

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Єременко В.С.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

« _____ » _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) _____
(код і назва спеціальності)

на тему: « Система стендових випробувань рухомого складу залізничного транспорту »

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

Науковий керівник _____ д.т.н професор Єременко В.С. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант «Стартап проект» _____ д.е.н., доцент, Бояринова К.О. _____
(назва родіту) (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

Реферат

Магістерська дисертація «Система стендових випробувань рухомого складу залізничного транспорту» має обсяг 100 сторінок тексту, з них 28 ілюстрація, 12 таблиць та 34 джерела за переліком посилань.

Ключові слова: ТЯГОМО РУХОМИЙ СКЛАД, МІЦНІСНІ ВЛАСТИВОСТІ, РЕГЛАМЕНТОВАНІ УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ПОКАЗНИК БЕЗВІДМОВНОСТІ РОБОТИ, ІМПУЛЬС УДАРНОЇ ВЗАЄМОДІЇ, ТЕОРІЯ ЙМОВІРНОСТІ, ОПТИМАЛЬНИЙ РОБОЧИЙ РЕЖИМ, БЕЗВІДЧЕПНИЙ ТА ВІДЧЕПНИЙ РЕМОНТ.

Об'єкт дослідження – процес вимірювання демпфувальних властивостей гасників коливань тягово-рухомого складу.

Предмет дослідження – діагностування демпфувальних характеристик гасників коливань.

Мета роботи – розробка системи діагностування демпфувальних характеристик гасників коливань. Розробка методики та алгоритму вимірювання затухаючих коливань.

Методи дослідження. В роботі знайшли застосування експериментальне дослідження затухаючих коливань і проведення модельного експерименту.

Рекомендації щодо використання результатів роботи. Отримані результати магістерської атестаційної роботи можуть бути використані в учбовому процесі та проведенні контролю композиційних матеріалів в промисловому виробництві.

Важливість роботи і висновки. Магістерська дисертація «Система стендових випробувань рухомого складу залізничного транспорту» має важливе значення для безпеки тягово-рухомого складу.

За результатами роботи нами зроблені такі висновки:

- обчислення логарифмічного декременту затухання в частотній області дозволяє здійснювати визначення демпфувальних параметрів з похибкою, що не перевищує 1%;
- Запропонований метод дозволяє проводити розрахунок логарифмічного декременту по найпотужнішій гармоніці;
- розроблено математичну модель та відповідне програмне забезпечення, що дозволило оцінити точність стандартного та запропонованого методів;
- Здійснено обробку реальних даних випробувань по скиданні з клинів пасажирського вагону та локомотиву ЧС8.

Пропозиції про можливі напрямки розвитку чи продовження виконаних досліджень полягають в наступному:

- дослідження використання інших критеріїв для прийняття діагностичних рішень;
- розробка автоматизованого програмного забезпечення з повною реалізацією розробленого алгоритму.

Abstract

The master's thesis "The system of bench tests of rolling stock of railway transport" has a volume of 100 pages of text, of which 31 illustrations, 7 tables, 2 appendices and 34 sources in the list of references.

Keywords: traction rolling stock, strength properties, regulated operating conditions, reliability work index, impulse impact interaction, probability theory, optimal operating conditions, repair.

The object of the study is the process of measuring the damping properties of dampers of heavy-rolling stock oscillations.

The subject of the study is diagnostics of damping characteristics of oscillation dampers.

The purpose of the work is to develop a system for diagnosing damping characteristics of oscillation dampers. Development of technique and algorithm for measuring damping oscillations.

Research methods: An experimental study of damping oscillations and conducting a model experiment were used in the work.

Recommendations for using work results: The obtained results of the master's appraisal work can be used in the educational process and in the control of composite materials in industrial production.

Importance of work and conclusions: Master's thesis "System of bench tests of rolling stock of railway transport" is important for the safety of traction and rolling stock.

Based on the results of our work we have made the following conclusions:

- calculation of logarithmic decrement of attenuation in the frequency domain allows to determine the damping parameters with an error not exceeding 1%;
- The proposed method allows to calculate the logarithmic decrement on the most powerful harmonics;
- mathematical model and corresponding software were developed, which allowed to

estimate the accuracy of standard and proposed methods;

- The real test data for the dumping of the wedges of the passenger car and of the CS8 locomotive have been processed.

Proposals for possible directions for the development or continuation of research are as follows:

- research on the use of other criteria for making diagnostic decisions;
- development of automated software with full implementation of the developed algorithm.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
--------------	----------

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДІАГНОСТИКИ ДЕМПФУВАЛЬНИХ ВУЗЛІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

1.1 Основні технічні характеристики	7
1.2 Огляд існуючих методів та комп'ютеризованих систем діагностики тягово-рухомого складу	7
1.3 Оцінка надійності об'єктів тягово-рухомого складу	8
1.4 Ходові динамічні та приймальні випробування об'єктів залізничного транспорту	11
1.5 Нормативне забезпечення в сфері контролю та діагностування характеристик рухомого складу	18
1.6 Вимоги до об'єкта випробувань і умов проведення випробувань	21
1.7 Огляд існуючих систем діагностики рухомого складу	23

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА МЕТОДУ ТА СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ДЕМПФУВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАСНИКІВ КОЛИВАНЬ

2.1 Застосування комп'ютерного моделювання при діагностуванні тягово-рухомого складу	28
2.2 Вимоги до побудови комп'ютеризованих систем контролю параметрів тягово-рухомого складу	35
2.3 Розробка підсистеми діагностування демпфувальних характеристик гасників коливань рухомого складу	39
2.4 Типи гасників коливань тягово-рухомого складу	40
2.5. Аналіз існуючого методу визначення демпфувальних характеристик гасників коливань рухомого складу	42

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

РОЗРОБЛЕНОГО МЕТОДУ ТА СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ

3.1 Експериментальне дослідження існуючого методу визначення демпфувальних характеристик гасників коливань рухомого складу	46
3.2 Розробка методу визначення демпфувальних характеристик гасників коливань рухомого складу з поліпшеними метрологічними характеристиками	52
3.3 Сплайн-інтерполяція	55
3.4 Програмна реалізація розробленого методу	64
3.5 Оцінка точності методів визначення демпфувальних характеристик гасників коливань рухомого складу	65
3.6 Програмна реалізація	74
3.7 Алгоритм програмного забезпечення	79

РОЗДІЛ 4

СТАРТАП-ПРОЕКТ

4.1 Опис ідеї проекту	80
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту	82
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	83
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	88
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	90
4.7 Висновки	92
ВИСНОВКИ	94
Список використаної літератури	96

ВСТУП

Об'єкт система стендових випробувань рухомого складу залізничного транспорту. Основна задача системи є аналіз проблем та похибок, що виникають у процесі контролю параметрів та експлуатаційних характеристик тягово-рухомого складу. Для проведення досліджень виконується транспортування об'єкта випробування та маневрового локомотива на пряму дослідну ділянку загальною довжиною не менше 150 метрів.

Метою дисертаційного дослідження є розробка комп'ютеризованої системи контролю параметрів технічного стану тягово-рухомого складу з покращеними метрологічними характеристиками.

Для досягнення поставленої мети було вирішено наступні задачі:

- Аналіз особливостей параметрів інформаційних сигналів (ІС) та факторів

що впливають на достовірність діагностування рухомого складу.

Розробка моделей ІС та алгоритмів проведення моделювання даних сигналів.

- Розробка програмного інструментарію, що реалізує метод визначення демпфувальних характеристик гасників коливань надресорної частини рухомого складу, з покращеними метрологічними характеристиками.
- Експериментальне дослідження розробленого методу та системи у цілому з метою оцінки характеристик точності системи.

Об'єктом дослідження є процес контролю параметрів технічного стану рухомого складу залізничного транспорту.

Предметом дослідження є методи та засоби підвищення точності інформаційно-вимірювальних систем контролю параметрів об'єктів рухомого складу. Перед проведенням розрахунків параметрів демпфування здійснено аналіз інформаційних сигналів та проаналізовано вплив на форму сигналу факторів, що присутні в ході випробувань, однак не несуть корисного інформаційного навантаження.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДІАГНОСТИКИ ДЕМПФУВАЛЬНИХ ВУЗЛІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Завданням даного дипломного проекту є створення системи стендових випробувань для вимірювання демпфувальних характеристик тягово-рухомого складу. Система яка проектується, призначена для визначення власних частот коливань кузова та декрементів затухань коливань ОТРС.

1.1 Основні технічні характеристики

Частота власних коливань рухомого складу: діапазон 0 – 20Гц. $\delta = 5\%$;

Декремент затухання коливань: 0,2 – 2,0. $\delta = 5\%$.

1.2 Огляд існуючих методів та комп'ютеризованих систем діагностики тягово-рухомого складу

У розділі здійснюється огляд методів, що використовуються при діагностуванні та контролю функціональних параметрів тягово-рухомого складу. Наведено порівняльну характеристику нормативних документів, що використовуються на залізницях України та Європи та визначають вимоги та правила проведення динамічних випробувань об'єктів залізничного транспорту. Розглянуто основні напрямки використання вимірювальної інформації для досягнення максимальної точності діагностування та здійснено огляд існуючих комп'ютеризованих систем, що реалізують різноманітні задачі діагностики та контролю параметрів тягово-рухомого складу.

Основною метою даного розділу є аналіз проблем та завдань, що виникають у процесі контролю параметрів та експлуатаційних характеристик тягово-рухомого складу.

1.3 Оцінка надійності об'єктів тягово-рухомого складу

Вагони та локомотиви відносяться до обслуговуваних об'єктів і розраховуються на регламентовані умови експлуатації, проте час роботи кожного з них до першої відмови або між відмовами виявляється різним, що свідчить про неоднорідність міцнісних властивостей ОТПС і нерівномірності їх навантажень в експлуатації [25]. Надійність визначає властивості ОТПС, їх здатність виконувати свої функції, зберігати в часі значення експлуатаційних показників у межах, що відповідають заданим режимам та умовам роботи, і забезпечувати безпеку при експлуатації. Надійність ОТПС характеризується показниками безвідмовності роботи, довговічності, ремонтпридатності і збереження в експлуатації. Залежно від призначення ОТПС та умов його експлуатації на різних стадіях розглядаються окремі його властивості або їх сукупність, аналізується його стан для своєчасного попередження збоїв у роботі, відмов. Основним математичним апаратом надійності як науки є теорія ймовірності. Надійність ОТПС закладається на етапі його проектування і забезпечується в процесі його виготовлення і експлуатації [25].

Для підвищення надійності ОТПС на стадії проектування передбачається використання поліпшених матеріалів, з яких будується ОТПС; розробляються принципово нові конструктивні рішення, вибираються оптимальні робочі режими; застосовуються нові технології і методи контролю. У період створення ОТПС необхідною умовою забезпечення надійності є дотримання технології, використання різних способів поліпшення якості матеріалів і застосування прогресивних способів їх з'єднання, ефективних методів контролю якості технологічних операцій і деталей, проведення ресурсних випробувань і т.д. Під час експлуатації необхідно дотримуватися правил, що дозволяють зберегти основні властивості надійності, що також включають задані умови і режими роботи ОТПС, проводити своєчасні огляди і ремонти з метою призначення відчіпного або безвідчіпний ремонту і заміни окремих деталей або вузлів вагону чи локомотиву, здійснення профілактичного контролю, що попереджає

вихід ОТРС з ладу, відмову або втрату працездатності.

Для оцінки показників надійності ОТРС, під якими розуміється властивість ОТРС виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах, що відповідають заданим режимам та умовам використання, технічного обслуговування, ремонту, зберігання і транспортування, прийняті наступні поняття в теорії надійності.

Працездатність, під якою розуміється стан ОТРС, при якому він здатний виконувати задані функції, зберігаючи значення заданих параметрів у межах, встановлених нормативною документацією.

Безвідмовність, під якою розуміється властивість ОТРС безупинно зберігати працездатність протягом деякого часу або деякого напрацювання.

Довговічність, під якою розуміється властивість ОТРС зберігати працездатність до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування і ремонту. Показником довговічності є середній ресурс, призначений гамма-процентний ресурс, середній термін служби. Під ресурсом розуміється сумарне напрацювання ОТРС від початку його експлуатації або після ремонту до граничного стану. Під технічним ресурсом ОТРС розуміється запас його можливого напрацювання до граничного стану. Оскільки середній і капітальний ремонт вагонів та локомотивів дозволяють частково відновлювати ресурс, то розрізняють доремонтний, міжремонтний, післяремонтний і повний (до списання вагона) ресурси.

Для вагонів довговічність оцінюють зазвичай величиною призначеного ресурсу, який на залізницях України дорівнює від 22 до 35 років.

Ремонтопридатність, під якою розуміється властивість об'єкта, що полягає в його пристосованості до попередження, виявлення та усунення відмов і пошкоджень та усунення їх наслідків шляхом проведення планово-попереджувальних і поточних ремонтів, а також технічного обслуговування ОТРС.

Відмова ОТРС або його вузла, під якою розуміється подія, що полягає у

порушенні його працездатності, при якій ОТРС не може використовуватися для виконання основної виробничої діяльності і тимчасово чи остаточно при досягненні граничного стану виключається з робочого парку для проведення ремонту або списання. Під граничним станом розуміється такий технічний стан ОТРС або його вузла, при якому неможливо його використання, а відновлення працездатності недоцільно в основному з економічних міркувань. Отже, при граничному стані ОТРС його подальше використання за призначенням повинно бути припинено через неусувне зниження ефективності експлуатації, морального зносу, вичерпанням технічного ресурсу, порушення вимог безпеки руху.

1.4 Ходові динамічні та приймальні випробування об'єктів залізничного транспорту

Динамічні випробування ТРС є одним з основних етапів відпрацювання конструкції об'єкта тягово-рухомого складу (ОТРС) та оцінки його динамічних і міцнісних якостей. Залежно від цілей вони бувають загальнодинамічні і спеціальні [25]. До загальнодинамічних випробувань відносяться:

- заводські, проведені заводом-виробником. Метою їх є перевірка роботи окремих вузлів ОТРС і конструкції його в цілому; за результатами цих випробувань завод-виготовлювач доопрацьовує дослідний зразок ОТРС;

- приймальні поїздні випробування, під час яких перевіряється відповідність динамічних якостей ОТРС вимогам замовників ОТРС і всім чинним нормам розрахунку і експлуатації об'єкта. При цих випробуваннях визначаються ходові якості ОТРС (плавність ходу, стійкість проти поперечного перекидання ОТРС в кривих, стійкість колеса на рейці), динамічні сили, що діють на елементи ОТРС та залізничної колії, динамічні сили, від яких залежить міцність і надійність об'єкту в тривалій експлуатації.

В залежності від призначення вимірювальної інформації та фізичного

методу її реєстрації, діагностування параметрів тягово-рухомого складу можна відобразити у вигляді блок-схеми, наведеної на рис. 1.1. В рамках дисертаційного дослідження описано методи підвищення точності діагностування основних одиниць тягово-рухомого складу, а саме вантажних та пасажирських вагонів та локомотивів при проведенні ходових динамічних та спеціальних випробуваннях. Використовуючи вібраційні методи діагностування, визначаються показники роботи демпфувальної системи об'єкта діагностики (частоти та характер коливань об'єкта діагностики) та ряд динамічних параметрів, що використовуються при розрахунку показників плавності ходу, прогнозуванні терміну служби, показників безпеки руху та визначенні необхідності ремонту чи модернізації певних вузлів конструкції.

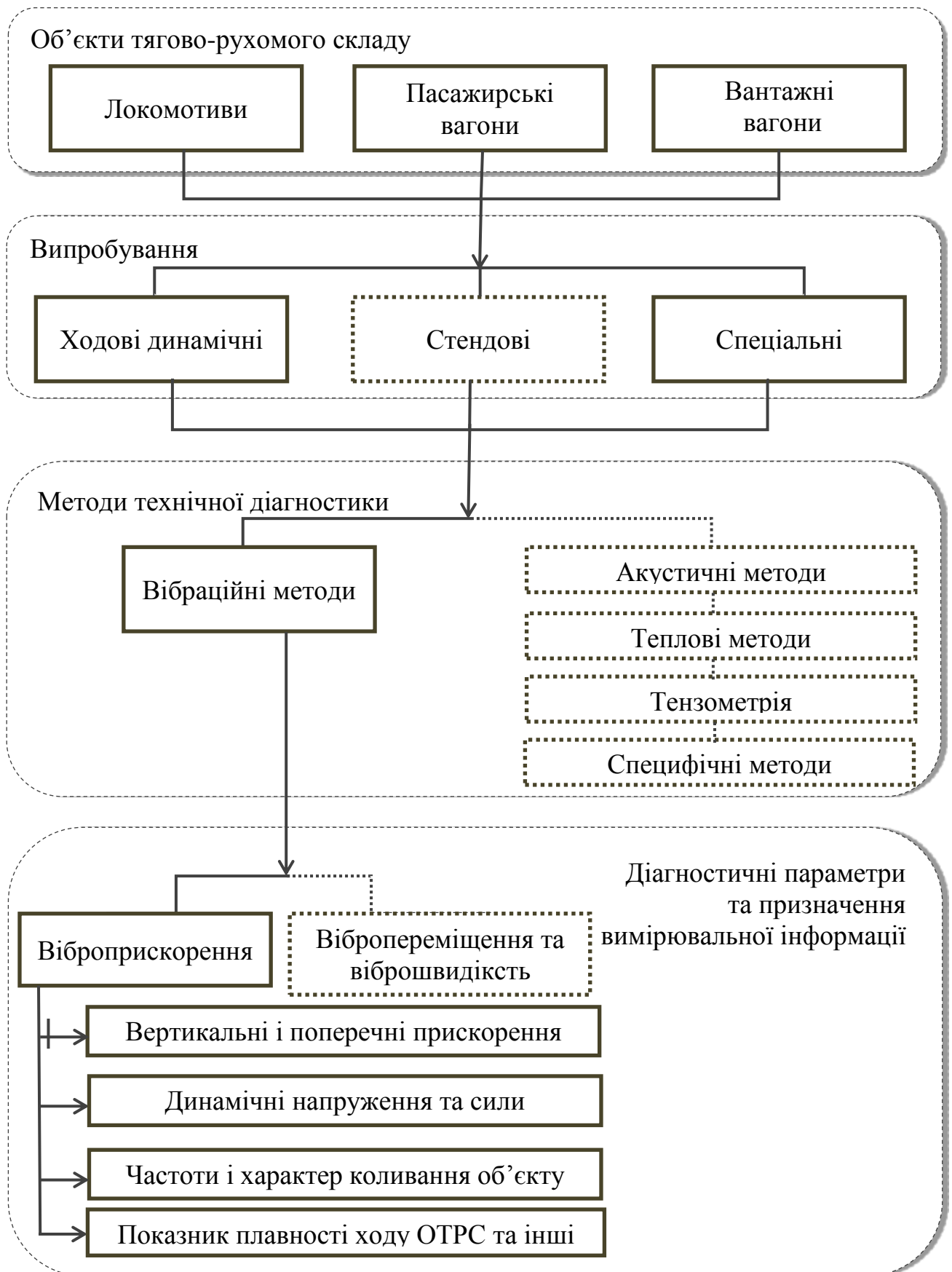


Рис. 1.4. Класифікація методів випробувань та діагностики ТРС

За результатами приймальних випробувань встановлюються придатність ОТРС до експлуатації на мережі залізниць України зокрема, встановлюється

допустима швидкість руху ОТРС, при якій забезпечується безпека руху, необхідна міцність, стійкість і необхідна плавність ходу ОТРС (в основному для пасажирського вагонів та локомотивів) на прямих і кривих ділянках сучасної типової конструкції верхньої будови колії, що задовольняє встановленим нормам поточного утримання.

Крім загальнодинамічних випробувань проводяться також спеціальні поїзdnі (ходові) випробування: гальмівні з оцінки ефективності гальмівних систем ОТРС, на стійкість об'єкта проти вичавлювання його з поїзда поздовжніми силами в великовагових довгоскладових поїздах; тривалі для визначення величин і характеру розподілу в часі динамічних сил, що діють на вагон за час його тривалої експлуатації; з навантажувально-розвантажувальних операцій з визначенням сил, що виникають в елементах конструкції вантажного вагона при завантаженні і вивантаженні з застосуванням спеціальних пристроїв (вагоноперекидачі, вантажопідйомні крани, вібро-інерційні розвантажувальні установки, накладні вібратори тощо) [26].

Методика проведення випробувань розробляється залежно від поставленого завдання і визначає порядок підготовки ОТРС до випробувань, види і обсяг вимірювальної реєструючої апаратури та її розміщення на об'єкті дослідження, режими навантаження випробовуваного об'єкта і порядок проведення випробувань, огляд дослідної ділянки шляхи, методів автоматичної обробки дослідних даних і застосовуваної при цьому апаратури.

Частоти власних коливань об'єкта і моменти інерції надресорної маси випробовуваного ОТРС визначаються перед початком динамічних (ходових) випробувань шляхом вільного перекочування об'єкту через підкладені під колеса спеціальні клини, що встановлюються в певному порядку для імітації підстрибування, галопування і бічної хитаவிці кузова вагона [27]. При падінні коліс з клинів виникають власні коливання кузова вагона на ресорному підвішуванні, відповідний аналіз яких дозволяє визначити частоту, декремент загасання амплітуд коливань і момент інерції надресорної маси вагона.

При динамічних (ходових) випробуваннях ОТРС вимірюються

спеціальними приладами і реєструються такі величини і процеси:

- вертикальні і поперечні (іноді і поздовжні) горизонтальні прискорення кузова вагона (локомотива) в зоні п'ятників кузова (для пасажирського вагону також і в середній частині кузова) і на рамі візка;
- динамічні напруження в надресорній балці і бічних рамах вантажних візків, в бічних балках рами і елементах колискового підвішування візків пасажирського вагону, в осі колісної пари і в диску колеса;
- поперечні горизонтальні (рамні) сили, що діють від колісних пар на раму візка;
- частоти і характер коливання об'єкта і його вузлів (коливання кузова і рами візка, виляння візки щодо кузова і рейок в рейковій колії, взаємне забігання або обгін бічних рам вантажного візка).

При динамічних випробуваннях характеристик міцності вимірюються динамічні напруги через деформації в досліджуваних елементах і вузлах ОТРС і динамічні сили, що діють при цьому на досліджувані елементи і вузли об'єкта, а також вертикальні й поперечні горизонтальні прискорення елементів і вузлів ОТРС.

За результатами динамічних (ходових) випробувань визначаються такі динамічні показники для оцінки динамічних якостей ОТРС [28]:

- коефіцієнт динамічної добавки вертикальних сил по надресорній і ненадресорній масам ОТРС, що представляє собою відношення динамічної сили або динамічного напруги до статичної сили або статичної напруги відповідно в надресорній балці і бічній рамі візка;
- поперечна горизонтальна (рамна) сила;
- умовний коефіцієнт горизонтальної динаміки, що представляє собою відношення рамної сили до осьової навантаженості (навантаження бруто-вагону від колісної пари на рейки);
- коефіцієнт динамічного навантаження ресорних комплектів ОТРС;
- коефіцієнт запасу стійкості колеса від вкатування його гребенем на головку рейки з наступним сходом з головки рейки;

- коефіцієнт запасу стійкості рейкошпальної решітки шляху від поперечного зсуву по баласту під впливом рамної сили як відношення рамної сили до вертикальної навантаженні від колісної пари на рейки;

- коефіцієнт запасу поперечної стійкості ОТРС в кривих від перекидання як відношення статичного навантаження колеса на рейку до додаткового навантаження колеса на рейку від відцентрової сили і сили вітру;

- показник плавності ходу ОТРС (зазвичай для пасажирських вагонів);

- показники кінематики вузлів ОТРС (поворот візка щодо кузова вагону, обгін або забігання бічних рам вантажного візка, переміщення колісних пар щодо рами візка і рейок, поперечний зніс кузова і т.д.).

Динамічні (ходові) випробування на стійкість ОТРС на рейках, при яких не виключена можливість сходу його з рейок, або випробування зі швидкостями, істотно перевищують допустимі в експлуатації, зазвичай проводяться на спеціальних полігонах. У цьому випадку на ділянках шляху полігону створюються, як правило, різного виду штучні нерівності на обох рейках у вертикальній і горизонтальній площинах. Величина амплітуд, характер і поєднання цих нерівностей вибираються найбільш несприятливими для порушення інтенсивних коливань ОТРС при заданій певній швидкості руху ОТРС, але в межах допустимих інструкцією з поточного утримання колії, при яких ще немає необхідності вводити обмеження швидкості руху поїздів.

Сигнали від вимірювальних приладів, що розміщені на випробовувальному вагоні надходять по електричних кабелях з захисним екраном від електричних перешкод у вагон-лабораторію, що знаходиться на паралельному залізничному шляху.

Крім поздовжньої сили удару вимірюються також напруження в елементах конструкції ОТРС за допомогою тензодатчиків; поздовжні прискорення ОТРС за допомогою акселерометрів; відносні поздовжні і поперечні переміщення вагонів і деформації стиснення поглинаючих апаратів автозчеплення за допомогою реохордних згибомірів.

