комплексних множень та складань (операція множення потребує більших часових або апаратних витрат порівняно з операцією складання).

Для зменшення часових витрат для розрахунку ДПФ застосовуються різні алгоритми швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), які базуються на проріджуванні даних за часом або за частотою. Для ШПФ число відліків сигналу N повинно бути степенем числа 2. Тоді необхідна кількість операцій для повного перетворення Фур'є буде складати $N \cdot \log_2 N$.

Для розрахунку ШПФ у пакеті Mathcad існують вбудовані функції: $f := fft(Y)$, $Y := ifft(f)$ [18].

Функція fft є вбудованою функцією розрахунку прямого ШПФ. Перетворювана змінна Y повинна бути представлена вектором дійсних чисел довжиною $N = 2^m$, $m > 2$. Результатом перетворення функції fft є вектор комплексних чисел довжиною $1+2^{m-1}$, тобто функції fft обчислює тільки частину можливих гармонік $f12_q$, $q = 0 \dots N/2$ без комплексно зв'язаних гармонік.

Функція $ifft$ є вбудованою функцією розрахунку зворотного ШПФ. При цьому f є вектором комплексних чисел (гармонік) розміром $1+2^{m-1}$, $m > 2$. Зворотне ШПФ повертає вектор дійсних чисел розміром $N = 2^m$.

Вбудована функція ШПФ має вигляд $f12_q := fft(Y)$ та розраховує спектр сигналу за наступною формулою:

$$f12_q = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} Y_i \exp\left(+j \cdot 2\pi \cdot \frac{1}{N} \cdot q \cdot i\right). \quad (3.9)$$

Таким чином, проведемо спектральний аналіз часових реалізацій сигналів у відповідних «вікнах». Для розрахунку будемо використовувати спеціалізований математичний пакет Mathcad, в якому є вбудована функція для розрахунку прямого ШПФ [12].

3.2 Аналіз роботи двигунів на різних видах палива за результатами акустичних вимірювань

Спочатку здійснимо спектральний аналіз акустичних сигналів роботи двигуна, що були записані з лівого боку автомобіля. Під час розрахунку спектрів АС за допомогою ШПФ максимальна кількість точок у «вікні» дорівнювала $2^{13} = 8192$, щоб забезпечити працездатність вибраної вбудованої функції fft та задовільну точність визначення частот АС.

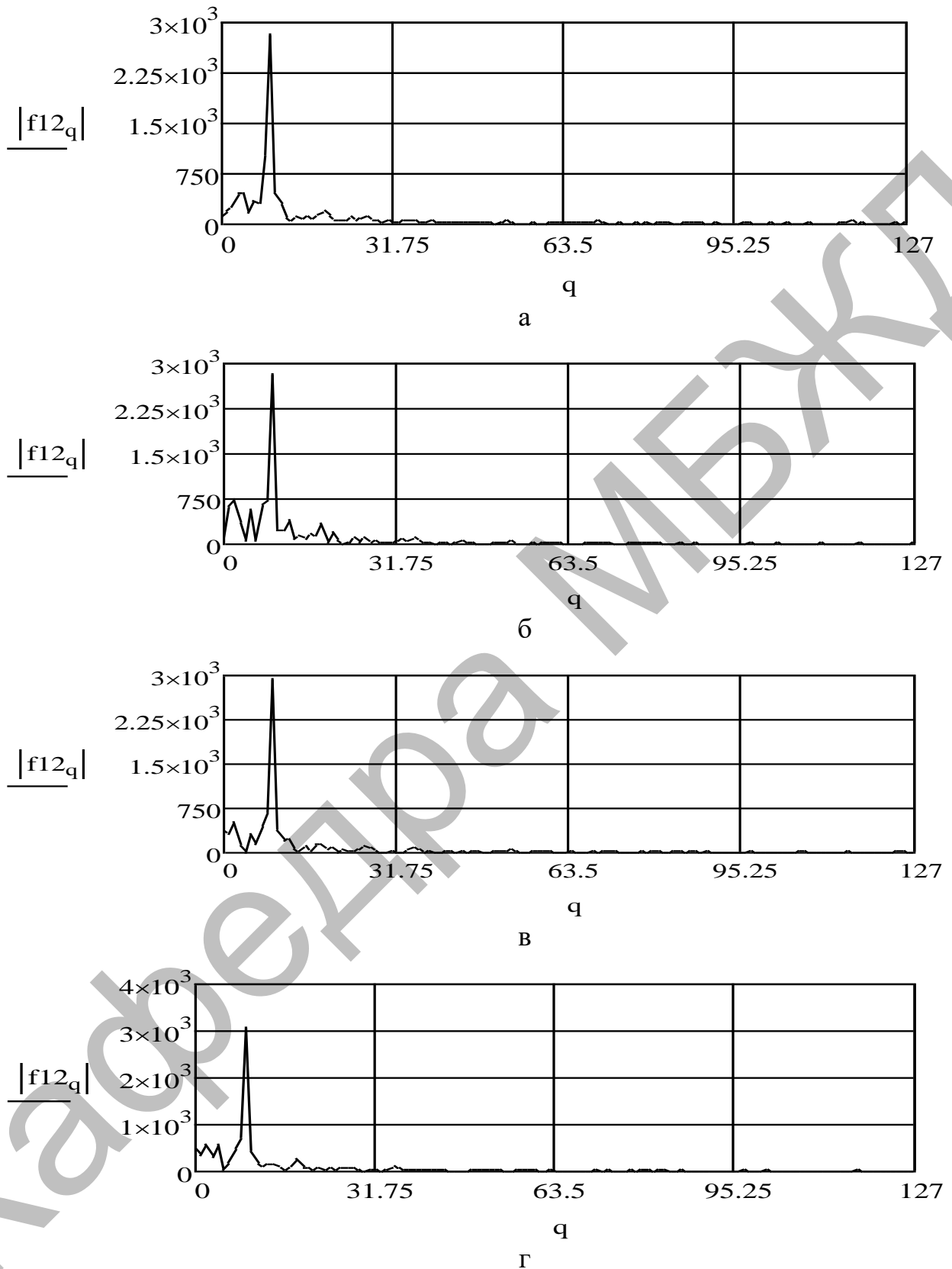
Як зазначалося вище ШПФ дозволяє розрахувати дискретний спектр, у якому кожне значення амплітуди знаходиться відносно сусідніх на рівних проміжках по частоті. Величина цих проміжків між дискетами залежить від частоти дискретизації та кількості відліків у вибірці сигналу, тобто частота сигналу кратна кроку, що дорівнює відношенню частоти дискретизації до кількості відліків. Для описаних вище умов проведення експериментів частота дискретизації АС дорівнює $f_d = 22,050$ кГц, а кількість відліків у сигналі дорівнює $N = 8192$ точок. Для таких умов крок між дискетами частоти на спектрах дорівнює $\Delta f_c = f_d/N = 22050/8192 \approx 2,69$ Гц, тобто точність визначення частоти АС (розрізнення за частотою) буде складати 2,69 Гц,

На рисунку 3.1 наведені спектри акустичних сигналів роботи двигуна на бензині на обертах 700 об./хв. у чотирьох характерних «вікнах», часові реалізації цих акустичних сигналів наведені на рисунку 2.6.

На рисунку 3.1 видно, що спектри АС роботи двигуна на бензині невеликих обертах мають одну основну гармоніку на однаковій частоті, тобто, як це було видно на рисунку 2.6, часові реалізації АС роботи двигуна на обертах 700 об./хв. є синусоїдами з однією частотою. На рисунку видно, що максимальний рівень основної гармоніки (приблизно $3,0 \cdot 10^3$ рівнів) знаходиться приблизно на $q = 9$ дискреті частоти, тобто частота АС на обертах 700 об./хв. буде дорівнювати $f_{700} = \Delta f_c \times q = 2,69 \times 9 \approx 24,21$ Гц. Частоту АС також можна визначити за величиною періоду сигналу T , ($T = 920 \times 45,4$ мкс $\sim 0,042$ с.), $f_{700} = 1/T = 1/0,042 \approx 23,81$ Гц. З порівняння обох значень видно, що вони майже співпадають, а частота АС на обертах 700 об./хв. приблизно дорівнює 24 Гц.

Вище зазначалося, що на часових реалізаціях АС (рисунок 2.6) має місце невелика шумова складова, яка накладається на сигнал. На рисунку 3.1 видно невеликі зміни спектру праворуч від основної гармоніки в діапазоні частот від 16 дискрет до 32 дискрет (приблизно від 40 Гц до 85 Гц), що відповідають шумовій складовій акустичного сигналу.

Крім того, на часових реалізаціях АС (рисунок 2.6) модуляція основної складової сигналу майже відсутня. Але на рисунку 3.1 а, б видно, що мають місце невеликі зміни спектру ліворуч від основної гармоніки приблизно до 5 дискрет (приблизно до 14 Гц), які характеризують невелику і просту амплітудну модуляцію. А на рисунку 3.1 в, г видно, більш складний характер зміни спектру ліворуч від основної гармоніки приблизно (два невеликі піки на 3 дискретах (8 Гц) та 6 дискретах (16 Гц), які характеризують більш складний характер модуляції АС. На часових реалізаціях АС (рисунок 2.6) ці особливості також спостерігаються.



«Вікна»: 1 (а), 5 (б), 8(в) та 9 (г)

Рисунок 3.1 – Спектри сигналів роботи двигуна на бензині на обертах 700 об./хв.

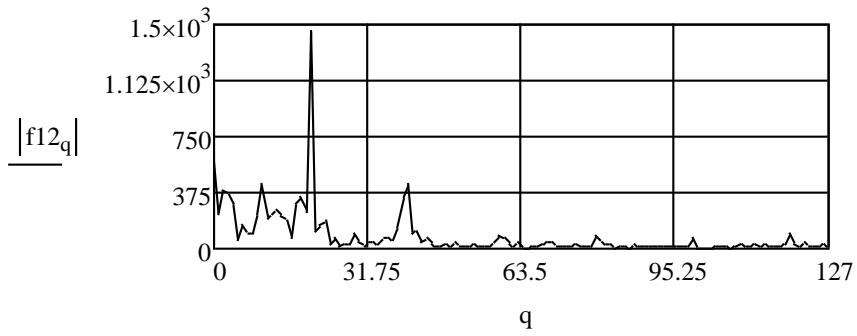
На рисунку 3.2 наведені спектри АС роботи двигуна на бензині на обертах 1600 об./хв. у чотирьох характерних «вікнах», часові реалізації цих сигналів наведені на рисунку 2.7.

Аналіз спектрів на рисунку 3.2 показує, що АС роботи двигуна на бензині на обертах 1600 об./хв. мають більш складну форму. Але вони також мають одну основну гармоніку на однаковій частоті, але частота збільшується більше ніж у два рази і дорівнює $f_{1600} = 2,69 \times 20 \approx 53,8$ Гц ($f_{1600} = 1/0,019 \approx 52,63$ Гц), тобто частота АС на обертах 1600 об./хв. приблизно дорівнює 53 Гц. У той же час максимальна амплітуда основної гармоніки знижується приблизно у два рази (приблизно $1,5 \cdot 10^3$ рівнів).

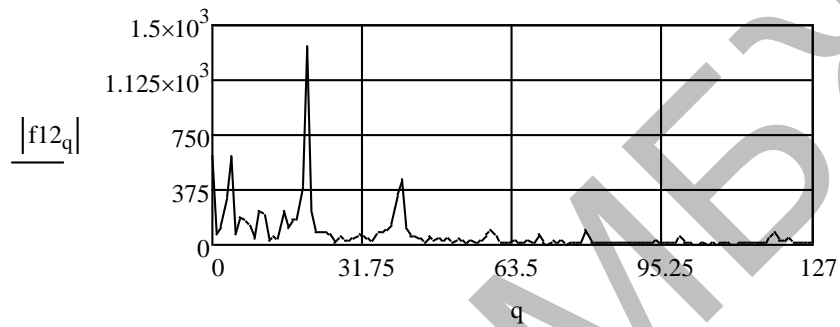
Крім того, на рисунку 3.2 видно, що у спектрі АС роботи двигуна на обертах 1600 об./хв. спостерігається ще одна високочастотна (праворуч від основної) гармоніка (амплітудою у середньому 400 рівнів), якої не було у спектрі АС роботи двигуна на обертах 700 об./хв. Частота цієї гармоніки дорівнює $f_{1600} = 2,69 \times 40 \approx 108$ Гц. Шумові складові у спектрі представлені декількома невеликими піками у діапазоні частот від 60 дискрет до 110 дискрет (приблизно від 160 Гц до 295 Гц). Необхідно зазначити, що ці числові характеристики дослідити за допомогою часових реалізацій АС практично не можливо.

На рисунку 3.2 також видно, що значно ускладнилася низькочастотна складова АС (складний характер спектру ліворуч від основної гармоніки). При цьому приблизно до 16 дискрети (приблизно до 43 Гц), існує один пік амплітудою у середньому 500 рівнів та три піка меншої інтенсивності. Така структура спектру обумовлена більш складною формою АС роботи двигуна на обертах 1600 об./хв.

