

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТРАНСПОРТУ

Шегедін Петро Анатолійович



УДК 004.052.32:004.415:004.90:656.2(043.3)

**КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ
ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТЯГОВО-РУХОМОГО СКЛАДУ**

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі інформаційно-вимірювальних систем Національного авіаційного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент,
Єременко Володимир Станіславович,
Національний авіаційний університет, м. Київ,
завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних систем

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Мислович Михайло Володимирович,
Інститут електродинаміки НАН України,
завідувач відділу теоретичної електротехніки

доктор технічних наук, професор,
Бурау Надія Іванівна,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»,
завідувач кафедри приладів та систем орієнтації і навігації ПБФ

Захист відбудеться «18» травня 2016 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.820.04 Державного економіко-технологічного університету транспорту за адресою: 03049, м. Київ-49, вул. М. Лукашевича, 19.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Державного економіко-технологічного університету транспорту за адресою 03049, м. Київ-49, вул. М. Лукашевича, 19.

Автореферат розісланий « » квітня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О. А. Герцій

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Діагностика та контроль технічного стану об'єктів залізничного транспорту є невід'ємним атрибутом його функціонування, адже завдяки всебічному контролю досягається необхідний рівень надійності, безпеки та стабільності перевезень вантажів та пасажирів. В ході проведення динамічних випробувань визначаються ходові якості тягово-рухомого складу (ТРС), динамічні сили, що діють на елементи ТРС і залізничного шляху, динамічні сили від яких залежить міцність і надійність об'єкта в тривалій експлуатації. Дані випробування і розрахунок показників роботи ТРС здійснюють у відповідності з міжнародними стандартами, згідно з якими, необхідно проводити розрахунок параметрів по реалізаціям з чітко визначеними характеристиками руху об'єкта діагностики та випробувального шляху. Однак не завжди існує можливість чітко детермінувати умови вимірювання інформації, тому постає задача використання алгоритмів, що забезпечують відстеження та врахування умов випробувань при обробці даних.

Зазвичай розрізняють попередню (первинну) обробку сигналів і основну, або вторинну. Призначення попередньої обробки – підвищення достовірності даних, з'ясування особливостей часового ряду, приведення його до вигляду, що дозволяє коректно використовувати процедури основної обробки. Саме попередня обробка багато в чому визначає достовірність подальшого аналізу даних і всього дослідження в цілому.

Окрім ходових динамічних випробувань також здійснюються стендові випробування окремих вузлів тягово-рухомого складу. Важливим параметром технічного стану тягово-рухомого складу, що визначає комфортні показники та впливає на безпеку руху залізничного транспорту, є ефективність роботи гасників коливань, що використовуються для поліпшення динамічних якостей рухомої одиниці за рахунок використання демпфувальних властивостей елементів їхньої будови. Особливо питання моніторингу та діагностики технічного стану об'єктів рухомого складу актуальне при використанні значної кількості вагонно-локомотивного парку, що експлуатується вже тривалий час, а саме одиниці рухомого складу, експлуатаційний термін яких продовжено після капітально-відновлювального ремонту чи спеціальних випробувань. Але, незважаючи на велику різноманітність систем діагностики якості роботи гасників коливань при стендових випробуваннях в ДЕПО, неможливо достовірно дослідити та спрогнозувати поведінку об'єкта діагностики в умовах експлуатації.

Вирішенню подібних задач були присвячені роботи Нікіфорова В. І., Дьоміна Ю. Р., Черняк Г. Ю., Бокса Дж., Бродського Б. Е., Дарховського Б. С., Керра Т. Х. та багатьох інших. Багато робіт опубліковано порівняно недавно, що говорить про значущість розглянутої задачі як у теоретичному, так і в прикладному плані.

Актуальною задачею є розробка комп'ютеризованої системи контролю параметрів технічного стану тягово-рухомого складу, яка в своєму складі буде мати інструментарій для діагностики гасників коливань рухомого складу в

умовах наближених до експлуатаційних та програмні модулі попередньої обробки даних ходових динамічних випробувань.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі інформаційно-вимірювальних систем Національного авіаційного університету відповідно до закону України № 3715-IV від 08 вересня 2011 р. «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» і пов'язана з науково-дослідними темами: НДР 867 ДБ13 «Прецизійні методи фазових вимірювань та цифрової обробки сигналів неруйнівного контролю авіаційної техніки» держреєстраційний номер – 0113U000086 та НДР 673 ДБ10 «Розробка та виготовлення експериментального зразка мобільної інформаційно-діагностичної системи неруйнівного контролю композиційних матеріалів низькочастотними акустичними методами» держреєстраційний номер – 0110U000225.

Мета і задачі дослідження. 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:

1. Аналіз особливостей параметрів інформаційних сигналів (ІС) та факторів що впливають на достовірність діагностування рухомого складу. Розробка моделей ІС та алгоритмів проведення моделювання даних сигналів;

2. Розробка програмного інструментарію, що реалізує метод визначення демпфувальних характеристик гасників коливань надресорної частини рухомого складу, з покращеними метрологічними характеристиками.;

3. Удосконалення архітектури комп'ютеризованої системи, що реалізує метод попередньої обробки інформаційних сигналів при динамічних випробуваннях на основі алгоритмів виявлення зміни їх статистичних характеристик.

4. Розробка та реалізація удосконаленої комп'ютеризованої системи контролю (КСК) параметрів технічного стану рухомого складу та розробка її алгоритмічного та програмного забезпечення для підвищення достовірності результатів контролю.

5. Експериментальне дослідження розроблених методів та КСК 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.

Методи досліджень базуються на методах технічної діагностики та неруйнівного контролю, теорії ймовірностей та випадкових процесів, математичної статистики, імітаційного моделювання, цифрової обробки сигналів, методах алгоритмізації та програмування.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1. Запропоновано та обґрунтовано використання альтернативного методу визначення демпфувальних характеристик гасників коливань, який полягає в

визначенні добротності коливальної системи за спектрограмою сигналу, що дозволило підвищити точність та завадозахищеність вимірювань логарифмічного декременту затухань гасників коливань при проведенні спеціальних випробувань.

2. Набув подальшого розвитку метод вимірювання віброприскорень при динамічних випробуваннях рухомого складу, що дозволило підвищити його точність шляхом виділення ділянок вібросигналів з локальною стаціонарністю.

3. Набули подальшого розвитку методи моделювання інформаційних сигналів при спеціальних та динамічних випробуваннях тягово-рухомого складу, що дозволило здійснити дослідження та удосконалення програмно-апаратних вимірювальних засобів та оцінити метрологічні характеристики системи.

4. Розроблено комп'ютеризовану систему контролю технічного стану вузлів залізничного транспорту, яка разом з реєстрацією інформаційних сигналів здійснює фіксацію просторових координат знаходження об'єкта діагностики та вимірювати його швидкість руху на основі GPS-навігації, що дозволяє прив'язати отримані результати до місця формування інформаційних сигналів та локалізувати у просторі об'єкт діагностики в ході вимірювання його характеристик.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблено комп'ютеризовану систему та методику обробки даних спеціальних випробувань по визначенню демпфувальних характеристик гасників коливань рухомого складу, які забезпечили підвищення метрологічних характеристик та завадостійкості системи за рахунок обробки сигналів в частотній області.

Розроблено методику та інструментарій обробки сигналів динамічних випробувань, що дозволяють виділяти їх кластери для врахування локальної стаціонарності та інформації про умови проведення випробувань, а саме режими руху, швидкість, прискорення та кривизну шляху, що забезпечує підвищення точності визначення діагностичних параметрів.