Вібраційні випробування ОТРС проводяться з метою визначення втомної

міцності (довговічності) ОТПС і його окремих деталей та вузлів на спеціальних стендах для отримання абсолютних або порівняльних даних по довговічності [29, 30]. У першому випадку конструкція ОТПС або окремі елементи піддається впливу вібраційним навантаженням, дія яких еквівалентна за шкідливістю всім експлуатаційним навантаженням, викликаних коливаннями надресорних і ненадресорних частин вагону. У другому випадку режим дослідних (випробувальних) навантажень зазвичай є форсованим, але за умови збереження фізичної природи руйнування конструкції ОТПС в цілому або окремих його вузлів та елементів. При порівняльних вібраційних випробуваннях в рівних умовах перевіряються два або більше вузлів з'єднання і зіставляється їх довговічність. Доцільно порівнювати нову конструкцію, нову конфігурацію ОТПС з серійною, що добре зарекомендувала себе в експлуатації.

Вібраційні випробування на довговічність ОТПС в цілому потребують особливо ретельного обґрунтування методики та режимів випробування; зазвичай такі випробування є порівняльними і проводяться на спеціальних стендах.

1.5 Нормативне забезпечення в сфері контролю та діагностування характеристик рухомого складу

В умовах необхідності розвитку, удосконалення та збільшення чисельності залізничного транспорту, що експлуатується на залізницях України, вітчизняні вагонобудівні підприємства та дослідні інститути проводять активні дії по модернізації і удосконаленню існуючого парку та закупівлі нових одиниць рухомого складу. Важливою умовою є забезпечення відповідності характеристик залізничного транспорту міжнародним стандартам. Даний процес неможливий без проведення ефективної технічної діагностики та контролю одиниць тягово-рухомого складу (ТРС). Звичайно, діагностика повинна проводитися у відповідності до установлених міжнародних норм та стандартів. Таким чином гармонізація вітчизняних і

міжнародних стандартів є актуальною задачею і покликана сприяти підвищенню конкурентоспроможності вітчизняної продукції та спрощенню доступу на європейський ринок. На вирішення даної задачі спрямована система технічного регулювання, приведення якої до норм і стандартів ЄС здійснюється шляхом вирішення трьох стратегічних завдань:

- адаптація законодавства України до вимог законодавства ЄС;
- гармонізація нормативно-правової бази з міжнародними і європейськими;
- модернізація інфраструктури якості.

Перевезення залізничним транспортом небезпечних і особливо небезпечних вантажів (хлор, аміак, зріджені гази, радіоактивні та вибухові матеріали, нафтопродукти, хімічні продукти тощо) передбачає особливі вимоги до залізничного транспорту щодо безпеки руху. Разом із тим слід підкреслити, що, як зазначається у [31], не у всіх випадках прийняття міжнародних стандартів може бути корисним для національної безпеки, захисту здоров'я людини і її безпеки, захисту навколишнього природного середовища, істотних кліматичних, географічних або технологічних проблем. Тому доцільність гармонізації вітчизняних стандартів з європейськими щодо норм безпеки вимагає ретельного аналізу.

Необхідність такого аналізу обумовлена істотними відмінностями залізниць України й Європи, до яких у першу чергу слід віднести:

- ширину залізничної колії (1520 і 1435 мм);
- габарити рухомого складу;
- профіль кочення вагонного колеса і рейки;
- конструкцію та характеристики ударно-тягових пристроїв;
- нормативні навантаження, які враховують для оцінки динамічних характеристик під час проектування;
- методику й оцінки ходових міцнісних і динамічних характеристик вагонів.

Види і мета випробувань, а також вимоги до методів випробувань на міцність і ходові якості натурних зразків нових, модернізованих і серійно

виготовлених вантажних і пасажирських вагонів та їхніх вузлів установлено у КД 24.050.37-90 [33].

У КД 24.050.37-90 [33] установлюються такі види випробувань вагонів та їхніх вузлів:

- статичні на міцність;
- на міцність під час співудару та на міцність під час завантаження і розвантаження;
- ходові міцнісні;
- ходові динамічні;
- на втому.

Окрім зазначених видів випробувань, для окремих типів і вузлів вагонів можуть передбачатися додаткові види випробувань, що проводяться за спеціальними методиками:

-стендові вібраційні випробування кузова вагону з визначення власних частот загасаючих коливань;

-випробування кузова під час впливу накладних вібраторів або інших механізмів для розпушення вантажу;

- випробування з впливу вагона на колію;
- ресурсні пробігові та інші.

Виконання вимог галузевих нормативних документів [34] і [35] є необхідною умовою забезпечення безпеки руху, безпеки для життя і здоров'я людей, майна і навколишнього середовища, тому вантажні і пасажирські вагони, виготовлені на вагонобудівних заводах України і призначені для перевезення вантажів і пасажирів на всій мережі залізниць колії 1520 мм, включно з країнами Прибалтики, мають відповідати вимогам [34] і [35]. Додатково пасажирські вагони мають відповідати вимогам до вібрації [36], шуму [37] і плавності руху [38]. Розвиток пасажирського вагонобудування в Україні обумовив розробку і прийняття в останні роки ряду нормативних документів [36, 38-43], із яких [41] і [42] є гармонізованими з європейськими стандартами.

Створення нових конструкцій залізничних вагонів складається з окремих етапів, найважливішими з яких є проведення ходових динамічних і ходових міцнісних випробувань натурного зразка й оцінка їхніх результатів на відповідність нормативним значенням з безпеки руху. Різні підходи до критеріїв безпеки країн колишнього СРСР, східноєвропейських, західноєвропейських та деяких середньоазійських країн, обумовлені історичним розвитком, є причиною суттєвих відмінностей у методиці й оцінюванні результатів випробувань ходових динамічних якостей вагонів, про що свідчать зіставлення й аналіз нормативних документів КД 24.050.37-90 [33] та UIC 518 [44].

1.6 Вимоги до об'єкта випробувань і умов проведення випробувань

Згідно з UIC 518 [44] приймальним випробуванням підлягає серійно виготовлений вагон, характеристики якого перевірені і відповідають вимогам, установленим для серійного виробництва, а відповідно до КД 24.050.37-90 [33] випробуванням піддають наново виготовлені або модернізовані вагони.

Випробування пасажирських вагонів згідно з стандартом UIC 518 [44] проводяться на зношених колесах, при цьому регламентується відносна конусність у точці контакту колеса і рейки, що вимагає проведення розрахунку конусності реального профілю колеса і реального профілю колії, на якій буде випробовуватися вагон, документом КД 24.050.3790 [33] не передбачаються випробування на зношених колесах.

Нормативний документ UIC 518 [44] регламентує процентне співвідношення колії: гарної (50 %), середньої (40 %) і нижче середньої (10 %) якості для усіх зон проведення випробувань. Згідно з КД 24.050.37-90 [33] мережеві ділянки залізничної колії, на яких проводяться ходові динамічні та ходові міцнісні випробування вагонів, мають бути статистично представницькими за конструкцією, планом і профілем, поточним утриманням для передбачених НД умов експлуатації випробовуваного вагона.

Нормативним документом UIC 518 [44] передбачається проведення випробувань на ділянках, мінімальна довжина яких має складати 10 км (за необхідності на кількох ділянках), при цьому зона ділянки колії для випробувань повинна бути розділена не менше ніж на 25 відрізків, ці відрізки можуть бути суміжними або окремими, але вони не повинні мати загальної частини, а відповідно до КД 24.050.37-90 [33] сумарна тривалість записів (реалізацій) досліджуваних процесів у кожному інтервалі (від 10 до 15 км/год) швидкостей руху на різних відрізках колії за умови даного режиму завантаження має бути не менше 300 с.

Стандартом UIC 518 [44], на відміну від КД 24.050.37-90 [33], не передбачається вимірювання таких динамічних характеристик вагону, як динамічні, а також статичні прогини ресорних комплектів, характер і частота коливань кузова, рам візків, виляння візків під час руху вагону, динамічні напруження і вертикальні сили, що діють у характерних перерізах надресорних балок.

Суттєвою є відмінність частоти фільтрації динамічних процесів, що реєструються. Так, згідно з UIC 518 [44], частота фільтрації складає від 40 Гц, у КД 24.050.37-90 [33] – не перевищує 20 Гц.

Основним методом обробки результатів випробувань за UIC 518 [44] є використання методів математичної статистики і регресійного аналізу (функція і щільність статистичного розподілу, їх оцінки за умови заданих величин процентилів, математичне сподівання, стандартне відхилення, максимальні статистичні значення, багатомірна регресія тощо). Ходові динамічні показники за КД 24.050.37-90 [33] визначаються за аналітичними залежностями з урахуванням середньозважених параметрів, що характеризують умови експлуатації на залізницях країн СНД, при цьому аналізуються й оцінюються статистична повторюваність динамічних характеристик, частотний склад процесу навантаження і коливань (переміщень) вузлів вагону.

Відповідно до UIC 518 [44] основними параметрами, що використовуються для оцінки ходових динамічних якостей, а також впливу

вагону на залізничну колію, є такі: горизонтальні поперечні сумарні сили, відношення поперечної сили до вертикальної у зоні контакту колеса і рейки, горизонтальні і вертикальні прискорення, а також їхні максимальні відхилення. У КД 24.050.37-90 [33] як оцінювальні параметри приймаються такі: коефіцієнти вертикальної динаміки рами кузова, коефіцієнти вертикальної динаміки рами візка з надбуксовим підвішуванням, відношення бокової рамної сили до статичного осьового навантаження, показник плавності руху у вертикальній і горизонтальній площинах, коефіцієнти запасу стійкості від сходу вагона з рейок, коефіцієнти запасу поперечної стійкості від перекидання під час руху в кривих.

1.7 Огляд існуючих систем діагностики рухомого складу

Одним з основних напрямків підвищення безпеки руху і зниження кількості відмов технічних засобів є розвиток засобів діагностики рухомого складу. При цьому як в існуючих, так і в розроблених нових засобах діагностики необхідно домогтися такого рівня підтвердження виявлених дефектів, який дозволив би виключити необхідність підтвердження показань оглядача вагонів. Тим самим знизиться вплив людського фактору на прийняття рішення.

Як в Україні так і в інших державах існує дуже багато організацій та науково-дослідних підрозділів, які працюють над створенням систем вібродіагностики ОТПС. Результат роботи деяких з них наведено нижче.

Вібродіагностичний комплекс на базі СМ-3001

Вібродіагностичний комплекс на базі портативного вібровимірювального пристрою СМ-3001 і програмного забезпечення «Арміда» (автоматизоване робоче місце інженера діагноста) виробництва ТОВ «ІНКОТЕС» м. Нижній Новгород [46].

Діагностування технічних вузлів електропоїздів проводиться із застосуванням портативного вібровимірювального пристрою СМ-3001,

програмного забезпечення системи управління базами даних (СУБД) «Арміда», програмних модулів автоматизованої діагностики, призначених для конкретних типів і серій електропоїздів. Для проведення діагностики відповідні програмні модулі автоматизованої діагностики включаються автоматично відповідно до обраного в базі даних типу агрегату.

Комплект для проведення діагностики КРБ електропоїздів включає:

- портативний вібровимірювальний пристрій СМ-3001 (рис. 1.2) у комплекті з трьома високоімпедансними вібродатчиками;



Рис. 1.2. Прилад СМ-3001 в комплекті з вібродатчик і датчиком обертів

- програмне забезпечення СУБД «Арміда» і програмні модулі автоматизованої системи діагностики по конкретних типів КРБ, що обслуговуються конкретним депо, в вигляді динамічних бібліотек (формату «dll»), встановлених на персональному комп'ютері, який також входить в комплект поставки;

- додаткове обладнання: тахометр ручний оптичний типу ДО-01Р і лазерний принтер для друку звітів.

Програмні модулі автоматизованої системи діагностики працюють при частотах обертання колісних пар в діапазоні від 40 до 140 об / хв. Підтримання частоти обертання колісної пари в зазначеному вище діапазоні забезпечують джерела живлення з напругою холостого ходу 75 В і потужністю не менше 20 кВт для електропоїздів змінного струму, а для електропоїздів постійного

струму - джерела живлення з напругою холостого ходу 110 В і потужністю не менше 20 кВт. Сполучні провідники від джерела живлення до моторного вагона повинні мати переріз не менше 16 мм².

Вібродіагностичний комплекс «ОМСД».

Комплекс «ОМСД», який призначений для оперативного контролю технічного стану колісних пар в умовах ремонтних підприємств залізничного транспорту на входних, міжопераційних і вихідних операціях ремонту [47].

Вимірювальна система діагностики механізмів «ОМСД» (рис. 1.3) включає в себе: датчики вібрації (п'єзоакселерометри); підсилювачі заряду; аналого-цифровий перетворювач (АЦП); персональний комп'ютер з програмним забезпеченням «Варіант-2»; калібратор; принтер.

До складу технологічного обладнання комплексів вібродіагностики вузлів пасажирських вагонів з ОМСД входять:

- стенд вібродіагностики підшипників СВП-01В;
- стенд вібродіагностики колісних пар пасажирських вагонів СВ-01М;
- стенд вібродіагностики колісних пар і редукторних блоків у середній частині осі СВРП-02.



Рис. 1.3. Вимірювальна система діагностики механізмів «ОМСД»

Алгоритм системи побудований на аналізі сигналів віброприскорень, які вимірюються на корпусах діагностованих об'єктів за допомогою п'єзодатчика. Одержуваний спектр інформаційних сигналів, що зареєстровані при обертанні механізмів дає можливість отримувати інформацію про технічний стан кожного елемента контролюваного об'єкта.

Відмінною особливістю системи ОМСД-02 від інших відомих систем аналогічного призначення, що застосовуються на залізничному транспорті, є: повна автоматизація процесу діагностики; однозначне визначення результатів при мінімальному часі видачі даних контролю (8 с); висока вірогідність (від 95 % до 99,4 % залежно від типу об'єкта). У системі вібродіагностики ОМСД-02 застосований комплексний підхід при аналізі сигналу, що надходить від досліджуваного об'єкта. При цьому використовуються параметри сигналу, що мають найбільшу інформаційну значущість на різних стадіях розвитку дефекту. Дефекти, які зароджуються, виявляються з використанням методу обвідної і статистичного моменту четвертого порядку часового сигналу (ексцесу). Дефекти середньої стадії розвитку визначаються за прямим спектром сигналу, а значні дефекти вузлів – за середньоквадратичним значенням.

Незважаючи на широке різноманіття діагностично-вимірювальних систем параметрів рухомого складу, не завжди їх використання дозволяє здійснити визначення діагностичних параметрів з необхідною точністю та ефективністю процесу діагностики. При проведенні ходових динамічних випробувань рухомого складу на визначення показників плавності ходу і запасу міцності необхідно проводити аналіз великої кількості вимірювальних даних, отриманих при певних умовах руху об'єкта. Залежно від особливості поставленої задачі може виникнути потреба вибрати з безлічі даних, записаних в процесі динамічних випробувань, тільки ті, які були отримані при русі на швидкостях в певному діапазоні, і при русі по ділянці заданої кривизни. Для пошуку реалізацій відповідних даних умов інженеру може знадобитися велика кількість часу. Також проблемою є неможливість точно зіставити результати вимірювань

до записів параметрів руху за часом.

Необхідно синхронно із записом сигналів з фізичних датчиків проводити запис координат об'єкта і його швидкість руху, а по друге проводити автоматично пошук кривих ділянок колії і розраховувати їх радіус а також можливість визначення часових інтервалів відповідних заданим умовам. Умовами може виступати як швидкість ОТПС так і радіус кривизни ділянки руху об'єкта чи характеристика руху об'єкта діагностики під кутом вгору чи на спуск. Також важливим є використання для розрахунків даних, що відповідають умовам локальної стаціонарності на ділянці реєстрації вимірювальної інформації.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА МЕТОДУ ТА СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ДЕМПФУВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАСНИКІВ КОЛИВАНЬ

2.1 Застосування комп'ютерного моделювання при діагностуванні тягово-рухомого складу

В наш час комп'ютерне моделювання є ефективним засобом знаходження рішення в багатьох складних системах і засобом підтримки прийняття відповідальних рішень у різних сферах діяльності. Моделювання допомагає зрозуміти складні системи, спрогнозувати їхнє поведження в різних ситуаціях, оцінити ефект планованих змін, виконати порівняльний аналіз якості можливих варіантів рішень, тощо [48]. Комп'ютерне моделювання не можливе без застосування сучасних комп'ютерних програм [49].

Програмне забезпечення для комп'ютерного моделювання динаміки рухомого складу «Універсальний механізм» (УМ), має цілий ряд переваг у порівнянні зі своїми попередниками [50]:

- графічний багатовіконний інтерфейс, оптимізований для створення багаторівневих моделей і за допомогою якого здійснюється максимальний

контроль над ними;

- повна ідентифікація параметрів моделі і можливість їх зміни;
- набір стандартних елементів підвішування і можливість описувати елементи з довільними характеристиками;
- стандартні елементи для завдання геометрії колії (прямі, кругові і перехідні криві, стрілочні переводи, поздовжній профіль);
- набір інструментів, що дають змогу задавати довільні профілі робочих поверхонь коліс і рейок (кресленням, точками, функціями);
- список алгоритмів для взаємодії коліс і рейок з перемиканням між різними контактними моделями;
- автоматичне створення рівнянь руху в символьній і числовій формах;
- стандартні обчислювальні процедури, які оптимізують час обчислень і забезпечують гарантовано високу точність;
- стандартні інструменти аналізу (у частотній і часовій областях);
- ефективні засоби візуалізації створюваної моделі й результатів моделювання, включаючи побудову графіків і анімацію.

Програмний комплекс УМ [51] призначений для автоматизації процесу дослідження механічних об'єктів, які можуть бути представлені системою абсолютно твердих або пружних тіл, зв'язаних за допомогою кінематичних і силових елементів. До об'єктів такого типу відносяться, наприклад, автомобіль, локомотив, вагон, маніпулятори робота і екскаватора, різні машини і механізми. Використання при моделюванні лише абсолютно твердих тіл, звичайно, накладає певні обмеження на клас задач, які можуть бути вирішені за допомогою УМ, але все-таки цей клас досить великий за обсягом. Фактично, можливості комплексу поширюються на більшу частину систем, які є об'єктом застосування методів теоретичної та прикладної механіки. З використанням УМ вирішуються прямі і зворотні задачі кінематики, динаміки та управління. Механічна система може бути як плоскою, так і просторовою. Практично відсутні обмеження на число тіл в системі. Для складних механічних систем з великим числом тіл серйозною проблемою є не тільки аналіз рівнянь, але і їх

висновок і навіть опис структури об'єкта. Комплекс УМ дозволяє повністю автоматизувати ці операції, що кардинальним чином підвищує продуктивність праці дослідника. Якщо об'єкт містить більше двох десятків тіл, то навіть введення традиційних даних для опису його інерційних та кінематичних властивостей пов'язане зі значними часовими затратами. Реалізований в УМ метод підсистем значною мірою спрощує цю процедуру, особливо в випадках, коли аналізується технічна система, що містить кілька типових підсистем. Грубо кажучи, якщо моделюється поїзд, що складається з локомотива і двадцяти однакових вагонів, то введення даних необхідне лише для локомотива і одного вагону. В свою чергу, локомотив (та й вагон теж) можна розділити на окремі підсистеми, деякі з них будуть однаковими (кінематично тотожними, використовуючи більш сувору термінологію).

Згідно норм розрахунку на опір втомі оцінюються основні несучі елементи екіпажної частини локомотива. При цьому розрахунки можуть бути виконані на найбільш невигідне можливе сполучення одночасно діючих нормативних сил або на дію динамічних (інерційних, пружних і дисипативних) сил, що отримуються шляхом розрахунку вимушених коливань екіпажа. Розрахунок міцності несучих екіпажних конструкцій на дію динамічних сил, проводиться для режимів рушення, тяги, вибігу та гальмування

За допомогою розробленої комп'ютерної моделі механічної частини електровоза ЧС2 визначаються розрахункові показники динамічних навантажень електровоза під час його руху прямолінійними й криволінійними ділянками колії та по стрілочних переводах з урахуванням нерівностей рейкової колії [53].

Проведення розрахунків щодо подовження строку служби електровоза ЧС2 потребує даних про навантаження, яким піддаються його несучі конструкції під час експлуатації. Руйнування конструкції внаслідок втоми спричиняють саме змінні навантаження, які обумовлюють різноманітні напруження в елементах несучих конструкцій локомотива. Величина і частота цих навантажень в першу чергу залежать від конструкційних особливостей об'єкту.

Динамічна модель дозволяє обчислювати сили, що виникають у з'єднаннях основних частин для різних експлуатаційних режимів роботи об'єкта діагностики [54]. При цьому враховано, що динамічні процеси, які обумовлюють навантаженість екіпажу, суттєво відрізняються при різних швидкостях руху, на прямолінійних та криволінійних ділянках колії, стрілочних переводах, а також при русі з тягою, на вибігу та при гальмуванні.

Вцілому об'єкт «Вагон» представляє собою готову комп'ютерну модель окремого напіввагона (рис. 2.4-а) і вагона-хопера (рис. 2.4-б) та включає дві підсистеми Візок1 і Візок2, а також одне тіло – Кузов [55].



Рис. 2.4. Загальний вигляд комп'ютерних моделей вантажних вагонів

Модель дозволяє:

- дослідити основні динамічні характеристики вагона (коефіцієнт запасу стійкості, коефіцієнти динаміки ресорних комплектів, рамні і бічні сили, прискорення окремих точок кузова тощо) в прямих і кривих ділянках колії з урахуванням детермінованих та випадкових нерівностей шляхом інтегрування диференціальних рівнянь руху (рівняння автоматично генеруються програмним комплексом UM);
- варіювати основні геометричні та інерційні параметри, параметри пружин підвіски, а також параметри, що характеризують зношення елементів

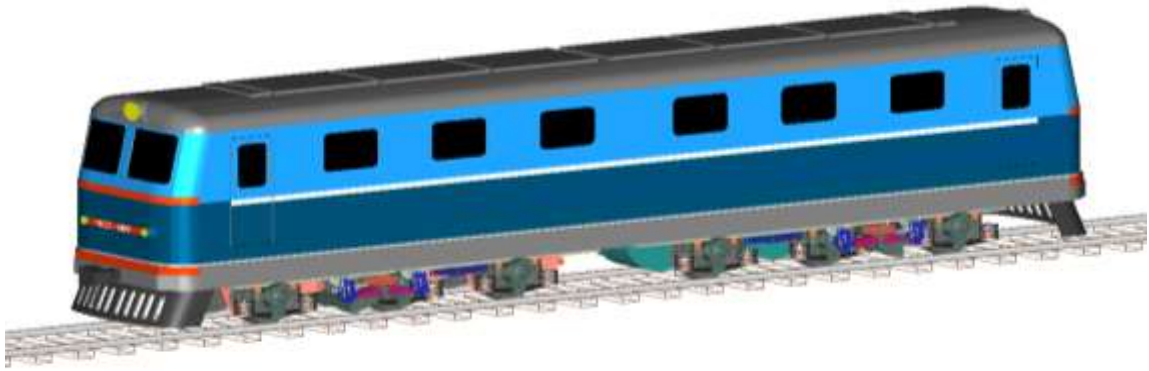
ходової частини (фрикційних клинових гасителів, п'ятникових і буксових вузлів) на базі повної параметризації моделі;

- досліджувати рух вагона при різних профілях коліс і рейок, жорсткісні характеристики колії з використанням різних моделей сил крипу, при різних значеннях коефіцієнта тертя в контакті;
- досліджувати процеси вповзання колеса на рейку, відрив поверхні кочення колеса від рейки, а також процес сходження колісної пари з рейки;
- планувати багатоваріантні розрахунки з метою визначення найгірших поєднань нерівностей і значень параметрів моделі відносно сходу вагона;
- досліджувати динаміку вантажних вагонів в завантаженому і порожньому стані та моделювати візки різних типів: з жорсткими і пружними ковзунами; з пружними елементами в буксових вузлах; з лінійним або білінійним центральним ресорним підвішуванням.

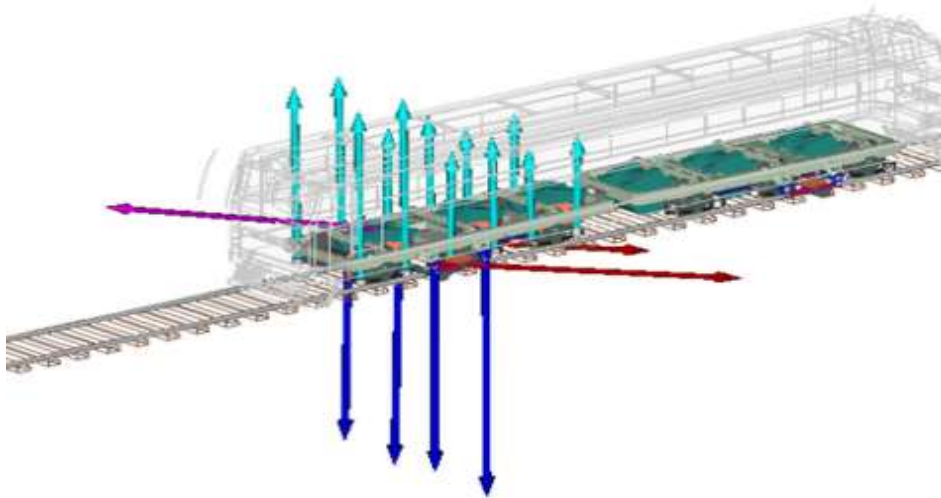
Шестивісний електровоз ЧС2 призначено для обслуговування пасажирських поїздів на лініях з шириною колії 1520 мм, які електрифіковані постійним струмом з номінальною напругою 3000 В [56]. Механічна частина електровоза ЧС2 складається з кузова і двох трьохвісних візків. Зусилля тяги від локомотиву до складу поїзда передається через автозчепи, які розміщено на рамі кузова. На рамах кожного візка жорстко встановлені три тягові двигуни потужністю по 700 кВт. Передача обертового моменту від якорів тягових двигунів до колісних пар здійснюється за допомогою односторонніх зубчатих передач і карданних приводів системи Шкода, розміщених у середині якорів двигунів.