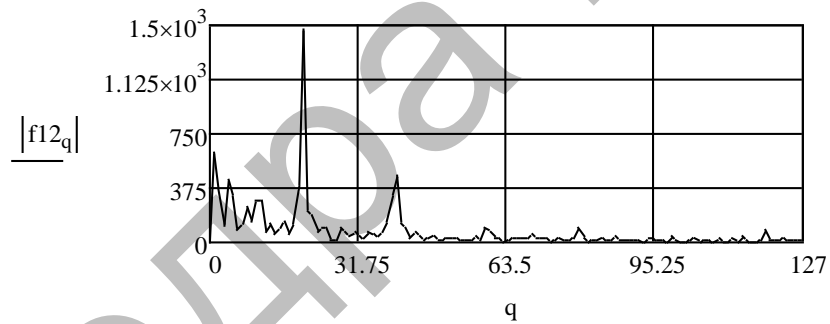
Таким чином, форми спектрів АС роботи двигуна на обертах 1600 об./хв. відрізняються від роботи двигуна на невеликих обертах, та мають більш складну частотну структуру, яка на низьких так і на високих частотах.



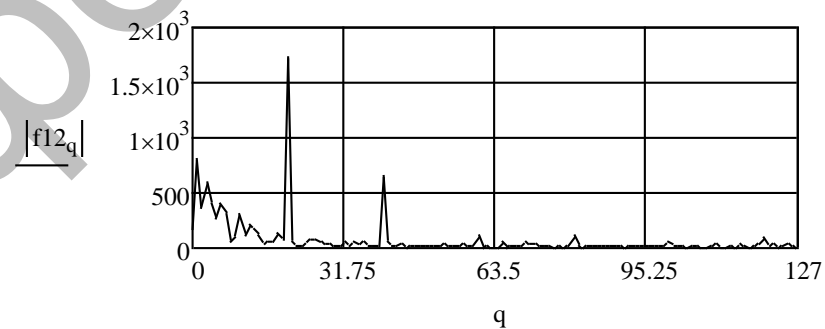
а



б



в



г

«Вікна»: 1 (а), 2 (б), 6(в) та 9 (г)

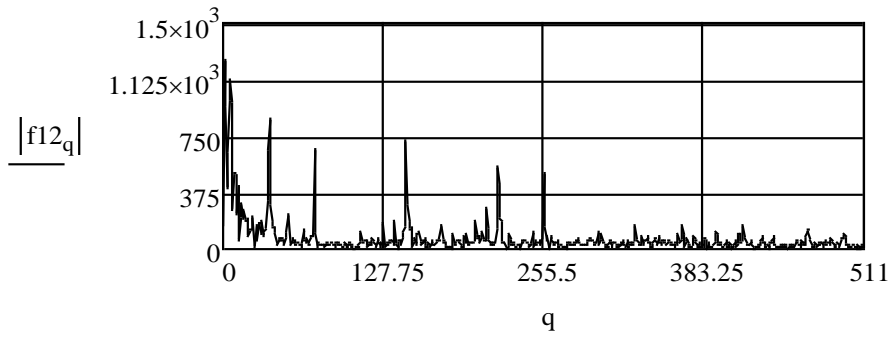
Рисунок 3.2 – Спектри сигналів роботи двигуна на бензині на обертах 1600 об./хв.

На рисунку 3.3 наведені спектри АС роботи двигуна на бензині на обертах 3000 об./хв. у чотирьох характерних «вікнах», часові реалізації цих сигналів наведені на рисунку 2.8.

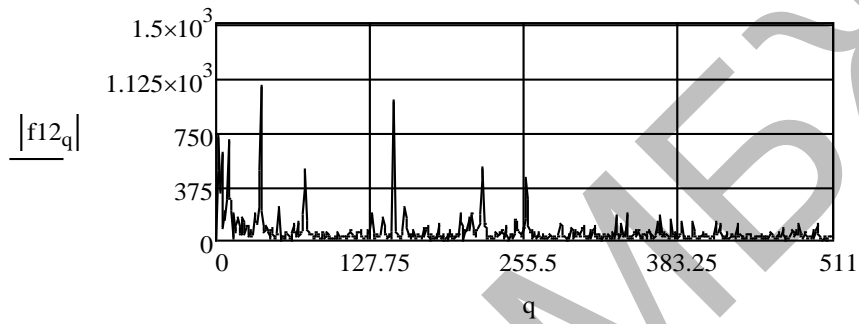
Порівняння спектрів АС роботи двигуна на обертах 1600 об./хв. та 3000 об./хв. показує, що збільшення навантаження приводить до ускладнення характеристик спектру. На відміну від попередніх спектрів, спектри АС роботи двигуна на обертах 3000 об./хв. містять не одну або дві основні гармоніки, а сім, які впевнено розділяються, та займають діапазон від 0 дискрети до 256 дискрети (приблизно до 690 Гц). Сьома гармоніка знаходиться на межі цього діапазону на частоті 690 Гц, величиною приблизно 600 рівнів. Перша гармоніка знаходиться на частоті приблизно 5 Гц (приблизно $1,2 \cdot 10^3$ рівнів), друга – ~ 24 Гц (~ 500 рівнів), третя – ~ 108 Гц ($\sim 1,0 \cdot 10^3$ рівнів), четверта – ~ 290 Гц (~ 600 рівнів), п'ята – ~ 385 Гц (~ 750 рівнів) та шоста – ~ 600 Гц (~ 700 рівнів).

Таким чином, у спектрі АС роботи двигуна на бензині на обертах 3000 об./хв. присутні гармоніки, які є у спектрах АС роботи двигуна на обертах 700 об./хв. та 1600 об./хв., на частотах 5 Гц, 24 Гц та 108 Гц. Крім того, додаються ще гармоніки приблизно з однаковими рівнями (від 600 до 700 рівнів), тому визначити яка з них є основною важко.

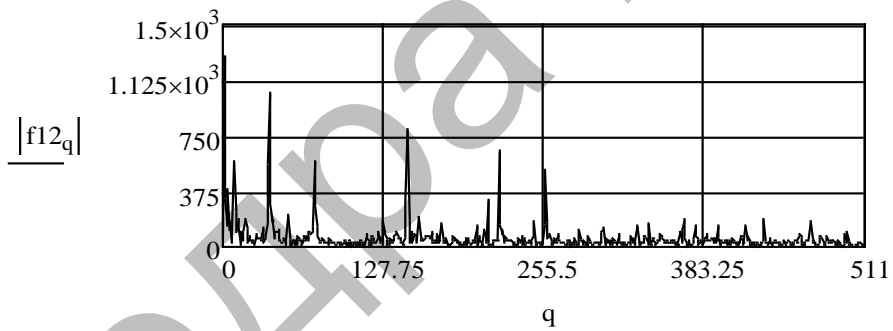
Під час аналізу часових реалізацій АС (рисунок 2.8) було встановлено, що період сигналу дорівнює близько 0,01 секунди, що відповідає частоті $f_{3000} = 100$ Гц. Цій частоті на спектрі відповідає третя гармоніка ($f_{3000} = 108$ Гц, $1,0 \cdot 10^3$ рівнів), тому цю гармоніку будемо вважати основною. На рисунку 3.3а, в, г видно, що найбільший рівень має перша гармоніка на частоті 5 Гц, яка відповідає синусоїдальній амплітудній модуляції, на рисунку 2.8 такий характер модуляції також спостерігався. Також, наявність великої кількості гармонік показує, що структура АС є складною та розрізнити сигнальну та шумову складові можна за наявністю семи гармонік.



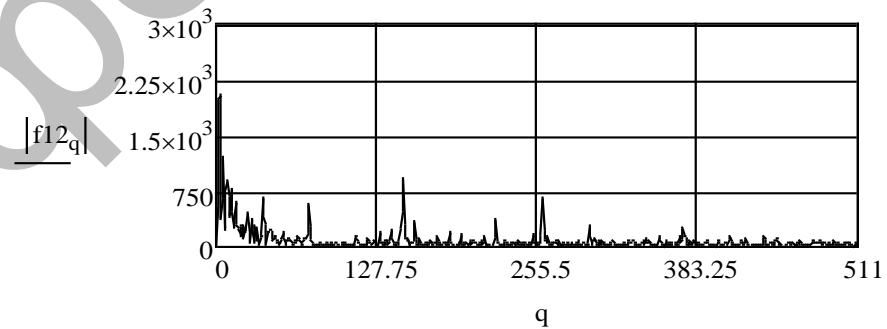
а



б



в



г

«Вікна»: 1 (а), 3 (б), 4(в) та 11 (г)

Рисунок 3.3 – Спектри сигналів роботи двигуна на бензині на обертах 3000 об./хв.

Тобто сигнальними складовими АС є сім гармонік на відповідних частотах, а шумова складова на спектрі представлена невеликими змінами спектру навколо сигнальних гармонік, на рисунку 3.3 вони присутні та візуально спостерігаються.

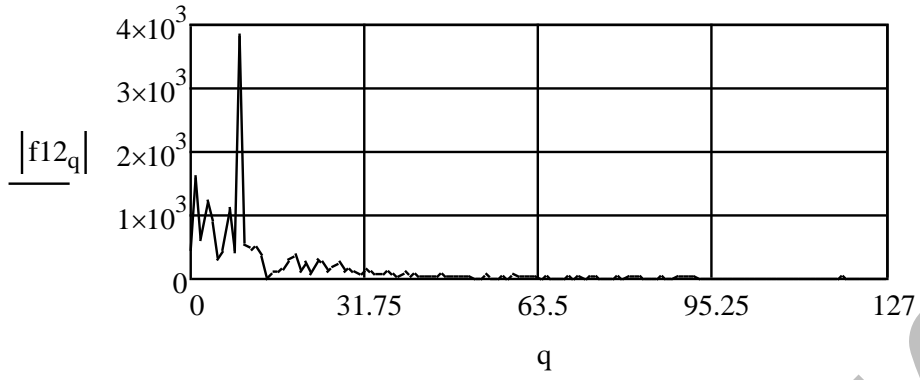
Таким чином, форми спектрів АС роботи двигуна із збільшенням навантаження ускладнюються, але спектральний аналіз дозволяє дослідити частотну структуру та розділити сигнальну та шумову складові акустичних сигналів.

На рисунку 3.4 наведені спектри акустичних сигналів роботи двигуна на газу на обертах 700 об./хв. у чотирьох характерних «вікнах», часові реалізації цих сигналів наведені на рисунку 2.9.

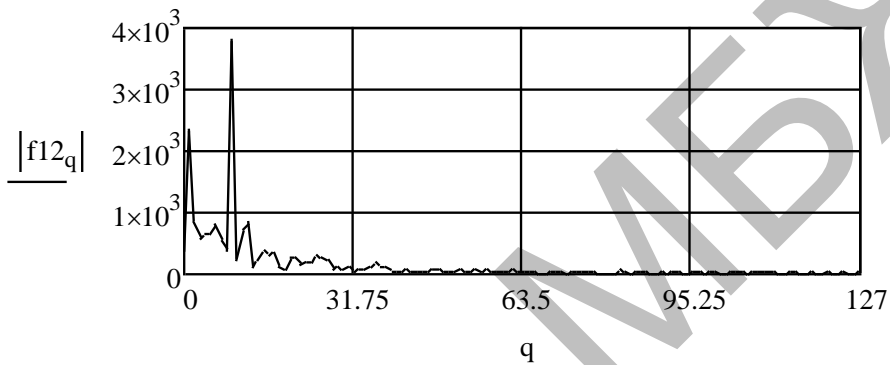
На рисунку 3.4 видно, що спектри акустичних сигналів роботи двигуна на газу також як і на бензині мають одну основну гармоніку на однаковій частоті. При цьому, частота АС на газу на обертах 700 об./хв., як і на бензині, дорівнює $f_{700} = \Delta f_c \times q = 2,69 \times 9 \approx 24,21$ Гц. На рисунку також видно, що максимальний рівень основної гармоніки спектру АС на газу вищий ніж спектру АС на бензині і складає приблизно $3,5 \cdot 10^3$ рівнів. Як зазначалося, у перших «вікнах» аналізу спостерігалася більша амплітудна модуляція (рисунок 2.9 а, б). На рис. 3.4 а, б, які відповідають цим «вікнам», також видно, що низькочастотна складова спектрів АС (ліворуч від основної гармоніки, до 16 Гц) має складний характер, тобто характер модуляції АС у цих «вікнах» більш складний.

На рисунку 3.4 в видно, що низькочастотні складові спектру практично відсутні або є не складними (рисунок 3.4 г), тобто у сталому режимі АС роботи двигуна на газу на невеликих обертах амплітудна модуляція майже відсутня.