Розроблені в дисертаційній роботі методи та засоби можуть бути використані при створенні методик контролю та діагностуванні різноманітних об'єктів, що мають в своєму складі демпфувальні механізми та проходять ходові випробування.

Новизна одержаних технічних рішень захищена патентом України на корисну модель: № 88464 «Спосіб визначення демпфірувальних характеристик рухомого складу». МПК(2014.01) G01H 17/00.

Впровадження результатів роботи. Результати роботи впроваджені в дослідному процесі відділення інжинірингу державного підприємства «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України» (ДП «ДНДЦ УЗ») та у навчальний процес кафедри інформаційно-вимірювальних систем при викладанні курсу «Комп'ютеризовані технології в інформаційно-вимірювальних системах».

Особистий внесок здобувача. Основні положення і результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. В наукових роботах,

опублікованих у співавторстві, здобувачем зроблене наступне: в роботах [1, 8, 9, 11] проведено експериментальне дослідження методів та комп'ютеризованих систем вібродіагностики тягово-рухомого складу, описано результати створення програмного забезпечення для систем віброакустичної діагностики, в роботах [2, 14] проведено аналіз недоліків існуючого методу визначення демпфувальних характеристик і запропоновано математичний алгоритм застосування альтернативного методу визначення логарифмічного декременту та власної частоти конструкції, в роботі [3] розроблено програмне забезпечення для моделювання сигналів, [4, 17, 20] – програмне забезпечення системи діагностики демпфувальних характеристик та досліджено точнісні характеристики та переваги системи, в роботах [5, 18] представлено вимоги до алгоритмічного забезпечення системи на основі дослідження алгоритмів пошуку розладки Ш'юхарта та КУСУМ, [6, 23] – наведено отримані результати застосування алгоритму Лемана-Розенבלата при обробці даних ходових динамічних випробуваннях, а також розроблена структура та програмне забезпечення комп'ютеризованої системи контролю параметрів технічного стану тягово-рухомого складу, в роботі [10] запропонована система градування акселерометричних датчиків, [12, 13, 15, 16, 19] запропоновано методику проведення випробувань по скиданні локомотивів з клинів та наведено опис розробленого автором програмного забезпечення, [21, 22] – запропоновано застосування алгоритмів виявлення розладки та алгоритмів перевірки однорідності вибірок Ст'юдента.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи були представлені на: міжнародних науково-технічних конференціях «АВІА» (м. Київ, 2011, 2013), міжнародних науково-практичних конференціях «Образовательные, научные и инженерные приложения в среде National Instruments» (г. Москва, Российская Федерация, 2009, 2011), міжнародній науково-технічних конференціях "Наукоємні технології" (м. Київ, 2011), міжнародних науково-технічних конференціях "ПРТК" (м. Київ, 2010 – 2014), міжнародних наукових конференціях «Комп'ютерні науки та інженерія» (м. Львів, 2009–2011), міжнародній науково-технічній конференції «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций» (м. Севастополь, 2010), науково-технічній конференції «ОМІСПІ» (м. Львів, 2014), міжнародних науково-технічних конференціях «Приладобудування: стан і перспективи» (м. Київ, 2011–2015), міжнародній конференції «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики» (м. Ялта, 2009), науково-практична конференція студентів і молодих учених: «Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання» (м. Івано-Франківськ, 2011), міжнародній конференції «Дни на безразрушительный контроль» (г. Созопол, България, 2014), міжнародній науковій конференції «ВКДТС» (м. Вінниця 2014), міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтопромислового обладнання» (м. Івано-Франківськ, 2014).

Публікації. Основний зміст, наукові положення та результати дисертації опубліковано в 23 друкованих працях, з них: п'ять статей у наукових фахових виданнях України, з них три, що входять до наукометричних баз: Index Copernicus, Bielefeld Academic Search Engine, Simple Search Metadata (SSM), Research Bible, Citefactor, Sjournals Index, Universal Impact Factor, Directory of Research Journal Indexing (DRJI), Driver, Ulrichsweb global serials directory та інші, одна у закордонному виданні, один патент України на корисну модель, 16 тез доповідей на міжнародних та Всеукраїнських науково-технічних конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу та чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації становить 191 сторінка, до яких входить 154 сторінок основного тексту, 68 ілюстрацій, 8 таблиць, список літературних джерел зі 116 найменувань та 5 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність обраної теми дисертаційної роботи, сформульовано основну мету, об'єкт, предмет і задачі досліджень, стисло наводиться наукова новизна та практична цінність отриманих результатів, розкриті питання апробації результатів дисертаційної роботи на конференціях і семінарах та їх висвітлення у спеціалізованих фахових виданнях.

В першому розділі дисертаційної роботи проведено аналіз методів діагностування та контролю функціональних параметрів тягово-рухомого складу. Наведено порівняльну характеристику нормативних документів, що впроваджені на залізницях України і Європи та визначають вимоги та правила проведення динамічних випробувань об'єктів залізничного транспорту. Розглянуто основні напрями використання вимірювальної інформації для досягнення максимальної точності діагностування характеристик рухомого складу та здійснено огляд існуючих комп'ютеризованих систем, що реалізують різноманітні задачі діагностики та контролю параметрів тягово-рухомого складу.

Сформульовано основні завдання діагностування параметрів рухомого складу, що вирішуються в ході спеціальних та динамічних випробувань та сформульовано перелік необхідних умов до проведення вимірювань, дотримання яких необхідне для досягнення поставленої задачі.

Наведено перелік та характеристики функціональних параметрів тягово-рухомого складу, які визначаються в ході випробувань та описано принципи комп'ютеризованої обробки вимірювальних даних вібраційних випробувань. Проаналізовано основні принципи проектування інформаційно-вимірювальних систем, дотримання яких необхідне для забезпечення достовірності результатів вимірювань.

Для прогнозування терміну служби та визначення максимальної кількості параметрів об'єктів рухомого складу доцільно використовувати інструментарій комп'ютерного моделювання. Наприклад САПР система «Універсальний механізм» використовується в науково-дослідному процесі у відділенні інжинірингу державного підприємства «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України» (ДП «ДНДЦ УЗ»). В якості вхідних даних для розрахунку експлуатаційних параметрів за допомогою даної моделі використовуються сигнали віброприскорень, що реєструються в ході ходових динамічних випробувань трьохосьовими акселерометричними датчиками.

Використання комп'ютерного моделювання допомагає значно заощадити кошти при діагностуванні максимальної кількості параметрів об'єкта діагностики, однак для забезпечення необхідного рівня точності контролю важливим є дотриманням вимог, що пред'являють до вхідних даних та їх попередньої обробки.

Таким чином постає потреба в створенні комп'ютеризованої системи контролю параметрів рухомого складу, що відповідатиме наступним вимогам:

- система повинна забезпечити можливість одночасного синхронного запису інформаційних сигналів з фізичних датчиків віброприскорення та даних GPS-навігації;

- незалежність функціональних параметрів системи від зовнішніх умов проведення випробувань;

- до складу системи повинне входити програмне забезпечення для аналізу траєкторії руху досліджуваного об'єкту на основі даних GPS-навігації та класифікації випробувальних ділянок колії;

- результати роботи системи повинні бути збережені в зручні для подальшого аналізу текстові файли.

Система розглядається як сукупність апаратних та програмних засобів, що являють собою дві залежні складові: підсистему діагностики демпфувальних характеристик рухомого складу та підсистему попередньої обробки вимірювальної інформації при проведенні ходових динамічних випробувань.