У відповідності до конструкції електровоза ЧС2 його динамічну модель представлено просторовою системою твердих тіл, поєднаних пружними і дисипативними елементами. Модель параметризована, тобто основні геометричні та інерційні, а також деякі силові елементи задані за допомогою ідентифікаторів, що дозволяє оперативно змінювати значення параметрів у процесі моделювання динаміки локомотива. Загальний вигляд динамічної моделі електровоза ЧС2 показано на рис. 2.5 а – середовище розробки

SolidWorks, б – експортована модель в «УМ» .



а



б

Рис. 2.5. Модель електровозу ЧС2, а – середовище розробки SolidWorks, б – експортована модель в «УМ» .

Перевірка адекватності даної моделі і встановлення відповідностей реальному об'єкту здійснювалася шляхом порівняння модельованих даних і реальних, отриманих в ході випробувань з датчиків віброприскорення, що розміщувалися на контрольних вузлах конструкції електровозу.

Комп'ютерна модель електровоза ЧС2 дозволяє дослідити динамічну навантаженість електровозу ЧС2:

- з різними швидкостями руху;
- на прямих і криволінійних ділянках колії з реальними нерівностями;
- у режимі тяги, вибігу й при гальмуванні;

- проводити параметричні дослідження з варіюванням всіх параметрів екіпажної частини, зокрема елементів підвішування;
- визначати всі нормовані динамічні показники, у тому числі такі, що характеризують умови безпеки руху локомотива.

Розрахунок на опір втомі всієї несучої конструкції можна дати на підставі результатів досліджень вимушених коливань локомотива [25]. Дослідження вимушених коливань електровоза ЧС2 проведено за допомогою комп'ютерної динамічної моделі, яка відбиває усі конструктивні особливості електровоза ЧС2. В комп'ютерній моделі сформована схема навантажень, яким піддаються рами візків електровоза ЧС2 під час руху. Ця схема навантажень надана на рис. 2.6.

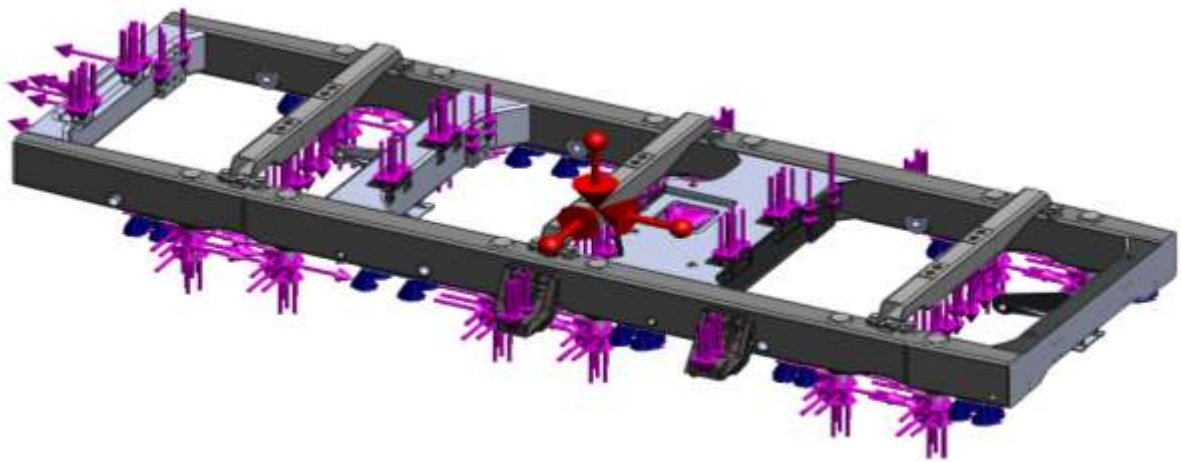


Рис. 2.6. Схема динамічних навантажень рами візка

Рама візка піддається дії сил інерції, сил, що виникають у колісковому підвішуванні і елементах першого ступеня підвішування, сил, що виникають у міжвізковому з'єднанні та шкворньовому вузлі, сил підвіски редукторів та тягових двигунів, обертових моментів від тягових двигунів, а також сил, що виникають у повідках при взаємних зміщеннях фасонної балки відносно рами візка. Ці сили приведені до проекцій на поздовжню, поперечну і вертикальні вісі. Вони змінюються під час руху безперервно і залежать від умов експлуатації, а саме, швидкості руху електровоза, плану і профілю ділянки колії та режиму руху. Сили інерції, які виникають на рамі візка під час руху

електровоза, обчислюються множенням прискорень на масу рами візка.

2.2 Вимоги до побудови комп'ютеризованих систем контролю параметрів тягово-рухомого складу

Метою вимірювань при проведенні діагностичних випробувань є отримання інформації про стан об'єкта в необхідній кількості та якості для забезпечення спостережуваності його технічного стану. Оскільки в ході діагностики вирішуються задачі прогнозування терміну служби та визначаються показники безпеки функціонування тягово-рухомого складу, точність вимірювань є надзвичайно важливим фактором. Тому залишається актуальним питання створення інформаційно-діагностичної системи для отримання та подання адекватної інформації про стан об'єкту діагностики. Створення такої системи можливе на базі персонального комп'ютеру та зовнішніх додаткових пристроїв та датчиків з дотриманням наступних принципів:

1. Принцип достатності, регламентує вибір мінімального числа датчиків вторинних процесів, що супроводжують роботу машин, обладнання та технологічної системи в цілому, що забезпечують спостережуваність технічного стану. При цьому вихідний сигнал датчиків може бути представлений в широкому діапазоні амплітуд і частот з наступною обробкою його в комп'ютері (виявленням, фільтрацією, лінеаризацією, корекцією амплітудно-фазових характеристик і т.д.) [57]. Діагностика заснована на вимірюванні деякої множини первинних діагностичних ознак, що характеризують роботу об'єкту (температура, вібрація, частота обертання, тиск, витрата і т.д.), і подальшого зв'язку їх з множиною технічних станів (несправності підшипників, центруванні, дисбалансу, дефектів кріплення і т.д.). Для збільшення достовірності і глибини діагнозу потрібно збільшувати простір діагностичних ознак, для чого існують два шляхи:

- збільшення числа вимірювальних точок (датчиків) на об'єкті

діагностики;

- збільшення числа ознак, одержуваних з одного датчика.

Більшість датчиків, що використовуються в даний час для вимірювання в промисловості має статичний вихідний сигнал. Якщо у випадку вимірювання статичних параметрів, таких, наприклад, як температура, втрати інформації не відбувається, то при вимірюванні динамічних параметрів (вібрація, струм, тиск) відбувається втрата інформації, що містяться в високочастотній частини спектру параметра. Використання динамічних перетворювачів дозволяє розширити простір діагностичних ознак, що дозволяє зменшити помилку діагностики і розширити діагностичний простір технічних станів без збільшення кількості датчиків, кабельних мереж та іншими шляхами введення адекватної обробки сигналів на ЕОМ.

2. Принцип інформаційної повноти, відображає обмеженість наших знань про навколишній світ і в загальному вигляді може бути сформульований так, що крім відомих нам діагностичних ознак, що описують технічний стан об'єкта відомим чином, із спектру сигналу після видалення з нього відомих ознак виділяється залишковий «шум», який також може використовуватися для діагностики. Результати широкомасштабних експериментальних досліджень показують, що в більшості випадків система ознак, що включає характеристики «шуму» майже ортогональна, тобто «шум» дійсно відображає ряд неврахованих у відомих діагностичних ознаках факторів технічного стану, таких, наприклад, як заїдання і затирання в ущільненнях і підшипниках.

3. Принцип інваріантності, регламентує вибір і селекцію таких діагностичних ознак, які інваріантні до конструкції об'єкту діагностики і форми зв'язку з параметрами її технічного стану, що забезпечує застосування швидких самонавчальних рангових процедур безеталонної діагностики та прогнозування ресурсу машин і, відповідно, швидкі темпи розробки та впровадження ІДС.

4. Принцип самодіагностики всіх вимірювальних і управляючих каналів ІДС забезпечує легкий пуск систем в експлуатацію, простоту обслуговування та ремонту окремих каналів, високу метрологічну і функціональну надійність

системи, її пристосованість до постійно мінливих умов реальної експлуатації об'єкта. Принцип реалізується подачею спеціальних стимулюючих сигналів в ланцюг датчика та комп'ютерного аналізу цього сигналу на виході системи після АЦП. Таким чином перевіряється функціонування всього тракту від датчика, через виносні модулі та розгалужувачі до комп'ютерної програми і монітору.

5. Принцип структурної гнучкості та програмованості забезпечує реалізацію оптимальної паралельно-послідовної структури ІДС, виходячи з критеріїв необхідної швидкодії при мінімальній вартості. Системи з паралельною зосередженою структурою мають максимальну швидкодію при максимальній вартості. Системи з послідовною розподіленою структурою мають мінімальну швидкодію при мінімальній вартості. Системи з послідовно-паралельної структурою займають проміжне положення.

Наявність в ІДС ядра-ЕОМ забезпечує адаптивне управління вимірювальними каналами і обчисленням діагностичних ознак залежно від різних чинників, насамперед швидкості деградації стану технологічного об'єкта.

6. Принцип корекції неідеальності вимірювальних трактів обчислювальними методами на ЕОМ – нелінійності датчиків, амплітудно-фазових характеристик погоджувально-перетворюючих трактів і т.д..

7. Принцип дружності інтерфейсу при максимальній інформаційній місткості забезпечує сприйняття оператором стану об'єкту діагностики в цілому при одному погляді на монітор і отримання цілеспрямованих інформаційних повідомлень щодо найближчих невідкладних дій. Здійснення цього принципу можливе лише за наявності ЕОМ, дисплея з графічними екранами, які комплексно відображають стан об'єкту та його властивостей в автоматичному режимі і під управлінням оператора, засобів мультимедіа та вбудованої експертної системи, яка діагностує стан об'єкту в цілому. Відомі SCADA-системи обтяжують оператора кількістю цифрової та іншої сигнальної інформацією, будучи, як правило, «механічною» заміною звичайних щитових

приладів, що вимагає високої кваліфікації і швидкої реакції персоналу.

8. Принцип багаторівневої організації забезпечує роботу з системою фахівцям різних рівнів кваліфікації і відповідальності, а також дозволяє задовольняти допитливість персоналу в міру підвищення його кваліфікації.

На основі наведених особливостей використання інформаційно-вимірювальних систем для діагностики тягово-рухомого складу та вимог, що ставляться перед випробуваннями ОТПС, можна сформулювати вимоги до інформаційно-вимірювальної системи діагностики вузлів залізничного транспорту:

1. Система повинна забезпечити можливість одночасного синхронного запису інформаційних сигналів з фізичних датчиків віброприскорення та даних GPS-навігації.

2. До складу системи повинен входити обчислювальний блок, який здійснює накопичення вимірювальної інформації та її статистичну обробку.

3. Система повинна забезпечити можливість дистанційного контролю та керування процесом діагностики за допомогою Wi-Fi та GSM ліній зв'язку.

4. Система повинна бути придатною для використання як в несприятливих складних умовах так і під час звичайної експлуатації ТРС, тобто повинна бути забезпечена висока мобільність системи та її автономність.

5. До складу системи повинне входити програмне забезпечення для аналізу траєкторії руху досліджуваного об'єкту на основі даних GPS-навігації та класифікації випробувальних ділянок колії за такими характеристиками кривизни повороту колії, як радіус кривої та її довжина.

6. Результати роботи системи під час проведення випробувань повинні бути збережені в зручні для подальшого аналізу текстові файли.

Також дана система повинна бути орієнтована на виконання широкого спектру задач діагностики ТРС, що забезпечується гнучкістю програмного забезпечення та можливістю налаштування системи під кожну конкретну задачу.

2.3 Розробка підсистеми діагностування демпфувальних характеристик гасників коливань рухомого складу

У розділі реалізовано дослідження процесу вимірювання демпфувальних властивостей гасників коливань рухомого складу та обґрунтовано використання розробленої підсистеми діагностування демпфувальних характеристик гасників. Досліджено існуючий метод визначення демпфувальних параметрів гасників коливань ОТРС та проаналізовано точнісні характеристики даного методу, його недоліки та обмеження в застосуванні. Розроблено та обґрунтовано переваги використання розробленого альтернативного методу визначення логарифмічного декременту затухання та власної частоти коливань конструкції. Наведено та досліджено модель інформаційних сигналів та, виходячи з моделі, здійснено порівняння розробленого та існуючого методів на програмно змодельованому сигналі з спектральним складом близьким до реальних сигналів.

Розроблено методику обробки даних віброакустичних датчиків при проведенні спеціальних випробувань по скиданні рухомого складу з клинів та здійснено обробку експериментальних даних, отриманих при діагностуванні демпфувальних характеристик пасажирського вагону та локомотиву ЧС8.

2.4 Типи гасників коливань тягово-рухомого складу

Гасники коливань вагонів та локомотивів – елементи ресорного підвішування візків, що обмежують амплітуду коливань кузова, особливо при резонансних швидкостях руху, і поглинають енергію коливань [58]. Деформація пружних елементів ресорного підвішування сприяє зниженню сил і прискорень, що сприймаються кузовом ОТРС, при проходженні нерівностей шляху. При цьому кузов здійснює коливальні рухи на пружних елементах. Гасники коливань ОТРС створюють дисипативні (розсіюють) сили, необхідні для розсіювання енергії коливань вагону (локомотиву) або його вузлів. Найбільш широко на залізничному рухомому складі застосовуються фрикційні

й гідравлічні гасники коливань (рис. 2.2).

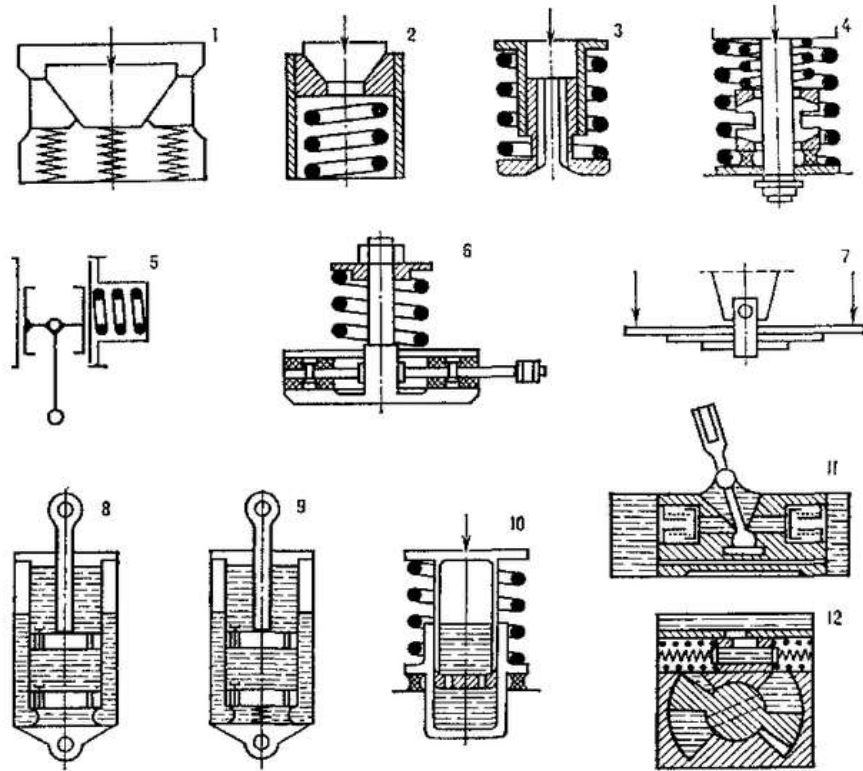


Рис. 2.2. Схеми гасників коливань ОТС: 1-7 –фрикційні, 8-11 – телескопічні, 12 – роторні

У фрикційних гасників коливань ОТС розсіювання енергії відбувається за рахунок сил тертя при відносних переміщеннях його деталей. Фрикційні гасники коливань ОТС прості у виготовленні, дешеві та досить надійні і тому широко застосовуються у візках вантажних вагонів. Недоліками їх є непостійність характеристик і необхідність часткої заміни через швидку зношуваність елементів.

Гідравлічні гасники коливань ОТС зазвичай мають телескопічну конструкцію. Принцип дії таких гасників коливань полягає в переміщенні в'язкої рідини поршнем через вузькі (дросельні) канали і всмоктуванні її назад через клапан односторонньої дії. При проходженні рідини через дросельні канали виникає в'язке тертя, в результаті чого механічна енергія коливального руху вагона перетворюється на теплову, яка потім розсіюється. У гідравлічних гасниках коливань реалізується сила опору в'язкого тертя, пропорційна

першого або другого ступеня швидкості переміщення. Силу характеристику в цих конструкціях створюють на основі вимог до ходових якостей ОТРС шляхом підбору в'язкості рідини і розмірів дросельних отворів. Гідравлічні гасники коливань стабільні в роботі, компактні, мають малу масу, широко застосовуються у візках пасажирських вагонів. До недоліків існуючих конструкцій відносяться мала надійність, необхідність систематичного обслуговування і постійного контролю за технічним станом.

Телескопічні гасники коливань встановлюються як вертикально, так і похило щодо осі пружних елементів підвішування. При похилому їх розташуванні гасяться вертикальні і горизонтальні коливання кузова ОТРС.

2.5. Аналіз існуючого методу визначення демпфувальних характеристик гасників коливань рухомого складу

Згідно з існуючими методиками діагностики демпфувальних властивостей гасників коливань рухомого складу, що використовуються на теренах залізниць України та держав СНГ, встановлюється порядок підготовки, проведення та представлення результатів випробувань по скиданню з клинів рухомого складу.

Організація та проведення випробувань по скиданню з клинів рухомого складу необхідно для визначення власних частот коливань кузова та декрементів затухань коливань ОТРС з метою проведення комплексного дослідження. Це необхідно для оцінки граничних швидкостей руху при виявленні непрацездатності гасників коливань (у відповідності до Протоколу засідання Комісії з безпеки руху поїздів і автотранспорту, охорони праці і пожежної безпеки Державної адміністрації залізничного транспорту України, №ВН-1 п.3 (Р.2) від 23.01.20013).

Виконується встановлення акселерометрів наведених в табл. 2.1 згідно схеми розміщення рис. 2.2 [27,59].

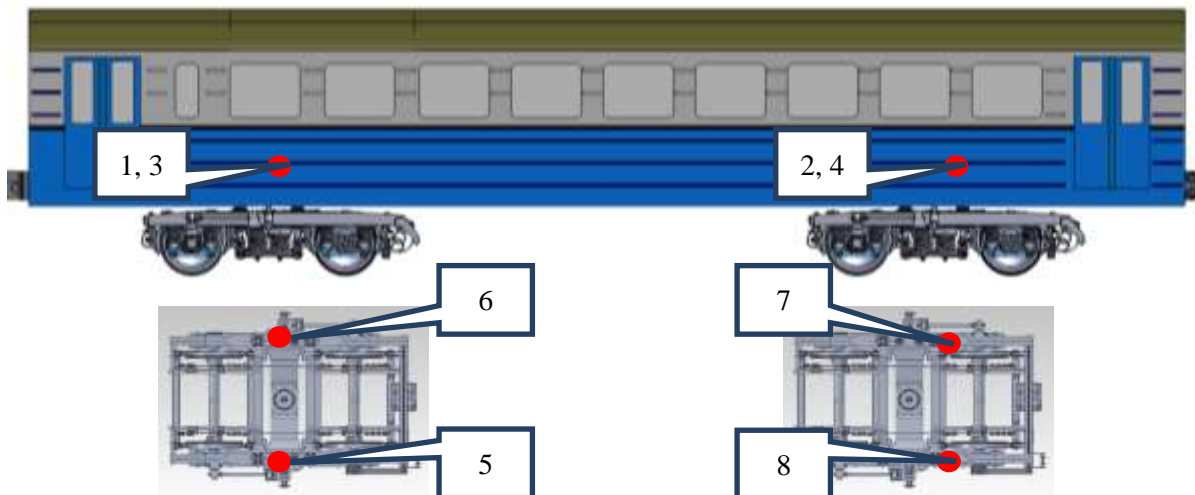


Рис. 2.2.2. Схема розміщення датчиків на об'єкті випробувань

Таблиця 2.2.1

Схема розміщення акселерометрів

№	Тип акселерометра	Місце встановлення	Напрямок для реєстрації	Номер вимір. каналу
1	UM015 №090001	Кузов, в зоні шворневого перетину	Вертикальний	1
			Горизонтальний	2
2	UM015 №090002	Кузов, в зоні шворневого перетину	Вертикальний	3
			Горизонтальний	4
3	UM3-020 №031001	Кузов, в зоні шворневого перетину	Вертикальний	5
			Поздовжній	6
4	UM100 №090001	Кузов, в зоні шворневого перетину	Вертикальний	7
			Поздовжній	8
5	UM100 №090002	Перший візок, ліва сторона в зоні шворневого перетину	Вертикальний	9
			Горизонтальний	10
6	UM100 №090003	Перший візок, права сторона в зоні шворневого перетину	Вертикальний	11
			Горизонтальний	12
7	UM350	Другий візок, ліва сторона в	Вертикальний	13

	№090002	зоні шворневого перетину	Горизонтальний	14
8	UM350	Другий візок, права сторона	Вертикальний	15
	№090003	в зоні шворневого перетину	Горизонтальний	16

Виконується транспортування об'єкта випробування та маневрового локомотива на пряму дослідну ділянку загальною довжиною не менше 150 метрів.

Клин, що використовується в дослідях з визначення характеристик власних коливань надресорної будови будь-якої одиниці рухомого складу, має вигляд, представлений на рисунку 2.3. Довжина клина становить 315 мм, ширина – 48 мм і висота – 20 мм. Форма та розміри даного клина стандартизовані для випробувань пов'язаних з імітацією коливань ОТПС.

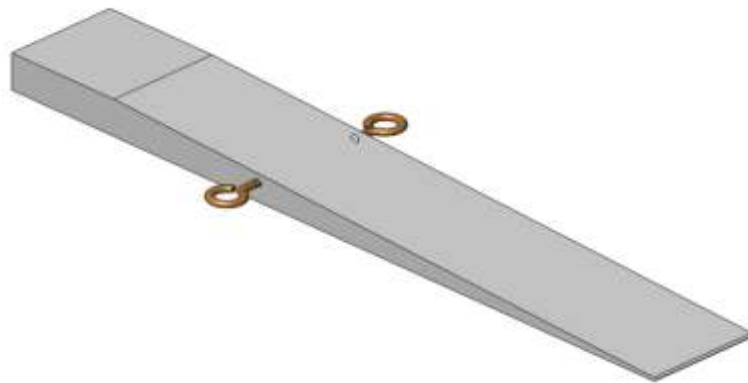


Рис. 2.2.3. Зовнішній вигляд клина

При проведенні випробувань на скидання локомотива або вагона з клинів імітуються коливання підстрибування, галопування і бокового розхитування. Для отримання вільних коливань галопування кузова і підстрибування візків клини підкладають спочатку під всі колеса першого по ходу візка, а потім – під всі колеса останнього. Для імітації коливань бокового розхитування кузова і візка клини підкладають спочатку під всі колеса з однієї сторони рухомої одиниці, а потім – під всі колеса з іншої сторони. Як приклад на рис. 2.2.3. наведена схема випробувань для імітації коливань бічної хитавиці.

За отриманою в ході випробувань інформацією визначаються власні частоти і декременти затухань коливань.

При цьому величини частот і декрементів коливань рекомендується розраховувати за першими періодам квазіперіодичного процесу згасаючих коливань. При скиданні з клинів визначають першу нижню власну частоту відповідних коливань кузова.