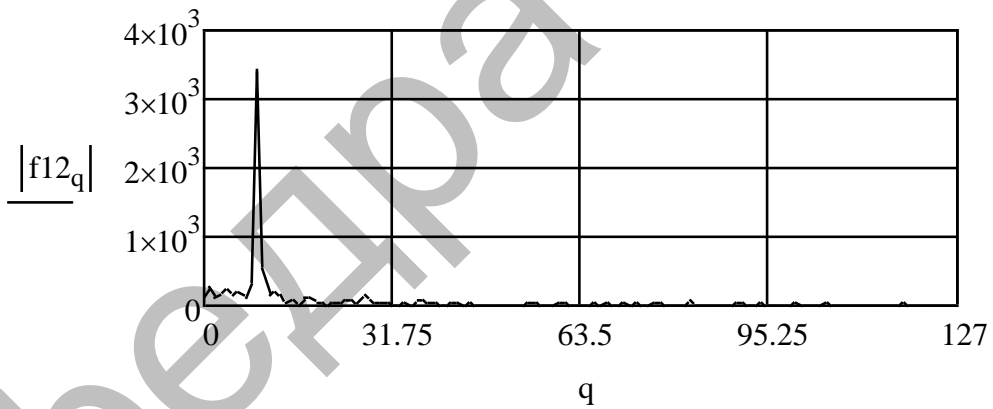
На відміну від роботи на бензині, шумова складова у спектрі АС роботи двигуна на газу у сталому режимі є меншою (рисунок 3.1, в, г) та (рисунок 3.4 в, г), тобто двигун на газу на обертах 700 об./хв. працює тихіше.



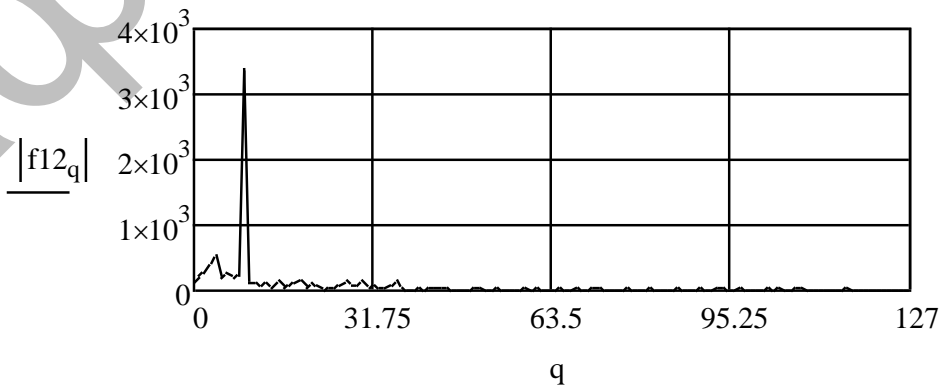
а



б



в



г

«Вікна»: 1 (а), 3 (б), 6(в) та 8 (г)

Рисунок 3.4 – Спектри сигналів роботи двигуна на газу на обертах 700 об./хв.

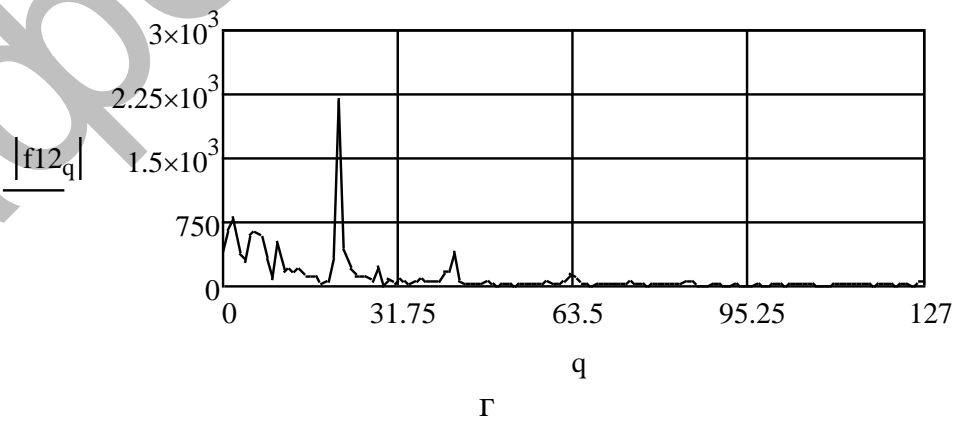
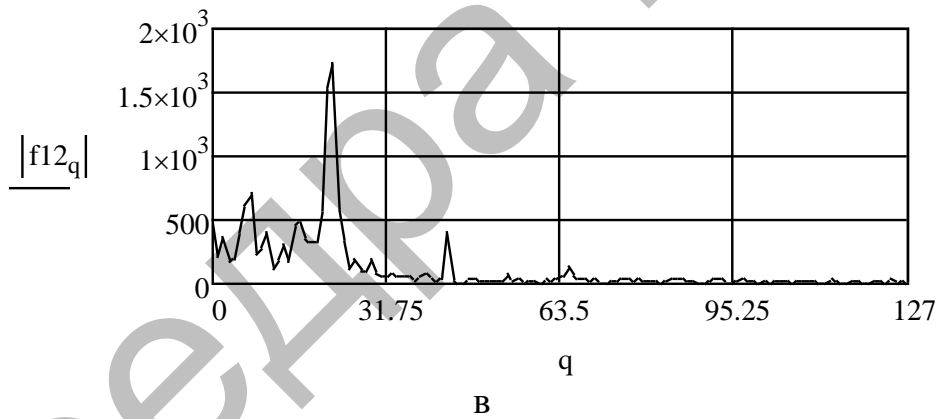
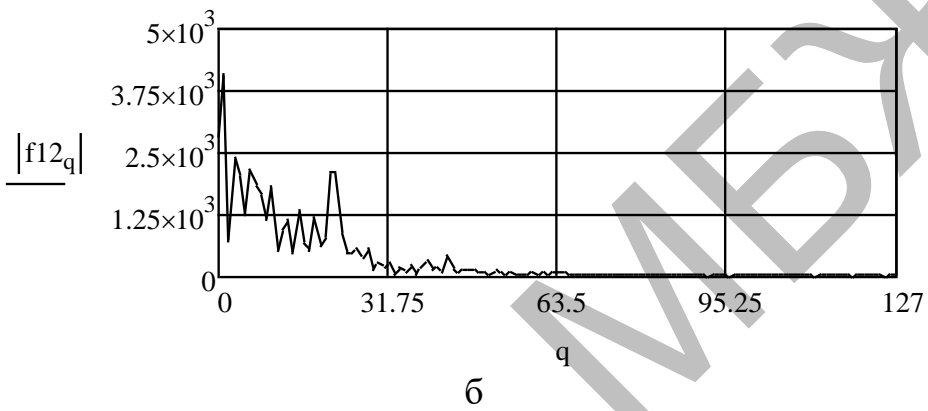
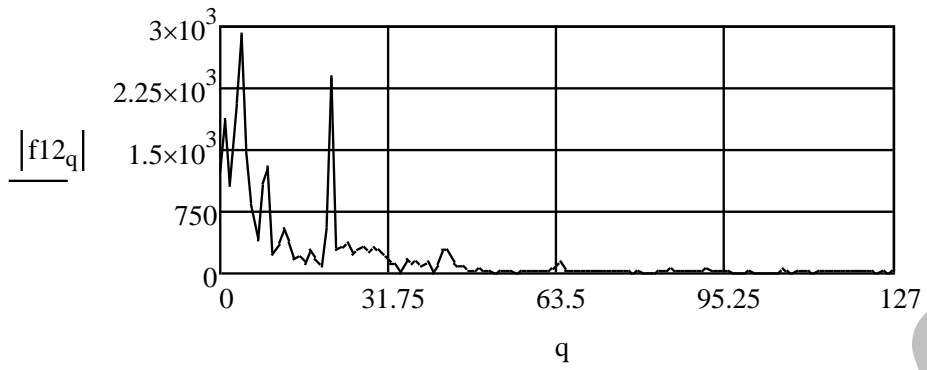
Таким чином, спектри акустичних сигналів роботи двигуна на бензині та на газу на невеликих обертах показують, що частотні характеристики цих сигналів практично не відрізняються за основними параметрами. Різниця у низькочастотній частині спектру спостерігається на початку роботи, а у високочастотній частині у сталому режимі спостерігається менші значення спектру під час роботи двигуна на газу.

На рисунку 3.5 наведені спектри акустичних сигналів роботи двигуна на газу на обертах 1600 об./хв. у чотирьох характерних «вікнах», часові реалізації цих АС наведені на рисунку 2.10.

Аналіз спектрів на рисунку 3.5 показує, що під час роботи двигуна на газу на обертах 1600 об./хв., вони також як і на бензині мають одну основну гармоніку на частоті $f_{1600} = 2,69 \times 20 \approx 53,8$ Гц величиною приблизно $2,2 \cdot 10^3$ рівнів (більша ніж у спектра АС роботи двигуна на бензині). Також спостерігається ще одна високочастотна (праворуч від основної) гармоніка (амплітудою у середньому 400 рівнів). Частота цієї гармоніки дорівнює $f_{1600} = 2,69 \times 40 \approx 108$ Гц. Шумова складова спектру у порівнянні з роботою на бензині не так явно виражена (не представлена декількома невеликими піками, рисунок 3.2). Але необхідно зазначити, що на частоті приблизно 170 Гц спостерігається невеликий пік, а інша шумова складова рівномірно розподілена за частотою та має меншій рівень ніж під час роботи двигуна на бензині.

На рисунку 3.5 також видно, що низькочастотна складова спектру АС (ліворуч від основної гармоніки) значно ускладнилася у порівнянні з роботою на бензині. Особливо це спостерігається у перших «вікнах» аналізу (рисунок 3.5 а, б), що також спостерігалось і під час роботи двигуна на газу на обертах 700 об./хв.

Також на рисунку 3.5 а, б видно, що величина низькочастотної гармоніки (приблизно на частоті 5 Гц) більша ніж величина основної гармоніки (приблизно на частоті 54 Гц), яка складає приблизно $3,0 \cdot 10^3$ рівнів.



«Вікна»: 1 (а), 3 (б), 9(в) та 11 (г)

Рисунок 3.5 – Спектри сигналів роботи двигуна на газу на обертах 1600 об./хв.

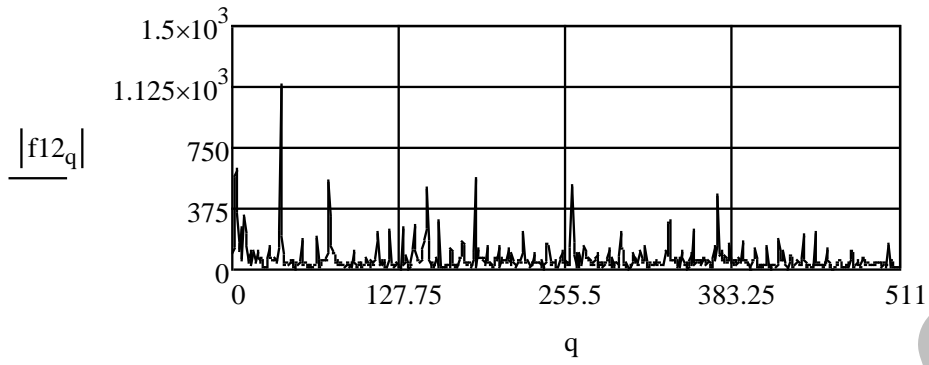
Крім того, у перших «вікнах» аналізу на частотах близько 8 Гц величини спектральних складових більше ніж у «вікнах», які характеризують сталий режим роботи двигуна.

Таким чином, форми спектрів АС роботи двигуна на газу на обертах 1600 об./хв. у порівнянні з роботою на бензині мають більш складну частотну структуру на низьких частотах у перших «вікнах» аналізу. У той же час, шумова складова має менший рівень та рівномірно розподілена за частотою.

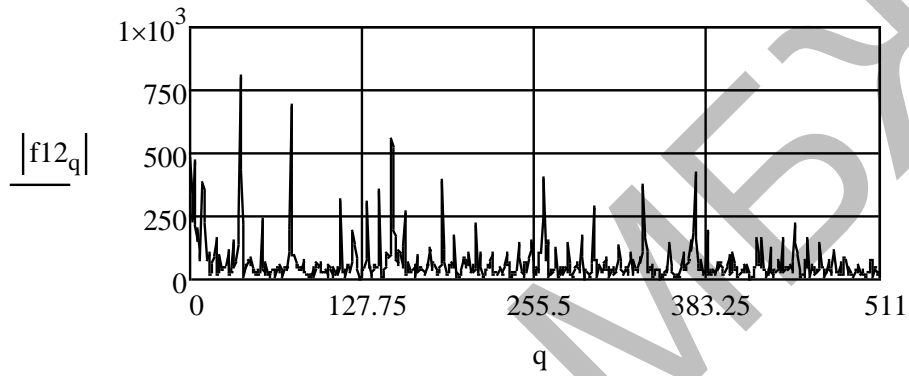
На рисунку 3.6 наведені спектри акустичних сигналів роботи двигуна на газу на обертах 3000 об./хв. у чотирьох характерних «вікнах», часові реалізації цих сигналів показані на рисунок 2.11.

