

Міністерство освіти і науки України  
Українська державна академія залізничного транспорту

ПЕТУХОВ ВАДИМ МИХАЙЛОВИЧ

УДК 629.4.027.11: 681.518.5

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ОЦІНКИ І  
ПРОГНОЗУВАННЯ РЕСУРСУ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ  
НОВОГО ПОКОЛІННЯ

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Харків – 2013

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі вагонів Української державної академії залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник** кандидат технічних наук, доцент  
Борзилов Іван Дмитрович, Українська державна академія залізничного транспорту, кафедра вагонів, професор кафедри

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
Кельріх Мусій Борисович, Державний економіко-технологічний університет транспорту, кафедра вагонів та вагонного господарства, завідувач кафедри

кандидат технічних наук, доцент  
Мурадян Леонтій Абрамович, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, кафедра вагонів та вагонного господарства, доцент кафедри

Захист відбудеться “25” жовтня 2013 р. о 11<sup>00</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий “24” вересня 2013 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

А. В. Прохорченко

## **ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

### ***Актуальність теми***

Особливе значення для забезпечення безпеки руху на залізничному транспорті має висока надійність буксових вузлів рухомого складу. Пошкодження цих вузлів, що не виявлені своєчасно, можуть призвести до важких наслідків – сходу вагонів внаслідок зламу шийок осей колісних пар при русі поїзда. Кількість таких серйозних інцидентів на залізницях України за останні п'ятнадцять років склало 35 випадків. Частка відчеплень вагонів внаслідок несправності буксових вузлів за період 2002 - 2012 роки склало близько 38,4%.

Попередження таких випадків можливо лише за умови раннього та своєчасного виявлення дефектів елементів буксових вузлів. Тобто контроль технічного стану буксових вузлів в умовах експлуатації є важливою складовою забезпечення безпеки руху.

Перспективи створення сучасних конкурентоспроможних вантажних вагонів вимагають не лише підвищення конструкційних швидкостей та збільшення навантаження на вісь, але і забезпечення пробігу буксових вузлів до 1 млн км без проведення ремонту (так звані вагони нового покоління, що обладнані буксовими вузлами з дворядними конічними підшипниками касетного типу). Крім того, ці вагони мають різноманітні конструкції ходових частин, в яких використовуються підшипники різних виробників з різними мастилами. Тому існуючі системи контролю не забезпечують в достатній мірі необхідний рівень оцінки технічного стану букс цих вагонів. Ця проблема особливо актуальна, тому, що частка таких вантажних вагонів поступово зростає.

Також не вирішеним завданням залишається визначення залишкового ресурсу букси, у якої був виявлений дефект під час руху поїзда. Це обумовлено тим, що більшість дослідників орієнтувалися тільки на контроль букс дистанційними засобами теплового контролю, які не дозволяють із заданою вірогідністю визначати технічний стан вузла на майбутній інтервал часу. Тому тема дисертації, що спрямована на удосконалення методів та засобів оцінки і прогнозування ресурсу буксових вузлів вантажних вагонів нового покоління в експлуатації для перспективного рухомого складу, є актуальною і має вагоме значення для технічного переозброєння парку вантажних вагонів України.

### ***Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами***

Дисертаційна робота виконана згідно з "Комплексною програмою оновлення залізничного рухомого складу України на 2008 - 2020 роки" (затверджена Наказом Міністра транспорту та зв'язку України від 14 жовтня 2008 р. № 1259), науково-дослідними роботами за темами: "Розробка системи визначення технічного стану буксових вузлів вбудованими системами контролю на ходу поїзда" (№ ДР 0112U000710), "Дослідна експлуатація вбудованої системи контролю буксових вузлів вагонів на шляху прямування та розробка рекомендацій щодо застосування даної системи на вантажному рухомому складі" (№ ДР 0112U007565).

### ***Мета і задачі дослідження***

Метою роботи є удосконалення методів та засобів оцінки і прогнозування ресурсу буксових вузлів вантажних вагонів нового покоління.

Виходячи із цього в дисертаційній роботі поставлені такі задачі:

- визначити основні діагностичні ознаки відмов буксових вузлів вантажних вагонів, які призводять до транспортних подій;
- виконати порівняльний аналіз існуючих систем контролю технічного стану буксових вузлів в експлуатації та визначити найбільш ефективний;
- запропонувати структуру діагностичного забезпечення буксових вузлів вантажних вагонів нового покоління;
- створити комплекс взаємозв'язаних моделей для розробки діагностичного забезпечення буксових вузлів вантажних вагонів нового покоління;
- запропонувати прогнозну модель визначення залишкового ресурсу буксового вузла;
- на основі запропонованого діагностичного комплексу моделей розробити структуру вбудованої системи контролю;
- розробити програму-методику та провести натурні випробування системи контролю технічного стану для буксових вузлів вантажних вагонів нового покоління.

*Об'єкт дослідження* – процес контролю технічного стану буксового вузла.

*Предмет дослідження* – методи та засоби оцінки і прогнозування ресурсу буксових вузлів з касетними конічними підшипниками.

#### ***Методи дослідження***

Для вирішення поставлених задач теоретичні дослідження виконувались на основі системного підходу з використанням методів теорії імовірності та математичної статистики, теорії розпізнавання образів, методів технічної діагностики, прогнозування на основі часових (динамічних) рядів.