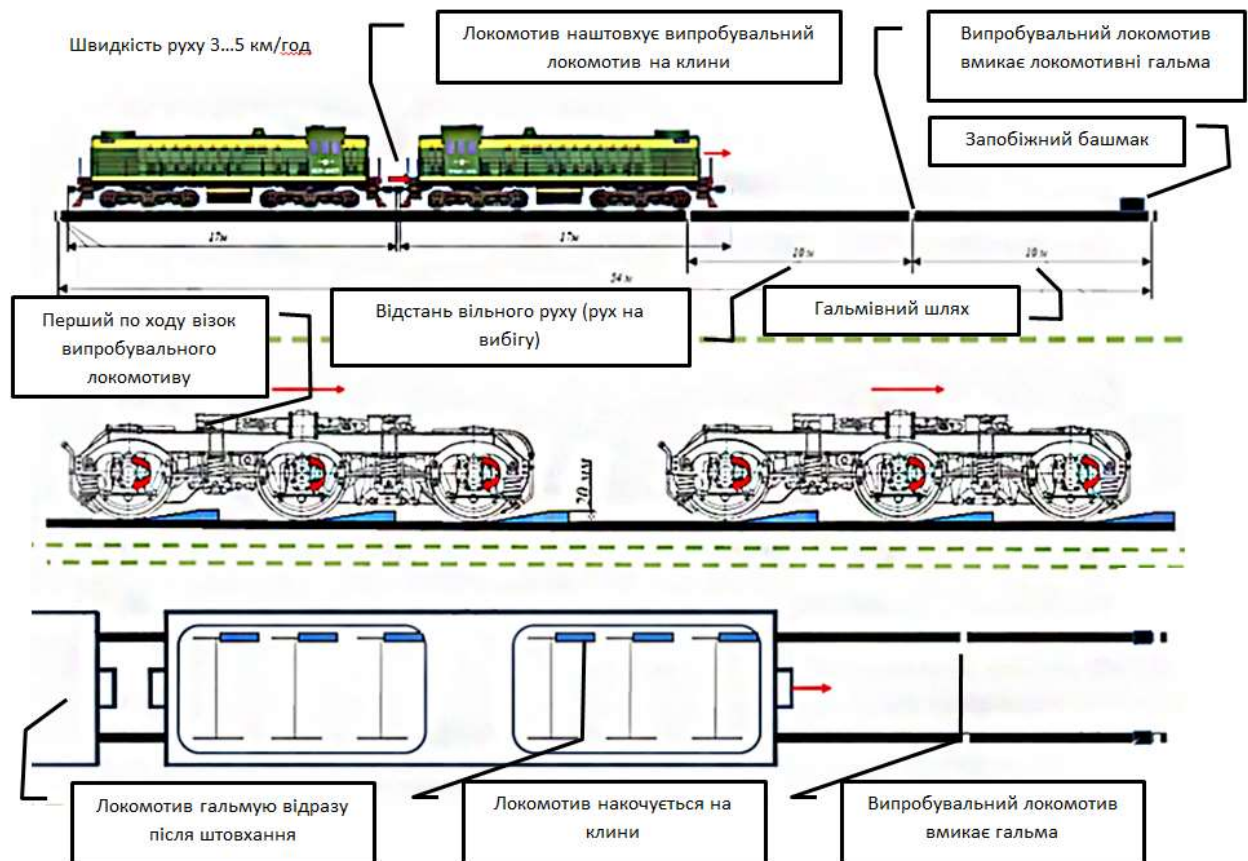


Рис. 2.2.4. Схема імітації коливань бічної хитавиці

Частота коливання конструкції розраховується як обернена величина до часового проміжку між двома амплітудними значеннями затухаючого сигналу, що відповідає періоду коливань [60, 61]. Логарифмічний декремент затухання визначається також з амплітудних значень кількох послідовно слідуючих позитивних або негативних коливань, а саме:

$$A(t) = A_0 e^{-\beta t},$$

$$\frac{A_j}{A_{j+1}} = \frac{a_1 e^{-\beta t_j}}{a_1 e^{-\beta(t_j + \tau_1)}} = e^{\beta \tau_1} = e^u,$$

$$\ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \beta T = u = \frac{1}{j} \ln \frac{A_j}{A_{j+1}},$$

де $A(t)$ - функція зміни амплітуди від часу;

A_0 - початкове значення амплітуди затухаючого сигналу;

e - основа натуральних логарифмів;

β - коефіцієнт затухання коливань;

t - часова змінна;

A_j - значення j -ї за порядком слідування амплітуди коливання;

u - логарифмічний декремент затухання;

T - період коливань.

Коефіцієнт демпфування h для кожного виду вільних коливань, що викликається при скиданні локомотива з клинів за певною схемою, розраховуються за логарифмічним декрементом затухання u [62].

Для визначення u експериментальним шляхом необхідно взяти з дослідних даних відношення двох сусідніх амплітуд. Однак більша точність буде досягнута у випадку, якщо використовувати відношення двох та більше амплітуд, відділених j циклами.

Однак, даною методикою не наведено необхідної кількості амплітудних значень, що необхідно використовувати при розрахунках для досягнення максимальної точності вимірювання логарифмічного декременту коливань та параметру демпфування.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОЗРОБЛЕНОГО МЕТОДУ ТА СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ

3.1 Експериментальне дослідження існуючого методу визначення демпфувальних характеристик гасників коливань рухомого складу

Для визначення демпфувальних властивостей гасників коливань в рамках науково-дослідної роботи в Державному науково-дослідному центрі залізничного транспорту України було проведено натурні випробування пасажирського вагону та локомотиву ЧС8.

При проведенні випробувань використовуються «Програмно-апаратний реєстратор на базі контролера NI cRIO», що включає в себе фізичні датчики віброприскорення – акселерометри, комутатор, універсальні модулів АЦП 9205 та модуля-приймача SEA cRIO Gxxx Mobile та контролер CompactRIO [6, 7, 63].

Підключення первинних перетворювачів до автоматичного реєстратора на базі контролера CompactRIO здійснено згідно блок-схеми, яка наведена на рис. 2.2.5. З'єднання акселерометрів з модулем NI 9205 виконується через узгоджувальний пристрій SU-16К, який забезпечує диференціальне під'єднання

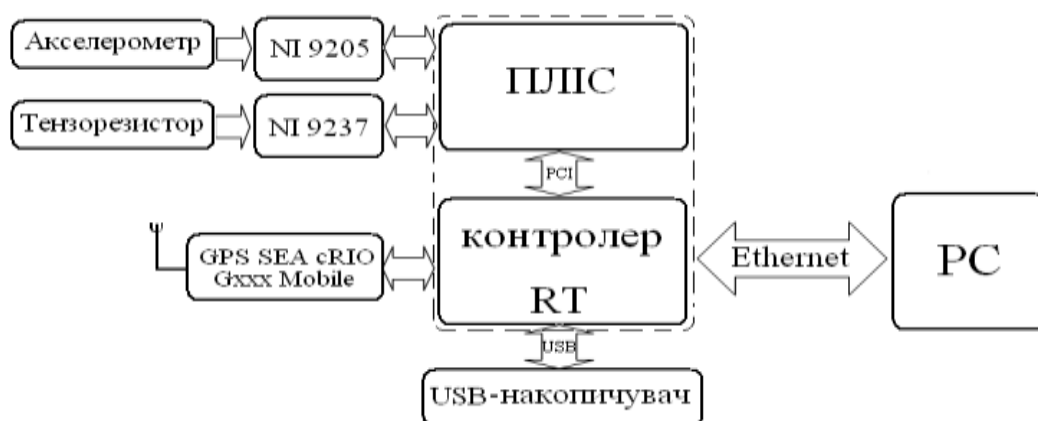


Рис. 2.2.5. Блок-схема підключення первинних перетворювачів

Оцінка точності виміряних віброприскорень встановлюється шляхом розрахунку похибки згідно ДСТУ ГОСТ 8.207-2008 при $P=0,95$:

$$\mu = k \sqrt{\sum_{i=1}^n \mu_i^2}$$

де k – коефіцієнт, що дорівнює 1,1 при довірчій ймовірності вимірювань $P=0,95$; μ_i^2 – відносна інструментальна похибка i -го засобу вимірювань.

В ході проведення випробувань локомотиву ЧС8 та пасажирського вагону було здійснено реєстрацію сигналів віброприскорень в вертикальному, горизонтальному та поперечному напрямках. Наявність симетричних дублюючих каналів забезпечила можливість додаткового контролю якості отриманих результатів. Перед проведенням розрахунків параметрів демпфування здійснено аналіз інформаційних сигналів та проаналізовано вплив на форму сигналу факторів, що присутні в ході випробувань, однак не несуть корисного інформаційного навантаження. Осцилограма записаного сигналу датчика віброприскорень наведена на рис. 2.2.6.

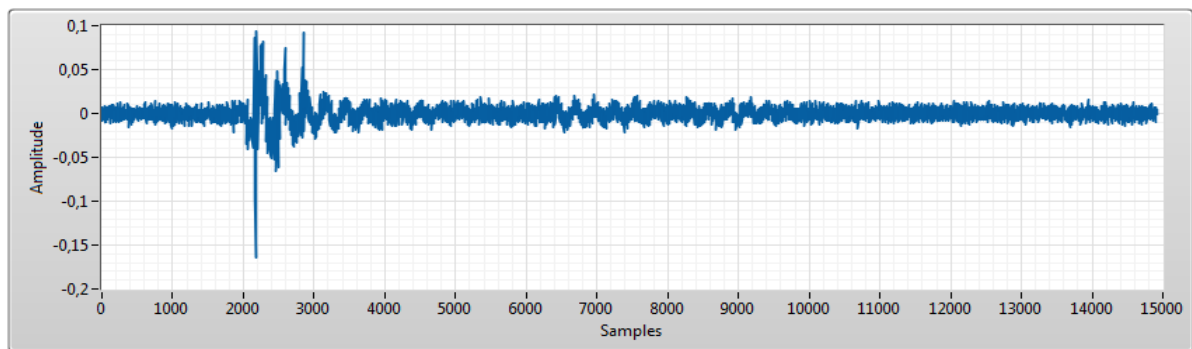


Рис. 2.2.6. Осцилограма вхідного сигналу

Для розрахунків виділяється частина сигналу, що відповідає часовому проміжку не більше 10 с, адже за цей час демпфери гасять коливання кузову досліджуваного об'єкту і коливальна система врівноважується. Відповідно до методики, для визначення логарифмічного декременту затухання та власної частоти коливань конструкції необхідно здійснити фільтрації інформаційного сигналу фільтром Баттерворта 6-го порядку з верхньою граничною частотою 20 Гц [64]. Інформативна частина та результат фільтрації досліджуваного сигналу наведено на рис. 2.2.7 та рис. 2.2.8 відповідно.

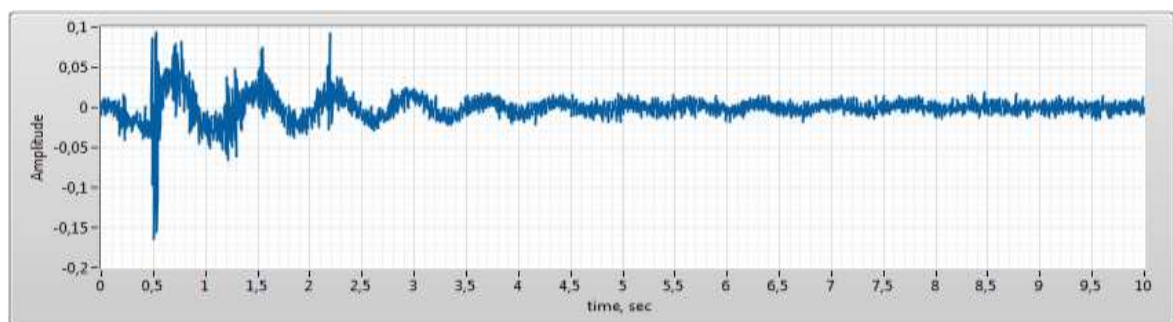


Рис. 2.2.7. Інформативна область вхідного сигналу

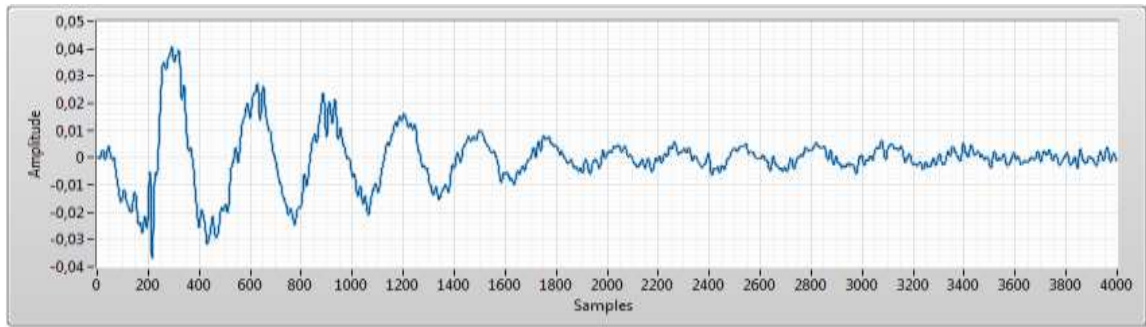


Рис. 2.2.8. Результат фільтрації вхідного сигналу

Для визначення логарифмічного декременту затухання та власної частоти програмно реалізовано алгоритм автоматичного та ручного вибору значень для аналізу. Приклад автоматичного відбору амплітудних значень наведено на рис. 2.2.9.

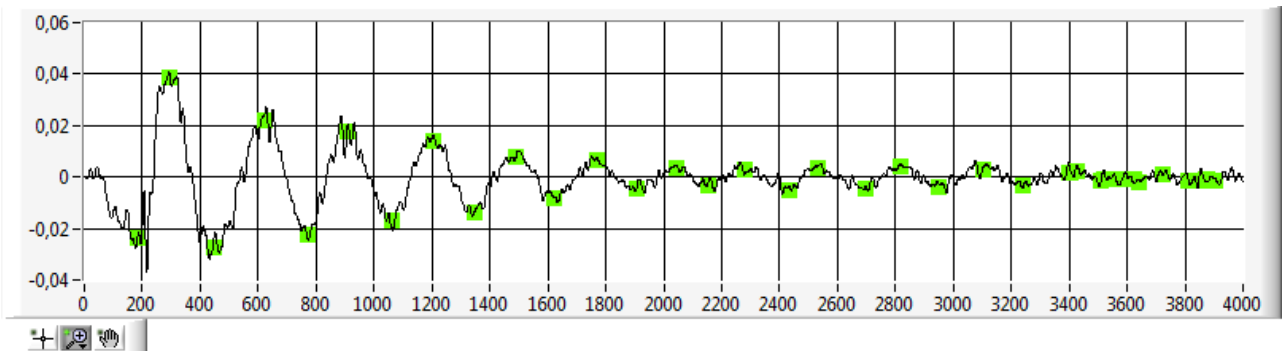


Рис. 2.2.9. Результат відпрацювання автоматичного алгоритму

Для відбору точок для аналізу в ручному режимі необхідно задати бажану кількість амплітудних значень для аналізу та вибрати точки за допомогою курсору (рис. 2.2.10).

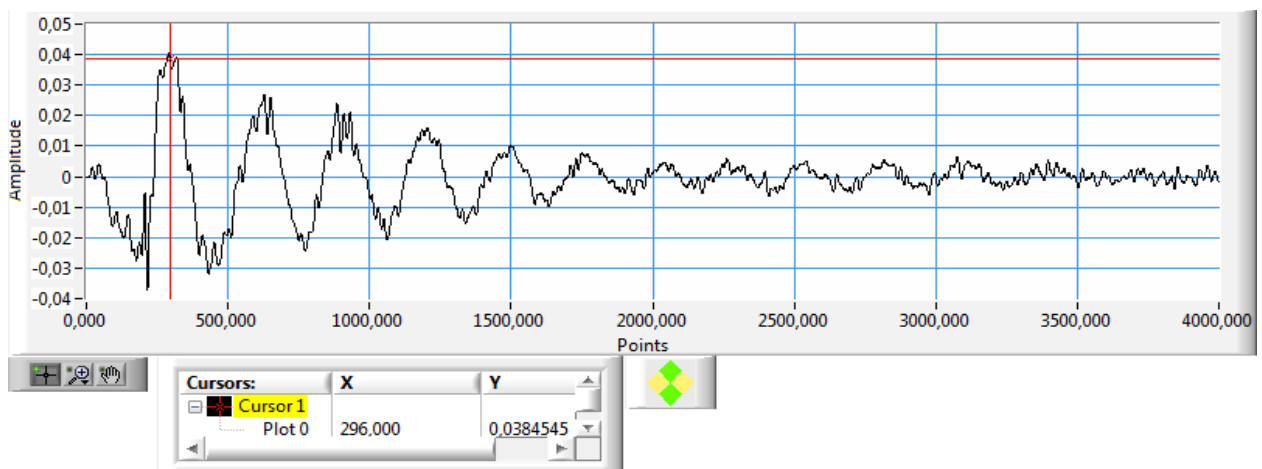


Рис. 2.2.10. Приклад відбору значень в ручному режимі

Було здійснено обробку 224 інформаційних сигналів, що були записані при проведенні випробувань пасажирського вагону та локомотиву ЧС8. Випробування проводилися як на стандартно укомплектованих об'єктах так і з відключеними гасниками. Наявність дублюючих каналів та п'ятиразове повторення кожного експерименту дозволило оцінити прецизійність даного методу визначення логарифмічного декременту затухання та власної частоти коливань конструкції [65]. Аналіз здійснено по перших двох амплітудних значеннях, так як в ряді випадків, особливо при імітації коливань бокової «хитаючи», не завжди була можливість здійснити обчислення використовуючи більшу кількість амплітудних значень. В ході аналізу було відмічено, що даний метод характеризується дуже низькою прецизійністю, в середньому похибка визначення результату не менше 30%, а в ряді випадків перевищувала 55%. Дана похибка спричинена не ідеальністю форми сигналу, а саме спотвореннями низькочастотного характеру. Приклад сигналу з явно вираженими спотвореннями та його спектр наведено на рис. 2.2.11 та рис. 2.2.12 відповідно.

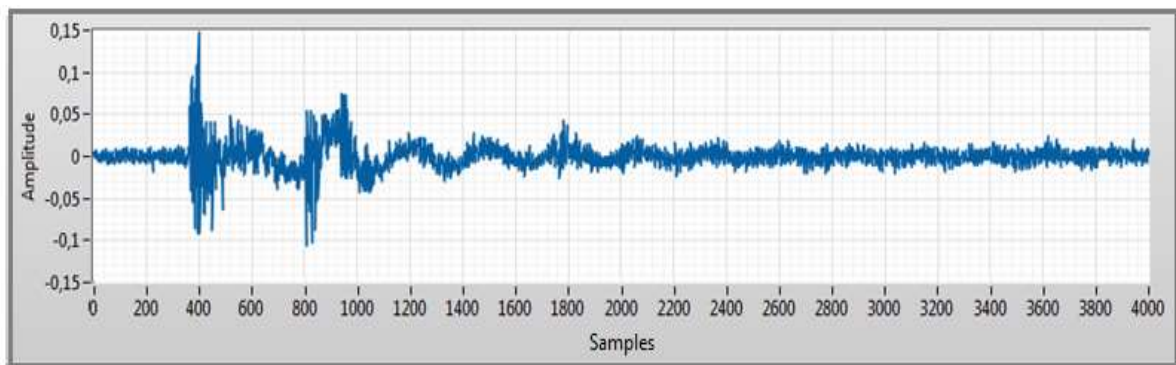


Рис. 2.2.11 Осцилограма вхідного сигналу з спотвореннями низькочастотного характеру

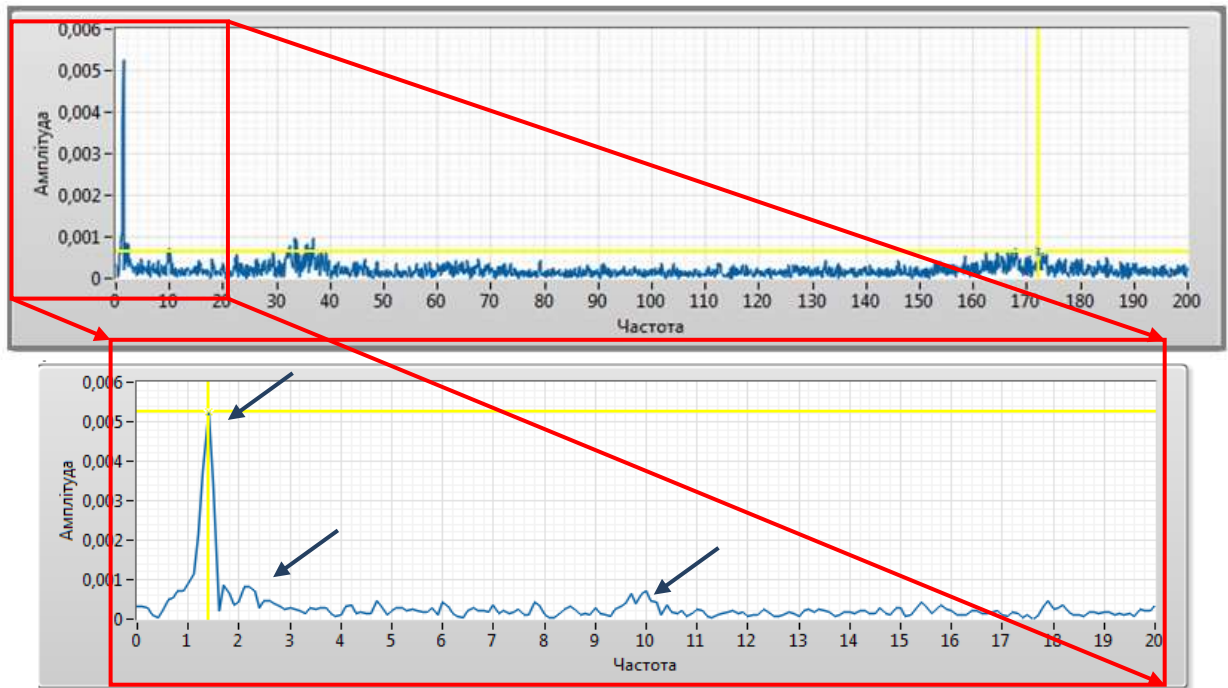


Рис. 2.2.12. Спектрограма вхідного сигналу

Спотворення форми сигналу побічними гармоніками призводить до неоднозначності визначення числових значень параметрів демпфування. Оскільки на практиці зазвичай відсутня можливість здійснювати значну кількість повторень експерименту по скиданні об'єкта з клинів, необхідно використовувати для обробки даних алгоритми, які менш залежать від амплітуди неосновних гармонічних складових сигналу.

Недоліком вказаного способу є низька завадозахищеність, а саме низька стійкість способу вимірювання частоти сигналу та логарифмічного декременту затухання до високочастотних шумів та побічних гармонік, що присутні в інформаційному сигналі. Для застосування даного способу необхідно для обробки використовувати сигнали лише після здійснення апаратної або програмної фільтрації, що вносить додаткову ентропію та призводить до спотворення форми сигналу [66].

Виходячи з описаних недоліків існуючого методу визначення демпфувальних характеристик гасників коливань рухомого складу, актуальною є задача розробки альтернативного завадозахищеного методу вимірювання логарифмічного декременту затухання та власної частоти коливань конструкції.

3.2 Розробка методу визначення демпфувальних характеристик гасників коливань рухомого складу з поліпшеними метрологічними характеристиками

Виходячи з полігармонічної природи інформаційних сигналів для дослідження можливості підвищення точності визначення демпфувальних властивостей гасників коливань рухомого складу, розглянуто модель даного сигналу. Аналітична модель, що описує даний затухаючий процес являє собою адитивну суміш згасаючих корисних синусоїдальних складових та високочастотних завад.

$$A(t) = \sum_{i=1}^n A_i e^{-\beta_i t} \sin(\omega_i t + \psi_i) + \eta(t), \quad t \in [0, T_a], \quad T_a \gg \frac{1}{f_i}$$

де, A_i - початкове значення амплітуди i -ї гармонічної складової,

β_i - коефіцієнт загасання i -ї гармонічної складової з частотою ω_i та початковою фазою ψ_i ;

$\eta(t)$ – реалізація високочастотного шуму,

T_a – тривалість реєстрації сигналу.

При дослідженні коливальної системи без демпфування, визначаються три інтегральні характеристики: амплітуда, частота власних коливань і початкова фаза. Для системи з демпфуванням вводиться четверта характеристика, що є кількісною мірою демпфування: добротність коливальної системи Q .

Амплітудно-частотну характеристику коливальної системи зображено на рис. 2.2.13.

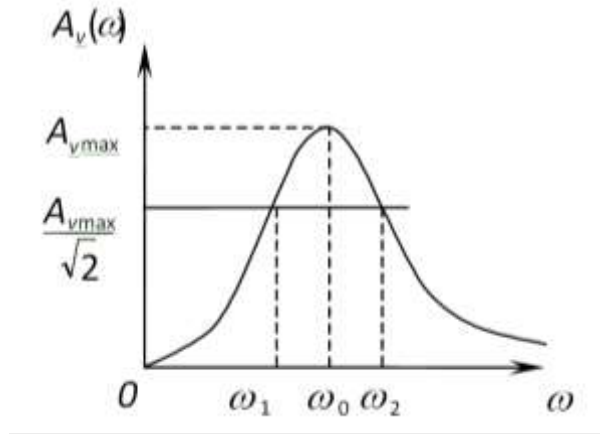


Рис. 2.2.13. Амплітудно-частотна характеристика коливальної системи

Інтервал $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ називають шириною резонансної кривої. Такий вибір інтервалу частот пов'язаний з виконанням наступної умови: кінетична енергія в системі не повинна зменшитися більше, як у 2 рази по відношенню до її максимального значення [66, 67]. Тоді добротність системи визначають наступним чином:

$$Q = \frac{\omega_0}{\omega_2 - \omega_1}.$$

Запишемо $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ через параметри коливальної системи. Для цього підставимо в рівняння значення амплітуди коливальної швидкості. Тоді

$$A_v(\omega) = \frac{A_{v\max}(\omega = \omega_0)}{\sqrt{2}}$$

отримаємо:

$$\frac{h_0 \omega_0}{2\delta \omega_0 \sqrt{2}} = \frac{h_0}{2\delta \sqrt{2}} = \frac{h_0 \omega}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (2\delta \omega)^2}} \Rightarrow (\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (2\delta \omega)^2 = (2\delta \omega \sqrt{2})^2,$$

$$(\omega_0^2 - \omega^2)^2 = 4\delta^2 \omega^2,$$

$$\omega_0^2 - \omega^2 = \pm 2\delta \omega,$$

$$\omega_{1,2} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 + \omega_0^2}; \quad \omega_{3,4} = \delta \pm \sqrt{\delta^2 + \omega_0^2}.$$

Фізичний зміст мають лише додатні корені, тоді припускаємо, що:

$$\omega_1 = -\delta + \sqrt{\delta^2 + \omega_0^2},$$

$$\omega_2 = \delta + \sqrt{\delta^2 + \omega_0^2},$$

$$\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = 2\delta.$$

Добротність коливальної системи визначається виразом:

$$Q = \frac{\omega_0}{\omega_2 - \omega_1} = \frac{\omega_0}{2\delta},$$

де ω_2 та ω_1 - значення частоти, що відповідає правій та лівій межі діапазону δ .