На рисунку 3.6 видно, що також, як і під час роботи двигуна на бензині, збільшення навантаження приводить до ускладнення спектрів АС. Необхідно зазначити, що складність спектру АС роботи двигуна на газу є ще більшою за рахунок наявності більшої кількості побічних дискрет навколо основних. Крім того, на відміну від спектрів АС роботи двигуна на бензині основні гармоніки, займають діапазон від 0 дискрети до 384 дискрети (приблизно до 1 кГц). Розглянемо частотний розподіл основних гармонік (величиною більше 400 рівнів) на прикладі спектру, що наведений на рисунку 3.6 в. На рисунку можна розрізнити вісім таких гармонік. Перша гармоніка знаходиться на частоті приблизно 5 Гц (приблизно 450 рівнів), друга – ~ 24 Гц (~ 440 рівнів), третя – ~ 108 Гц (~ 780 рівнів), четверта – ~ 200 Гц (~ 460 рівнів), п'ята – ~ 400 Гц (~ 750 рівнів), шоста – ~ 500 Гц (~ 450 рівнів), сьома – ~ 700 Гц (~ 460 рівнів) та восьма на частоті 1000 Гц (~ 440 рівнів). Найбільша величина гармоніки у спектрі дорівнює ~ 780 рівнів, що відповідає третій гармоніки на частоті $f_{3000} = 108$ Гц. Під час роботи двигуна на бензині найбільша гармоніка також була на цій частоті.

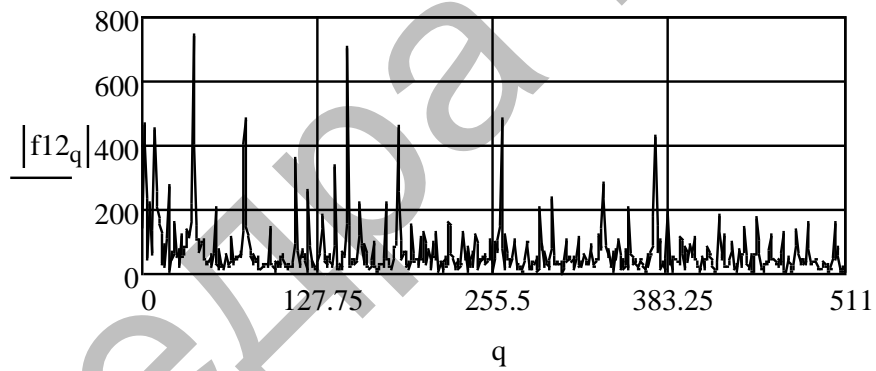
Також необхідно зазначити, що до частоти 108 Гц гармоніки АС роботи двигуна, як на бензині так і на газу співпадають (5 Гц, 24 Гц, 108 Гц), а після цієї частоти відрізняються.



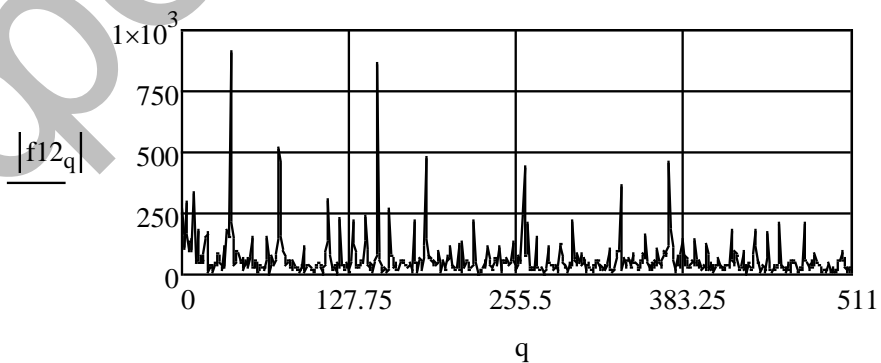
а



б



в



г

«Вікна»: 2 (а), 6 (б), 8(в) та 10 (г)

Рисунок 3.6 – Спектри сигналів роботи двигуна на газу на обертах 3000 об./хв.

Крім того, навколо п'ятої та між сьомою і восьмою гармоніками спостерігаються проміжні гармоніками великого рівня (приблизно від 200 до 300 рівнів).

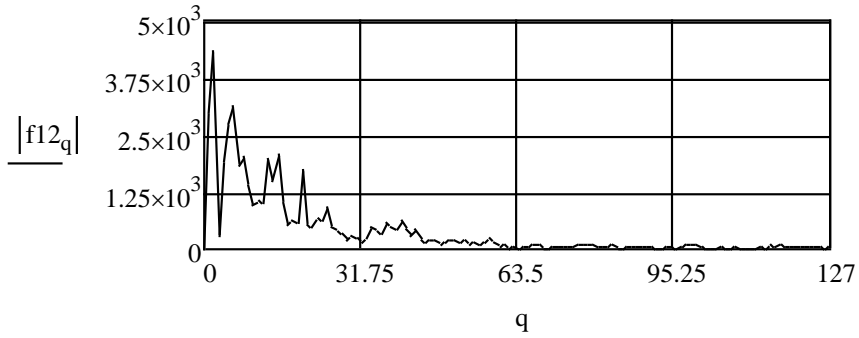
На рисунку 3.6 також видно, що низькочастотні складові спектру менше впливають на структуру сигналу, ніж в АС роботи двигуна на бензині, тобто амплітудної модуляції сигналу практично не спостерігається. Наявність великої кількості високочастотних гармонік показує, що структура АС роботи двигуна на газу є більш складною у порівнянні з роботою на бензині. Розрізнити сигнальну та шумову складові також не можливо.

Таким чином, форми спектрів АС роботи двигуна на газу на обертах 3000 об./хв. є більш складними у порівнянні з роботою на бензині, тобто спектральний аналіз АС дозволяє сказати, що на великих обертах робота двигуна на газу є більш складною.

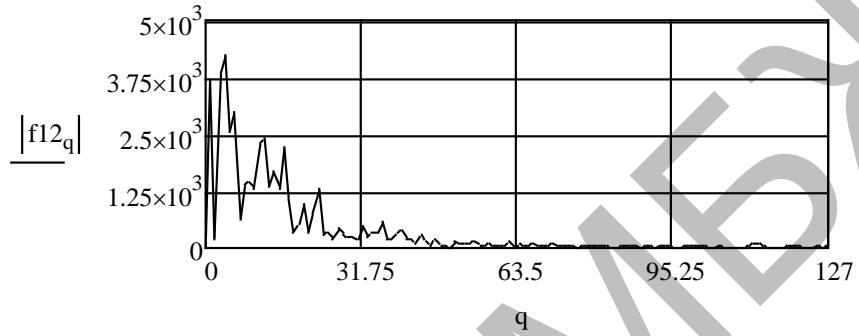
Розглянемо форми спектрів акустичних сигналів роботи двигуна автомобіля, що працює на бензині та газу під час запису сигналів з фронту автомобіля.

На рисунку 3.7 наведені спектри акустичних сигналів під час роботи двигуна на бензині на обертах 1600 об./хв., що записані з фронту автомобіля, у чотирьох характерних «вікнах», часові реалізації цих сигналів показані на рисунку 2.12.

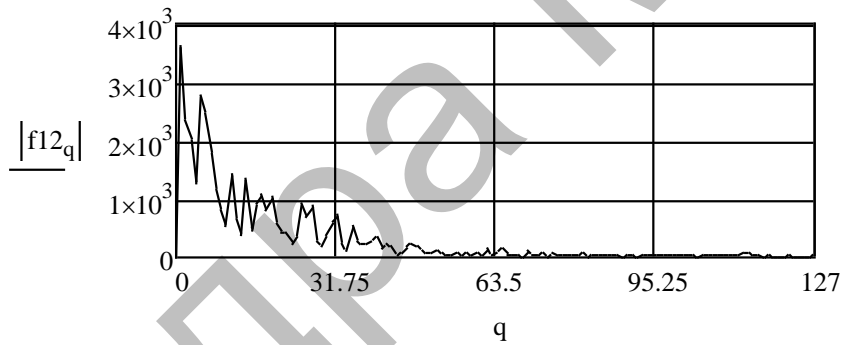
Аналіз спектрів на рисунку 3.7 показує, що АС роботи двигуна на бензині на обертах 1600 об./хв., що записані з фронту автомобіля, значно відрізняються від АС записаних з лівого боку (рисунок 3.2). По-перше, на них основна гармоніка на частоті $f_{1600} \approx 53$ Гц хоча і має той же рівень, що і при запису з лівого боку (приблизно $1,5 \cdot 10^3$ рівнів), але у порівнянні з низькочастотними складовими спектрі вона виділяється не значно (рисунок 3.7 а), тому не можна її вважати основною. По-друге, відсутня ще одна високочастотна гармоніка на частоті $f_{1600} \approx 108$ Гц. По-третє, основні складові спектру зосереджені у діапазоні від 0 Гц до 100 Гц.



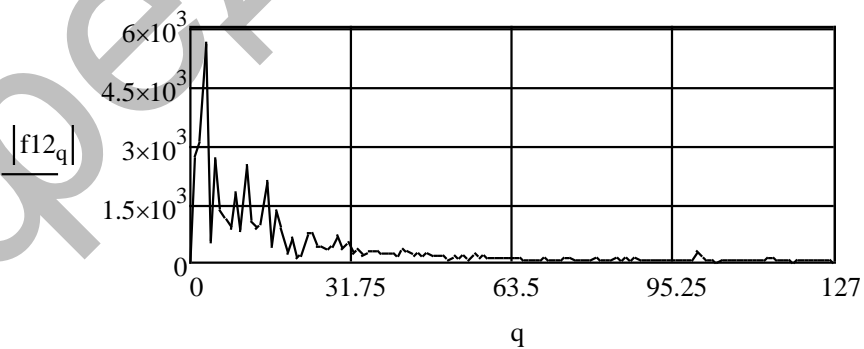
а



б



в



г

«Вікна»: 1 (а), 4 (б), 5(в) та 7 (г)

Рисунок 3.7 – Спектри сигналів роботи двигуна на бензині на обертах 1600 об./хв., зафіксовані з фронту

На рисунку 3.7 видно, що максимальна величина низькочастотної складової спектру (~ 5 Гц) АС записаного з фронту ($\sim 4,0 \cdot 10^3$ рівнів) у три рази більша ніж основна гармоніка АС записаного з лівого боку

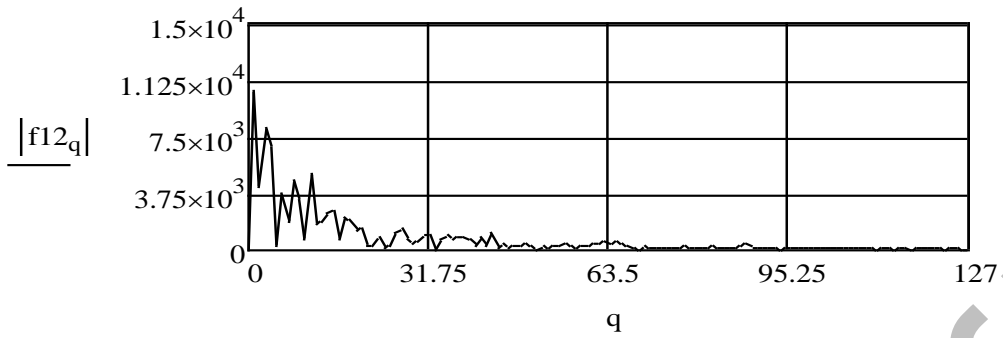
По-четверте, шумові складові у спектрі представлені у діапазоні частот від 32 дискрети до 64 дискрети (приблизно від 100 Гц до 200 Гц). Також, необхідно зазначити, що шумова складова спектру має більшу величину у цьому діапазоні, ніж під час запису з лівого боку.

На рисунку 3.7 також видно, що перерозподіл складових спектру, обумовлений іншою формою АС, що записаний з фронту, тобто сумарний АС формується іншими джерелами шуму під час роботи двигуна. Відсутність одної основної гармоніки свідчить, що сигнал є складним.

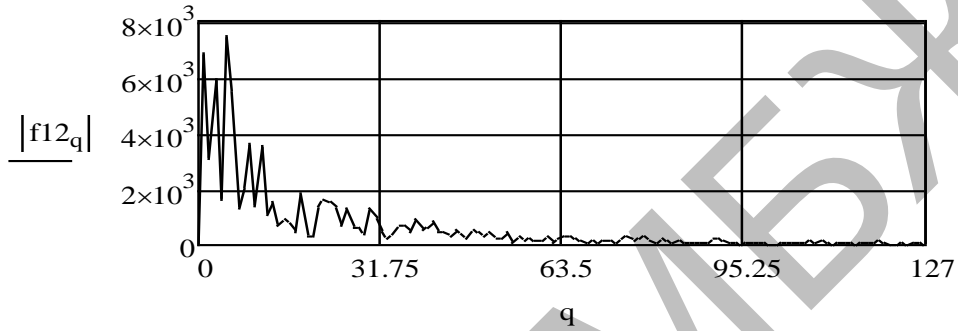
Таким чином, порівняльний аналіз спектрів АС роботи двигуна на бензині на обертах 1600 об./хв., записаних з фронту та з лівого боку, показав, що вони значно відрізняються, як за частотними, так і амплітудними характеристиками.

На рисунку 3.8 наведені спектри акустичних сигналів під час роботи двигуна на газу на обертах 1600 об./хв., що записані з фронту автомобіля у чотирьох характерних «вікнах», часові реалізації цих сигналів показані на рисунку 2.13.