Експериментальні дослідження виконувались в умовах реальної експлуатації вантажних вагонів на станції Основа Південної залізниці й Полтавського гірничозбагачувального комбінату.

Достовірність отриманих результатів визначено зіставленням результатів теоретичних та експериментальних досліджень.

#### ***Наукова новизна одержаних результатів***

В дисертаційній роботі вирішено науково-прикладне завдання щодо визначення технічного стану буксових вузлів вантажних вагонів, які обладнані касетними конічними підшипниками та прогнозування їх залишкового ресурсу в експлуатації шляхом використання вбудованих засобів контролю.

*Вперше:*

- запропоновано модель оцінки технічного стану буксового вузла вбудованими засобами контролю, в яку введено додаткова ознака розпізнавання - залежність температури букси від частоти обертання колісної пари, яка дозволяє більш достовірно оцінити технічний стан буксового вузла;
- обґрунтовано і дано визначення передвідмовного стану буксового вузла, що дозволяє почати процедуру прогнозування його залишкового ресурсу при русі поїзда;
- запропоновано математичну модель прогнозування залишкового ресурсу буксового вузла, що перебуває у передвідмовному стані, за допомогою інформації

по температурі, наданої вбудованими засобами контролю при русі поїзда.

*Дістали подальшого розвитку:*

– теплова модель буксового вузла, яка враховує не швидкість поїзда, а частоту обертання колісної пари, що дозволяє використовувати її незалежно від діаметра підшипника і діаметра колеса;

– модель визначення технічного стану буксових вузлів вантажних вагонів, де враховуються особливості дворядних конічних підшипників касетного типу, що обладнані вбудованими засобами контролю.

### ***Практичне значення одержаних результатів***

Процедури визначення технічного стану та контролепридатності буксових вузлів вантажних вагонів, що обладнані дворядними конічними підшипниками касетного типу, використовується у ПАТ "Крюківський вагонобудівний завод" при проектуванні ходових частин вагонів нового покоління.

Методика прогнозування залишкового ресурсу буксових підшипникових вузлів вантажних вагонів, які оснащені дворядними конічними підшипниками касетного типу та вбудована система контролю технічного стану буксових вузлів для вагонів нового покоління рекомендовано до впровадження Державною адміністрацією залізничного транспорту Укрзалізницею на залізницях України.

Отримані положення використовуються в навчальному процесі Української державної академії залізничного транспорту для підготовки спеціалістів та магістрів спеціальності "Вагони та вагонне господарство" при вивченні дисциплін "Надійність і технічна діагностика залізничного рухомого складу", "Основи технічного обслуговування вагонів", "Інформаційні технології у вагонному господарстві", при виконанні науково-дослідних робіт студентів, у дипломному проектуванні студентів та магістрів.

Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними актами впровадження, які наведені в додатках до дисертаційної роботи.

### ***Особистий внесок здобувача***

Всі положення та результати, які виносяться на захист, були отримані автором самостійно. У роботах, які опубліковані в співавторстві, дисертанту належать: аналіз теплової моделі буксового вузла [2]; аналіз методів контролю букс вбудованими засобами [3]; обґрунтування визначення передвідмовного стану букс вагонів [8]; розробка програми-методики випробувань [9]; розробка структури пристрою для моніторингу букс [10]; розробка процедури контролю технічного стану букс вбудованими засобами [11].

Дослідження, що висвітлені в усіх наукових працях, проводилися в Українській державній академії залізничного транспорту.

### ***Апробація результатів дисертації***

Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися і отримали схвалення на таких конференціях:

– на VIII і X Науково-практичних конференціях "Безпека руху поїздів" (м. Москва, 2007, 2009 рр.);

– XXXIV Науково-технічній конференції викладачів, аспірантів і співробітників Харківської національної академії міського господарства (м. Харків,

2008 р.);

– 69 Міжнародній конференції "Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту" (м. Дніпропетровськ, 2009 р.);

– XVII Міжнародній науково-практичній конференції НТУ «ХПІ» (м. Харків, 2009 р).

Повністю дисертаційна робота доповідалася та була позитивно оцінена: на розширеному засіданні кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту за участю членів спеціалізованої ради (м. Харків); науково-технічній раді Українського науково-дослідного інституту вагонобудування (м. Кременчук); засіданні кафедри вагонів та вагонного господарства Державного економіко-технологічного університету транспорту (м. Київ).

### ***Публікації***

За темою дисертації опубліковано 15 наукових праць, у тому числі 9 наукових статей (зокрема 5 з них без співавторів) у виданнях, що затверджені Міністерством освіти і науки України, 1 патент на винахід, 5 тез доповідей.

### ***Структура та обсяг дисертації***

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел та чотирьох додатків і викладена на 160 сторінках, з яких обсяг основного тексту 130 сторінок, містить 11 таблиць та 38 рисунків. Список використаних джерел нараховує 112 найменувань.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

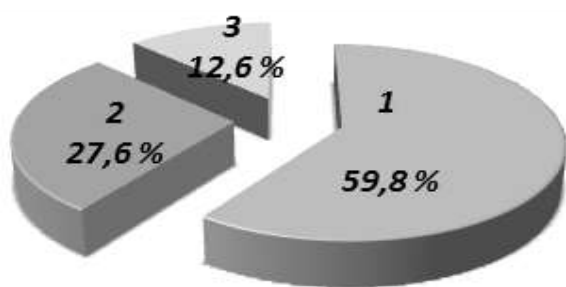
**У вступі** обґрунтована актуальність обраної теми дослідження, сформульована мета роботи, подана загальна характеристика дисертаційної роботи та визначені її наукова новизна та практична цінність.