Відоме співвідношення між логарифмічним декрементом згасання u і добротністю Q :

$$u = \frac{2\pi}{\omega_0} \delta = \frac{2\pi\delta}{\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{(2Q)^2 - 1}},$$

де u - логарифмічний декремент затухання;

π - математична константа;

ω_0 - частота гармоніки в спектрі сигналу з максимальною потужністю;

δ - ширина резонансної кривої (рис. 2.2.13), що відповідає ширині основної пелюстки спектру сигналу на рівні $\frac{1}{\sqrt{2}}$ від максимальної потужності гармоніки;

Q - добротність коливальної системи.

При $Q \leq \frac{1}{2}$ власні рухи в системі не коливальні. Значення $Q = \frac{1}{2}$ називають критичним (межа коливального режиму), як і відповідне йому значення $\delta = \omega_0$. У разі високої добротності ($Q \gg 1$) $Q = \frac{\pi}{\theta}$ або $Q = \frac{\pi}{\theta}$.

Обробка даних в частотній області дозволяє розділити основну частоту, вищі гармоніки та високочастотний шум.

Однак, виходячи з фізичної природи методу визначення точок перетину огинаючої пелюстки спектру та прямої рівня $\frac{1}{\sqrt{2}}$ від максимальної потужності гармоніки, для забезпечення потрібного рівня прецизійності даного методу необхідно забезпечити максимальну роздільну здатність спектру по частоті або застосувати алгоритми програмної інтерполяції. В даному випадку, при

дослідженні огинаючої спектру сигналу, важливим параметром виступає дискретність спектральної огинаючої.

3.3 Сплайн-інтерполяція

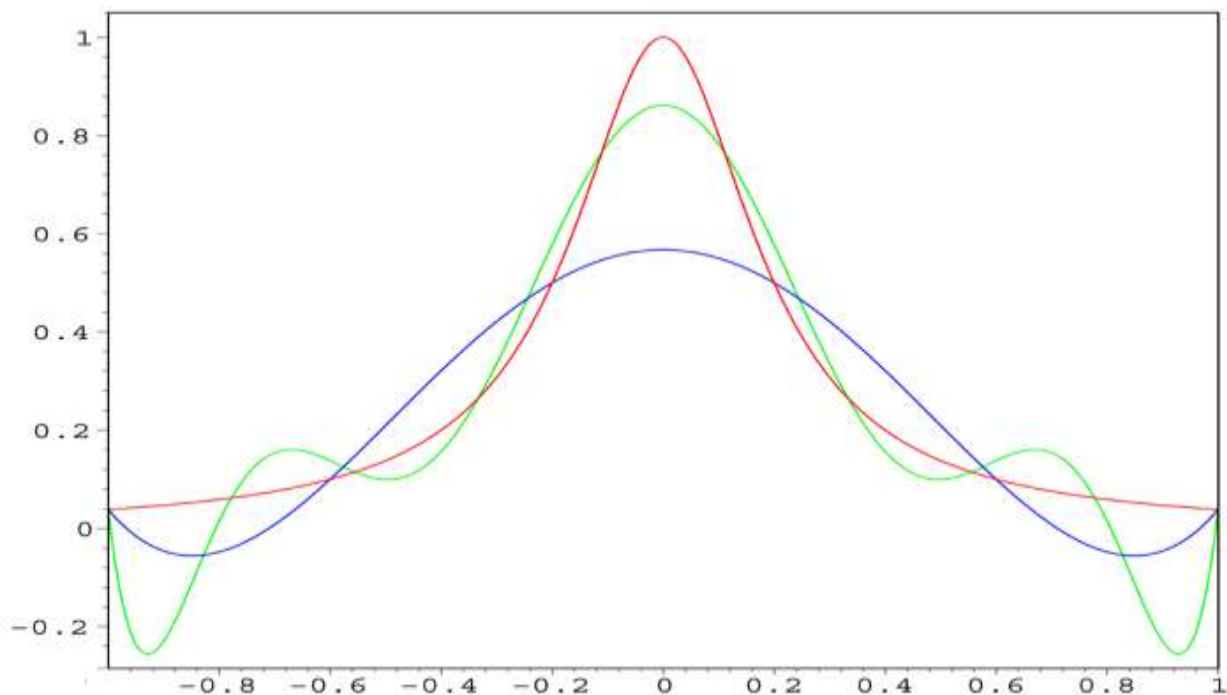
Якщо функція $f(x)$ задана своїми значеннями в $(n + 1)$ – точці, то її можна апроксимувати інтерполяційним поліномом Лагранжа або Ньютона $P_n(x)$ степені n [69, 70]. Але при великих n виникають пульсації многочлена $P_n(x)$ між вузлами (оскільки він має точки максимуму і мінімуму у дійсних нулях похідної). Усунути це можна зменшенням степені полінома, інтерполюючи тільки частину точок (кускова інтерполяція). Тоді для всієї множини точок одержується результуюча “зшита” або “склеєна” крива, яка неперервна на всьому інтервалі, але у вузлах “склеювання” окремих кривих її похідні матимуть розрив. Похибка такого наближення може виявитися значною. Крім того, таке наближення неможливе у тих випадках, коли важливе значення має гладкість апроксимуючої функції.

У ряді випадків інтерполяційний поліном $P_n(x)$ може не наближатись до $f(x)$ при $n \rightarrow \infty$ навіть для диференційованої довільне число разів функції (рис. 4.2.14), наприклад, функції

$$f(x) = \frac{1}{1 + 25x^2}, \text{ – функція Рунге на відрізку } [-1,1]$$

для якої

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \max |f(x) - P_n(x)| = \infty$$



Червона крива - функція Рунге.

Синя крива - інтерполяція поліномом 5-го порядку.

Зелена крива - інтерполяція поліномом 9-го порядку .

Рис. 2.2.14. Графічне зображення інтерполяційних функцій.

В точках інтерполяції, помилка між функцією та інтерполючим поліномом (за визначенням) нульова. Між точками інтерполяції(особливо в регіоні близькому до крайніх точок 1 і -1), похибка між функцією і інтерполючим поліномом для поліномів більш високого порядку стає ще гіршою.

Як видно з рисунку, розходження відбувається в інтервалі $0,726... \leq |x| < 1$.

Побудова полінома невисокої степені для великого числа точок методом найменших квадратів не забезпечує задовільну відповідність кривої заданим точкам (сума квадратів різниць між значеннями многочлена і функції в даних точках хоча і мінімальна, але значна). Підвищення ж степені многочлена приводить до значного ускладнення в обчисленнях.

Останнім часом в теорії апроксимації широкого використання набули сплайни (spline-рейка, пружний брусек), які дозволяють в деякій мірі усунути недоліки класичних методів наближення.

Гладкість і гнучкість сплайнів обумовлює їх широке використання в машинній графіці, САПР, а також в математиці. Сплайни мають ряд переваг:

- 1) простота реалізації на ЕОМ;
- 2) висока точність апроксимації одночасно і функції і її похідних;
- 3) в ряді випадків дозволяють отримати наближення з мінімально можливою похибкою на даному класі функцій (порівняно з іншими методами).

Інтерполяція кубічними сплайнами одержала найбільш широке застосування в інженерній практиці. Це обумовлено тим, що поліном 3-го порядку є найпростішою кривою, яка має точку перегину, що забезпечує її хороші інтерполяційні можливості. Кубічні сплайни мають на всьому відрізку апроксимації неперервні похідні до другого порядку. Така гладкість звичайно достатня для більшості практичних задач. Невисока степінь полінома спрощує обчислення і зменшує похибку обчислення [71].

Візьмемо $n + 1$ $[x_0 \dots x_n, y_0 \dots y_n]$ експериментальних точок, або точок, які задовольняють деяку функцію. При сплайновій інтерполяції (кубічній) виконуються наступні умови:

- 1) через кожні дві сусідні точки проводять поліном третьої степені;
- 2) для i -го полінома P_i , який проходить через точки з координатами x_{i-1}, y_{i-1} і x_i, y_i є справедливою умова інтерполяції

$$P_i(x_{i-1})_{(1)} = y_{i-1}; \quad (3.2.1)$$

$$P_i(x_i)_{(2)} = y_i, \quad i = \overline{1, n} \quad (3.2.2)$$

Перехід від полінома P_i , що з'єднує точки (x_{i-1}, y_{i-1}) , та (x_i, y_i) до полінома P_{i+1} , котрий проходить через точки (x_i, y_i) та (x_{i+1}, y_{i+1}) , повинен бути плавним (без зламів). Щоб виконалась ця умова, значення першої та другої похідної сусідніх поліномів P_i та P_{i+1} в їх спільній точці (x_i, y_i) повинні бути рівні

$$P'_i(x_i) = P'_{i+1}(x_i), \quad i = \overline{1, n-1} \quad (3.2.3)$$

$$P''_i(x_i) = P''_{i+1}(x_i), \quad i = \overline{1, n-1} \quad (3.2.4)$$

Таким чином, для всіх внутрішніх поліномів формалізовані чотири умови, котрі достатні для побудови цих поліномів.

Обидві кінцеві точки (на кінцях відрізка апроксимації) мають тільки по одній сусідній. Тому для кінцевих поліномів потрібні додаткові умови. Будемо вважати, що точки, які лежать зовні інтервалу $[x_0, x_n]$, можна апроксимувати прямими; тоді одержимо ще дві додаткові умови

$$P_1''(x_0) = 0 \quad (3.2.5)$$

$$P_n''(x_n) = 0 \quad (3.2.6)$$

Таким чином, маємо шість умов (3.2.1) – (3.2.6).

Кубічний поліном будемо шукати у вигляді:

$$P_i(x) = a_i + b_i(x - x_{i-1}) + c_i(x - x_{i-1})^2 + d_i(x - x_{i-1})^3$$

$$x_{i-1} \leq x \leq x_i \quad (3.2.7)$$

Необхідно визначити коефіцієнти a_i, b_i, c_i, d_i для кожного полінома $P_i(x)$. Таких коефіцієнтів всього $4n$, де n – число інтерполяційних поліномів на відріжку $[x_0, x_n]$.

Із умови (3.2.1) маємо (при $x = x_{i-1}$) враховуючи (3.2.7)

$$P_i(x_{i-1}) = a_i = y_{i-1} \quad (3.2.8)$$

Із умови (3.2.2) випливає, що

$$P_i(x_i) = a_i + b_i \cdot h_i + c_i h_i^2 + d_i h_i^3 = y_i, \quad (3.2.9)$$

де $h_i = x_i - x_{i-1}$, $i = \overline{1, n}$

Для того, щоб використати умови рівності першої та другої похідних двох сусідніх поліномів (3.2.3), (3.2.4) необхідно знайти похідні

$$P_i'(x) = b_i + 2c_i(x - x_{i-1}) + 3d_i(x - x_{i-1})^2, \quad (3.2.10)$$

$$P_i''(x) = 2c_i + 6d_i(x - x_{i-1}). \quad (3.2.11)$$

Із умов неперервності першої (3.2.3) і другої (3.2.4) похідних випливає:

а)

$$P_i'(x_i) = b_i + 2c_i \cdot h_i + 3d_i h_i^2$$

$$P_{i+1}'(x_i) = b_{i+1} + 2c_{i+1}(x_i - x_i) + 3d_{i+1}(x_i - x_i)^3 = b_{i+1}.$$

Отже

$$b_{i+1} = b_i + 2c_i h_i + 3d_i h_i^2 \quad (3.2.12)$$

б)

$$P_i''(x_i) = 2c_i + 6d_i h_i$$

$$P_{i+1}''(x_i) = 2c_{i+1} + 6d_{i+1}(x_i - x_i) = 2c_{i+1}$$

Звідси $2c_{i+1} = 2c_i + 6d_i h_i$, або

$$c_{i+1} = c_i + 3d_i h_i \quad (3.2.13)$$

Умови (3.2.12) та (3.2.13) справедливі для всіх внутрішніх поліномів, тобто $i = \overline{1, n-1}$.

Таким чином ми маємо систему рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_i = y_{i-1}, \\ a_i + b_i h_i + c_i h_i^2 + d_i h_i^3 = y_i, \end{array} \right\} i = \overline{1, n} \quad (3.2.14)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} b_{i+1} = b_i + 2c_i h_i + 3d_i h_i^2, \\ c_{i+1} = c_i + 3d_i h_i, \end{array} \right\} i = \overline{1, n-1}$$

Для перших двох рівнянь системи:

$$a_i = y_{i-1}$$

$$a_i + b_i h_i + c_i h_i^2 + d_i h_i^3 = y_i,$$

індекс i змінюється $i = \overline{1, n}$.

Для наступних двох рівняннях індекс i змінюється в межах $i = \overline{1, n-1}$.

Отже, із системи (3.2.14) можна однозначно визначити $2 \cdot n + 2(n-1) = 4 \cdot n - 2$

коефіцієнтів типу a_i, b_i, c_i, d_i . Всього їх $4n$. Значення двох решти коефіцієнтів можна отримати, використовуючи умови (3.2.5) і (3.2.6).

Використовуючи (3.2.11) і (3.2.5), можна записати:

$$P_1''(x_0) = 2c_1 + 6d_1(x_0 - x_0) = 2c_1 = 0.$$

Звідси

$$c_1 = 0. \quad (3.2.15)$$

Використовуючи (3.2.11) і (3.2.6), одержимо:

$$P_n''(x_n) = 2c_n + 6d_n(x_n - x_{n-1}) = 2c_n + 6d_n h_n = 0.$$

Отже,

$$c_n + 3d_n h_n = 0 \quad (3.2.16)$$

Таким чином, рівняння (3.2.14), (3.2.15), (3.2.16) дають змогу знайти $4n$ коефіцієнтів $a_i, b_i, c_i, d_i (i = \overline{1, n})$, оскільки це системи алгебраїчних рівнянь, які можна розв'язати відомими методами. Однак цю систему рівнянь можна звести до більш зручного вигляду (дає економію машинного часу).

З умови (3.2.13) знайдемо, що

$$d_1 = \frac{c_{i+1} - c_i}{3h_1}; i = \overline{1, n-1}. \quad (3.2.17)$$

Крім того, врахувавши (3.2.16), маємо:

$$d_n = -\frac{c_n}{3h_n}. \quad (3.2.18)$$

Підставивши вираз (3.2.17) в рівняння (3.2.9)

$$a_i + b_i h_i + c_i h_i^2 + d_i \cdot h_i^3 = y_i,$$

одержимо

$$a_i + b_i h_i + c_i h_i^2 + \frac{c_{i+1} - c_i}{3h_i} \cdot h_i^3 = y_i,$$

або

$$a_i + b_i h_i + c_i h_i^2 + \frac{c_{i+1} - c_i}{3} \cdot h_i^2 = y_i.$$

Об'єднаємо коефіцієнти с

$$a_i + b_i h_i + (c_i + \frac{c_{i+1} - c_i}{3}) h_i^2 = a_i + b_i h_i + \frac{1}{3} h_i^2 (2c_i + c_{i+1}) = y_i.$$

Оскільки з (3.2.8) пам'ятаємо, що $a_i = y_{i-1}$, то перепишемо:

$$y_{i-1} + b_i h_i + \frac{1}{3} h_i^2 (2c_i + c_{i+1}) = y_i.$$

Звідси:

$$b_i = \frac{y_i - y_{i-1}}{h_i} - \frac{1}{3} h_i (2c_i + c_{i+1}), \quad i = \overline{1, n-1}. \quad (3.2.19)$$

$$b_n = \frac{y_n - y_{n-1}}{h_n} - \frac{1}{3} h_n (2c_n + c_{n+1}),$$

оскільки $c_{n+1} = 0$, то одержимо:

$$b_n = \frac{y_n - y_{n-1}}{h_n} - \frac{2}{3} h_n c_n. \quad (3.2.20)$$

Підставляючи в рівняння (3.2.12) $b_{i+1} = b_i + 2c_i h_i + 3d_i h_i^2$ вирази для d_i та b_i, b_{i+1} , одержимо систему рівнянь, що складається виключно із коефіцієнтів с:

$$\frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}} - \frac{1}{3} h_{i+1} (2c_{i+1} + c_{i+2}) = \frac{y_i - y_{i-1}}{h_i} - \frac{1}{3} h_i (2c_i + c_{i+1}) + 2c_i h_i + 3 \left(\frac{c_{i+1} - c_i}{3h_i} \right) h_i^2,$$

враховуючи, що

$$b_{i+1} = \frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}} - \frac{1}{3} h_{i+1} (2c_{i+1} + c_{i+2}),$$

$$b_i = \frac{y_i - y_{i-1}}{h_i} - \frac{1}{3} h_i (2c_i + c_{i+1}),$$

$$(c_{i+1} - c_i) h_i = 3 \left(\frac{c_{i+1} - c_i}{3h_i} \right) h_i^2.$$

Після перетворення одержимо для визначення c_i наступну систему:

$$h_i c_i + 2(h_i + h_{i+1})c_{i+1} + h_{i+1}c_{i+2} = 3 \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}} - \frac{y_i - y_{i-1}}{h_i} \right), i = \overline{1, n-1} \quad (3.2.21)$$

$$c_1 = 0; c_{n+1} = 0. \quad (3.2.22)$$

Система лінійних рівнянь (3.2.21) з умовами (3.2.22) розв'язується методом прогонки.

Знайшовши c_i з (3.2.21) просто знайти далі коефіцієнти d_i з (3.2.17), (3.2.18), а з (3.2.19), (3.2.20) коефіцієнти b_i .

Коефіцієнти a_i шукаються із (3.2.14):

$$a_i = y_{i-1} \quad i = \overline{1, n}.$$

3.4 Програмна реалізація розробленого методу

Програмне забезпечення підсистеми визначення демпфувальних характеристик гасників коливань рухомого складу доповнено інструментарієм визначення логарифмічного декременту затухання та власної частоти в частотній області – по формі огинаючої спектру сигналу [73] (рис. 3.2.15).

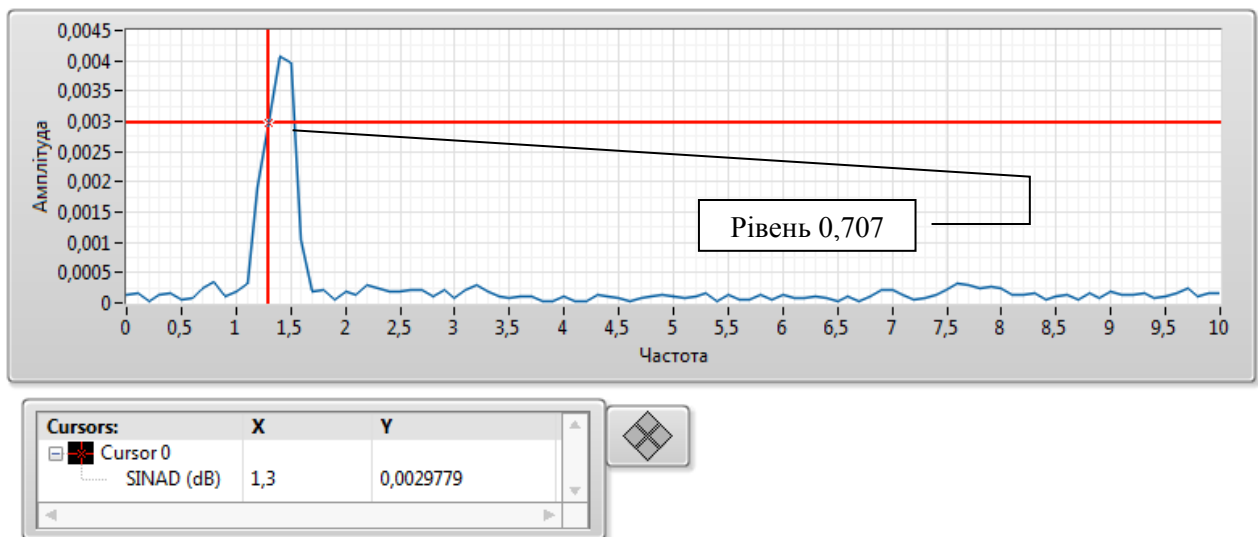


Рис. 3.2.15. Зображення огинаючої спектру сигналу

Роздільна здатність спектру сигналу по частоті залежить від довжини вибірки, але у випадку з швидко затухаючими сигналами виникають протиріччя: з одного боку бажано використовувати для аналізу сигнал

максимальної тривалості, але не логічно збільшувати сигнал неінформативними даними – високочастотним шумом, так як корисна складова зосереджена на часовому проміжку перших 10 секунд. Для підвищення прецизійності визначення логарифмічного декременту затухання в частотній області використано сплайн-інтерполяцію спектральної огинаючої з збільшенням кількості точок, тим самим роздільної здатності спектру по частоті. Для збереження швидкодії програмного забезпечення реалізовано можливість відбору для обробки лише інформативну частину спектру сигналу. На рис. 4.2.16 наведено графічне представлення принципу застосування інтерполяції для згладжування огинаючої спектру.

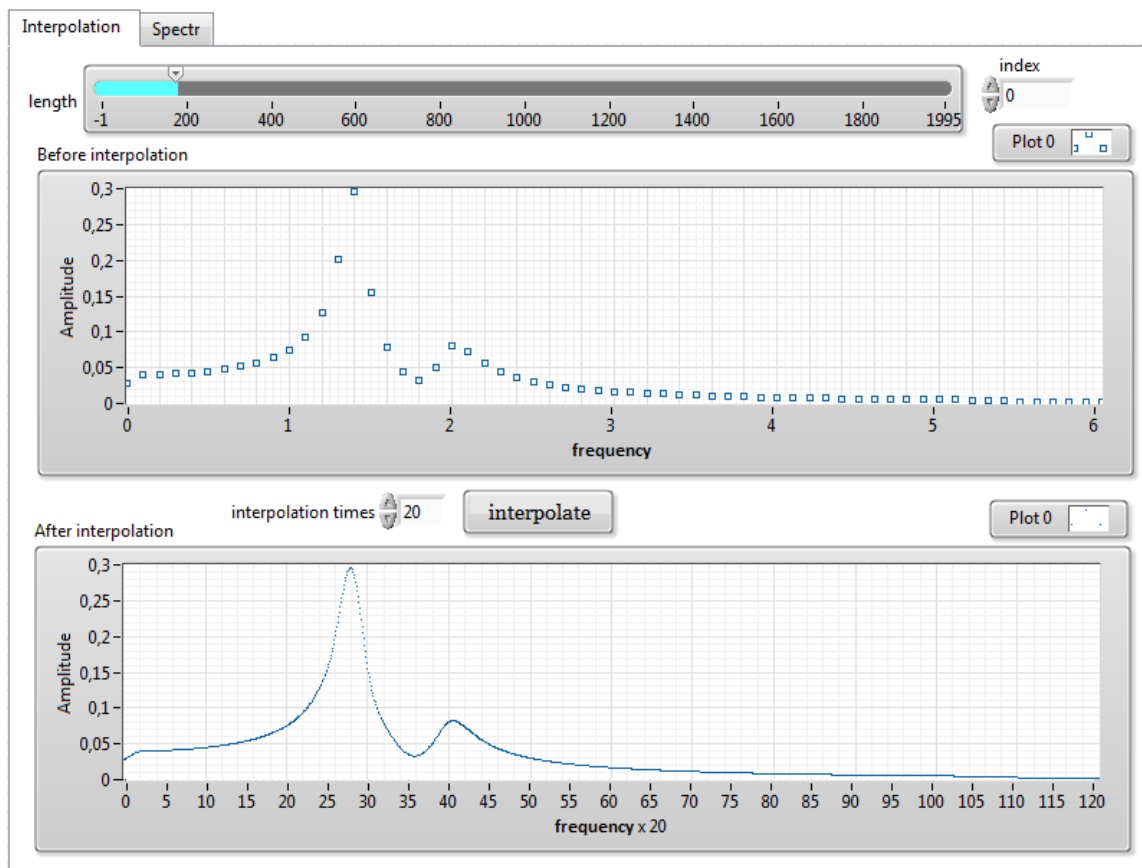


Рис. 3.2.16. Інформативна частина спектрограми до і після інтерполяції

Для апроксимації використано поліном третього порядку, що є найпростішою кривою, яка має точку перегину, що забезпечує її хороші інтерполяційні можливості. Кубічні сплайни мають на всьому відрізку апроксимації неперервні похідні до другого порядку. Така гладкість достатня

для вирішення більшості практичних задач. Невисока степінь полінома спрощує обчислення і зменшує похибку обчислення [69].