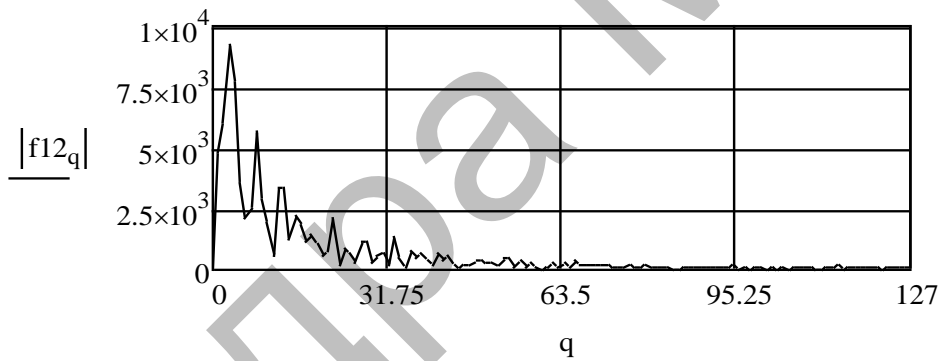
На рисунку 3.8 видно, що у спектрі АС роботи двигуна на газу, який записаний з фронту, також переважають низькочастотні складові, і вони також суттєво відрізняються від спектрів АС, що записані з лівого боку (рисунок 3.5). Але на відміну від спектрів роботи двигуна на бензині, що записані з фронту, у спектрах спостерігаються низькочастотні складові, які розрізняються по частоті. Так на рисунку 3.7 б спочатку розрізняються три піки великої інтенсивності (приблизно $7,0 \cdot 10^3$ рівнів) з дискретністю близько 7 Гц, а потім з тією ж дискретністю два піка з меншою інтенсивністю ($\sim 4,0 \cdot 10^3$ рівнів). Величини рівнів низькочастотних складових спектрів АС, у порівнянні з наведеними вище на рисунку 3.7, у два рази більше ніж під час роботи двигуна на бензині.



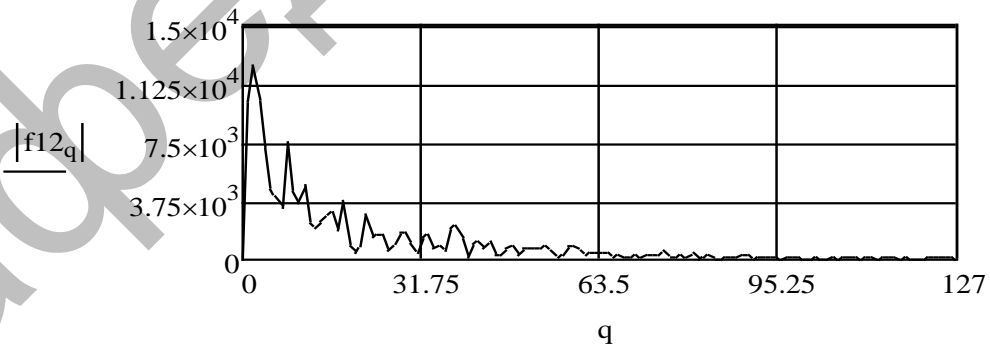
а



б



в



г

«Вікна»: 2 (а), 3 (б), 6 (в) та 7 (г)

Рисунок 3.8 – Спектри сигналів роботи двигуна на газу на обертах 1600 об./хв., що записані з фронту

З порівняння рисунку 3.7 та рисунку 3.8 видно, що шумові складові спектру також в основному представлені у діапазоні частот приблизно від 100 Гц до 200 Гц. Але ці складові мають інший розподіл, тобто АС роботи двигуна на газу має інші шумові характеристики, ніж під час роботи двигуна на бензині. Як вже зазначалося вище, такий характер шумових складових спостерігався і на спектрах АС, що записані з лівого боку.

Таким чином, форми спектрів акустичних сигналів роботи двигуна, записаних з фронту та з лівого боку на середніх обертах мають значні розбіжності. Так, основні складові спектру АС роботи двигуна, який записаний з фронту, зосереджені у низькочастотній частині спектру і мають складну форму. Величини цих складових спектру у рази більше ніж під час запису з лівого боку. Шумові складові спектру практично не відрізняються від шумових складових АС, що записані з лівого боку.

Проведений аналіз акустичних сигналів роботи двигуна на різних видах палива дозволяє запропонувати наступну методику досліджень з використанням акустичних вимірювань:

- експериментальне отримання часових реалізацій акустичних сигналів роботи двигуна на різних видах палива та при різних навантаженнях;
- виявлення особливостей часових реалізацій акустичних сигналів роботи двигуна при різних навантаженнях (обертах роботи двигуна);
- виявлення особливостей часових реалізацій акустичних сигналів роботи двигуна на різних видах палива (бензин, газ);
- розрахунок та аналіз спектральних характеристик акустичних сигналів роботи двигуна на різних видах палива та при різних навантаженнях;
- оцінка особливостей роботи двигуна автомобіля на різних видах палива за результатами комплексного аналізу часових реалізацій та спектрів.

Таким чином, розроблені пропозиції щодо використання спектрів в акустичних вимірюваннях, які у подальшому можуть бути використані для діагностики несправності двигунів автомобілів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Законодавство України про охорону праці являє собою систему взаємозв'язаних нормативно-правових актів, що регулюють відносини у галузі реалізації державної політики щодо правових, соціально-економічних, організаційно-технічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Питання охорони праці регулюються рядом законів про працю України, які визначають основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи, організації незалежно від форм власності та видів їх діяльності і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Законодавство встановлює пріоритет життя та здоров'я працівників щодо результатів виробничої діяльності підприємства, тобто, насамперед, мають дотримуватись вимоги нормативно-правових актів про охорону праці, аби працівник під час операцій виробничого циклу не отримував травм, не зазнавав погіршення стану здоров'я, професійних захворювань або зменшення працездатності, і лише потім має звертатись увага на результати виробничої діяльності підприємства [18].

Умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам законодавства.

Якщо створилася виробнича ситуація, небезпечна для життя чи здоров'я працівника або для людей, які його оточують, або для виробничого середовища чи довкілля, працівник має право відмовитися від дорученої роботи.

Він зобов'язаний негайно повідомити про це безпосереднього керівника або роботодавця. За період простою з зазначених причин, які виникли не з вини працівника, за ним зберігається середній заробіток.

На час зупинення експлуатації підприємства, цеху, дільниці, окремого виробництва або устаткування органом державного нагляду за охороною праці чи службою охорони праці за працівником зберігаються місце роботи, а також середній заробіток.

4.1 Вимоги до розміщення обладнання

Устаткування повинне встановлюватися біля вікон метрологічної лабораторії на відстані від 0,4 м до 0,5 м від стіни. Батарей і труби опалення повинні бути закриті діелектричним огороженням. Відстань між слюсарними верстатами повинна бути не менш 0,8 м, а між рядами не менш 1 м. Верстати від верстатів повинні відокремлюватися на відстані не менш 0,9 м. Тиски на верстатах повинні бути встановлені на відстані не менш 1 м. Крайні тиски повинні стояти від стіни не менш ніж на 0,7 м. Відстань між столярними верстатами повинна бути не менш 0,65 м, а між рядами не менш 0,7 м [19].

4.2 Освітлення на робочому місці

Приміщення повинні мати природне і штучне освітлення. Природне світло повинне проникати через вікна, зорієнтовані, як правило, на північ або північний схід. Вікна повинні мати регулюючі пристосування для відкривання, а також жалюзі, штори, зовнішні козирки і т. п. Повинен бути забезпечений коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5 %.

При виробничій необхідності дозволяється експлуатувати персональні комп'ютери (ПК) у приміщеннях без природного освітлення за узгодженням з органами державного нагляду за охороною праці, органами й установами санітарно-епідеміологічної служби.

Штучне освітлення приміщення повинне бути обладнане системою загального рівномірного освітлення. Рівень освітленості на робочому столі в зоні розміщення документів повинний бути в межах від 300 лк до 500 лк. Загальне освітлення повинне бути виконане у виді суцільних або переривчастих ліній світильників, що розташовуються осторонь від робочих місць (переважно ліворуч) паралельно лінії зору працівників. Допускається застосовувати світильники прямого світла – П; переважно прямого світла – Н, переважно відбитого світла – В. При розташуванні відео-терміналів по периметрі приміщення лінії світильників штучного освітлення повинні розміщатися локально над робітниками місцями. Для загального освітлення необхідно застосовувати світильники з розсіювачами і дзеркальними екранними сітками або відбивачами [20].

Як джерело світла при штучному освітленні повинні застосовуватися, як правило, люмінесцентні лампи типу ЛБ. Яскравість світильників загального висвітлення в зоні кутів випромінювання від 50° до 90° відносної вертикалі в подовжній і поперечній площинах повинна складати не більш 200 кд/м^2 , а захисний кут світильників повинний бути не більше 40° . Коефіцієнт запасу (Кз) для освітлювальної установки загального освітлення варто приймати рівним 1,4.

Коефіцієнт пульсації не повинний перевищувати 5 %. У випадку неможливості забезпечити необхідний рівень освітленості системою загального освітлення допускається застосування світильників місцевого освітлення, але при цьому не повинно бути відблисків на поверхні екрана і збільшення освітленості екрана більш ніж до 300 лк. У виробничих і адміністративно-суспільних приміщеннях, де переважають роботи з документами, допускається застосовувати систему комбінованого освітлення (додатково застосовувати світильники місцевого освітлення). Допускається у світильниках місцевого освітлення застосування ламп накаливання. Світильники місцевого освітлення повинні мати напівпрозорий відбивач світла.

Загальні вимоги для природного і штучного освітлення [20]:

- необхідно передбачити обмеження прямих відблисків від джерела освітлення, при цьому яскравість поверхонь, що світяться (вікна, джерела штучного світла) і знаходяться в полі зору, повинна бути не більш 200 кд/м^2 ;

- необхідно обмежувати відбиті прямі відблиски шляхом вибору типів світильників і розміщенням робочих місць щодо джерел природного і штучного освітлення. Яскравість відблисків на екрані відеотерміналу не повинна перевищувати 40 кд/м^2 , яскравість стелі при застосуванні системи освітлення, що відбиває, не повинна перевищувати 200 кд/м^2 ;

- необхідно обмежувати нерівномірність розподілу яскравості в полі зору осіб, що працюють з відеотерміналом, при цьому відношення значень яскравості робочих поверхонь не повинне перевищувати 3:1, а робітників поверхонь і навколишніх предметів (стіни, устаткування) – 5:1;

- необхідно використовувати систему вимикачів, що дозволяє регулювати інтенсивність штучного освітлення в залежності від інтенсивності природного, а також дозволяє освітлювати тільки необхідні для роботи зони приміщення;

- необхідно очищати шибку і світильники не рідше ніж 2 рази в рік і вчасно проводити заміну перегорілих ламп.

4.3 Опалення і вентиляція в приміщеннях

Лабораторні приміщення повинні бути обладнані опаленням і загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією відповідно до вимог ДБН В.2.5-67 1026 [24] і забезпечувати стан повітря робочої зони відповідно до ГОСТ 12.1.005.

Приміщення в яких можливо швидке підвищення концентрації шкідливих речовин у повітрі, повинні бути обладнані системою автоматичного контролю за станом повітряного середовища.

Усі вентиляційні установки, за винятком віконних і дахових вентиляторів, повинні розташовуватися в окремих приміщеннях.

Забороняється:

– працювати лабораторіях, де виділяються шкідливі речовини, при несправній чи не включеній вентиляції;

– рециркуляція повітря в приміщеннях, де виділяються пари, гази чи може мати місце різке збільшення концентрації шкідливих і вибухонебезпечних речовин, газу.

Перед пуском в експлуатацію заново змонтованих вентиляційних установок, а також після їхньої реконструкції і ремонту вони повинні пройти налагодження й випробування.

При зміні характеру досліджень, а також при перестановці лабораторного устаткування, що забруднює повітря, вентиляційні установки повинні бути приведені у відповідність з новими умовами.

Пристрої викиду в атмосферу із систем вентиляції варто розміщати на відстані від прийомних пристроїв для зовнішнього повітря не менш 10 м по горизонталі та 6 м по вертикалі при горизонтальній відстані менш 10 м; при цьому викиди із систем місцевих відсосів варто розміщати на висоті не менш 2 м над найвищою точкою даху, для систем аварійної вентиляції – на висоті не менш 3 м від рівня землі.

4.4 Безпека у надзвичайних ситуаціях

Надзвичайні ситуації, які можуть виникнути під час роботи на підприємстві, класифікуються на:

- техногенні,
- природні,
- екологічні,
- біологічні,
- соціально-політичні.

Розглянемо пожежу як найбільш ймовірну надзвичайну ситуацію техногенного характеру на виробництві. Робоче приміщення з вибухопожежної

та пожежної безпеки належить до категорії "Д" "Негорючі речовини та матеріали в холодному стані" [22, 23].