**У першому розділі** зосереджено результати аналізу основних діагностичних ознак відмов та несправностей буксових вузлів вагонів у сучасних умовах експлуатації, зроблено аналітичний огляд переваг та недоліків відомих та перспективних систем контролю буксових вузлів вагонів як в Україні, так і за кордоном. Також подано огляд публікацій, присвячених дослідженням, що спрямовані на вирішення задачі удосконалення контролю технічного стану буксових вузлів рухомого складу в експлуатації.

Питанням підвищення ефективності функціонування залізничного транспорту присвячені дослідження М. І. Данька, Д. В. Ломотька, Т. В. Бутько та ін. У розвитку наукових підходів до підвищення надійності рухомого складу залізниць визначну роль відіграли фундаментальні праці Є. П. Блохіна, О. Л. Голубенка, Ю. В. Дьоміна, М. Б. Кельріха, В. М. Котуранова, В. І. Мороза, Е. Д. Тартаковського та ін. Проблема удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту рухомого складу присвячені дослідження О. Б. Бабаніна, М. І. Горбунова, Ю. Є. Калабухіна, В. П. Ткаченка, А. П. Фалендиша. У створенні удосконалених конструкцій рухомого складу різного призначення та їх вузлів значний внесок належить А. В. Донченку, В. Г. Маслієву, С. В. Мямліну, О. М. Савчуку, В. Ф. Ушкалову, Л. А. Мурадян. Задачам підвищення надійності буксових підшипникових вузлів вагонів присвячені дослідження І. Е. Мартинова, І. Д. Борзилова, А. В. Гайдамаки. Безпосередньо над

проблемами теплової діагностики буксових вузлів успішно працювали В. І. Самодуров, С. М. Лозинський, Є. Є. Трестман, О. А. Міронов. У цьому напрямку плідно працювали фахівці багатьох науково-дослідних і навчальних закладів: Всеросійського науково-дослідного інституту залізничного транспорту, Московського державного університету шляхів сполучення, Уральського державного університету шляхів сполучення, Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Українського науково-дослідного інституту вагонобудування та ін.

Виконаний аналіз причин відчеплень вагонів на шляху прямування показав, що буксовий вузол залишається найбільш проблемним вузлом вантажних вагонів.



1 – температура; 2 – зсув торцевого кріплення; 3 – інші

Рисунок 1 – Діаграма розподілу діагностичних ознак несправностей буксового вузла

Частка відмов цього вузла в транспортних подіях за останні десять років коливається у діапазоні від 26,4 % до 51,6 % від їх загальної кількості. Встановлено (рис.1), що найважливішими діагностичними ознаками несправних роликкових букс, які дали підстави для відчеплення вагонів, є надмірна температура букси (близько 60 %) та зсув корпусу букси уздовж шийки осі (27,6 %). Причому останній чинник виявляється лише оглядачами вагонів. У середньому оглядачами визначається 43,6 % несправностей букс. Це свідчить про те, що цей процес недостатньо автоматизова-

но і велику роль відіграє "людський чинник". Тому завжди існує ймовірність пропуску оглядачами несправної букси в складних метеорологічних умовах, у нічний час тощо.

Контроль існуючими дистанційними (безконтактними) засобами нерідко призводить до помилкових тривог, що складає близько 13% від усіх випадків зупинок поїзда по нагріванню букс. Також спостерігається тенденція до їх зростання внаслідок появи на залізницях України вагонів з удосконаленими буксовими вузлами, що обладнані дворядними підшипниками касетного типу. Це призводить до необґрунтованих затримок у русі та нераціональних витрат трудових і матеріальних ресурсів.

Огляд і аналіз робіт з теорії та практики методів контролю технічного стану буксових вузлів в експлуатації показали, що поза увагою дослідників залишилися методи діагностики букс вбудованими засобами контролю. Виявлено, що всі ознаки розпізнавання несправних букс, які використовуються в існуючих системах контролю, спираються на різні алгоритми математичної обробки лише одного діагностичного параметра – зовнішньої температури букси. Зазначено, що дотепер залишається актуальною задача визначення залишкового ресурсу букси, у якої був виявлений дефект під час руху поїзда.

Зроблено висновок, що прямий контроль стану буксових вузлів, що полягає в установленні температурних датчиків безпосередньо усередині букси, здатний

забезпечити максимальну достовірність контролю і виключити вплив зовнішніх атмосферних, аеродинамічних і інших чинників на достовірність контролю.

Також у розділі були проаналізовані як вітчизняні, так і закордонні методи та засоби контролю буксових вузлів в експлуатації. Було встановлено, що останнім досягненням у напрямку контролю букс є установа вбудованих датчиків для визначення частоти обертання, напрямку обертання та температури підшипників. У цей час підшипники з вбудованими датчиками стають стандартними компонентами сучасного рухомого складу. Передові виробники буксових вузлів, такі як SKF (Швеція), FAG (Німеччина), Timken (США), оснащують свої букси такими системами.