У другому розділі виконано розробку підсистеми діагностики демпфувальних характеристик рухомого складу, а саме програмного інструментарію для вимірювання власної частоти коливань надресорної частини та логарифмічного декременту затухання при проведенні спеціальних випробувань по скиданню з клинів.

Організація та проведення випробувань по скиданню з клинів рухомого складу необхідні для визначення власних частот коливань екіпажу та декрементів коливань з метою проведення комплексного дослідження 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. Реєстрацію власних коливань надресорної конструкції одиниці рухомого складу виконують датчики прискорень, які встановлюють на кузові та візках вагона/локомотива за схемами визначеними для ходових випробувань. При проведенні випробувань на скидання локомотива з клинів імітуються коливання підстрибування, галопування і бокового розхитування.

Згідно з існуючими нормативними документами, власна частота коливання конструкції розраховується як обернена величина до періоду коливань, що визначається по осцилограмі сигналу як часовий проміжок між двома амплітудними значеннями затухаючого сигналу. Логарифмічний декремент затухання визначається також з амплітудних значень кількох послідовно слідуючих позитивних або негативних півхвиль коливального сигналу. Однак на практиці спостерігається спотворення форми сигналу побічними гармоніками та шумами, що призводить до неоднозначності визначення числових значень параметрів демпфування. Оскільки, зазвичай, відсутня можливість здійснювати значну кількість повторень експерименту по скиданню об'єкта з клинів, необхідно використовувати для обробки даних алгоритми, які менш залежать від амплітуди неосновних гармонічних складових сигналу та є більш завадозахищеними.

Аналітична модель, що описує даний затухаючий процес являє собою адитивну суміш згасаючих корисних синусоїдальних складових та високочастотних завад.

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

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.

Відповідно до даної моделі, логарифмічний декремент затухання визначається наступним рівнянням:

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

де u – логарифмічний декремент затухання; T – час між сусідніми амплітудними значеннями (період основного коливання).

Недоліком вказаного способу є низька завадостійкість, а саме чутливість способу визначення частоти сигналу та логарифмічного декременту затухання до високочастотних складових та побічних гармонік, що присутні в інформаційному сигналі. Для застосування даного способу необхідно для обробки використовувати сигнали лише після апаратної або програмної фільтрації, що вносить додаткову ентропію та призводить до спотворення форми сигналу.

Для вирішення описаних вище проблем та удосконалення методу визначення власної частоти коливань конструкції та логарифмічного декременту затухань запропоновано використання альтернативного методу визначення демпфірувальних характеристик.

В основу запропонованого методу покладено задачу підвищення точності та завадостійкості визначення власної частоти та логарифмічного декременту затухання шляхом розрахунку даних параметрів з використанням спектральної щільності сигналів, тобто переведенням розрахунків з часової області в частотну. Це дозволяє відсікти високочастотні коливання, які накладаються на інформативну частину сигналу і тим самим збільшити прецизійність вимірювань.

Власна частота коливання конструкції визначається за допомогою аналізу спектру сигналу отриманого шляхом застосування перетворення Фур'є як частота гармоніки з максимальною потужністю. На основі спектральної щільності сигналу визначається добротність коливальної системи Q – що є кількісною мірою демпфування. Логарифмічний декремент затухання визначається по вимірному значенні добротності коливальної системи за допомогою виразу:

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

де ω_0 – частота гармоніки в спектрі сигналу з максимальною потужністю;

Q – добротність коливальної системи; δ – ширина резонансної кривої (ширина основної пелюстки спектру сигналу на рівні 0,707 від її максимального значення).

У зв'язку з імпульсною природою вимірювальних сигналів та зосередженням корисної інформації в короткому часовому проміжку, для підвищення прецизійності визначення ширини резонансної кривої було застосовано алгоритм інтерполяції сплайнами обвідної спектру сигналу. 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. Поліном третього порядку має вигляд:

$$s_i(x) = a_i + b_i(x - x_i) + \frac{c_i}{2}(x - x_i)^2 + \frac{d_i}{6}(x - x_i)^3,$$

$$x_{i-1} \leq x \leq x_i, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

де $a_i = s_i(x_i)$, b_i , c_i , d_i – шукані коефіцієнти.

Здійснивши диференціювання отримуємо:

$$a_i = s_i(x_i), b_i = s_i'(x_i), c_i = s_i''(x_i), d_i = s_i'''(x_i)$$

де $s_i'(x_i)$, $s_i''(x_i)$, $s_i'''(x_i)$ – відповідні похідні поліному.

Для порівняння метрологічних характеристик методів визначення демпфувальних параметрів здійснено обробку програмно синтезованого сигналу, який за параметрами та спектральним складом відповідає реальному сигналу отриманому при випробуваннях пасажирського сигналу. Результати обробки синтезованого сигналу стандартним та розробленим методами представлено в табл.1.

Таблиця 1

Результати порівняння стандартного та запропонованого методів

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 півхвиль 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 півхвиль 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

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

Як видно з наведених результатів, використання розробленого методу дозволяє здійснювати визначення логарифмічного декременту з похибкою, яка не перевищує 1 %, в той час, як стандартний метод характеризується на порядок нижчою точністю.

У зв'язку з тим, що гармоніки коливань надресорної частини та завади значно рознесені по спектру сигналу, визначення логарифмічного декременту затухань здійснюється без застосування фільтрації та іншої цифрової обробки, що забезпечує відсутність спотворення форми вхідного сигналу. Це забезпечує високу прецизійність та правильність визначення результату.

В табл. 2 наведено результат обробки сигналів з двох дублюючих акселерометричних датчиків, що були встановлені на кузові локомотиву при п'яти повторень експерименту по імітації коливань «галопування».

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	0,46	0,26	0,19	0,41	0,36	0,11	0,34 ± 0,22
	Канал 2	0,42	0,27	0,04	0,21	0,36	0,15	0,26 ± 0,29
Запропонований	Канал 1	0,57	0,53	0,52	0,46	0,50	0,04	0,52 ± 0,08
	Канал 2	0,60	0,53	0,54	0,47	0,54	0,05	0,54 ± 0,09

Як видно з наведених даних, середньоквадратичне відхилення визначення логарифмічного декременту за стандартним методом складає 0,11 та 0,15 для першого та другого каналу відповідно. При обробці даних сигналів запропонованим методом середньоквадратичне відхилення становить 0,04 та 0,05 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.

Висока чутливість та завадостійкість запропонованого методу дозволяють дослідити демпфувальні властивості об'єктів рухомого складу по побічних осях функціонування гасників та оцінити реальний стан демпфувальної системи в умовах, максимально наближених до експлуатаційних.

В третьому розділі запропоновано методику та підсистему попередньої обробки вимірювальної інформації при проведенні ходових динамічних випробувань.

Основною метою проведеного дослідження є підвищення точності обробки експериментальних даних ходових динамічних випробувань тягово-рухомого складу шляхом застосування первинної обробки даних. Дана обробка базується на використанні алгоритмів виявлення аномальної (стрибкоподібної) зміни властивостей процесу (розладки) у вибраних для аналізу часових реалізаціях.

Загальною математичною моделлю вибрано векторний випадковий процес виду:

$$\Theta(t) = (\xi_1(t), \dots, \xi_n(t)), t \in R$$

де $\xi_j(t)$, $j=1..n$ – набір випадкових процесів, пов'язаних з умовами проведення випробувань об'єктів ТРС, властивостями об'єкта діагностики та характеристиками колії в момент часу t .