Причини виникнення пожежі в приміщеннях з персональними електронно-обчислювальними машинами (ПЕОМ) та заходи щодо їх усунення:

- несправності електропроводки, розеток та вимикачів, які можуть призвести до короткого замикання. Необхідно вчасно виявляти та усувати несправності, проводити плановий огляд, усувати усі несправності;

- використання пошкоджених (несправних) електроприладів. Необхідно виключити пожежу своєчасно ремонтувати електроприлади, якісно виправляти поломки, не використовувати несправні електроприлади;

- використання в приміщенні електронагрівальних приладів з відкритими нагрівальними елементами. У приміщенні технічного відділу знаходяться паперові документи, книги, тому використання відкритих обігрівальних приладів у приміщенні відділу не допускається;

- загоряння будівлі внаслідок зовнішніх впливів. У літній період під час грози можливе попадання блискавки, внаслідок чого можлива пожежа. Щоб уникнути цього на даху будівлі встановлено блискавковідведення;

- неакуратне поводження з вогнем та недотримання заходів пожежної безпеки. Для усунення спалаху внаслідок куріння, у приміщенні категорично заборонено куріння, воно дозволене лише у строго відведеному для цього місці.

З метою запобігання пожежі із співробітниками проводиться протипожежний інструктаж, на якому працівники ознайомлюються з правилами протипожежної безпеки, а також навчаються використанню первинних засобів пожежогасіння. Приміщення відділу обладнане порошковими вогнегасниками.

Профілактичні методи боротьби з пожежами у приміщенні передбачають [24]:

- організаційні: навчання та розробка планів евакуації, утримання приміщень у належному стані та інше;

- технічні: сучасні автоматичні засоби сигналізації, методи та пристрої обмеження розповсюдження вогню, автоматичні стаціонарні системи гасіння пожеж, вогнегасники.

Приміщення оснащено пороговою пожежною сигналізацією та знаками пожежної безпеки. Загальні вимоги до знаків пожежної безпеки регламентовані нормами пожежної безпеки.

Кафедра МБЖД

ВИСНОВКИ

1. У дипломній роботі магістра досліджені акустичні сигнали двигуна дорожньої машини. Дослідження показують, що існують певні особливості роботи двигунів при роботі на різних видах палива.

2. Двигун внутрішнього згорання дорожньої машини являється складним джерелом шуму і звукове поле роботи двигуна складається з декількох акустичних сигналів, що надходять від декількох незалежних джерел. Рівні звукової потужності роботи двигуна дорожньої машини відрізняються від виду використовуваного палива.

3. Для аналізу акустичних сигналів роботи двигунів внутрішнього згорання використовується частотний метод розрахунку двигуна.

3. Отримані експериментальні часові реалізації акустичних сигналів роботи двигуна автомобіля Nissan X-Trail з використанням різного типу палива, при різних навантаженнях: невисоких та середніх.

4. Проведено дослідження часових реалізацій акустичних сигналів під час роботи двигуна на різних типах палива при різних навантаженнях. Порівняльний аналіз часових реалізацій акустичних сигналів роботи двигуна, показав, що сигнали мають значні розбіжності.

5. Проведений спектральний аналіз часових реалізацій акустичних сигналів роботи двигуна на різних видах палива та різних навантаженнях з використанням спеціалізованого математичного пакету Mathcad.

6. Розроблені пропозиції щодо використання спектрів в акустичних вимірюваннях, для діагностики двигунів дорожніх машин.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Автомобільні двигуни / Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко І. І. – К.: Арістей, 2006. 476 с.
2. Автомобільні двигуни / Зінько Р. В., Бучківський Б. Р., Зіркевич В. М., Андрієнко А. М. – Львів: Акад. сухопут. військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, 2011. 189 с.
3. Саловський В. С., Кропівний В. М., Магопець С. О. Трактори та автомобілі – Кіровоград, КНТУ, 2006. – 257 с.
4. Кисляков В. Ф., Лущик. В. В. Будова й експлуатація автомобілів /– К.: Либідь, 2006. 400 с.
5. Коваль А. О., Єфіменко Н. М. Обґрунтування необхідності інтелектуалізації інформаційно-вимірювальної системи дорожніх машин. Проблемы информатики и моделирования: сб. науч. тр. 10-й Межд. конф., НТУ "ХПИ". 2010. С. 98-105.
6. Бахрушин В. Є. Аналіз даних: навчальний посібник. Запоріжжя: ГУ “ЗІДМУ”, 2006. 128 с.
7. Гумен М. Б. Основи теорії процесів в інформаційних системах: підручник (у 2-х кн.). Кн.1. Аналіз детермінованих процесів / М. Б. Гумен, В. М. Співак, С. К. Мещанінов, Г. Г. Власюк, Т. Ф. Гумен. 2-е вид., зі змінами і доповн. К: Кафедра, 2017. 281 с.
8. Коваль А. О., Коваль О. А. Просторово розподілені інтелектуальні вимірювальні інформаційні системи: монографія. Харків : Лідер, 2017. 146 с.
9. Сусліков Л. М., Студеняк І. П. Метрологія та вимірювання: Навчальний посіб. Ужгород: Видавництво УжНУ, 2014. 292 с.
10. Mallat S. Characterization of signals from multiscale edge / S. Mallat, S. Zhong // IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. 1992. № 14. Pp. 710-732.
11. Рихальський О. Р. Сигнали та процеси в радіотехніці. Ч.1. Детерміновані сигнали та їх спектри: курс лекцій. Житомир: ЖВІ ДУТ, 2013. 396 с.

12. Основи та методи цифрової обробки сигналів: від теорії до практики: навч. посіб. / Ю. О. Ушенко, М. С. Гавриляк, М. В. Талах, В. В. Дворжак. Чернівці: Чернівецький нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2021. 308 с.

13. Волощук Ю. І. Сигнали та процеси у радіотехніці. Харків: Компанія СМІТ, 2003. 980 с.

14. Бабак В. П., Хандлецький В. С., Шрюфер Е. Обробка сигналів: Підручник. К.: Либідь, 1996. 392 с.

15. Бахрушин В. Є. Математичні основи моделювання систем: навчальний посіб. Запоріжжя : КПУ, 2009. – 224 с.

16. Дубровін В. І., Твердохліб Ю. В., Харченко В. В. Комп'ютерні методи інтелектуальної обробки даних: навчальний посібник. Запоріжжя : ЗНТУ, 2013. 105 с.

17. Єріна А. М. Статистичне моделювання та прогнозування: Навч.посібник. К.:КНЕУ, 2001.-170 с.

18. Закон України "Про охорону праці" в редакції від 21 листопада 2002 р. URL: https://urst.com.ua/act/pro_okhoronu_pratsi (дата звернення: 16.09.2022).

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

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

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

22. 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 .

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

24. ДСТУ ISO 6309:2007 Протипожежний захист.

ДОДАТОК А
ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

Кафедра МБЖД

Міністерство освіти і науки
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
(ХНАДУ)

1

Механічний факультет
Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ
магістра

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСТОТНИХ МЕТОДІВ В
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ ВИМІРЮВАЛЬНІЙ ІНФОРМАЦІЙНІЙ
СИСТЕМІ ДОРОЖНЬОЇ МАШИНИ

Завідувач кафедри к. т. н., проф.



О. І. Богатов

Нормоконтролер к. т. н., доц.



І. В. Грайворонська

Керівник к. т. н., доц.



Д. С. Петрукович

Студент групи ММ -61-22



Б. С. Міщенко

Харків-2023

МЕТА, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕНЬ

Мета роботи – виявлення особливостей спектральних характеристик акустичних сигналів роботи двигунів дорожніх машин.

Об'єкт дослідження – акустичні сигнали двигунів дорожніх машин.

Метод дослідження – спектральний аналіз акустичних сигналів двигунів дорожніх машин

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ АКУСТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛЯ

3

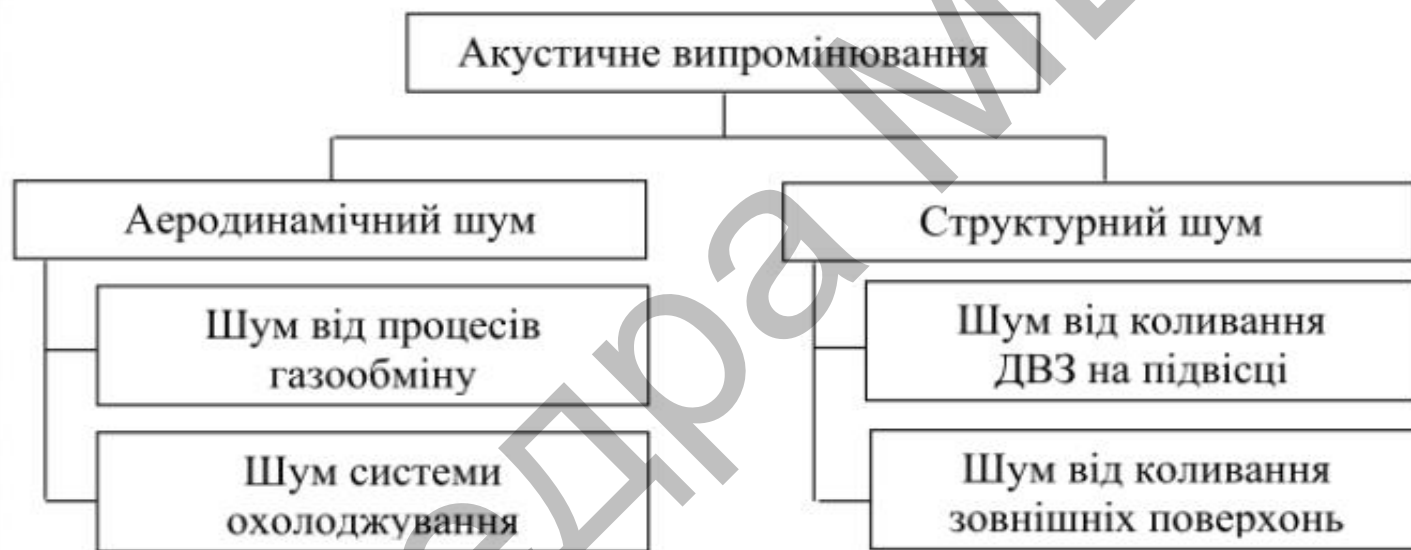


Рисунок 1 – Види шумів роботи двигуна внутрішнього згорання

ОСНОВНІ АКУСТИЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ДВИГУНА ДОРОЖНЬОЇ МАШИНИ

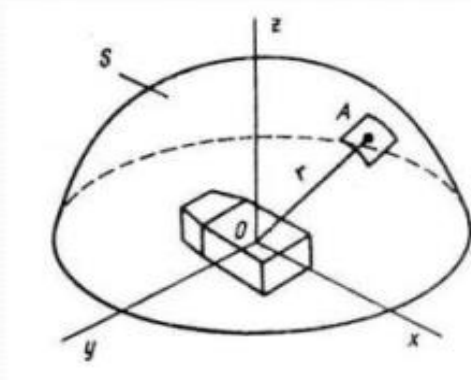


Рисунок 2 – Проходження акустичного сигналу через одиничну площину

$$L = 10 \lg(I / I_0) = 20 \lg(p / p_0) \quad (1)$$

$$L_w = L + 20 \lg r + 10 \lg \Omega - 10 \lg \Phi, \quad (2)$$

$$W_d = W_{\text{вн}} + W_{\text{вип}} + W_{\text{деф}} + W_{\text{зг}} + W_n + W_{\text{уд}} + W_{\text{аз}}, \quad (3)$$

де W_n - енергія коливання двигуна на підвісці;

$W_{\text{вн}}$ - акустична потужність на такті впуску;

$W_{\text{вип}}$ - акустична потужність на такті випуску;

$W_{\text{аз}}$ - акустична потужність роботи різних агрегатів на двигуні;

$W_{\text{уд}}$ - акустична потужність при ударах різних деталей;

$W_{\text{деф}}$ - енергія коливань стінок у вигляді звуку;

$W_{\text{зг}}$ - акустичне випромінювання під час згорання.