Тому за результатами аналізу статистичних даних, сучасних технічних засобів і методів контролю буксових вузлів, досвіду передових країн, тенденцій розвитку буксових вузлів, а також з огляду на рівень розвитку техніки, було зроблено висновок про те, що найбільш прийнятним методом контролю вантажних вагонів нового покоління повинен стати метод безпосереднього контролю, тобто буксові вузли мають бути оснащені вбудованими засобами контролю. Це значно підвищує достовірність контролю, а також створює передумови для ремонту вузла за технічним станом.

Під час досліджень було визначено, що при розробках нових буксових вузлів не розглядалась їх контролепридатність під час експлуатації, не створювалося відповідне діагностичне забезпечення. Процеси розробки буксових вузлів та систем їх контролю виконувалися окремо одне від одного.

Тому зроблено висновок, що при конструктивній розробці буксових вузлів вантажних вагонів нового покоління необхідно паралельно розробляти їх діагностичне забезпечення.

На підставі викладеного сформульована мета та задачі дисертаційної роботи.

**У другому розділі** запропонована структура діагностичного забезпечення буксових вузлів вантажних вагонів нового покоління, що наведена на рис. 2.

Зроблено висновок, що при розробці діагностичного забезпечення буксового вузла вагонів нового покоління потрібно вирішувати такі питання:

1. Розробити діагностичну модель буксового вузла.
2. Запропонувати процедуру визначення його технічного стану.
3. Визначити потрібні параметри і конфігурацію вбудованого засобу контролю з урахуванням температурного режиму та конструкції буксового вузла.

Для розробки діагностичного забезпечення буксового вузла (БВ) запропоновано комплекс математичних моделей, структура якого наведена на рис. 3.

Комплекс складається із взаємозв'язаних блоків моделей. Блок алгоритму прийняття рішення про вплив на об'єкт в роботі не розглядається, тому що це питання виходить за рамки цього дисертаційного дослідження.

Також у розділі було визначено, що основним критерієм аварійного стану буксового вузла є рівень нагрівання шийки осі колісної пари. Тому достовірність оцінки технічного стану букси залежить від зв'язку між параметрами контрольної точки та істинним станом об'єкта, тобто ймовірність достовірного визначення



технічного стану букси  $p$  буде функцією коефіцієнта зв'язку  $r$  температури шийки осі і контрольної точки:  $p = f(r)$ .

При цьому достовірність визначення технічного стану букси буде тим вище, чим більше коефіцієнт зв'язку  $r$ . Тому зроблено висновок, що при розміщенні температурних датчиків на шийці осі коефіцієнт зв'язку  $r$  буде максимальним, а точність контролю буде визначатися лише точністю вимірювальних засобів.

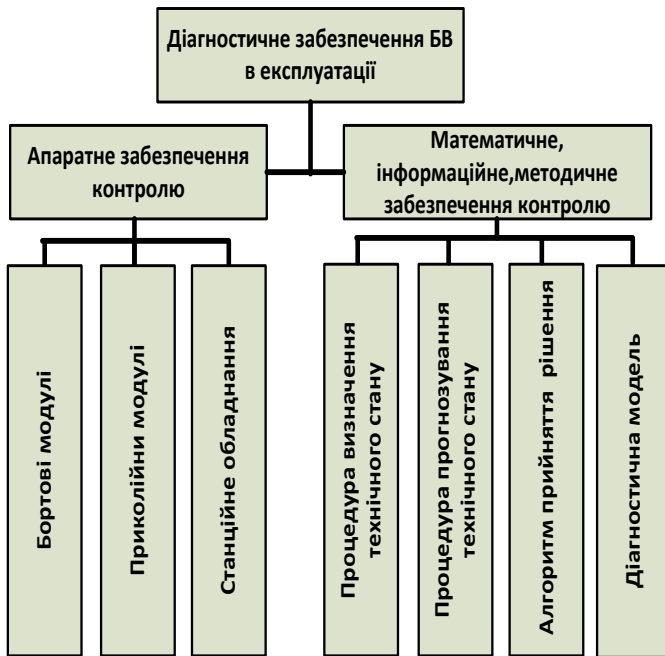


Рисунок 2 – Структура діагностичного забезпечення буксового вузла вагонів нового покоління

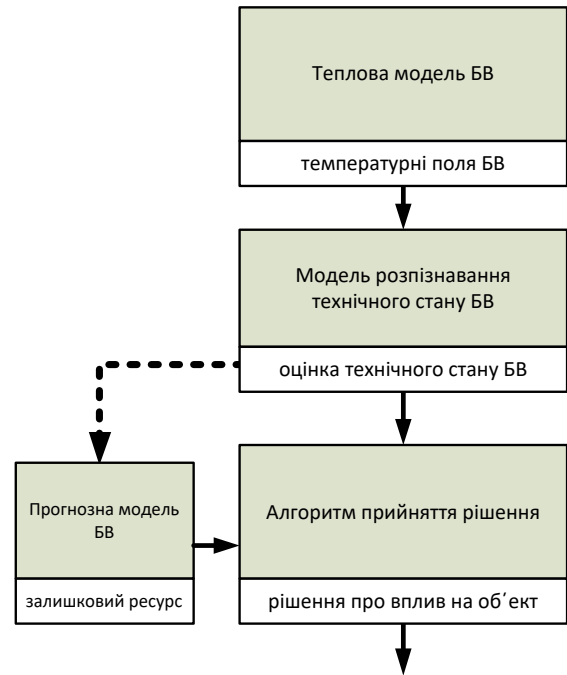


Рисунок 3 – Структура комплексу математичних моделей

Було визначено, що існуючі діагностичні моделі буксових вузлів були призначені для дистанційних засобів контролю, тому враховують лише швидкість поїзда, але, як показує світовий досвід контролю, при цьому можливі помилки оцінки температури, що призводили до затримок у русі поїздів.