В ході реєстрації віброприскорень в інформаційних сигналах присутні спотворення та складові, що не несуть інформативного навантаження та викликані певними впливовими факторами, а саме зміною швидкості руху,

станом колії та якістю полотна, кривизною ділянки руху об'єкту, станом поверхні кочення колісних пар (при діагностиці надресорної частини одиниці рухомого складу) та умовами зовнішнього середовища. Зазвичай момент дії даних впливових факторів невідомий, тому їх прояв визначається за допомогою аналізу сигналу на предмет виявлення розладки.

Важливими критеріями вибору і налаштування алгоритмів пошуку розладки є:

1. Мінімальна кількість помилкових тривог – детектор розладки повинен бути нечутливий до шумів і випадкових короткочасних викидів, тобто, необхідно забезпечити великий середній час між помилковими спрацьовуваннями;

2. Мінімальне запізнювання при виявленні – на практиці дуже важливо, щоб сигнал тривоги виникав без затримки, хоча б для того, щоб втратити якомога менше інформації при оцінюванні параметрів після стрибкоподібної зміни параметрів.

При цьому необхідно вирішити протиріччя між вимогою наявності мінімального числа помилкових тривог і малого запізнювання у виявленні: здатність швидко виявляти зміни підвищує імовірність появи помилкового виявлення моментів розладки.

Для вирішення задачі виявлення неоднорідності у вихідних сигналах датчиків прискорення при проведенні ходових динамічних випробувань ТРС були проведені дослідження алгоритмів Лемана-Розенבלата, Ш'юхарта, та кумулятивних сум (КУСУМ), який являє собою модифікацію алгоритму Пейджа.

Результатом роботи алгоритмів є висновок про відсутність або наявність розладки в кожний момент часу. Для цього на кожному кроку по значеннях сигналу $z(n) \in N(\mu_i, \beta_i)$ вираховується функція $G(n)$ і порівнюється з пороговим значенням.

$$z(n) \in N(\mu_i, \beta_i), n \in [0, N],$$

де μ_i та β_i – математичне сподівання та дисперсія відповідно вхідного сигналу z до появи i -го моменту розладки, n – елемент вибірки (сигналу).

Алгоритм Ш'юхарта (рекурентний вигляд) описується наступним рівнянням:

$$G(n) = \begin{cases} 0, n < M \\ \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M z(i), n = M \\ G(n-1) + \frac{z(n) - z(n-M)}{M}, n > M \end{cases} ;$$

$\nu > 0$ – поріг чутливості,

M – глибина пам'яті алгоритму.

Рішення про наявність чи відсутність розладки в кожний момент часу приймається на основі результатів порівняння:

$G \geq h \Rightarrow$ розладка відбулася,

$G < h \Rightarrow$ розладка відсутня, де $h > 0$ – поріг спрацьовування алгоритму.

Для аналізу відбираються дані шляхом переміщення часового вікна заданої тривалості з певним кроком. Дані параметри можна налаштувати в залежності від вимог чутливості та швидкодії алгоритмів. Для більшості задач вимірювання показників функціонування тягово-рухомого складу детектор розладки необхідно налаштувати таким чином, щоб не відбувалося спрацьовування алгоритмів на моментах проходження колісної пари стиків між рельсами чи ударів повзунів на вантажних колесах по полотну. Забезпечення даної умови здійснюється шляхом вибору оптимальної ширини вікна, при якій дані фактори не вносять істотного впливу на результат пошуку розладки через

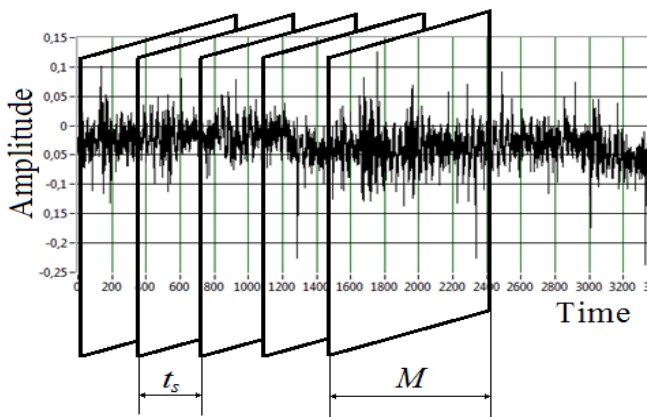


Рис. 1. Графічне зображення принципу переміщення часового вікна

свій короткотривалий (імпульсний) характер. Згенерований сигнал має присутні 20 моментів стрибко-подібної зміни математичного сподівання інформаційного сигналу з наростаючим кроком, в позитивному та негативному напрямках та різною потужністю високочастотних завад.

На рис. 2 наведено приклад осцилограми тестового сигналу та результат обробки його алгоритмом Ш'юхарта (моменти розладки виділено вертикальними штриховими лініями).

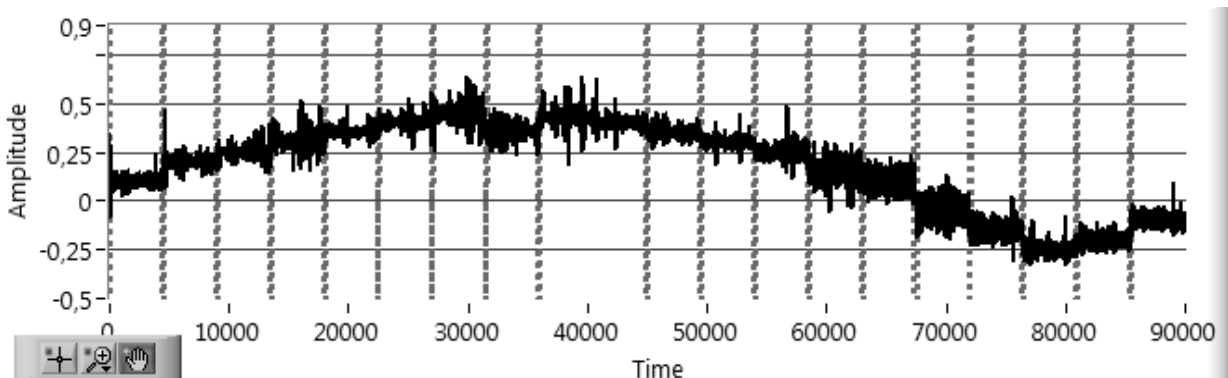


Рис. 2. Осцилограма тестового вібросигналу

свій короткотривалий (імпульсний) характер.

Принцип переміщення часового вікна для відбору даних представлено на рис. 1. Налаштування та відладка алгоритмів пошуку моментів розладки здійснювалися на програмно синтезованому тестовому сигналі з наближеним спектральним складом до реальних сигналів з заданими моментами розладки.

В табл. 3 наведено статистичні характеристики тестового сигналу та вибірок сформованих з нього в ході відпрацювання алгоритмів пошуку розладки.