У зв'язку з тим, що основні гармоніки коливань надресорної частини та завад значно рознесені по спектру сигналу, визначення логарифмічного декременту затухань здійснюється без застосування фільтрації та інших алгоритмів цифрової обробки, що забезпечує відсутність спотворення характеристик параметрів вхідного сигналу.

3.5 Оцінка точності методів визначення демпфувальних характеристик гасників коливань рухомого складу

Для перевірки працездатності методів визначення логарифмічного декременту затухання зручно скористатися методом комп'ютерного моделювання. А саме здійснити обробку програмно синтезованого сигналу з заданою власною частотою та логарифмічним декрементом затухання, оскільки обробка сигналу з заздалегідь відомими параметрами дозволить наглядно продемонструвати точнісні характеристики методів [74]. Сигнал необхідно синтезувати з максимально наближеним спектральним складом до реального.

В якості прототипу при моделюванні було вибрано сигнал, що зареєстровано при імітації коливань бокового розхитуванні при установці клинів під колеса з лівого боку по ходу слідування вагону. Форма сигналу представлена на рис. 3.2.17.

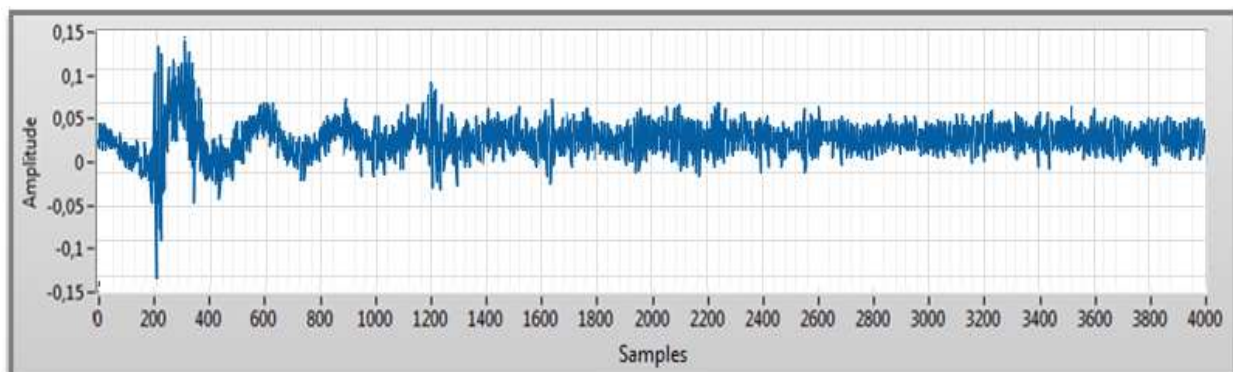


Рис.3.2.17. Осцилограма вхідного сигналу

Здійснивши аналіз спектру даного сигналу було виділено чотири складові гармоніки з найбільшою потужністю, а саме: основна інформативна гармоніка з частотою 1,4 Гц., друга за потужністю – 2-2,2 Гц., гармоніки з частотою 30-40 Гц. та шум, що відповідає частотному проміжку 170-180 Гц. Приклад реєстрації частоти гармонічної складової та її відповідної потужності наведено на рис. 3.2.18.

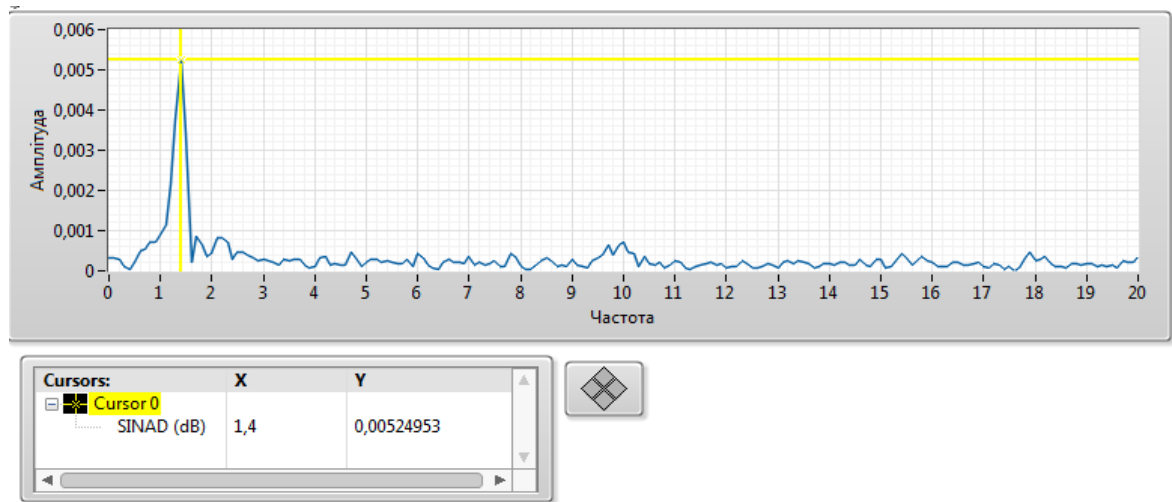


Рис. 3.2.18. Низькочастотна область спектрограми вхідного сигналу з індикатором частоти та потужності гармоніки

На основі даних вимірювань та відповідно до аналітичної моделі згенеровано тестовий сигнал (рис. 3.2.19), що являє собою адитивну суміш синусоїдальних складових з заданими частотами та амплітудами пропорційними потужності даних гармонік в спектрі реального сигналу.

$$A(t) = \sum_{i=1}^n A_i e^{-\beta_i t} \sin(\omega_i t + \psi_i) + \eta(t), \quad t \in [0, T_a], \quad T_a \gg \frac{1}{f_i},$$

де A_i - початкове значення амплітуди i -ї гармонічної складової;

β_i – коефіцієнт загасання i -ї гармонічної складової з частотою ω_i та початковою фазою ψ_i ;

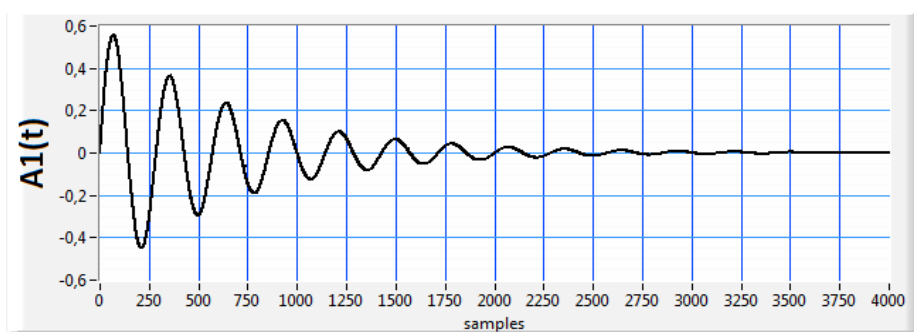
$\eta(t)$ – реалізація високочастотного шуму.

Вхідні дані для моделювання:

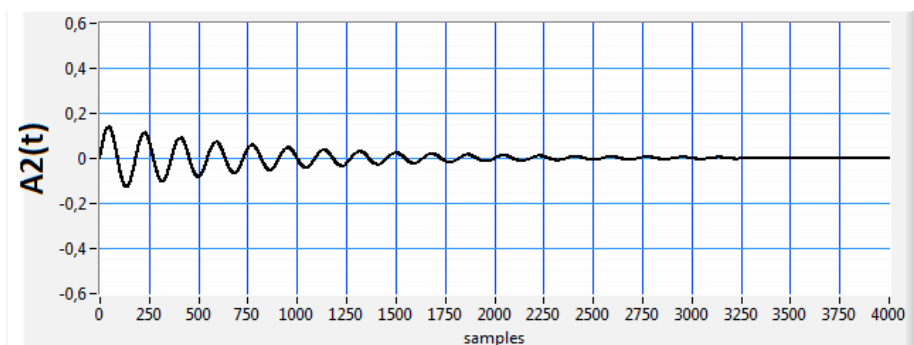
Тривалість реєстрації сигналу – $T_a=10$ сек.

Кількість точок для аналізу – $N_{\text{samples}} = 10 \text{ сек.} \times 400 \text{ Гц} = 4000 \text{ samples}$.

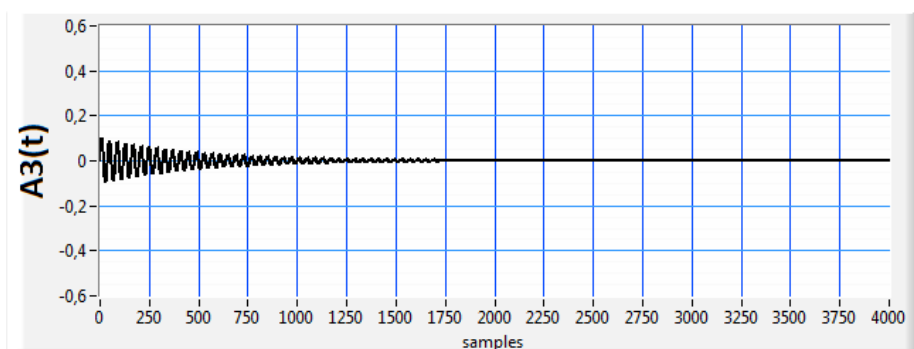
$$A_1 = 0,62 \text{ В.}$$
$$\omega_1 = 1,5 \text{ Гц.}$$
$$\beta_1 = 0,001499$$



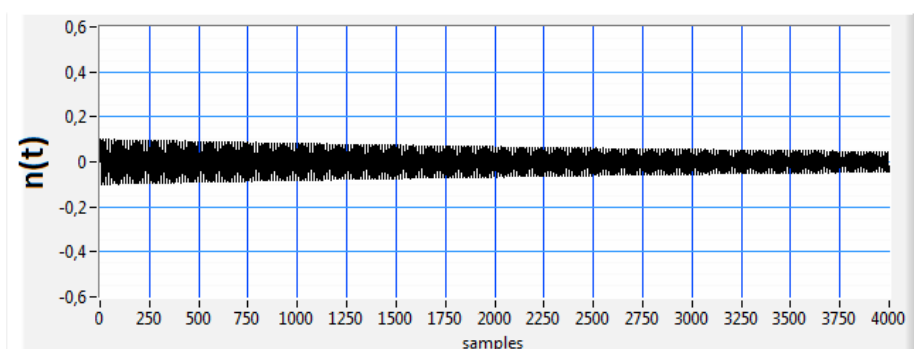
$$A_2 = 0,15 \text{ В.}$$
$$\omega_2 = 2,2 \text{ Гц.}$$
$$\beta_2 = 0,0012$$



$$A_3 = 0,10 \text{ В.}$$
$$\omega_3 = 10 \text{ Гц.}$$
$$\beta_3 = 0,002$$



$$\eta(t)$$



$$A(t)$$

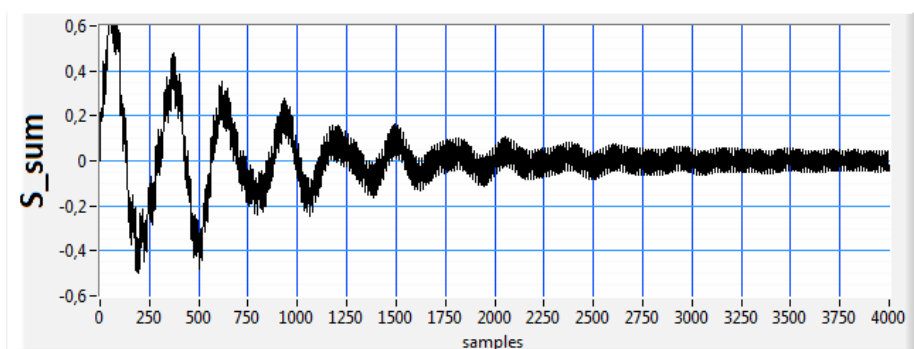


Рис. 3.2.19. Склад програмно змодельованого сигналу

Спектр синтезованого сигналу наведено на рис. 3.2.20.

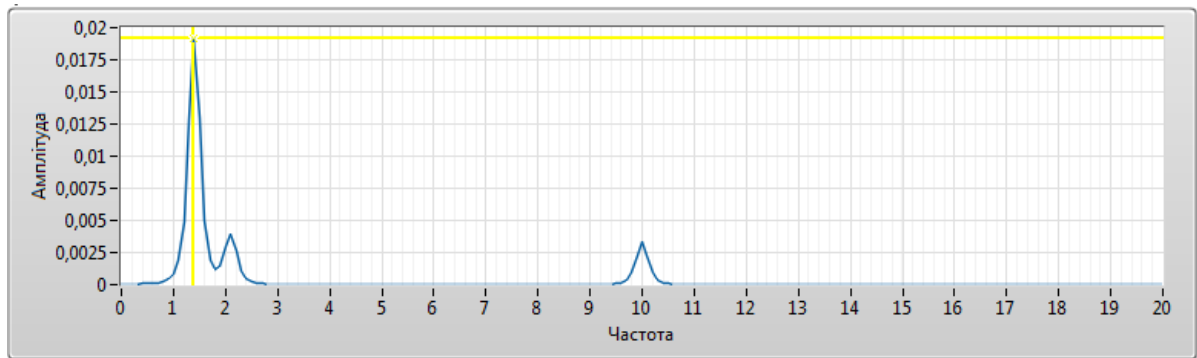


Рис. 3.2.20. Спектрограма програмно змодельованого сигналу

Згідно з методикою використання стандартного методу, для підвищення точності визначення логарифмічного декременту затухання, рекомендується здійснювати розрахунок по максимальній кількості послідовно слідуючих амплітудних значеннях сигналу. Для розрахунку можна використовувати амплітудні значення позитивних або негативних півхвиль сигналу. Таким чином досягається більша стабільність результату, адже шляхом усереднення по кількох амплітудних значеннях зменшується вплив спотворень сигналу на результат.

Результати вимірювання логарифмічного декременту затухання по програмно змодельованому сигналу стандартним та розробленим методами представлено в табл. 3.2 В програмному забезпеченні реалізована можливість визначення параметрів демпфування як за позитивними так і за негативними амплітудними значеннями сигналів, що підвищує точність прийняття діагностичних рішень, однак.

Обробку стандартним методом здійснено за максимальною кількістю позитивних та негативних амплітудних значень сигналу (півхвиль).

Таблиця 3.2

Результати оцінювання стандартного та запропонованого методів при вимірюванні логарифмічного декременту затухання

Задане значення логарифмічного декременту затухання при моделюванні							0,428
Метод вимірювання				Виміряне значення логарифмічного декременту			Відносна похибка, %
Розроблений метод				0,431			0,73%
Стандартний метод за позитивними півхвилями							
К-сть амплітудних значень для аналізу	2	3	4	5	6	7	8
Виміряне значення логарифмічного декременту	1,01	0,538	0,577	0,508	0,495	0,473	0,462
Відносна похибка, %	136,0	25,7	34,9	18,7	15,7	10,5	8,0
Стандартний метод за негативними півхвилями							
К-сть амплітудних значень для аналізу	2	3	4	5	6	7	8
Виміряне значення логарифмічного декременту	0,174	0,415	0,367	0,403	0,397	0,405	0,412
Відносна похибка, %	59,3	3,0	14,2	5,8	7,2	5,3	3,7

Графічне відображення результатів визначення логарифмічного декременту затухання та похибки розробленим та стандартним методами представлено на рис. 3.2.21 та рис. 3.2.22 відповідно.

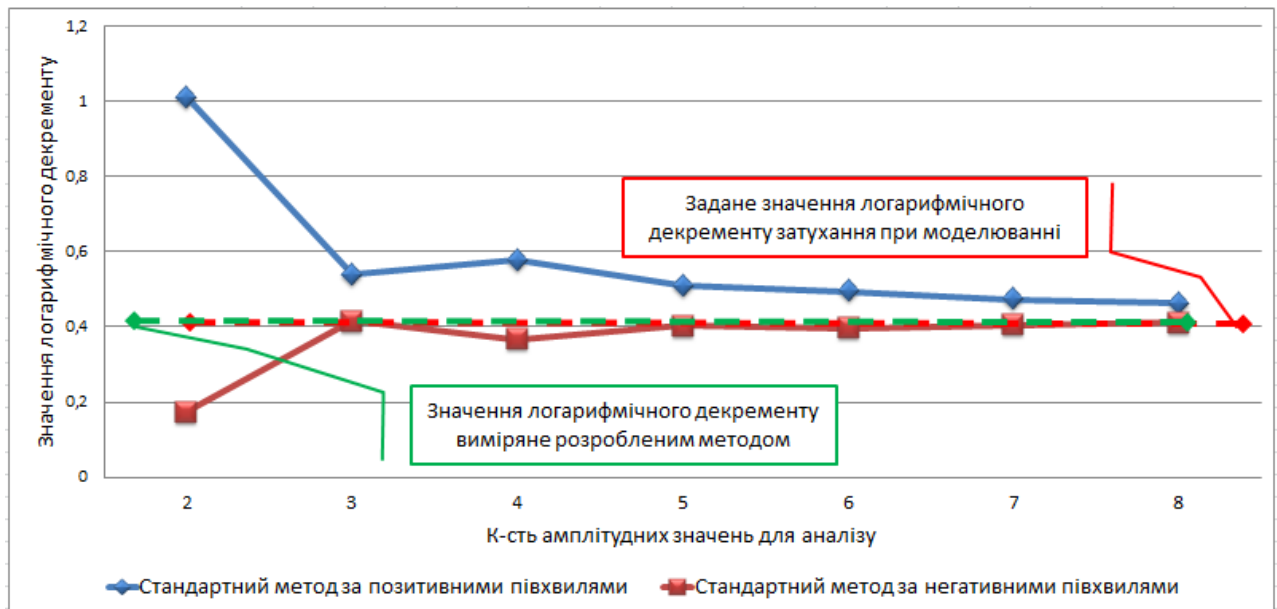


Рис. 3.2.21. Графічне відображення результатів визначення логарифмічного декременту згасання

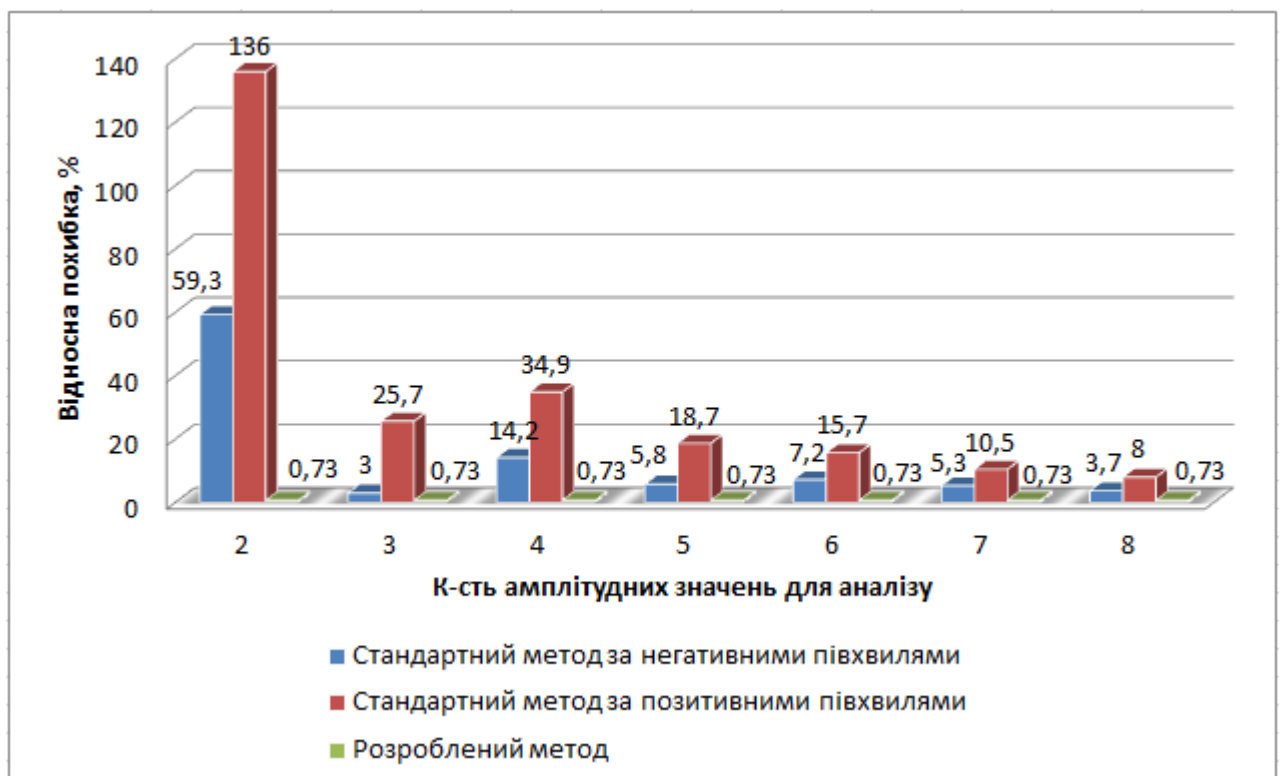


Рис. 3.2.22. Діаграма значень відносної похибки вимірювання логарифмічного декременту згасання при використанні стандартного та розробленого методів

Результати вимірювання власної частоти по програмно змодельованому сигналу стандартним та розробленим методами представлено в табл. 3.2.3.

**Результати оцінювання стандартного та запропонованого методів при
вимірюванні частоти**

Задане значення частоти сигналу при моделюванні, Гц						1,40	
Метод вимірювання		Виміряне значення частоти, Гц.				Відносна похибка,	
Розроблений метод		1,39				0,7%	
Стандартний метод за позитивними півхвилями							
К-сть амплітудних значень для аналізу	2	3	4	5	6	7	8
Виміряне значення частоти, Гц	1,27	1,42	1,36	1,43	1,39	1,38	1,40
Відносна похибка, %	9,3	1,4	2,9	2,1	0,7	1,4	0,0
Стандартний метод за негативними півхвилями							
К-сть амплітудних значень для аналізу	2	3	4	5	6	7	8
Виміряне значення частоти, Гц	1,29	1,31	1,38	1,35	1,41	1,38	1,41
Відносна похибка, %	7,9	6,4	1,4	3,6	0,7	1,4	0,7

Графічне відображення результатів визначення власної частоти та похибки розробленим та стандартним методами представлено на рис. 3.2.23 та рис. 3.2.24 відповідно.

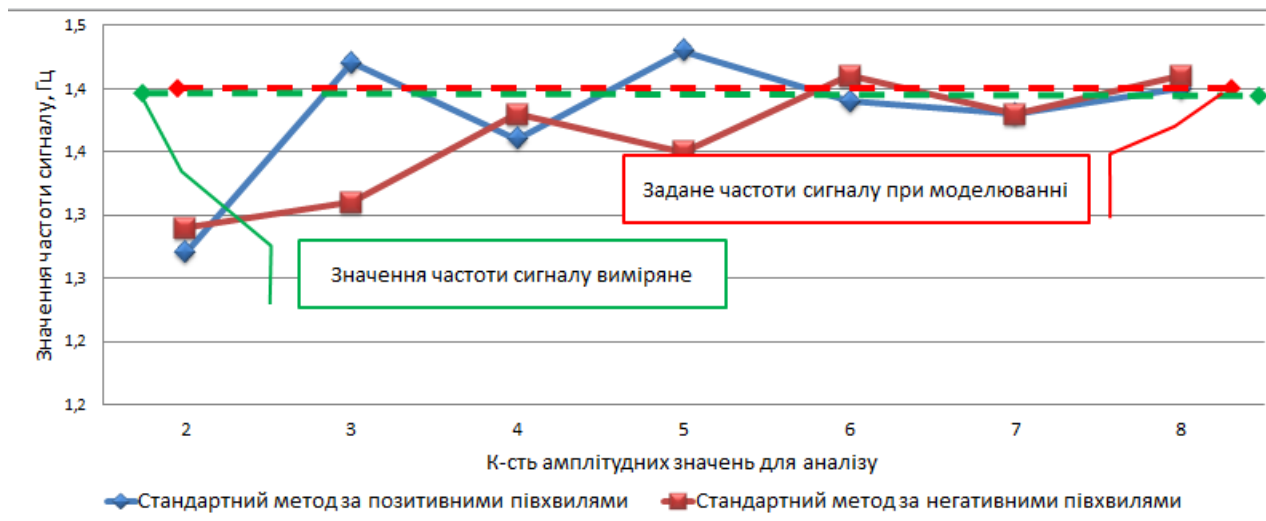


Рис. 3.2.23. Графічне відображення результатів визначення власної частоти

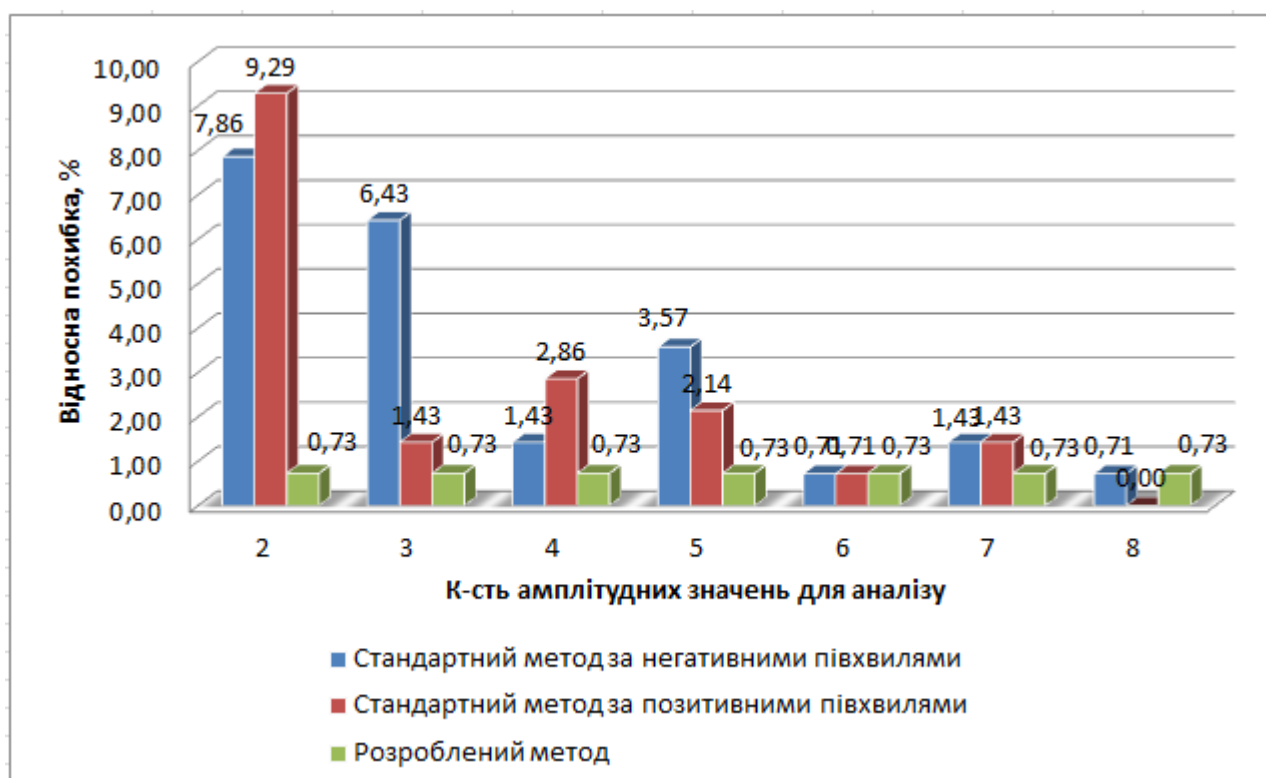


Рис. 3.2.24. Діаграма значень відносної похибки при застосування методів при вимірюванні частоти

Переконавшись, що правильність визначення результату запропонованим методом значно вища відносно існуючого, здійснено обробку експериментальних даних отриманих при спеціальних випробувань.