Тому для вирішення цієї задачі пропонується температурна модель буксового вузла, що враховує не швидкість руху поїзда, а частоту обертання колісної пари, тобто дозволяє використовувати дану модель для вбудованих засобів контролю та різних типів підшипників та колісних пар

$$\frac{dT}{dt} = \frac{P \cdot N \cdot \pi \cdot D \cdot f}{\sum_{i=1}^n c_i \cdot p_i} - \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot F_i \cdot (T_i - T_3)}{\sum_{i=1}^n c_i \cdot p_i}, \quad (1)$$

де  $P$  – навантаження на буксу, Н;  $N$  – частота обертання колісної пари,  $s^{-1}$ ;  $D$  – діаметр підшипника, м;  $f$  – наведений коефіцієнт тертя, що враховує сумарне тертя кочення і ковзання робочих поверхонь підшипників, опір змащення і тертя роликів із сепаратором;  $\sum_{i=1}^n c_i p_i$  – повна теплоємність елементів вузла, Дж/(кг·К);  $dt$  – час роботи підшипника, с;  $\alpha_i$  – коефіцієнт тепловіддачі, Вт / (м<sup>2</sup> · К);  $F_i$  – площа

зовнішніх поверхонь букси,  $m^2$ ;  $T_i, T_3$  – відповідно температури зовнішніх поверхонь корпуса букси та зовнішнього повітря, К.

Такі залежності для дворядних конічних підшипників касетного типу були отримані при дослідженнях д.т.н. І. Е. Мартиновим під час стендових випробувань.

Наступний блок комплексу призначено для визначення технічного стану вузла.

Цей блок складається з таких етапів:

- встановлення принципу класифікації букс;
- формування словника ознак (коду), що характеризують контрольований параметр букси і відображують її технічний стан;
- аналітичний опис класів об'єктів розпізнавання (технічний стан букси) мовою обраних ознак;
- складання алгоритмів логічної обробки сформованих ознак, які забезпечили б максимальне значення вірогідності розпізнавання технічного стану букс.

При встановленні класифікації букс запропоновано їх поділяти на три класи: 1) справні букси; 2) аварійні букси, експлуатація яких неможлива; 3) букси, що перебувають у передвідмовному стані.

Визначення передвідмовного стану буксового вузла має суттєве значення, тому що фіксація початку небезпечному розвитку дефекту дає можливість у багатьох випадках запобігати відмовам.

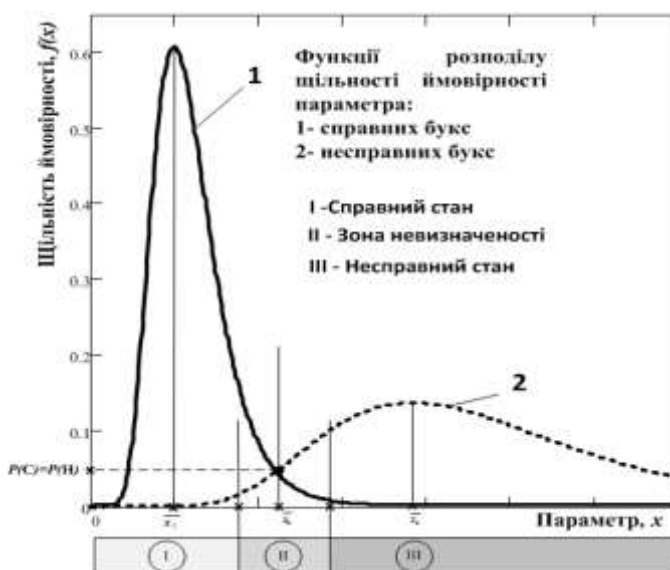


Рисунок 4 – Графічна ілюстрація «зони невизначеності» при оцінці технічного стану

Відомо, що в деяких випадках будь-яка система розпізнавання не здатна однозначно оцінити стан об'єкта. Ця ситуація виникає, коли ймовірність справного стану дорівнює ймовірності несправного стану, виникає так звана «зона невизначеності» (рис. 4). Тому у розділі визначено поняття передвідмовного стану, тобто коли відмова ще не відбулася, але ймовірність її виникнення висока. Буксовий вузол перебуває в передвідмовному стані, коли хоча б один з його параметрів, що характеризують здатність виконувати задані функції, наближається до граничного значення. При передвідмовному стані букси

подальша її експлуатація призводить до відмови. Щоб визначити передвідмовний стан, необхідно врахувати характер зміни діагностичних параметрів, наприклад таких, як температура. Імовірність подальшого погіршення параметрів повинна бути

більше, ніж імовірність їхнього поліпшення або відсутності динаміки зміни, тобто має зберігатися тенденція погіршення параметрів. А також виконуватися умови

$$P(H) > P(C), \quad (2)$$

де  $P(H)$  – імовірність несправного технічного стану;  $P(C)$  – імовірність справного технічного стану.