Таблиця 3

Статистичні характеристики досліджуваного сигналу та сформованих вибірок

Вихідні дня при моделюванні							
Підвибірка	1	2	3	4	5	6	7
Мат. сподівання, В	0,450	0,350	0,430	0,400	0,350	0,300	0,250
Вхідний сигнал (без розбиття на підвибірки)	Мат. сподівання, В		Похибка		С.К.В., В		
	0,364		Від 4% до 46%		0,074		
Результат обробки підвбірок між моментами розладки							
Підвибірка	1	2	3	4	5	6	7
Мат. сподівання, В	0,452	0,356	0,417		0,352	0,320	0,251
Похибка, %	0,4	1,7	4,0		0,4	6,3	0,4
С.К.В., В	0,04	0,038	0,037		0,034	0,033	0,036
Зменшення СКВ, %	46	49	50		54	55	51

Як видно з наведеної таблиці, при проведенні статистичної обробки даного сигналу без врахування моментів розладки, математичне сподівання відрізняється від заданого при моделюванні до 46%, в той час як при використанні алгоритмів виявлення розладки похибка не перевищує 7%. Також середньоквадратичне відхилення по кожній підвибірці менше від розрахованого по всьому сигналу на 45 % – 55 %.

Розроблено програмне забезпечення в середовищі графічного програмування LabVIEW, що реалізує програмну фільтрацію та дозволяє здійснювати оброблення даних алгоритмами пошуку розладки, а також розрахунок статистичних параметрів і перевірки однорідності вибірок по математичному сподіванню критеріями Лемона-Розенבלата та Ст'юдента. Функціональна схема програмного забезпечення представлена на рис. 3.

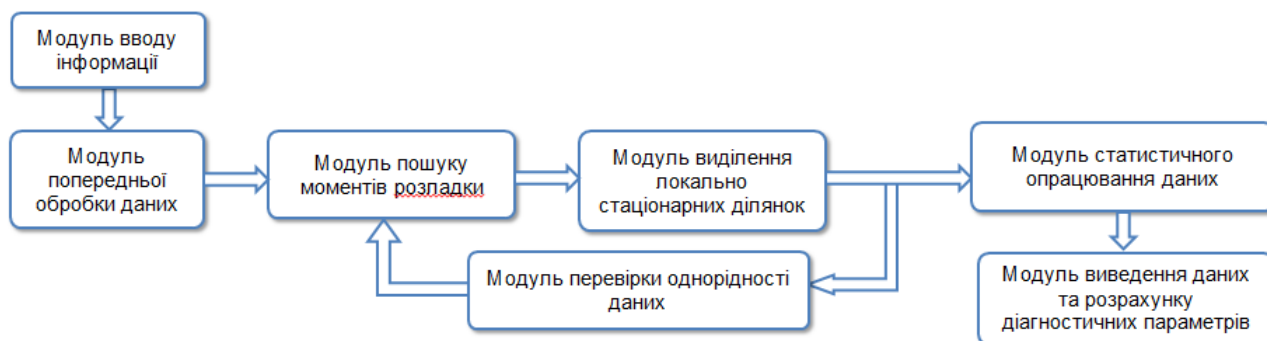


Рис. 3. Функціональна схема програмного забезпечення підсистеми обробки даних динамічних випробувань

Перевагою розробленої системи є гнучкість її архітектури і можливість простого додавання функціональних модулів, що реалізують додаткові

алгоритми обробки сигналів та розрахунку статистичних параметрів сигналів. Обробка даних часових інтервалів з локальною стаціонарністю забезпечує точність і однозначність результату вібродіагностики залізничного транспорту. Дослідження системи було проведено на масивах даних, отриманих при динамічних приймальних випробуваннях швидкісного поїзда на прямій ділянці шляху довжиною більше 40 км. Швидкість руху об'єкта діагностики досягала 170 км/год.

В четвертому розділі на основі теоретичних досліджень, проведених у попередніх розділах, представлено практичну реалізацію системи контролю технічного стану параметрів рухомого складу.

При розробці даної інформаційно-вимірювальної системи було використано метод роздільно-функціонального проектування, що передбачає використання апаратних блоків, функціональність яких задається програмно. Таким чином, досягається максимальна продуктивність технічних засобів при мінімальних апаратних затратах. Для вирішення поставленої задачі було використано технічні засоби компанії National Instruments та середовище графічного програмування LabVIEW.

Система складається з:

- фізичних датчиків віброприскорення;
- акселерометрів та комутатора;
- універсальних модулів АЦП 9205 та модуля-приймача SEA cRIO Gxxx Mobile;
- контролера CompactRIO-9104 (платформи збору даних cDAQ);
- персонального комп'ютера з встановленим програмним забезпеченням LabVIEW та USB – накопичувача.

Узагальнена структура апаратного забезпечення системи представлена на рис. 4.

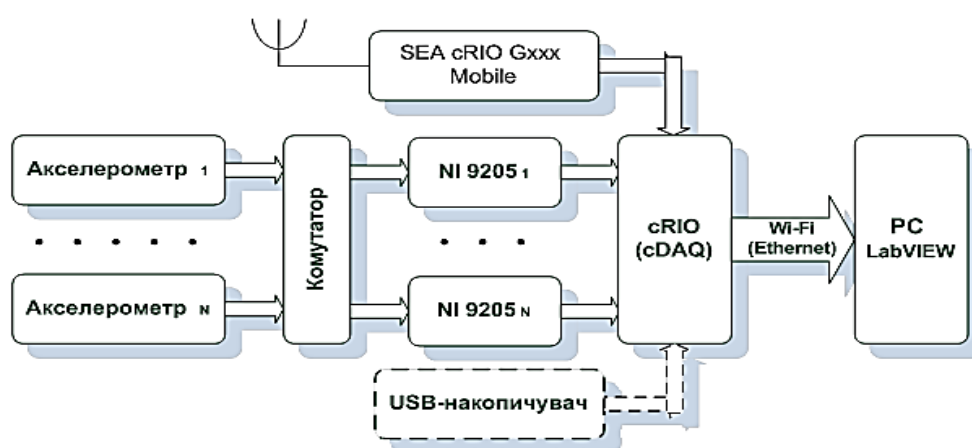


Рис. 4. Структурна схема апаратного забезпечення системи

Розроблена комп'ютеризована система контролю параметрів рухомого складу дозволяє разом з записом інформаційних сигналів здійснювати реєстрацію просторових координат знаходження об'єкта діагностики на

основі GPS-навігації з подальшою прив'язкою результатів обробки даних до режимів руху та кривизни колії.

Функціональна схема розробленого програмного забезпечення представлена на рис. 5.