В табл. 4.2.4 та табл. 4.2.5 наведено результат обробки сигналів з двох дублюючих акселерометричних датчиків, що були встановлені на кузові

локомотиву при п'яти повторень експерименту по імітації коливань «галопування».

Таблиця 4.2.4

Результат розрахунку логарифмічного декременту затухання по сигналах з дублюючих каналів акселерометричних датчиків

Метод	№ експерименту	Логарифмічний декремент затухання					С.К.В.	Результат
		1	2	3	4	5		
Стандартний	Канал 1	0,464	0,262	0,190	0,410	0,360	0,111	$0,337 \pm 0,217$
	Канал 2	0,423	0,273	0,035	0,208	0,356	0,150	$0,259 \pm 0,294$
Запропонований	Канал 1	0,572	0,532	0,519	0,465	0,500	0,040	$0,518 \pm 0,078$
	Канал 2	0,597	0,529	0,538	0,467	0,542	0,046	$0,535 \pm 0,090$

Таблиця 4.2.5

Результат розрахунку власної частоти по сигналах з дублюючих каналів акселерометричних датчиків

Метод	№ експерименту	Частота					С.К.В.	Результат
		1	2	3	4	5		
Стандартний	Канал 1	1,303	1,246	1,250	1,246	1,290	0,067	$1,267 \pm 0,131$
	Канал 2	1,333	1,205	1,274	1,156	1,278	0,069	$1,249 \pm 0,135$
Запропонований	Канал 1	1,090	1,159	1,153	1,149	1,030	0,056	$1,116 \pm 0,109$
	Канал 2	1,090	1,157	1,153	1,150	1,030	0,054	$1,115 \pm 0,106$

Як видно з наведених даних, середньоквадратичне відхилення визначення логарифмічного декременту за стандартним методом складає 0,111 та 0,150 для першого та другого каналу відповідно. При обробці даних сигналів запропонованим методом середньоквадратичне відхилення становить 0,040 та 0,046 відповідно, що більш як в три рази менше відносно стандартного методу. При використанні стандартного методу максимальна різниця в визначенні

логарифмічного декременту затухання між дублюючими каналами на наведених даних становить 65,2 %, при використанні запропонованого методу дана різниця не перевищує 8,1 %, що свідчить про високу завадостійкість запропонованого методу. З даних представлених в табл. 2 видно, що максимальна різниця в визначенні частоти між дублюючими каналами при використанні стандартного методу становить 7,5 %, а при використанні запропонованого методу 0,2 %.

3.6 Програмна реалізація

Логарифмічний декремент затухання

Декремент затухання — величина, яка визначає швидкість зменшення амплітуди гармонічних коливань з часом при затуханні.

Коли гармонічні коливання затухають, значення змінної u , що їх описує, в момент часу t задається формулою

$$u = u_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \cdot \cos(\omega \cdot t - \varphi)$$

Тут λ — коефіцієнт затухання, u_0 — амплітуда в початковий момент часу, ω — частота коливань.

Коефіцієнт затухання має розмірність оберненого часу. Безрозмірна величина $\lambda \cdot T$, де $T = 2 \cdot \pi / \omega$ — період коливань називається логарифмічним декрементом затухання або просто декрементом затухання.

Величина декременту затухання для реальної коливної системи визначається властивими їй процесами дисипації енергії.

Миттєві значення коливань дорівнюють:

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\beta \cdot t} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot t / T - \varphi), (1)$$

Тут β — коефіцієнт затухання, A_0 — амплітуда в початковий момент часу, T і φ — період і фаза коливань відповідно.

Початкову фазу φ також зручно прив'язати до періоду коливань T , а саме:

$$\varphi = 2 \cdot \pi \cdot t_1 / T. (2)$$

Величина t_1 фізично дорівнює часу першого максимального амплітудного значення. Враховуючи це, формулу 1 можна переписати наступним чином:

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\beta \cdot t} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot (t - t_1) / T). (3)$$

Таким чином n -тий максимум амплітуди A_n наступатиме в наступні проміжки часу t_n :

$$t_n = (n - 1) \cdot T + t_1. (4)$$

При цьому значення A_n дорівнюють

$$A_n = A_0 \cdot e^{-\beta \cdot ((n-1) \cdot T + t_1)}. (5)$$

Якщо розглянути відношення максимальних амплітуд під номерами n і $n+j$, то можна написати такі співвідношення

$$\frac{A_n}{A_{n+j}} = \frac{A_0 \cdot e^{-\beta \cdot ((n-1) \cdot T + t_1)}}{A_0 \cdot e^{-\beta \cdot ((n+j-1) \cdot T + t_1)}} = e^{j \cdot \beta \cdot T} (6),$$

$$\ln \frac{A_n}{A_{n+j}} = j \cdot \beta \cdot T (7).$$

З останньої формули можна вивести практичну формулу розрахунку логарифмічного декременту затухання δ ,

$$\delta = \frac{1}{j} \cdot \ln \frac{A_n}{A_{n+j}} (8).$$

Для оцінки величини логарифмічного декременту затухання δ

використовується математичне очікування $\bar{\delta}$ ряду послідовних обчислень безпосередніх вимірювань за формулою 8.

$$\bar{\delta} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \delta_i,$$

де n – кількість членів ряду.

Оцінка точності вимірювання даної величини робиться на основі розподілення Стюдента, оскільки кількість вимірювань невелика і дорівнює 5. Для цього обчислюється середньо–квадратичне відхилення за звичайною формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\delta_i - \bar{\delta})^2}$$

Довірчий інтервал $\tilde{\sigma}$ при цьому дорівнює:

$$\tilde{\sigma} = r \cdot \sigma$$

де коефіцієнт r залежить від заданої довірчої ймовірності p і кількості членів ряду n . Значення коефіцієнту r для деяких значень p наведені в таблиці нижче.

p	N								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.9	2.92	2.35	2.13	2.02	1.94	1.89	1.86	1.83	1.81
0.95	4.30	3.18	2.78	2.57	2.45	2.36	2.31	2.26	2.23
0.99	9.92	5.84	4.60	4.03	3.71	3.50	3.36	3.25	3.17

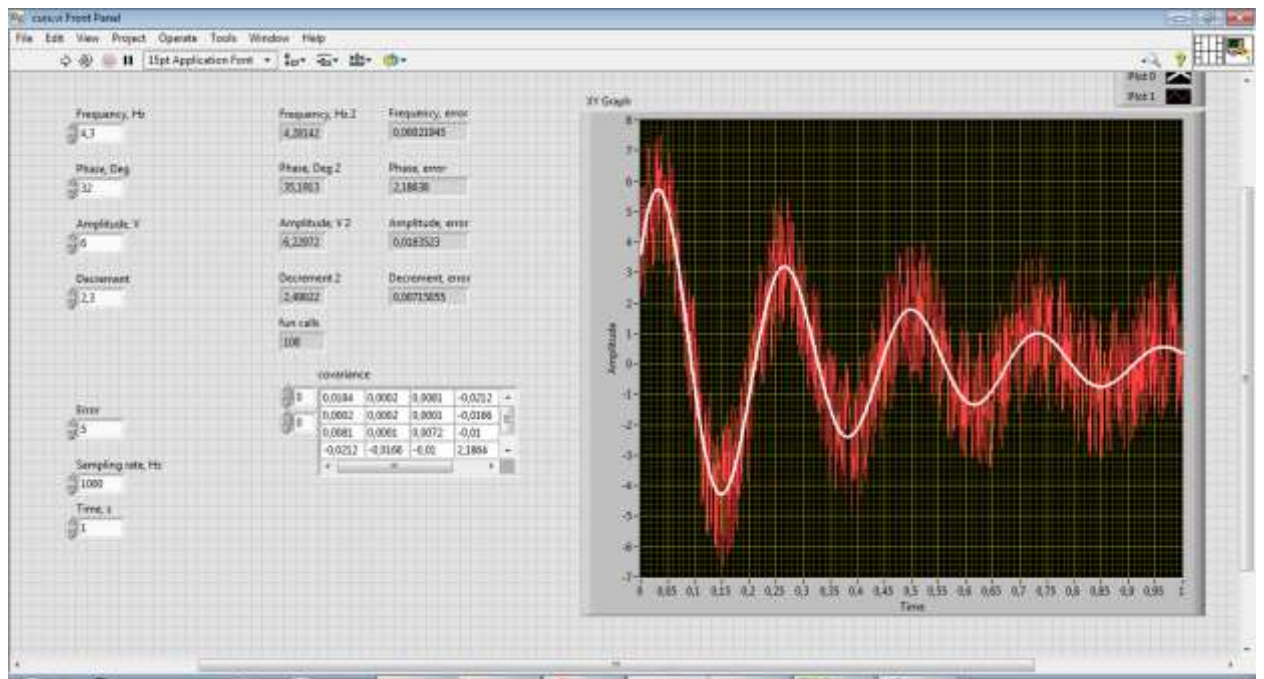


Рис. 5.1.

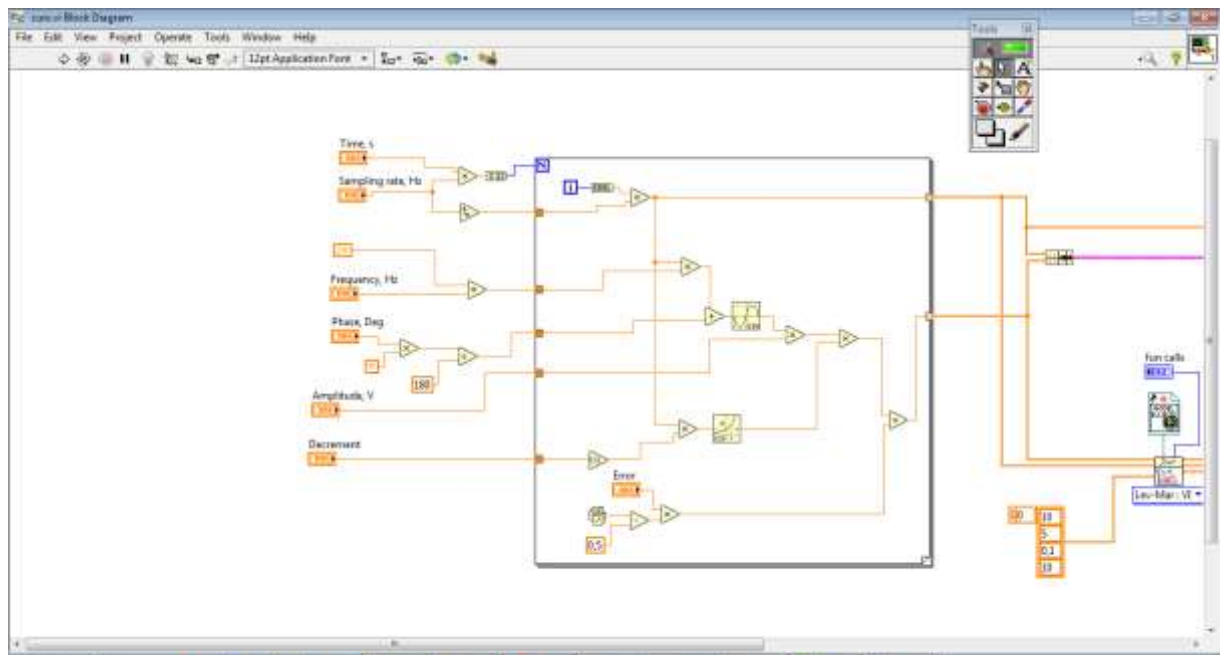


Рис. 5.2.

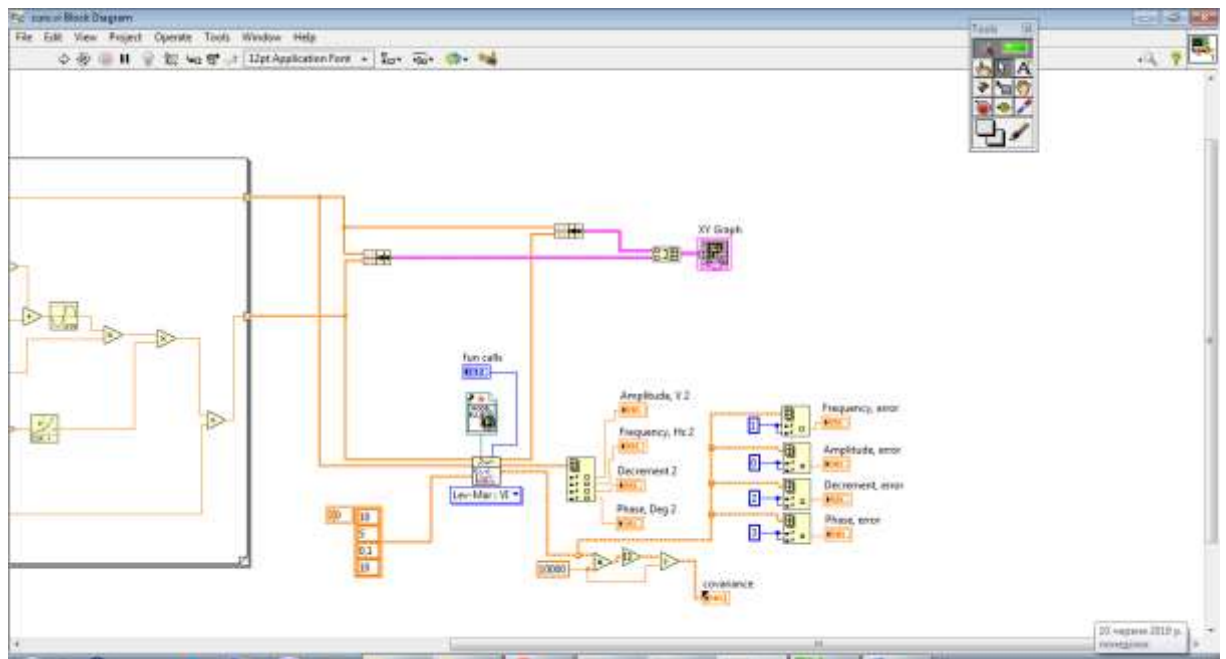


Рис. 5.3.

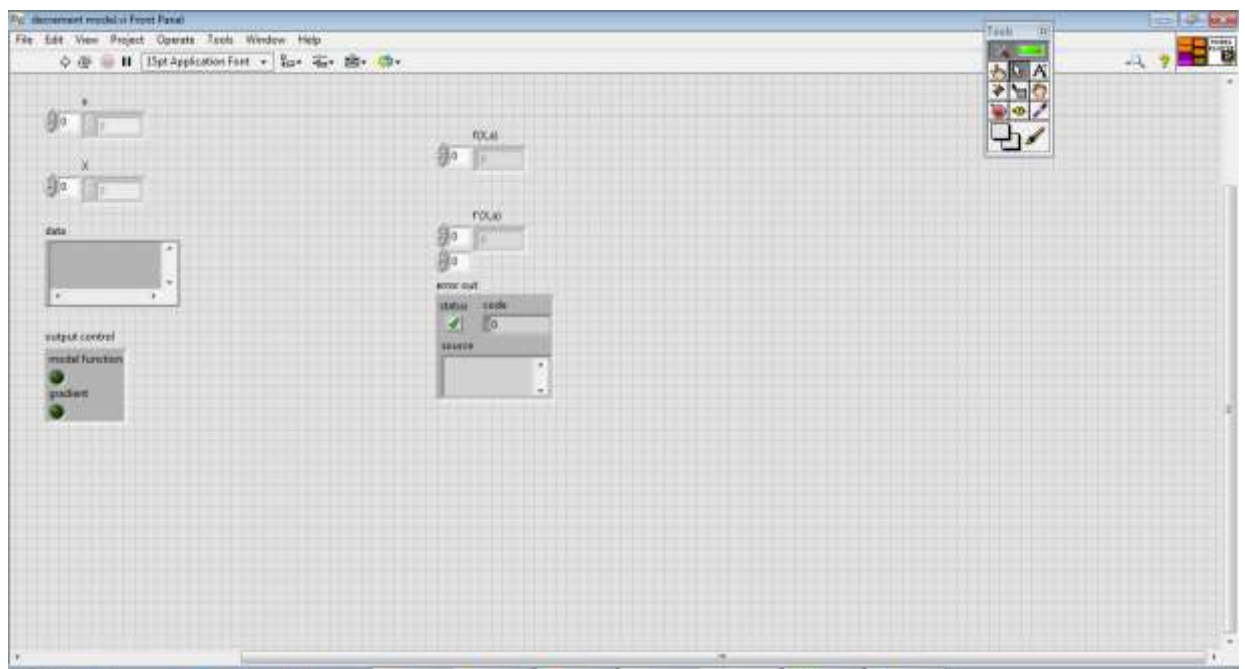


Рис. 5.4.

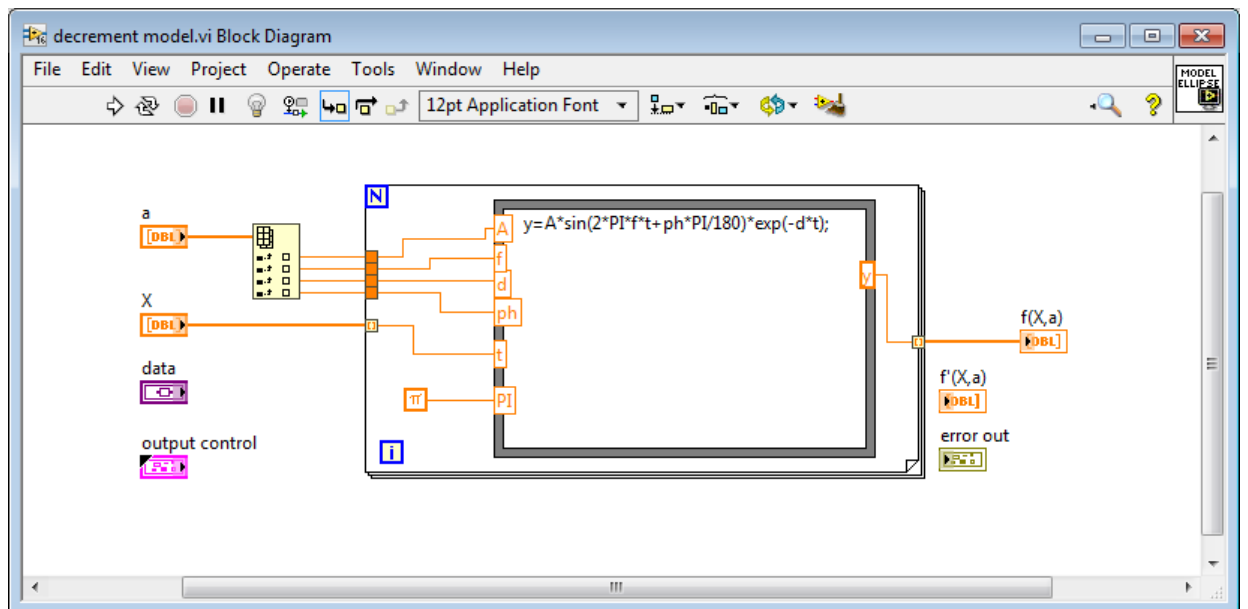


Рис. 5.5.

3.7 Алгоритм программного обеспечения



РОЗДІЛ 4

СТАРТАП-ПРОЕКТ

1. Опис ідеї проекту

Розглянувши в попередніх розділах вплив коливань на тягово-рухомий склад в цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту підсистеми діагностування демпфувальних характеристик гасників коливань рухомого складу.

Ідея проекту полягає у розробці вимірювального пристрою який вимірює всі відомі типи коливань у тягово-рухомому складі, що уточнено наведено в табл.

У таблиці 5.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 5.1. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Пристрій для вимірювання коливань	Вимірювання коливань	Прискорення розрахунків
	Вимірювання загасаючих коливань	Підвищена точність

Отже, пропонується новий спосіб вимірювання коливань за допомогою пристрою в математичному апараті якого використовується сплайн-інтерполяція яка дозволяє отримати найточніші результати. Розроблений метод визначення демпфувальних характеристик гасників коливань рухомого складу з поліпшеними метрологічними характеристиками

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

– визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;

Термін використання — 30 років, протиударний корпус,

Частота власних коливань рухомого складу: діапазон 0 – 20Гц. $\delta = 5\%$;

Декремент затухання коливань: 0,2 – 2,0. $\delta = 5\%$.

– визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

Вібродіагностичний комплекс «ОМСД»

Вібродіагностичний комплекс на базі СМ-3001

– проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 5.2).

Таблиця 5.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/ п	Техніко- економічні характерис- тики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторон а)	N (нейтра - льна сторона)	S (сильна сторон а)
		Мій проект	Конку- рент1 ОМСД	Конку- - рент2 СМ- 3001				
1.	Вартість програмного забезпечення	3000гр н	3500грн	4000гр н.		+	+	-
2.	Вартість комплектуючих	5000гр н	40000гр н	5000гр н		+	+	-
3.	Вартість корпусу	300грн	4000грн	1000гр н		+	+	-
4.	Вартість	500грн	5000грн	500грн		+	+	-

	обслуговування (за рік)							
5.	Вартість спожитої електроенергії(з а рік)	50грн	458грн	24грн		-	+	-
6.	Вартість ремонту	500грн	6000грн	500грн		+	+	-
7.	Торгова марка	“GK”	“LK”	“GGG”		+	+	+

Мій продукт є цілком конкурентно спроможним на ринку вимірювання затухаючих коливань. Це видно з того що в таблиці техніко-економічних характеристик ідеї вимірювальний пристрій займає 5 лідируючих фінансових позицій з 6-ті. Також він найкомпактніший та зроблений у проти ударному корпусі.

Таблиця 5.2.1 Морфологічна карта

Представлені рішення основних проблем

Важливі параметри	Проміжні рішення				
	1	2	3	4	5
Вимірювання електричного струму	Цифрове	Аналогове	-	-	-
Матеріал корпусу	Пластик	Метал	Алюміній	-	-
Система	Магнітоелектрична	Електромагнітна	Електродинамічна	Термоелектрична	-

Данні рішення є економічно доцільним та не понесуть великих затрат.

2. Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології (мови програмування), за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту. Тестовий макет розроблений в середовищі LabView. Сам пристрій запрограмовано мовою асемблер. Я є автором ідеї. Розробка фінансується завдяки бізнес ангелам. Продукт відмінно проявляє себе в реальних умовах при застосуванні його на практиці для визначення затухаючих коливань. Ті конкуренти які у даний час наявні на ринку не представляють економічної та фінансової загрози через низьку технологічну якість свого товару, та завищену ціну.

Через надлишок фінансування передбачається стрімкий зріст у технічному плані та методах вимірювання спрямовані на збільшену точність.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проєк- ту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність техно- логій
1.	Визначити коефіцієнт затухаючих коливань	LabView	Платна підписка	Доступна для Win XP та новіших версій
	використовуючи метод сплайн- інтерполяції	Assembler	Вільний доступ	Доступна для віртуальних машин
Обрана технологія реалізації ідеї проєкту: Сплайн-інтерполяція				

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок що наш проект буде використовувати найточніший метод для визначення затухаючих коливань. Також для зручності демонстрації було обрано візуальну середу розробки

LabView, а для зручності програмування мову Assembler програми на якій займають менше оперативної та постійної пам'яті.