Для визначення передвідмовного стану буксового вузла запропоновано використати поняття тривимірного радіуса-вектора технічного стану об'єкта  $a$ , що має напрям до збільшення ймовірності відмови (рис. 5). Радіус - вектор розташовано в тривимірному просторі, де абсцисі відповідає значення часу ( $\tau$ ), ординаті –

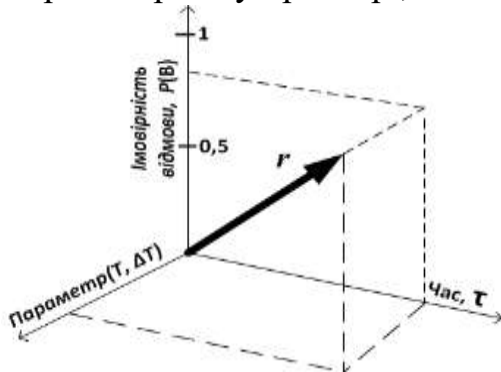


Рисунок 5 – Радіус-вектор технічного стану буксового вузла

параметр, що контролюється (температура,  $T$ ), апікати – імовірність несправного стану  $P(H)$ . Зроблено висновок, що для визначення передвідмовного стану, як векторної величини потрібні «динамічні» ознаки розпізнавання, тобто ті, що відображують зміни параметрів у часі. Також у розділі у рамках створення моделі визначення технічного стану букс був проведений аналіз і вибір ознак розпізнавання (табл.1).

Таблиця 1 — Ознаки розпізнавання технічного стану букс

Позначення ознак	Ознака розпізнавання	Математичний вираз
$X_1$	Температура букси, $^{\circ}C$	$T$
$X_2$	Темп зростання температури букси, $^{\circ}C / \text{хв}$	$\Delta T_i / \tau$
$X_3$	Відношення температури букси до середньої температури букс вагона, без урахування максимальної температури	$\Delta T_i / T_{cp}^*$
$X_4$	Залежність температури букси від частоти обертання колісної пари	$T = f(N)$

При цьому керувалися такими умовами:

- використовувалися ті ознаки, щодо яких може бути отримана апріорна інформація, достатня для визначення технічного стану буксового вузла;
- виключалися ті ознаки, які малоінформативні й не мають достатніх розділових властивостей;
- урахувалися технічні можливості вбудованих засобів контролю.

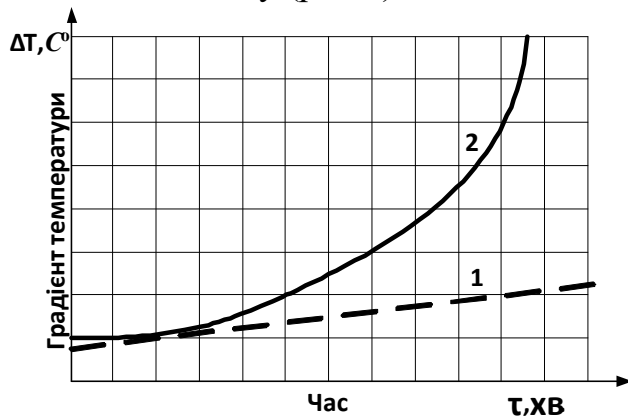
Ознака  $X_1$ , що була обрана, є основна. Вона несе інформацію про рівень нагріву букси в момент контролю.

Використовуючи таку ознаку розпізнавання, як приріст температури ( $X_2$ ), можна розділяти букси, що надмірно нагріваються, на два типи (рис. 6), а саме:

- "лінійні" – для букс характерне рівномірне, лінійне зростання температури до досягнення нею граничного значення;

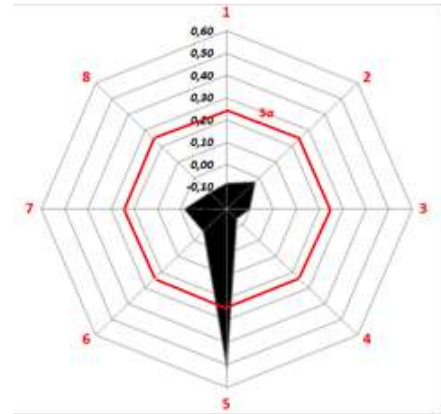
- "експонентні" – відбувається настільки швидко зростання температури букси, що потрібна аварійна зупинка поїзда.

Технічний стан  $i$ -го буксового вузла характеризується наведеною температурою  $\theta_i = T_i/T_{ср}$ , що фактично вказує на частку його температури в загальному середньому значенні температури букс усього вагона (ознака  $X_3$ ). Позитивна динаміка наведеної температури однієї з букс указує на погіршення її технічного стану (рис.7).



1—"лінійного типу"; 2 — "експонентного типу"

Рисунок 6 – Типи букс, що надмірно нагріваються



1...8 — номери букс вагона

Рисунок 7 – Діаграма визначення несправної букси вагона за ознакою  $X_3$

Також запропоновано при застосуванні вбудованих засобів контролю використовувати додаткову ознаку розпізнавання — залежність температури букси від частоти обертання колісної пари ( $X_4$ ).