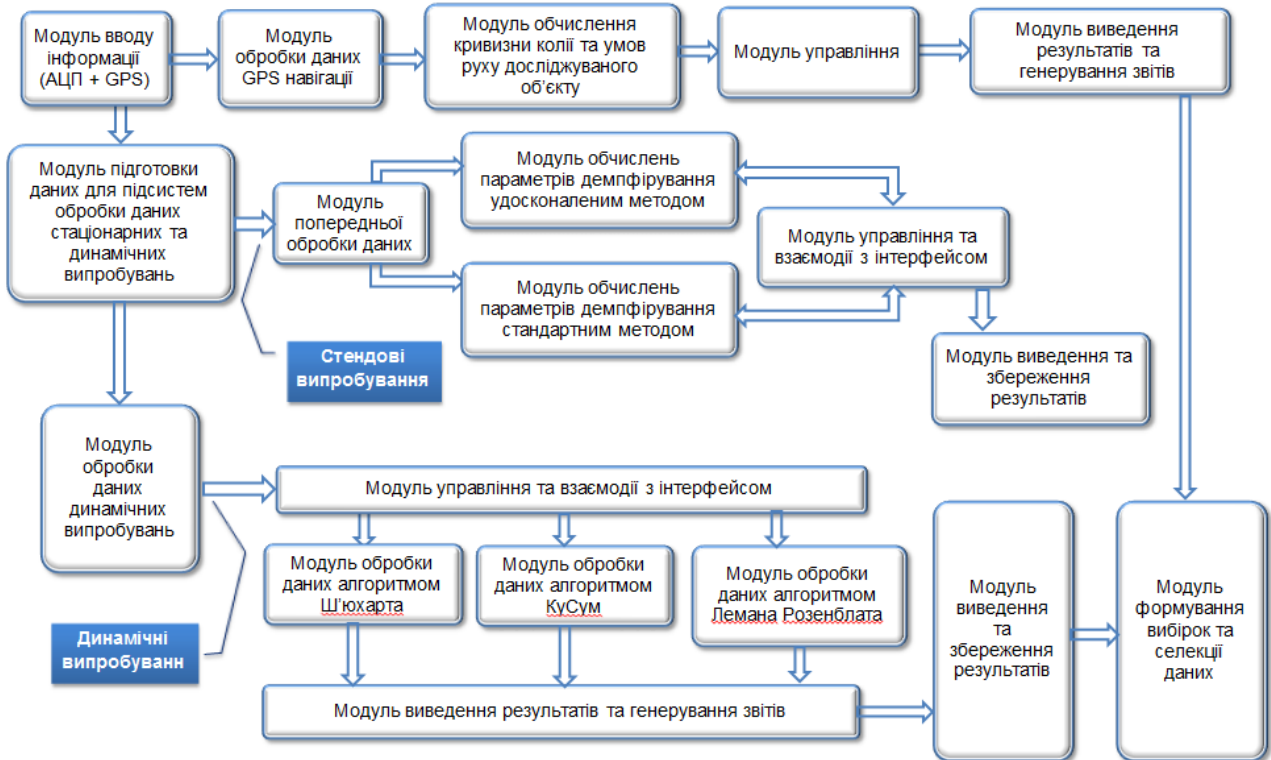


Рис. 5. Функціональна схема програмного забезпечення системи

Побудувавши графік залежності швидкості від часу руху об'єкта можна визначити ділянки, в яких об'єкт рухався в режимі тяги, вибігу чи гальмування. На рис. 6, а представлено графічне відображення траєкторії руху досліджуваного об'єкта, б, б представлено графік зміни швидкості руху об'єкта.

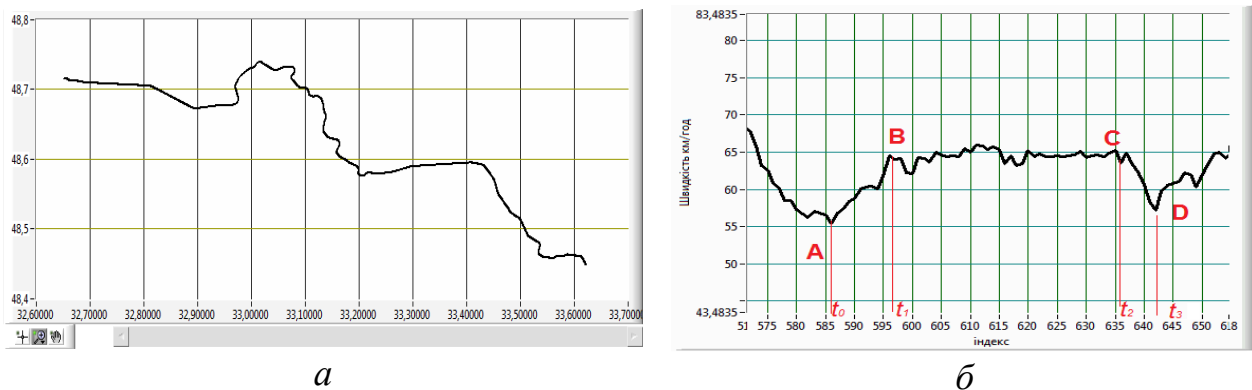


Рис. 6. Графічні індикатори представлення GPS-інформації, а – траєкторія руху досліджуваного об'єкта, б – графік швидкості досліджуваного об'єкта

Як видно з рис. 6, б. об'єкт рухався в режимі тяги з точки А до точки В, оскільки швидкість постійно зростала, даному режиму відповідає проміжок часу від t_0 до t_1 . Режиму вибіг відповідає часовий проміжок від t_1 до t_2 , тобто

з точки В в точку С, відповідно режим гальмування з точки С в точку D, в часовому проміжку від t_2 до t_3 .

Аналогічно до визначення режимів руху об'єкта необхідно враховувати рельєф місцевості, на основі GPS-даних визначаються ділянки, в яких об'єкт тягово-рухомого складу рухався в горизонтальній площині, був на спуску чи рухався вгору.

Визначення меж прямих ділянок та радіусу кривизни кривих ділянок здійснюється на основі алгоритму апроксимації GPS-координат окружністю методом «найменших квадратів». Апроксимуюча функція має вигляд:

$$x_i^2 + y_i^2 - 2x_i x_0 - 2y_i y_0 + x_0^2 + y_0^2 - R_0 = 0,$$

де x_i та y_i дані для апроксимації (просторові координати), x_0 , y_0 та R_0 шукані параметри апроксимації.

В якості індикаторної функції початку та кінця кривої використовується функція помилки апроксимації $e(x, y)$:

$$e(x_i, y_i) = x_i^2 + y_i^2 - 2x_i x_0 - 2y_i y_0 + x_0^2 + y_0^2 - R^2, i = 1 \dots n,$$

$$\sum_{i=1}^n [e(x_i, y_i)]^2 \rightarrow \min.$$

Шляхом вибору адаптивного розміру вікна в залежності від швидкості руху досліджуваного об'єкта, здійснюється апроксимація вхідних даних окружністю з обмеженням радіусу від 250 м. до 900 м. Ділянки, що мають більший радіус ніж 900 м. відносяться до прямих. Ідентифікація переходу прямої ділянки в криву відбувається на основі аналізу поведінки функції помилки апроксимації, а саме її зменшення та стабілізації на певному рівні. Збільшення помилки апроксимації та збільшення значення радіусу кривизни свідчить про вихід об'єкта з кривої.

До основних факторів, що впливають на точність визначення кривизни колії слід віднести точність GPS приймача та потужність сигналу, що визначається положенням супутників та метеоумовами під час проведення випробувань.

Аналізуючи інформацію про швидкість руху досліджуваного об'єкта можна виділити ділянки даних з усієї реалізації, що відповідають заданим умовам, при яких відбувається розрахунок певних параметрів чи класифікувати дані в залежності від режиму руху.

Поєднання алгоритмів виявлення стрибкоподібної зміни властивостей сигналів з інформацією про режими руху досліджуваного об'єкта та кривизни колії дозволяє сформувати вибірки даних для подальшого застосування в програмних моделях та для розрахунку параметрів технічного стану тягово-рухомого складу.

ВИСНОВКИ

В дисертації розв'язана актуальна науково-прикладна задача з розробки комп'ютеризованої системи контролю параметрів рухомого складу залізничного транспорту, в результаті якої були отримані наступні основні результати:

1. На основі проведеного аналізу методів та засобів діагностики рухомого складу обґрунтовано шляхи їх удосконалення з метою підвищення точності визначення параметрів досліджуваного об'єкта.

2. Запропоновано моделі інформаційних сигналів, які дали можливість здійснити відладку програмного забезпечення та провести порівняння метрологічних характеристик існуючих та запропонованих методів.

3. Розроблено новий програмний інструментарій, що реалізує удосконалений метод визначення демпфувальних характеристик гасників коливань надресорної частини рухомого складу, який дозволив зменшити похибку вимірювання логарифмічного декременту коливань до 35 % та підвищити завадозахищеність.