5

ОБГРУНТУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО СИСТЕМИ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ТИПУ АВТОМОБІЛЯ

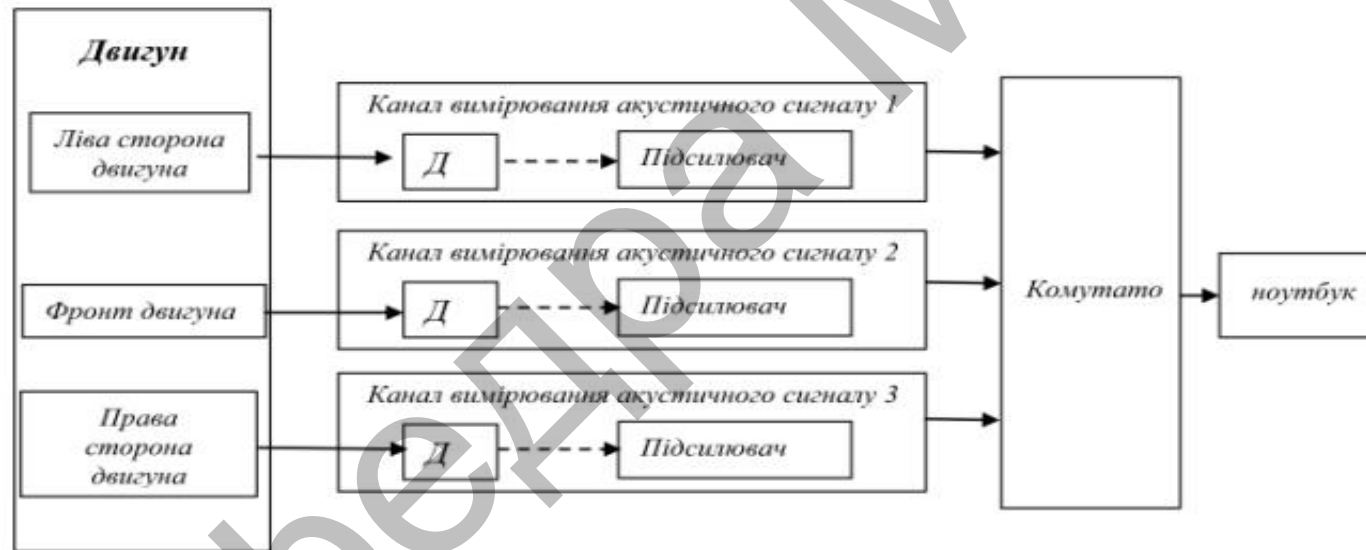
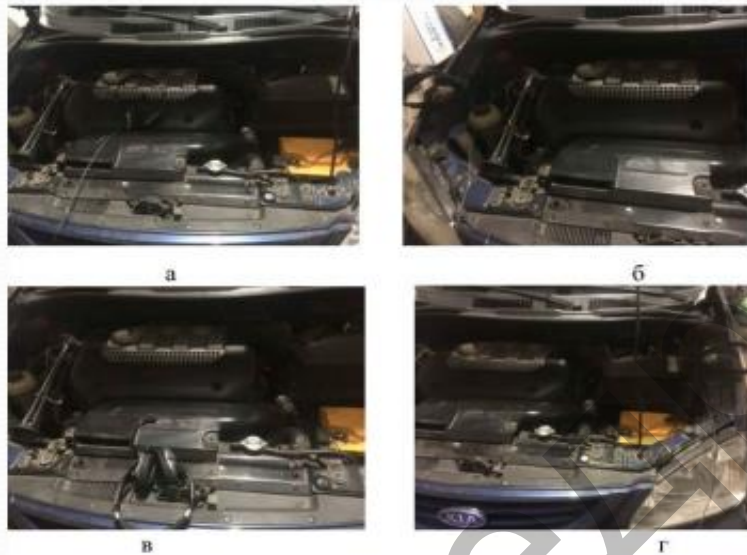


Рисунок 3 – Структурна схема вимірювальної інформаційної системи

ВИМІРЮВАЛЬНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА В ПРОЦЕСІ ЗАПISУ АКУСТИЧНОГО СИГНАЛУ

6



Запис з двигуна (а), фронту (б), лівого (в) та з правого боку (г) автомобіля

Рисунок 4 – Фотографія вимірювальної інформаційної системи

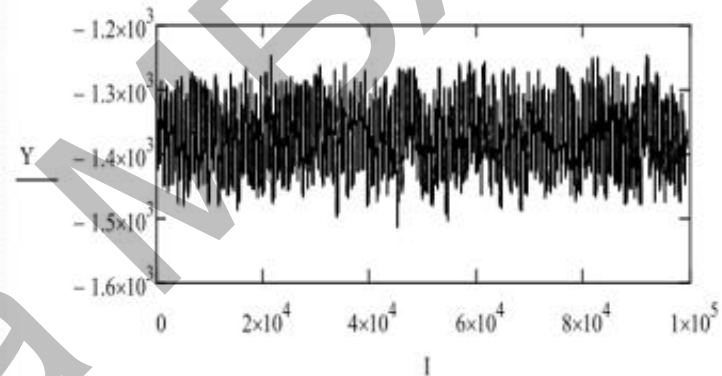


Рисунок 5 – Приклад записаного сигналу з лівого боку автомобіля під час роботи двигуна на бензині на невисоких обертах 700 об./хв.

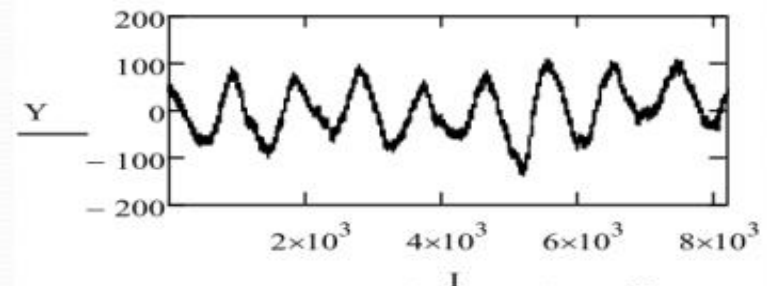
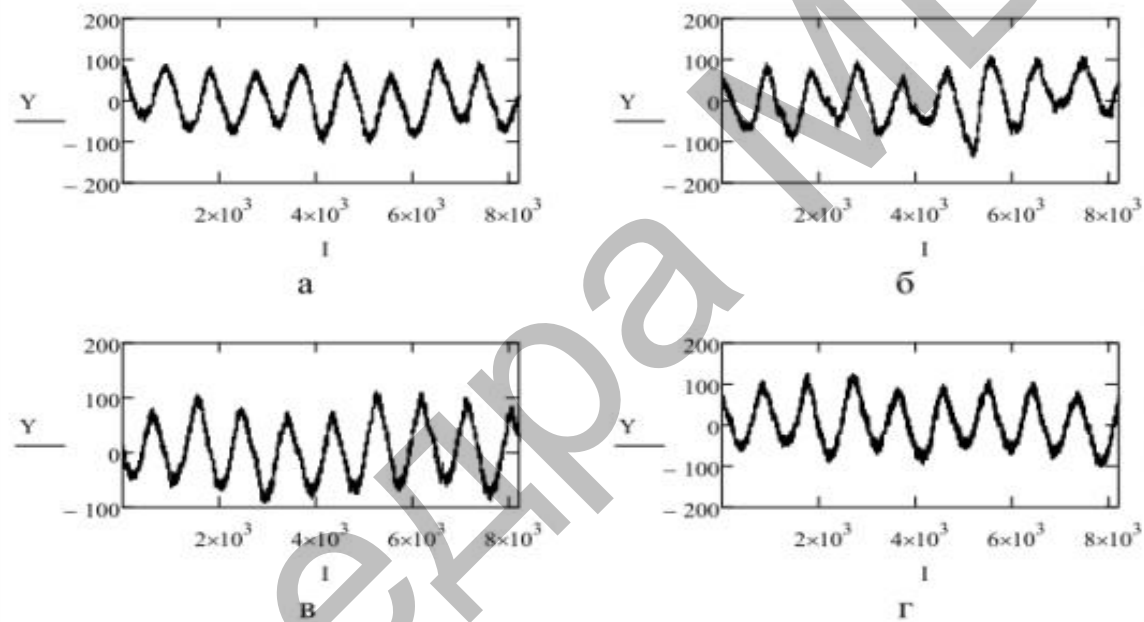


Рисунок 6 – Приклад вибірки розміром $2^{13} = 8192$ точок у 5 «вікні» під час роботи двигуна на бензині на обертах 700 об./хв.

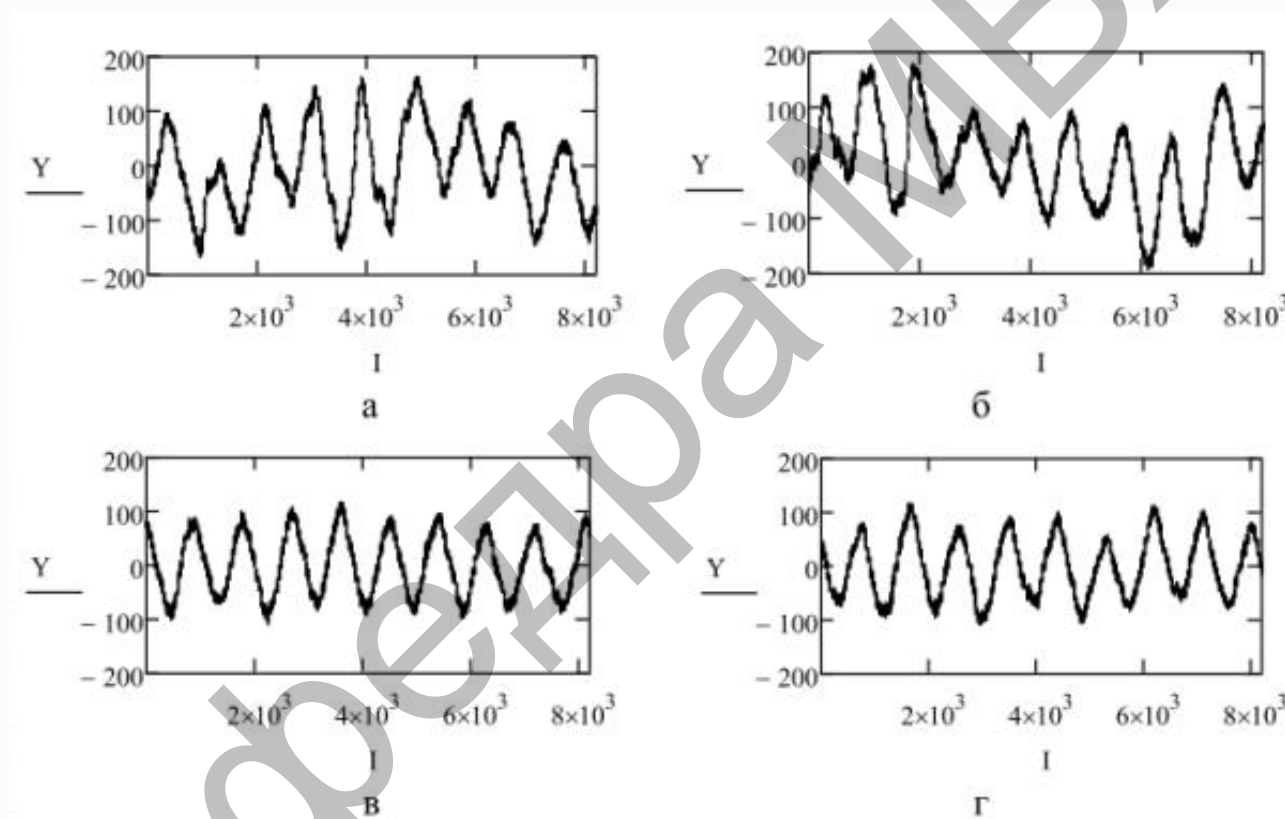
АНАЛІЗ АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ РОБОТИ ДВИГУ НА АВТОМОБІЛЯ НА РІЗНИХ ВИДАХ ПАЛИВА



«Вікна»: 1 (а), 5 (б), 8 (в) та 9 (г)

Рисунок 7 – Акустичні сигнали роботи двигуна автомобіля на бензині на обертах 700 об./хв.

АНАЛІЗ АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ РОБОТИ ДВИГУНА АВТОМОБІЛЯ НА РІЗНИХ ВИДАХ ПАЛИВА



«Вікна»: 1 (а), 3 (б), 6 (в) та 8 (г)

Рисунок 8 – Акустичні сигнали роботи двигуна автомобіля на газу на обертах 700 об./хв.