1 - для завантажених вагонів; 2 - для порожніх вагонів;  $(T_б - T_{зп})$  – різниця температур між буксою та зовнішнім повітрям

Рисунок 8 – Діаграма залежності

Як бачимо з формули (1), температура букси безпосередньо залежить від частоти обертання колісної пари. Ці співвідношення були також отримані експериментально для різних буксових вузлів, в тому числі з касетними конічними підшипниками при експлуатації. Таким чином, для кожного типу буксового вузла при відомій навантаженні існує певний температурний режим (рис. 8). Вихід температури букси за зону довірчого інтервалу  $(+3\sigma)$ , характерному для такої букси, за інших рівних умов, є ознакою її несправного технічного стану. Використовуючи цю ознаку, можливе раннє виявлення букс із дефектом, що

температури букси від частоти зароджується, у тому числі в порожніх  
 обертання колісної пари і малозавантажених вагонах, де  
 процеси руйнування

підшипників відбуваються відносно повільно, а також виключається вплив сторонніх факторів (температура навколишнього середовища, сонячне випромінювання, завантаження вагона та ін.).

Для аналітичного опису технічного стану букс мовою обраних ознак необхідно виділити в просторі ознак області  $D_i, i = 1, 2, \dots, m$ , що відповідають класам  $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_m$  об'єктів розпізнавання, знайти апріорні імовірності  $\rho(\Omega_i)$  належності об'єкта до класу  $\Omega_i$ , функції щільності імовірності  $W_n(X_1, X_2, \dots, X_n)$  значень ознак розпізнавання  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , що належать класу  $\Omega_i$ .

Якщо сукупність  $n$  ознак розпізнавання зобразити у вигляді  $n$ -вимірного вектора  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  простору ознак, то при аналітичному описі класів об'єктів розпізнавання границя (відокремлювальна функція) між областями  $D_i$ , що відповідає класам  $\Omega_i$ , виражається рівнянням

$$F_q \cdot (X_q) - F_q \cdot (X_q) = 0, \quad (3)$$

Оптимальне рівняння відокремлювальної функції може бути отримане на основі критерію Байєса, що мінімізує середній ризик прийняття неправильного рішення.

$$D(X_1, X_2, \dots, X_n) = \frac{P(\Omega_j)W_n(X_1, X_2, \dots, X_n/\Omega_j)}{P(\Omega_i)W_n(X_1, X_2, \dots, X_n/\Omega_i)} = \frac{P(\Omega_j)}{P(\Omega_i)} \lambda(X_1, X_2, \dots, X_n) = \frac{c_{ij} - c_{ii}}{c_{ji} - c_{jj}}, \quad (4)$$

де  $P(\Omega_j), P(\Omega_i)$  – апріорні імовірності відповідних класів станів;

$\lambda(X_1, X_2, \dots, X_n)$  – функція правдоподібності;

$\begin{vmatrix} c_{ii} & c_{ij} \\ c_{ji} & c_{jj} \end{vmatrix}$  – матриця вартості втрат, у якій рядки відповідають гіпотезам  $H_i$  і

$H_j$ , а стовпці – рішенням  $\gamma_i$  і  $\gamma_j$ .

Процедура складання алгоритмів логічної обробки сформованих ознак, які забезпечили б максимальне значення вірогідності розпізнавання технічного стану букс для прийняття рішення зводиться до виконання умови

$$B < \lambda(X_1, X_2, \dots, X_n) < A. \quad (5)$$

Рішення приймається на користь гіпотези  $H_i$ , як тільки буде виконана нерівність

$$\lambda(X_1, X_2, \dots, X_n) \geq A, \quad (6)$$

і на користь гіпотези  $H_j$  при виконанні нерівності

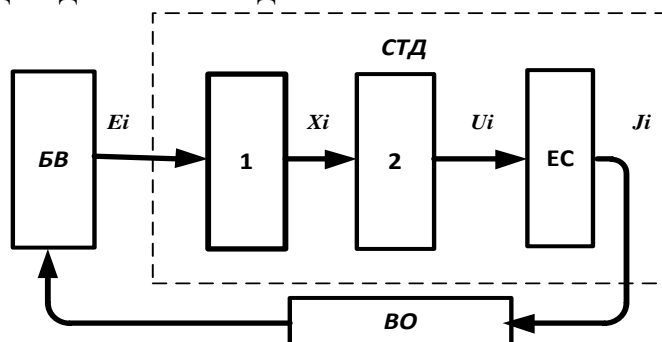
$$\lambda(X_1, X_2, \dots, X_n) \leq B, \quad (7)$$

де  $A$  і  $B$  – граничні значення.

Також у розділі пропонується модель визначення технічного стану буксового вузла в експлуатації із використанням вбудованих засобів контролю, що зводиться до послідовного виконання таких операцій:

- формування ознак стану об'єкта;
- класифікація стану об'єкта;
- обробка інформації про стан об'єкта та ухвалення рішення про вплив на нього.

Така модель утворює складну динамічну систему (рис. 9), до складу якої входять: об'єкт контролю – буксовий вузол (БВ), система технічної діагностики (СТД) букс в експлуатації, експертна система (ЕС) та виконавчий орган (ВО) – обслуговуючий персонал: оглядачі, ремонтники, що виконують обслуговування та ремонт вузла відповідно до показань діагностичної системи.



1 – формувач ознак розпізнавання; 2 – класифікатор технічного стану буксового вузла

Рисунок 9 – Структура визначення технічного стану букс із використанням вбудованих засобів контролю

У третьому розділі обґрунтовується вибір прогнозної моделі та досліджується застосовність методу часових рядів для прогнозування залишкового ресурсу букси в передвідмовному стані з використанням вбудованих засобів контролю технічного стану.