4. Удосконалено метод попередньої обробки даних при ходових динамічних випробуваннях та розроблено архітектуру комп'ютеризованої системи, що його реалізує, що дозволило підвищити точність вимірювання параметрів рухомого складу, а саме систематична похибка зменшена в 7 раз, випадкова в 2 рази.

5. Розроблено пакет прикладного спеціалізованого програмного забезпечення комп'ютеризованої системи для обробки вимірювальних даних динамічних випробувань, що реалізує запропоновані методи та алгоритми обробки даних.

6. Розроблено комп'ютеризовану систему контролю технічного стану вузлів залізничного транспорту, що дозволяє разом з записом інформаційних сигналів здійснювати реєстрацію просторових координат знаходження об'єкта діагностики та вимірювати його швидкість руху на основі GPS-навігації. Що дало можливість чітко співставити результати обробки даних, характеристикам кривизни колії та режимам руху досліджуваного об'єкта.

7. Розроблена система і програмне забезпечення впроваджені та використовуються при виконанні науково-дослідних робіт у відділенні інжинірингу державного підприємства «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України» (ДП «ДНДЦ УЗ»). Практична апробація була здійснена в 2013 році під час проведення дослідницьких випробувань згідно розпорядження ДАЗТ «Укрзалізниця» №ЦЗ-1-С-6/1183 від 01.08.2013.36

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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 демпфівальних 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. Шегедін П. А. Розробка системи діагностики демпфівальних характеристик гасників коливань рухомого складу / П. А. Шегедін, В. С. Єременко, А. В. Переїденко. // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – №5. – С. 10–15.
5. Шегедин П.А. Система обработки результатов динамических испытаний подвижного состава/ П. А. Шегедин, В. С. Еременко // Научные известия. – София, Болгария. – 2014. – №1 (150). – С. 489-493
6. Шегедін П. А. Система обробки експериментальних даних динамічних випробувань рухомого складу / П. А. Шегедін, В. С. Єременко. // Зб. наук. пр. / Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба. Системи обробки інформації. – Харків. – 2015. – № 6(131). – С. 58–63 ISSN 1681–7710.
7. Спосіб визначення демпфівальних характеристик рухомого складу: пат. на корисну модель. Україна: МПК(2014.01) G01H 17/00 / Шегедін П. А., В. С. Єременко, А. В. Мостович; – № 88464; заявл. 27.11.13; опубл.11.03.14, Бюл. №5. – 4 с.
8. Шегедін П. А. Система вібраційної діагностики / П. А. Шегедін. // Матеріали 17-тої міжнародної конференції «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики». – 2009. – С. 87–90.
9. Шегедін П. А. Система вибрационной діагностики / Ю. В. Куц, Є. Ф. Суслов, П. А. Шегедін, А. В. Переїденко. // Матеріали 8-й Международной научно-практической конференции [«Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments»]. – 2009. – С. 57–60.
10. Шегедін П. А. Автоматизована система градуювання акселерометричних датчиків / П. А. Шегедін, О. О. Редько. // Зб. доповідей третьої міжнародної наукової конференція студентів, аспірантів та молодих вчених [«Комп'ютерні науки та інженерія – 2009»]. – 2010. – С. 310–311.

11. Шегедін П. А. Система вимірювання віброприскорень / П. А. Шегедін, М. С. Рак, Х. В. Сидоренко. // матеріали III-ї міжнародної науково-практичної конференції [«Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2010)»]. – 2010. – С. 108–110.
12. Шегедін П. А. Система реєстрації стану елементів конструкції транспортних засобів на базі платформи NI CompactRIO / П. А. Шегедін, В. С. Єременко, Є. Ф. Суслов. // Матеріали 10 Міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2011» Матеріали науково-практичної конференції «Авіа 2011» (НАУ). – 2011. – С. 159–162.
13. Шегедін П. А. Система збору даних на базі платформи NI CompactRIO / П. А. Шегедін, Є. Ф. Суслов, Ж. О. Павленко // Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції «Приладобудування: стан і перспективи». – 2011.– С 199.
14. Шегедін П. А. Система вимірювання власних частот коливань кузова локомотива / Петро Анатолійович Шегедін. // Матеріали 11-ї міжнародної наукової конференції студентів та молодих учених «Політ-2011». – 2011. – С. 139.
15. Шегедін П. А. Програмне забезпечення системи віброакустичної діагностики / П. А. Шегедін, А. В. Переїденко. // Зб. доповідей третьої науково-практична конференція студентів і молодих учених: «Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання». – 2011. – С. 179–180.
16. Шегедін П. А. Система обработки данных динамических испытаний подвижного состава / П. А. Шегедін, В. С. Єременко, Є. Ф. Суслов. // Матеріали X міжнародної науково – практичної конференції «Инженерные, научные и образовательные приложения на базе технологий National Instruments 2011». – 2011. – С. 268–270.
17. Шегедін П. А. Система діагностики демпфівальних характеристик рухомого складу / П. А. Шегедін, В. С. Єременко, А. В. Переїденко. // Матеріали II-ої міжнародної наукової конференції «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах». – 2013. – С. 255–256.
18. Шегедін П. А. Система вібродіагностики залізничного транспорту / П. А. Шегедін, В. С. Єременко, Ж. О. Павленко. // Матеріали Тринадцятої міжнародній науково-технічній конференції «Приладобудування: стан і перспективи» 23–24 квітня 2014 р. м. Київ, (КПІ) Україна. – 2014. – С. 199–200.
19. Шегедін П. А. Система обробки даних вібродіагностики тягово-рухомого складу / П. А. Шегедін, В. С. Єременко. // матеріали сьомої міжнародної науково-практичної конференції «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2014)», 19–20 травня 2014 р. м. Київ, Україна. – С. 271–273.
20. Шегедін П. А. Система обробки результатів випробувань демпфівальних властивостей гасників коливань залізничного транспорту /

П. А. Шегедін, В. С. Єременко. // Матеріали III науково-технічної конференції «Обчислювальні методи і системи перетворення інформації» присвяченої пам'яті професора Б.О. Попова. Львів – ФМІ, 25–26 вересня 2014 р. ОМІСП. – 2014. – С. 157–160.

21. Шегедін П. А. Програмне забезпечення системи обробки даних динамічних випробувань тягово-рухомого складу / П. А. Шегедін, В. С. Єременко. // II Міжнародна конференція контроль і управління в складних системах (КУСС-2014) Вінницький національний технічний університет, Вінниця 14–16 жовтня 2014 року. – 2014. – С. 168.

22. Шегедін П. А. Інформаційне забезпечення аналізу даних динамічних випробувань рухомого складу / П. А. Шегедін, В. С. Єременко. // Матеріали 7-ї МНТК «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтопромислового обладнання», 25–28 листопада 2014 року, м. Івано-Франківськ. – 2014. – С. 292–297.

23. Шегедін П. А. Застосування алгоритмів пошуку розладки для обробки даних динамічних випробувань рухомого складу / П. А. Шегедін, В. С. Єременко, Ж. А. Павленко. // Матеріали Чотирнадцятої міжнародній науково-технічній конференції «Приладобудування: стан і перспективи» 22–23 квітня 2015 р. м. Київ, (КПІ) Україна. – 2015. – С. 175–176.

АНОТАЦІЯ

Шегедін П. А. Комп'ютеризована система контролю параметрів технічного стану тягово-рухомого складу. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Державний економіко-технологічний університет транспорту, Київ, 2016.