ДОСЛІДЖЕННЯ АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ РОБОТИ
ДВИГУНА ДОРОЖНЬОЇ МАШИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ
ЧАСТОТНИХ МЕТОДІВ

$$C_k = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} Y(t) \exp(-j \cdot k \cdot \omega_1 \cdot t) dt. \quad (4)$$

$$c_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} Y_n \exp\left(-j \cdot k \cdot 2\pi \cdot \frac{1}{N} \cdot n\right). \quad (5)$$

$$Y_n = \sum_{k=0}^{N-1} c_k \exp\left(+j \cdot k \cdot 2\pi \cdot \frac{1}{N} \cdot n\right). \quad (6)$$

$$f_{12q} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} Y_i \exp\left(+j \cdot 2\pi \cdot \frac{1}{N} \cdot q \cdot i\right). \quad (7)$$

АНАЛІЗ РОБОТИ ДВИГУНІВ НА РІЗНИХ ВИДАХ ПАЛИВА ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АКУСТИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

10

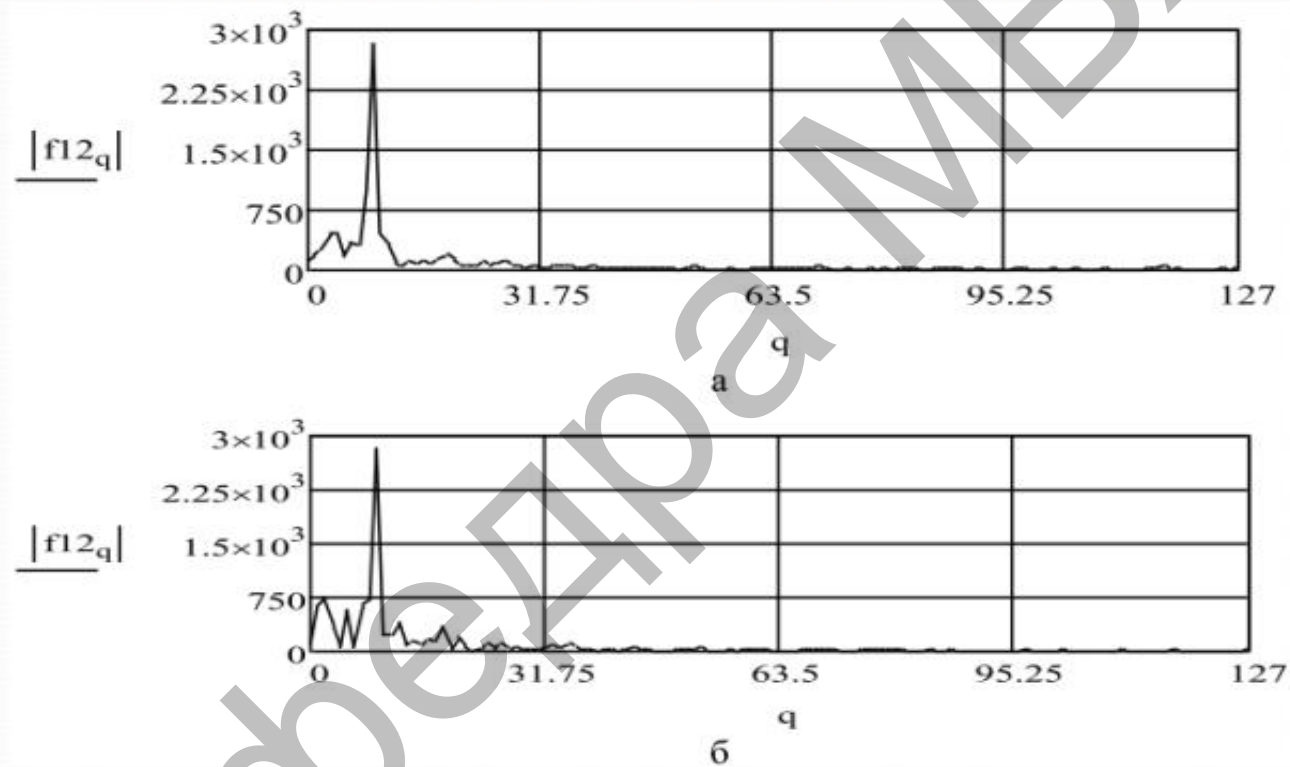
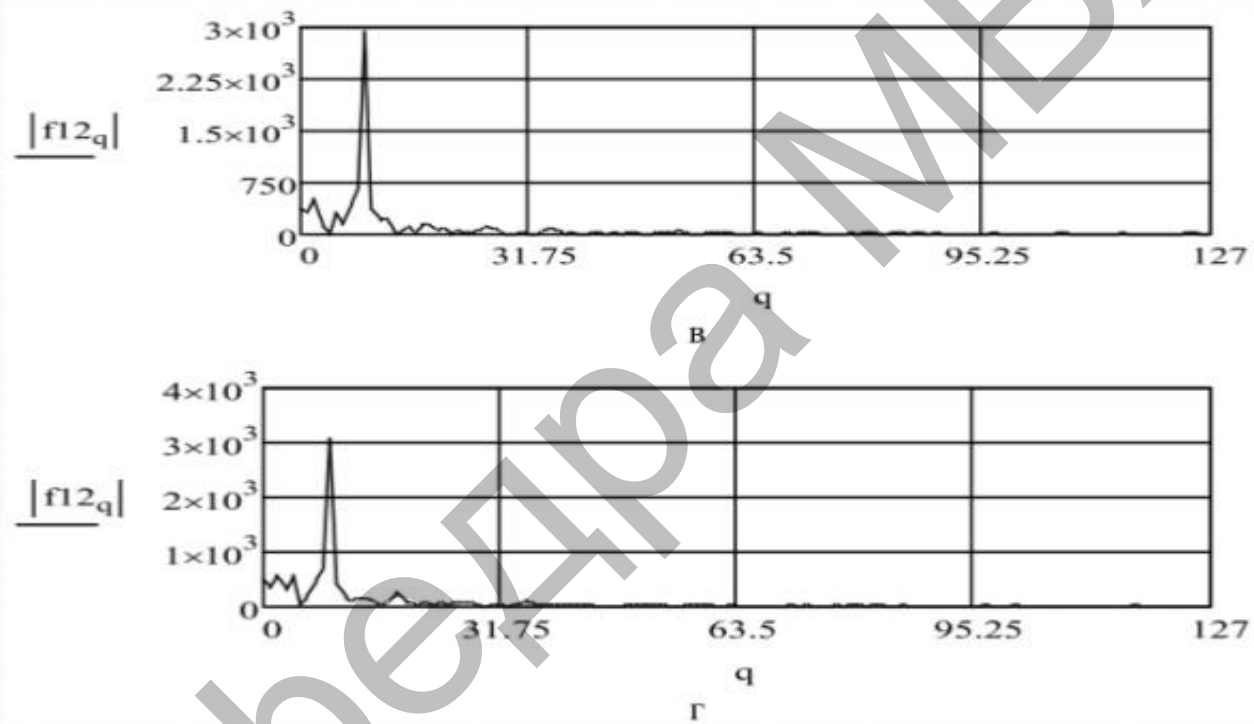


Рисунок 9 – Спектри сигналів роботи двигуна на бензині на обертах 700 об./хв.

АНАЛІЗ РОБОТИ ДВИГУНІВ НА РІЗНИХ ВИДАХ ПАЛИВА ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АКУСТИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

11

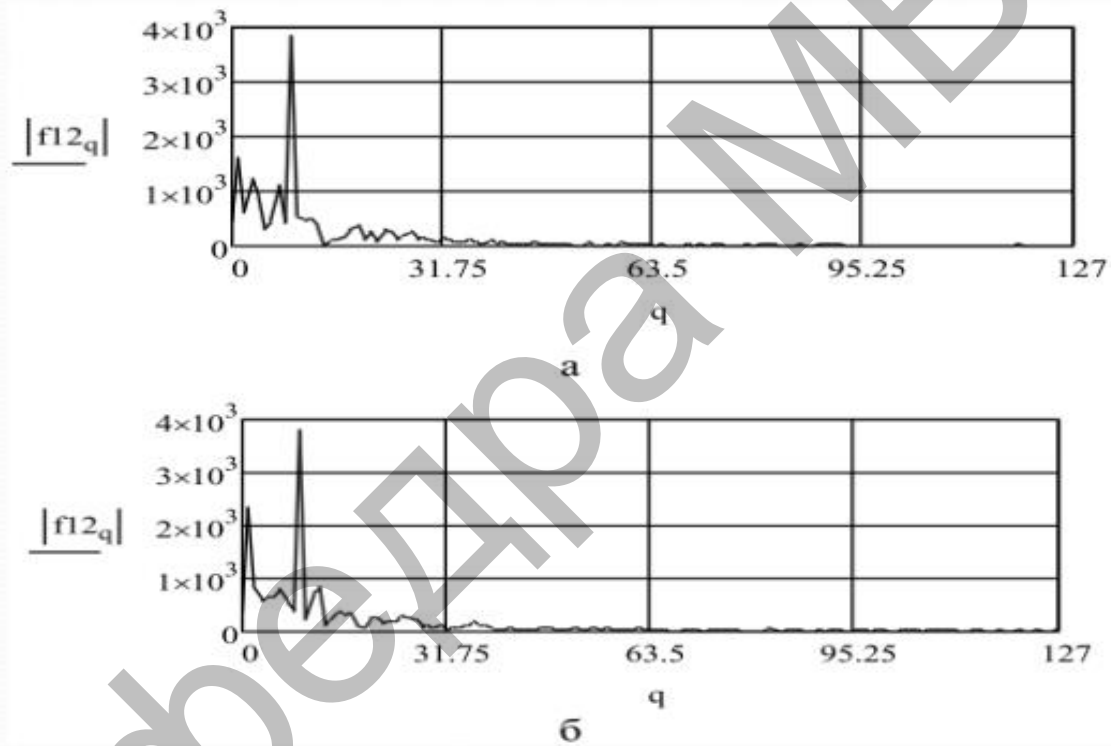


«Вікнах»: 8(в) та 9(г)

Рисунок 10 – Спектри сигналів роботи двигуна на бензині на обертах 700 об./хв.

АНАЛІЗ РОБОТИ ДВИГУНІВ НА РІЗНИХ ВИДАХ ПАЛИВА ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АКУСТИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

12

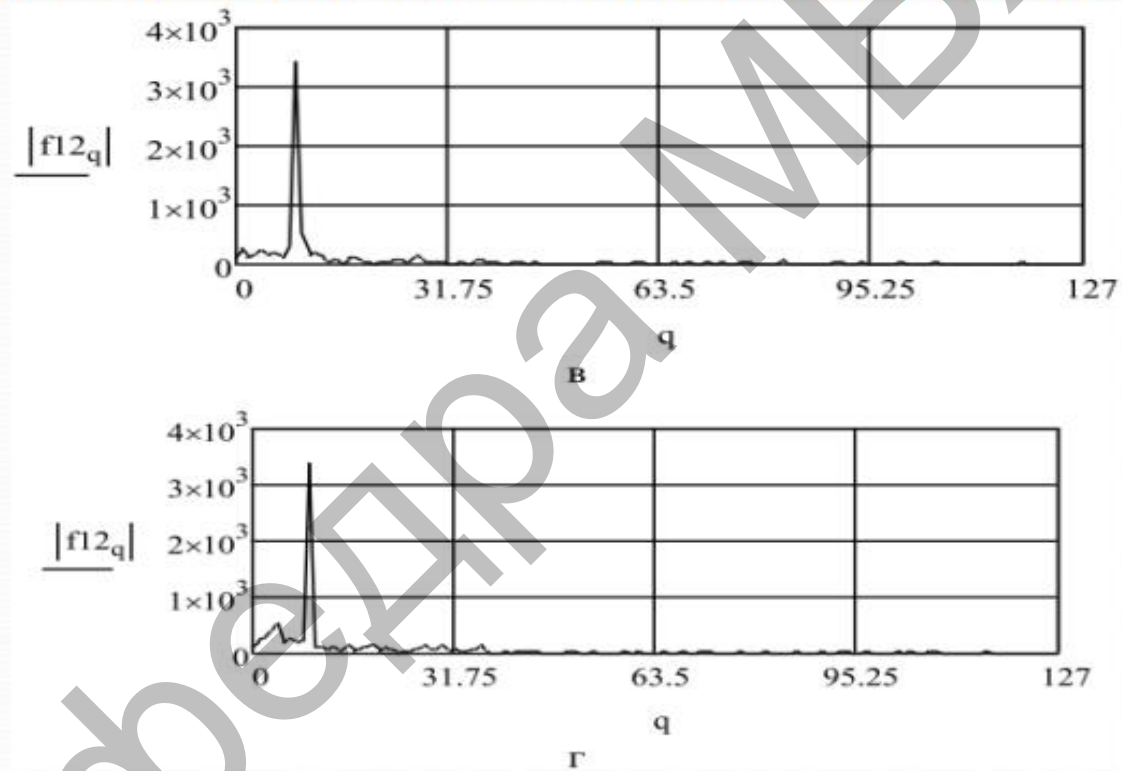


«Вікна»: 1 (а), 3 (б)

Рисунок 11 – Спектри сигналів роботи двигуна на газу на обертах 700 об./хв.

АНАЛІЗ РОБОТИ ДВИГУНІВ НА РІЗНИХ ВИДАХ ПАЛИВА ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АКУСТИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

13



«Вікна»: 6 (в) та 8 (г)

Рисунок 12 – Спектри сигналів роботи двигуна на газу на обертах 700 об./хв.

ВИСНОВКИ

14

1. У дипломній роботі магістра досліджені акустичні сигнали двигуна дорожньої машини. Дослідження показують, що існують певні особливості роботи двигунів при роботі на різних видах палива.
2. Двигун внутрішнього згорання дорожньої машини являється складним джерелом шуму і звукове поле роботи двигуна складається з декількох акустичних сигналів, що надходять від декількох незалежних джерел. Рівні звукової потужності роботи двигуна дорожньої машини відрізняються від виду використовуваного палива.
3. Для аналізу акустичних сигналів роботи двигунів внутрішнього згорання використовується частотний метод розрахунку двигуна.
3. Отримані експериментальні часові реалізації акустичних сигналів роботи двигуна автомобіля Nissan X-Trail з використанням різного типу палива, при різних навантаженнях: невисоких та середніх.
4. Проведено дослідження часових реалізацій акустичних сигналів під час роботи двигуна на різних типах палива при різних навантаженнях. Порівняльний аналіз часових реалізацій акустичних сигналів роботи двигуна, показав, що сигнали мають значні розбіжності.
5. Проведений спектральний аналіз часових реалізацій акустичних сигналів роботи двигуна на різних видах палива та різних навантаженнях з використанням спеціалізованого математичного пакету Mathcad.
6. Розроблені пропозиції щодо використання спектрів в акустичних вимірюваннях, для діагностики двигунів дорожніх машин.