3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартаппроекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Це дозволяє визначити час до точки беззбитковості та передбачити дії конкурентів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 5.4).

Таблиця 5.1. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/ п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	60000 / 10
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Ринок перебуває в стагнації через низький попит на продукцію
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутність державної сертифікації
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	КД, UIC
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	50

Через те що рентабельність відносно висока то в точку беззбитковості ми вийдемо дуже скоро. Також мала конкуренція дозволить диверсифікувати продукцію без страху перед ходом у відповідь від конкурентів. Єдина проблема це відповідність продукції до Європейської та Української стандартизації.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.5).

Таблиця 5.2. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1 2 3	Адекватна ціна Швидка доставка Надійність товару	Підприємства по ремонту, та виготовленню вагонів та поїздів.	Замовлення додаткових партій, Повернення товару якщо виявлено брак.	Точність Надійність Дешевизна

Товар задовольняє потребу що формує ринок а саме має конкурентно-спроможну ціну, швидку доставку поштовими службами по Україні та за її межами, відповідає стандартам ДСТУ. Та задовольняє вимоги споживачів є — точним, надійним, відносно дешевим.

При застосуванні даної технології існують певні загрози. (таблиця 5.6). Так як товар в основному призначений для підприємств типу УЗ то існує проблема з його доставкою по території України, також у конструкції не передбачена волого не проникність.

Таблиця 5.3. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Невчасна доставка	Товар прибуде пізніше домовленої дати	Зменшення вартості
2.	Бракований товар	Товар з внутрішніми	Заміна товару

		пошкодженнями	
3.	Підробка	Товар підроблений іншими підприємствами	Позов до суду на компанію виробника
4.	Проблеми з ПО	Не встановлена ОС	Встановлення ОС
5.	Пошкодження упаковки	Товар прибуде у пошкодженій упаковці	Заміна упаковки

Знайдено вирішення найбільш можливих факторів загроз, а саме невчасна доставка, бракований товар, підроблений товар, проблеми з ПО, пошкодження упаковки. Це задовольнить покупця та не призведе до повернення коштів.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 5.7).

Таблиця 5.4. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Розширення ринку на інші континенти	Продаж товарів на інших континентах	Набір додаткового персоналу
2.	Додаткове ПО	Написання та встановлення додаткових програм	Залучення програмістів відповідного рівня та профілю
3.	Додаткові датчики	Додання додаткових чутливих сенсорів	Додаток до продукції необхідних датчиків
4.	Оптові акції	Акції на зразок $1+1=3$	Посиленний збут продукції
5.	Додаткові комплектуючі	Додаток до комплекту поставки необхідних деталей	Додання необхідних комплектуючих на замовлення

Компанія пропонує наступні можливості: розширення ринку на інші континенти, додаткове ПО, додаткові датчики, оптові акції та додаткові комплектуючі.

Так як це відносно екзотичне направлення то конкуренцію складають поодинокі мало розрекламовані підприємства на державному утриманні. У Європі ситуація така сама.

Таблиця 5.5. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Державне фінансування	Основний дохід організації йде від держави	Гроші від інвесторів
Відсутність передових технологій	Використовується застаріле обладнання та техніка	Підприємство обладнано новішими технологіями
Відсутність роботи за примусом	Ніхто не змушує робити працівників товар який є прямим конкурентом	Не цілеспрямована робота колективу
Ненадійний поставник комплектуючих	Товар від маловідомих компаній	Частий брак продукції
Проблемна доставка	Нема прямих домовленостей зі службою доставки	Різні проблеми з доставкою
Відсутність мікроменеджменту	Слабка командна робота	Затримки у виробництві

Зважаючи на основні вади конкурентів а саме — державне фінансування, відсутність передових технологій та відсутність цілеспрямованої роботи, ринок не представляє серйозної конкурентної загрози та боротьби. Всі слабкі сторони на ринку компенсує діяльність компанії направлена проти них.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 5.6. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	“Новороссійськприлад” “Київточелектроприлад”	“Самараелектроприлад”	Китай Японія США	Залізничні організації	Акселерометр
Висновки:	Мало конкурентів	Треба дізнатись про конкурента	Провідні країни світу	Вузьке коло споживачів	Просто замінити

Вузьке коло конкурентів “Новороссійськприлад”, “Київточелектроприлад” та потенційних конкурентів “Самараелектроприлад” робить товар простим у збуті.

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності.

Так як ці датчики буде виробляти приватна фірма, а не конвеєр на заводі то відповідно буде підвищена надійність виробляємої продукції та її характеристики.

Таблиця 5.7. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Приватне фінансування	Відсутність нехватки коштів
2	Метрологічна перевірка товару	Мінімальна вірогідність бракованого товару
3	Новітній дизайн	Зручний дизайн товару спроектований модельєром
4	Зручне ПО	Зрозуміле ПО, легке при роботі з пристроєм
5.	Надійні постачальники	Постачальники компанії всесвітнього рівня

Таблиця 5.8. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «DUST_METER»

№ п/ п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з METER_Kompany						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Наявність патентів	16	+						
2	Велика кількість постачальників	15				+			
3	Висока якість	17	+						
4	Технічна підтримка	19		+					
5.	Ціна	14						+	

З таблиць 5.10 та 5.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при впровадженні нового програмного забезпечення для розрахунку затухаючих коливань. Основною перевагою та головним досягненням є висока якість продукту та технічна підтримка на протязі всього терміну його використання споживачем.

Таблиця 5.9. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Збільшення продаж; 2. Отримання державних замовлень на отримання послуг; 3. Розширення ринку за рахунок іноземних замовників; 4. Збільшення асортименту товарів. 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Цінова конкуренція в зв'язку з появою нових гравців на ринку. 2. Брак який може призвести до повернення коштів. 3. Політичні та економічні ризики ведення бізнесу; 4. Втрата потенційних клієнтів через недостатню рекламу продукту; 5. Зменшення продажів через несвоєчасне виконання замовлень.

На основі SWOT-аналізу робимо висновки:

Сильні сторони (S): Мала конкуренція, надійні матеріали, надійна перевірка товару.

Слабкі сторони (W): Відсутність реклами, бракована продукція.

Можливості (O): Вихід на ринок на інших континентах, розширення асортименту товарів.

Загрози (T): Нові конкуренти, заміна рейок на нові аналоги.

Таблиця 5.10. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз	Висока	1 місяць

	сильними сторонами стартапу		
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Висока	2-3 місяці
3	Стратегія виходу з ринку	Висока	5 місяців

З зазначених альтернатив обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 5.11. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
	Залізні дорожні компанії	Висока	1000 шт./ рік	Низька	Простий вхід у сегмент
Які цільові групи обрано: Інженери залізно дорожних підприємств					

--

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи інженери залізно дорожних служб .

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку. Під час аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення що компанія буде працювати із з компаніями.

Таблиця 5.12. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/ п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспромо жні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
	Підсилення сильних сторін стартапу за рахунок можливостей інвесторів	Ускладнений недиференційо ваний маркетинг	Якісний продукт, до якого прихильні споживачі, постійні інновації.	Стратегія розвитку

За рахунок покращення сильних сторін стартапу за кошти інвесторів та завдяки стратегії недиференційованого маркетингу і розвитку споживачі будуть отримувати якісний продукт який постійно буде оновлюватись щоб відповідати умовам ринку.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.16).

Таблиця 5.13. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів,	Чи буде компанія копіювати основні	Стратегія конкурентної поведінки*
----------	--	--	---	---

		або забирати існуючих у конкурентів?	характеристики товару конкурента, і які?	
1	Ні	Буде проводитись пошук нових споживачів, та налагодження контактів зі споживачами конкурентів	Не буде копіювати тому що має найкращі характеристики на ринку	Партизанська війна

Завдяки тому що товар не є першопрохідцем на ринку є змога навчатись на помилках конкурентів. Також найкращі технічні характеристики на ринку дають змогу не вести оборонну війну. Основна діяльність компанії буде націлена на пошук нових клієнтів.

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект

Таблиця 5.14. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувані комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Мала похибка, Вдосконалення	Стратегія всесторонньої диверсиф	Висока якість продукту. Формування лояльності і	Якість. Ціна. Зворотній зв'язок із виробником.

	продукту враховуючи побажання споживачів	ікації	прихильності споживачів, підтримка покупців.	Технічна підтримка.
--	---	--------	---	---------------------

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку

5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 5.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.15. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1 2	Надійність Точність	Протиударний корпус, найновіша методика півірки	Компактність, не висока ціна, надійність, точність та зручність.

Товар поєднує в собі надійність та точність яка необхідна для зручності роботи з приладом та зняття необхідних даних. Товар технічно найкращий у своєму сегменті відповідає стандартам Європи та України, екологічно чистий та безпечний у використанні.

Таблиця 5.16. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Прилад для вимірювання затухаючих коливань, у зручному корпусі.		
II. Товар у реальному	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1.Довговічність (10 років	М	Тх

виконанні	гарантія)	Нм	Тх
	2.Точність 0,01	М	Тх
	3.Низьке енергоживлення	М	Тх
	4.Кнопочний інтерфейс	М	Тх
	5. Протиударний корпус		
	Якість: відповідає нормам ДСТУ2499:2017		
	Пакування: Коробка з товаром.		
	Марка: “Інновація”		
ІІІ. Товар із підкріпленням	До продажу з додатковими дротами для підключення		
	Після продажу без дротів		

Прилад для вимірювання затухаючих коливань, у зручному корпусі зроблено так як було заплановано у технічному завданні та конструкторській документації. Його основні особливості це протиударний корпус, висока точність вимірювань та непоганий показник довговічності.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 5.20).

Таблиця 5.17. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	30 грн.-600грн.	3650 грн.- 6000грн.	15000грн.	300 грн.-9000грн.

Товар відмінно вписується в плато спроможні рамки свого цільового сегменту.

Також ціна є конкурентно спроможною в порівнянні з аналогами.

Таблиця 5.18. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Нова закупівля	Транспортування	Інвестиції роблять канал глибоким	Стратегія збуту і розподілу продукції

Так як специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів в основному нова закупівля то часто доведеться робити перевірки товару на надійність та точність для кожного представника фірми що буде купувати товар. Для цього на підприємстві буде розроблений спеціальний стенд для демонстрації характеристик товару у дії.

Таблиця 5.19. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Закупівля товару який пропонує найкращий показник ціна якість	Телефони, електронна пошта, власні контакти	метод, заснований на реалізації певних переваг товару і задоволенні специфічних потреб	Донести до споживача, що товар є надійним та точним	Цей товар найточніший на ринку, приїжджайте та переконайтесь в цьому самі

Результатом даного підпункту є підтвердження того факту, що товар є найкращим на ринку на даний момент. В особливості за показником ціна якість. Підприємство не концентрує зусилля на рекламі через малу величину ринку. Основна реклама очікується від “сарафанного радіо”.

Таблиця 5.23. Команда

Посада	Стаж на такій самій або аналогічній позиції	Основні задачі	Кількість працівників
Лідер	5 років	Керування всіма сферами проекту	1
Управляючий технічною командою	2 роки	Пошук інноваційних технологій та управління роботою команди	1
Технічна команда	21 років	Створення продукту, впровадження інновацій	5
Медіа спеціалісти	12 років	Пошук нових каналів збуду, розповсюдження інформації про продукт	2

Команда створена за принципом менше людей — ефективніша робота. Для

роботи націленої на результат.

Таблиця 5.24. Витрати(на 1000од. продукції)

Вид витрат	Сума витрат, грн.
Фіксовані витрати	150 000
Змінні витрати	14 000
Економія на масштабі	50 000
Ефект диверсифікації	100 000

Фіксовані витрати на комплектуючі товари. Змінні витрати на доставку та заміну браку. Завдяки збільшенню об'єму виробництва очікується додатково отримати 50тис. гривень, а при застосуванні стратегії горизонтальної диверсифікації ще 100 тис. гривень.

6. Висновки

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту можна зробити висновок що запропонований спосіб вимірювання коливань за допомогою пристроя в математичному апараті якого використовується сплайн-інтерполяція яка дозволяє отримати найточніші результати можна вважати економічно доцільним та прибутковим. Використаний метод визначення демпфувальних характеристик гасників коливань рухомого складу призводить до суттєвого поліпшеними метрологічними характеристиками вимірювального пристрою. Найсильніша сторона проекту це приватне фінансування в достатньому обсязі, що дозволяє одразу впроваджувати нові способи та технології найточнішого вимірювання в галузі. Повна відсутність конкурентів з власним фінансуванням призводить до лідируючих технологічних позицій мого стартап проекту.

Прилад для вимірювань затухаючих коливань зроблений у зручному

протиударному корпусі та у відповідності з конструкторською документацією. Його основний сегмент ринку це залізничні компанії України та Європи. З проведених досліджень видно, що його ціна ідеально вписується в цей сегмент ринку. Також не доведеться проводити спеціальні рекламні кампанії для цього товару, товар стане відомим завдяки покупцям які про нього будуть розповідати іншим потенційним покупцям. З основних недоліків можна зазначити цінову конкуренцію в зв'язку з можливою появою нових гравців на ринку, поставка бракованого продукту за який доведеться повертати кошти, політичні та економічні ризики ведення бізнесу, втрата потенційних клієнтів через недостатню рекламу продукту, зменшення продажів через несвоєчасне виконання замовлень.

ВИСНОВКИ

4.1. На основі проведених експериментів було визначено, що обчислення логарифмічного декременту затухання в частотній області дозволяє здійснювати визначення демпфувальних параметрів з похибкою, що не перевищує 1%. В свою чергу в стандартному методу не передбачена можливість врахувати параметри реального сигналу, а саме його полігармонічну природу, що призводить до спотворення результату розрахунку значення логарифмічного декременту та частоти коливань конструкції. Також виходячи з фізичного змісту логарифмічного декременту затухання доцільно здійснювати його розрахунок по відношенні до коливань з певною частотою, тобто по відношенні до однієї гармоніки. Саме в такому вигляді даний параметр визначається в частотній області.

На відміну від запропонованого методу в стандартному методі знайдене значення логарифмічного декременту виступає певним інтегральним параметром полігармонічного сигналу, фізичний зміст не виступає чіткою характеристикою роботи демпфувальної системи.

4.2. Запропонований метод дозволяє проводити розрахунок логарифмічного декременту по найпотужнішій гармоніці, що завжди відповідає коливанням конструкції локомотиву чи вагону. Це дозволяє значно знизити вимоги до якості реєстрації сигналів та спростити процес випробувань.

4.3. На основі проведеного аналізу досліджуваного процесу, розроблено математичну модель та відповідне програмне забезпечення, що дозволило оцінити точність стандартного та запропонованого методів. Експериментально підтверджено, що відносна похибка визначення логарифмічного декременту затухання запропонованим методом в рази менша відносно обчислень стандартним методом.

4.4. Розроблене програмне забезпечення дозволяє дослідити природу коливань досліджуваного об'єкта та здійснити визначення параметрів демпфування реальних об'єктів. Здійснено обробку реальних даних

випробувань по скиданні з клинів пасажирського вагону та локомотиву ЧС8.

4.5. Завдяки високій чутливості та завадостійкості запропонованого методу, відкривається можливість дослідити демпфувальні властивості об'єктів діагностики по побічних осях функціонування гасників та оцінити реальний стан демпфувальної системи в умовах максимально наближених до експлуатаційних.

Список використаної літератури

1. Шегедін П. А. Інформаційно-вимірювальна система безеталонної діагностики віброакустичним методом / А. В. Переїденко, В. С. Єременко, В. В. Нечипорук, П. А. Шегедін. // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – № 6/8(48). – С. 4–8.

2. Шегедін П. А. Система діагностування демпфірувальних характеристик вагонів / Р. С. Дьомін, Є. Ф. Суслов, А. В. Мостович, П. А. Шегедін. // Збірник наукових праць Української Державної академії залізничного транспорту. – 2011. – Випуск 123. – С. 99–107.

3. Шегедін П. А. Моделювання інформаційних сигналів при вирішенні задач безеталонної діагностики композиційних матеріалів / А. В. Переїденко, В. С. Єременко, П. А. Шегедін // Наукоємні технології. – 2011. – № 3–4(11–12). – С. 39–44.

4. ДСТУ 1.7:2001. Правила і методи прийняття та застосування міжнародних і регіональних стандартів (ISO/IEC Guide 21:1999, NEQ). – Київ: Держспоживстандарт України, 2003. – 200 с.

5. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). Утверждены МПС РФ, 1996 год, [действуют с 01.07.1996 года]. – Москва: ГосНИИВ, ВНИИЖТ, 1996. – 317 с.

6. РД 24.050.37-90 «Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества». – М.: ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1990. – 37 с.

7. НБ ЖТ ЦВ 01-98. Вагоны грузовые железнодорожные. Нормы безопасности.

8. НБ ЖТ ЦЛ 01-98. Вагоны пассажирские железнодорожные. Нормы безопасности.

9. СОУ МПП 45.060-203:2007. Вагони пасажирські. Вібрація. Методи визначення та оцінювання [Текст]. – На заміну ОСТ 24.050.28-81 ; Чинний з

2008.04.01. – [Б. м. : б. и.]. – 20 с.

10. ОСТ 24.050.18-82. ССБТ. Вагоны пассажирские и рефрижераторные. Шумовые характеристики. Нормы и методы измерения. – Введён с 1.01.1984, взамен РТМ 24.050.18-76. – 36 с.

11. СОУ МПП 45.060-204:2007. Вагони пасажирські. Плавність руху. Методи визначення [Текст]. На заміну ОСТ 24.050.1685; Чинний з 2008.04.01. [Б. м. : б. в.]. – 12 с.

12. ДСТУ 4045-2001. Візки вагонів пасажирських магістральних локомотивної тяги. Загальні технічні умови. – Київ: Держспоживстандарт України, 2001. – 27 с.

13. ДСТУ 4049-2001. Вагони пасажирські магістральні локомотивної тяги. Вимоги безпеки. – Київ: Держспоживстандарт України, 2001. – 46 с.

14. ДСТУ UIC 513:2004. Вагони магістральні пасажирські. Настанова з оцінення комфорту пасажирів залежно від вібрації (UIC 513:1994, IDT). – Київ: Держспоживстандарт України, 2001. – 32 с.

15. ДСТУ UIC 527-1:2007. Вагони пасажирські, багажні та вантажні. Розміри буферних тарілок. Розміщення колії в S-подібних кривих (UIC 527-1:2005, IDT). – Київ: Держспоживстандарт України, 2001. – 15 с.

16. Рухомий склад залізниць. Габарити рухомого складу. Методи визначення габаритних розмірів. СОУ МПП 45.060-252:2008 [Текст]. – 124 с.

17. UIC 518. Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour — Safety — Track fatigue — Ride quality (Рейковий рухомий склад. Ходові та приймальні випробовування щодо динамічних характеристик. Вимоги щодо безпеки, впливу на колію та ходових характеристик). – 4rd edition, 2009. – 129 p.

18. ДСТУ UIC 518:2009. Рейковий рухомий склад. Ходові та приймальні випробовування щодо динамічних характеристик. Вимоги щодо безпеки, впливу на колію та ходових характеристик.

19. Петрухин В. В. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации: учебное пособие / В. В. Петрухин, С. В. Петрухин. – М.: Инфра-

Инженерия, 2010. – 176 с.

20. Дёмин Ю.В. Математическое моделирование и динамика подвижного состава железных дорог / Ю. В. Дёмин, Р. Ю. Дёмин, А. Ю.Черняк // Залізничний транспорт України. – 2007. – № 4. – С. 3–8.

21. Pogorelov D.Yu. Simulation of Rail Vehicle Dynamics with Universal Mechanism Software / A. Sladkowski (Ed.). Rail vehicle dynamics and associated problems. – Gliwice: Silesian University of Technology, 2005. – P. 13-58.

22. Хусидов В.В. Динамика пассажирского вагона и пути модернизации тележки КВЗ-ЦНИИ / В. В. Хусидов, А. А. Хохлов, Г. И. Петров, В. Д. Хусидов. – Москва: МИИТ, 2001. – 160 с.

23. Дьомін Ю.В. Комп'ютерне моделювання динаміки рейкових транспортних засобів / Ю. В. Дьомін, О. П. Заховайко, Г. Ю. Черняк, П. А. Шевчук // Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування. – 2014. – С. 94–98.

24. Алямовский А. А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / Алямовский А. А., Собачкин А. А., Одинцов Е. В., Харитонович А. И., Пономарев Н. Б. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.

25. Андриянов А. В. Цифровая обработка информации в измерительных приборах и системах / А. В. Андриянов, И. И. Шпак. – Минск: Вышэйшая школа, 1987. – 176 с.

26. Никольский Л. Н. Фрикционные амортизаторы удара Расчет и конструирование / Л. Н. Никольский. – Москва: Издательство «Машиностроение», 1964. – 173 с.

27. ДНДЦ УЗ № 11-2010 «Програма-методика випробування на скидання локомотива з клинів». – Київ, 2010. – 23 с.

28. Azovtsev Y. A. Vibration diagnostics experience of rolling stock in the JSC «Russian Railways» / Y. A. Azovtsev // 10th European Conference on Non-Destructive Testing, 2010. – P. 1-20.

29. Костомаров Д. П. Вводные лекции по численным методам / Д. П. Костомаров, А. П. Фаворский. – М.: Логос, 2004. – 184 с.

30. Волков Е. А. Приближение функций многочленами. 11. Сплайны.

Численные методы / Е. А. Волков. – Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., испр. – М.: Наука, 1987. – 248 с.

31. Інтерполяція за допомогою сплайнів [Електронний ресурс] // Бібліотека МДПУ – Режим доступу до ресурсу: http://lib.mdpu.org.ua/e-book/chislmetod/r_1/lek4.html.

32. Самарский А. А. Численные методы: Учебн. пособие для вузов / А. А. Самарский, А. В. Гулин. – М.: Наука, 1989. – 432 с.

33. Pourazady M. Measurement of Structural Damping and Equivalent Mass of a Vibrating Beam [E-resource] / M. Pourazady. – The University of Toledo. – Available at: http://www.eng.utoledo.edu/mime/faculty_staff/faculty/mpouraza/MIME3360/lecture3s11.pdf

34. Бабак В.П. Стохастические сигналы и спектры / В.П. Бабак, А.Я. Белецкий, А.Ф. Приставка, Ф.А. Приставка. – К.: КИТ, 2004. – 290 с.

35. Марченко Н. Б. Методи оцінювання точності інформаційно-вимірjuвальних систем діагностики: монографія / Н. Б. Марченко, В. В. Нечипорук, О. П. Нечипорук, Ю. В. Пепа. – К.: Вид-во ПВП «Задруга», 2014. – 200 с.

36. Яглом А. М. Корреляционная теория стационарных случайных функций. С примерами из метеорологи / А. М. Яглом. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 279 с.

37. Волков И. К. Случайные процессы: Учеб. для вузов / И. К. Волков, С. М. Зуев, Г. М. Цветкова // Под ред. В. С. Зарубина, А. П. Крищенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. – 448 с.

38. Гихман И. И. Введение в теорию случайных процессов / И. И. Гихман, А. В. Скороход. – М.: Наука, 1977. – 567 с.

39. Городецкий А. Я. Информационные системы. Вероятностные модели и статистические решения: Учеб. Пособие / А. Я. Городецкий. – СПб.: Изд-во СПб ГПУ, 2003. – 326 с.

40. Марченко Б. Г. Метод стохастических интегральных представлений и его приложения в радиотехнике / Б. Г. Марченко. – К.: Наук. думка, 1973. – 192

с.

41. Красильников А. И. Каноническое представление характеристической функции пуассоновских импульсных процессов / А. И. Красильников // Электроника и связь. – 2005. – №25. – С. 33–37.

42. EN 14363:2005 Railway applications – testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles – testing of running behavior and stationary tests. – С.113.

43. Lo1997-1. Техническое отношение к удлинению срока эксплуатации электровозов ЧС2 /34Е и 53Е/ и ЧС4 /52Е/ над нормативный срок службы. – Чехия: Пльзень: Шкода ТТ, 1997 г. – 9 с.

44. Бородин Л. И. Алгоритм обнаружения моментов изменения параметров уравнения случайного процесса / Л. И. Бородин, В. В. Моттль // Автоматика и телемеханика. – 1976. – №6. – С. 23-32.

45. Бродский Б. Е. Асимптотически оптимальные методы в задаче скорейшего обнаружения разладки. Характеристики методов скорейшего обнаружения разладки / Б. Е. Бродский // Автоматика и телемеханика. – 1995. – №9. – С. 60-72.

46. Бродский Б. Е. Асимптотически оптимальные методы в задаче скорейшего обнаружения разладки. Исследование методов скорейшего обнаружения / Б. Е. Бродский // Автоматика и телемеханика. – 1995. – №10. – С. 50-59.

47. https://uk.wikipedia.org/wiki/Логарифмічний_декремент_затухання

48. <https://statpsy.ru/t-student/t-test-tablica/>

49. http://portal.tpu.ru:7777/departments/kafedra/tief/method_work/method_work2/lab1/LabsMechMolecFiles/obrabotka.pdf

50. <https://photogrammetria.ru/135-ocenka-tochnosti-izmereniy.html>