Дисертаційна робота присвячена питанням розробки комп'ютеризованої системи контролю параметрів технічного стану тягово-рухомого складу. В роботі досліджено властивості інформаційних сигналів, що реєструються в ході спеціальних та динамічних випробуваннях. Розроблено новий метод визначення демпфувальних характеристик при проведенні випробувань по скиданні рухомого складу з клинів. Розроблений метод характеризується високою заводо захищеністю та точністю визначення логарифмічного декременту затухання та власної частоти коливань конструкції. Представлено результати апробації системи в ході випробувань локомотиву ЧС-8 та пасажирського вагону.

Запропоновано і досліджено використання алгоритмів виявлення розладки інформаційного сигналу датчиків віброприскорень при динамічних випробуваннях рухомого складу. Розроблено програмне забезпечення, що реалізує визначення стрибкоподібної зміни властивостей сигналів алгоритмами кумулятивних сум, Ш'юхарта та алгоритмом на основі

критерію перевірки однорідності Лемона-Розенבלата. В програмному забезпеченні системи реалізовано інструментарій статистичної обробки даних та перевірки статистичних гіпотез щодо нормальності закону розподілу критеріями Хі квадрат та Гирі. Наведено приклад використання розробленої системи для обробки результатів приймальних випробувань рухомого складу.

Розроблено методику та інструментарій обробки сигналів динамічних випробувань, що дозволяють виділяти їх кластери для врахування локальної стаціонарності та інформації про умови проведення випробувань, а саме режими руху, швидкість, прискорення та кривизну шляху на основі аналізу даних GPS-навігації, що забезпечує підвищення точності визначення діагностичних параметрів.

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна система, діагностика, рухомий склад, логарифмічний декремент затухання, демпфування, інформаційний сигнал, розладка, алгоритм кумулятивних сум, алгоритм Ш'юхарта, критерій Лемона-Розенבלата.

АННОТАЦИЯ

Шегедин П. А. Компьютеризированная система контроля параметров технического состояния тягово-подвижного состава. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты. – Государственный экономико-технологический университет транспорта, Киев, 2016.

Диссертация посвящена вопросам разработки компьютеризированной системы контроля параметров технического состояния тягово-подвижного состава. В работе исследованы свойства информационных сигналов, которые регистрируются в ходе специальных и динамических испытаниях. Разработан новый метод определения демпфирующих характеристик при проведении испытаний по сбрасыванию подвижного состава с клиньев. Разработанный метод характеризуется высокой помехозащищенностью и точностью определения логарифмического декремента затухания и собственной частоты колебаний конструкции. Представлены результаты апробации системы в ходе испытаний локомотива ЧС-8 и пассажирского вагона.

Предложено и исследовано использование алгоритмов обнаружения разладки информационного сигнала датчиков виброускорений при динамических испытаниях подвижного состава. Разработано программное обеспечение, реализующее определение скачкообразного изменения свойств сигналов алгоритмами кумулятивных сумм, Ш'юхарта и алгоритмом на основе критерия проверки однородности Лемона-Розенблатта. Приведен пример использования разработанной системы для обработки результатов приемочных испытаний подвижного состава.

Разработана методика и инструментарий обработки сигналов динамических испытаний, позволяющие выделять их кластеры для учета локальной стационарности и информации об условиях проведения испытаний, а именно режимы движения, скорость, ускорение и кривизну пути на основе анализа данных GPS-навигации, что обеспечивает повышение точности определения диагностических параметров.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, диагностика, подвижной состав, логарифмический декремент затухания, демпфирование, информационный сигнал, розладка, алгоритм кумулятивных сумм, алгоритм Шьюхарта, критерий Лемона-Розенблатта.

ANNOTATION

Shegedin P. A. Computerized diagnostic system of technical state parameters of the traction rolling stock. – Manuscript.

The thesis to apply for a scientific degree of Cand. Tech. Sci. on a speciality 05.13.05 – computer systems and components. – State Economy and Technology University of Transport, Kyiv, 2016.

The research is devoted to the development of computerized diagnostic system of technical state parameters of the traction rolling stock. The properties of information signals recorded in special and dynamic tests have been investigated in the research. Bouncing oscillation, pitching oscillation and oscillation of lateral slacking are simulated by tests for reset of the locomotive with wedges.

According to existing regulatory documents, natural frequency of constructions oscillation is calculated as the inverse value to the period of oscillations that is determined by the oscillogram signal as the time interval between two peak values of the decaying signal. Logarithmic damping decrement is also determined from the amplitude values of more consistently following the positive or negative oscillations. However, the shape distortion of signal side harmonics leads to ambiguity of determination of numeric values of the damping parameters. A new method for determining damping characteristics by tests for reset with wedges was developed, that characterized by high interference protection and accuracy of logarithmic damping decrement and natural frequency of the structure. The methodology of testing for determines damping characteristics and algorithms of calculation of the damping parameters are demonstrated. Due to high sensitivity and noise immunity of the proposed method, it is possible to investigate the damping properties of the objects of diagnostics on the auxiliary axis of dampener functioning.

To improve the procedure of detection of logarithmic damping decrement the system of special software modules have been implemented. These modules provide the possibility to detect informative section from input signal and perform interpolation of the envelope of the signal spectral graph.

The results of approbation of the system during testing of the locomotive CHS-8 and passenger car are presented.

The research offers and investigates the usage of imbalance detection algorithms of information signal of vibroaccelerations sensors during dynamic tests of the rolling stock. This work describes the software that implements the definition of spasmodic changes of signal properties by CUSUM procedure, Shyuhart's algorithm and Lemon-Rozenblat criteria. For the analysis of the degree of homogeneity of the sample captures that were obtained as a result of the algorithms, the homogeneity on mathematical expectation under the Student criteria was analyzed. Thus, selection of sections for analysis, which will have characteristics peculiar to stationary process, can be carried out on the basis of imbalance detection. The developed software of vibrodiagnostics data processing of traction and rolling stock (TRS) allows analyzing test data of TRS for the presence of imbalance in the output signal and selecting the time realizations that meet stationary process.

Data processing of sections with local stationarity ensures the accuracy and unambiguity of the outcome of rail transport vibrodiagnostics. The advantage of the developed system is its flexible architecture and the possibility to simply add functional modules that implement additional signal processing algorithms. Compliance with the data analysis according to the zone curvature is based on data analysis of GPS navigation. Approbation of the system was carried out in the processing of data obtained from dynamic testing of high-speed train on a straight section of the path over 40 km long. Speed of movement of the object of diagnosis reached 170 km / h. The recorded signals were divided into the time arrays according to UIC 518. After checking for the availability imbalance of each realizations non-stationarity process was noted in some cases caused by changes in the mode of the object and the quality of the rail cloth.

A computerized control system of the technical state has been developed for the first time. The system allows to register the spatial coordinates of finding the object diagnostics on the basis of GPS-navigation with subsequent affixment of results of data processing to modes of movement and curvature of the track.

Keywords: information-measuring system, diagnostics, rolling stock, logarithmic decrement, damping, information signal, imbalance, CUSUM procedure, Shyuhart's algorithm, Lemon-Rozenblat criteria.

Підп. до друку 11.04.2016. Формат 60x84/16. Папір офс.
Офс. друк. Ум. друк. арк. 1,39. Обл.-вид. арк. 1,5.
Тираж 100 пр. Замовлення № 42-1.

Видавець і виготівник
Національний авіаційний університет
03680. Київ – 58, проспект Космонавта Комарова, 1

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 977 від 05.07.2002