Можливість прогнозування величини залишкового ресурсу забезпечується при одночасній наявності таких умов:

- відомі параметри, що визначають технічний стан вузла;
- відомі критерії його граничного стану;
- є можливість безперервного контролю значень параметрів.

Вбудовані засоби діагностики буксових вузлів дозволяють виконувати ці завдання завдяки безперервному моніторингу технічного стану об'єкта, наявністю таймера й внутрішньої пам'яті.

Таким чином, з'являється можливість спрогнозувати залишковий ресурс буксового вузла в передвідмовному стані під час руху, виражений у відстані або в часі. Такий прогноз дозволяє прийняти обґрунтоване рішення про режим руху поїзда з неодмінним забезпеченням безпеки руху, у складі якого є вагон з буксою, що має передвідмовний стан.

Таке прогнозування припускає досить точний кількісний вимір імовірних можливостей очікуваних значень ознаки. З аналізу графіків температурного режиму



буксового вузла вагона при його русі встановлено, що крива зростання температури є трендом.

Це пов'язано з тим, що буксовий вузол має теплову інерцію і внаслідок цього нерівномірність ходу поїзда, і це, як підтвердили випробування, не впливає помітно на температуру шийки осі. Тому для прогнозування температури букси розглянуто тільки тренд.

Для вирішення завдання прогнозування залишкового ресурсу вузла був обраний ряд, досить точно описуваний моделлю (рис. 10)

$$(1 - 0,8B)(1 - B) \cdot z_{t+l} = a_{t+l}, \quad (8)$$

де  $B$  – оператор зсуву назад, обумовлений як,  $Bz_t = z_{t-1}$ ;  $z_t$  – значення контрольованої величини в момент часу  $t$ ;  $z_{t-l}$  – значення контрольованої величини в попередній момент часу  $t - l$ ;  $z_{t+l}$  – значення контрольованої величини через час упередження  $l$ ,  $l = 1, 2, \dots, n$ ;  $a_{t+l}$  – незалежний імпульс, "білий шум"; ці імпульси — реалізації випадкових величин з фіксованим розподілом, що звичайно передбачається нормальним з нульовим середнім і дисперсією  $\sigma_a^2$ .

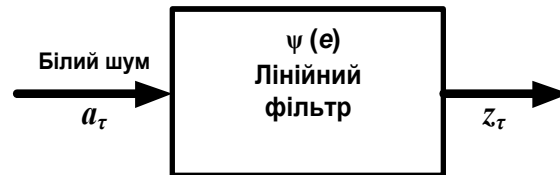


Рисунок 10 – Модель прогнозування залишкового ресурсу буксового вузла

Для практичних обчислень прогнозу температури букси використовувалося зображення моделі різницеvim рівнянням. Такі прогнози в момент часу  $t$  будуть мати вигляд:

$$\begin{aligned} \hat{z}_t(1) &= 1,8z_t - 0,8z_{t-1}, \\ \hat{z}_t(2) &= 1,8\hat{z}_t(1) - 0,8z_t, \\ \hat{z}_t(l) &= 1,8\hat{z}_t(l-1) - 0,8\hat{z}_t(l-2), \quad l = 3, 4, 5, \dots \end{aligned} \quad (9)$$

З припущення, що  $a$  розподілена по нормальному закону, впливає, що при відомих значеннях процесу до моменту  $t$  умовний розподіл ймовірності  $p(z_{t+l}/z_t, z_{t-1})$  майбутнього значення процесу  $z_t + l$  буде також нормальним із середнім значенням і стандартним відхиленням.

Наближені  $(1 - \varepsilon)\%$  імовірнісні межі  $z_t + l(-)$  та  $z_t + l(+)$  для  $z_t + l$  будуть мати вигляд:

$$z_{t+l}(\pm) = \hat{z}_t(l) \pm u_{\varepsilon/2} \left\{ \sum_{j=1}^{l-1} \psi_j^2 \right\}^{1/2} S_a. \quad (10)$$

Межі  $z_t + l(-)$  і  $z_t + l(+)$  інтерпретуються наступним чином. Якщо відома інформація про часовий ряд до моменту  $t$ , то з ймовірністю  $1 - \varepsilon$  спостереження значення  $z_t + l$  буде укладено в цих межах, тобто

$$P_r\{z_t + l(-) < z_{t+l} < z_{t+l}(+)\} = 1 - \varepsilon. \quad (11)$$

Точність прогнозу може бути виражена імовірнісними межами по обидві сторони від кожного прогнозованого значення (рис. 11). Очевидно, що для прогнозування моменту відмови треба урахувати лише ліву межу. Для визначення адекватності моделі було виконано ретроспективний аналіз (рис. 12) та розраховано похибку апроксимації (%)

$$\hat{A} = 100 \frac{\sum \left( \frac{z_t - \hat{z}_t}{z_t} \right)}{n}, \quad (12)$$

де  $n$  – кількість елементів сукупності, що прогнозують ( $j = 1, 2, \dots, n$ ). Похибка прогнозування технічного стану буксового вузла перебуває у діапазоні від 1,8 до 5 %. Очевидно, що похибка прогнозу залежить від горизонту прогнозування (часу упередження).

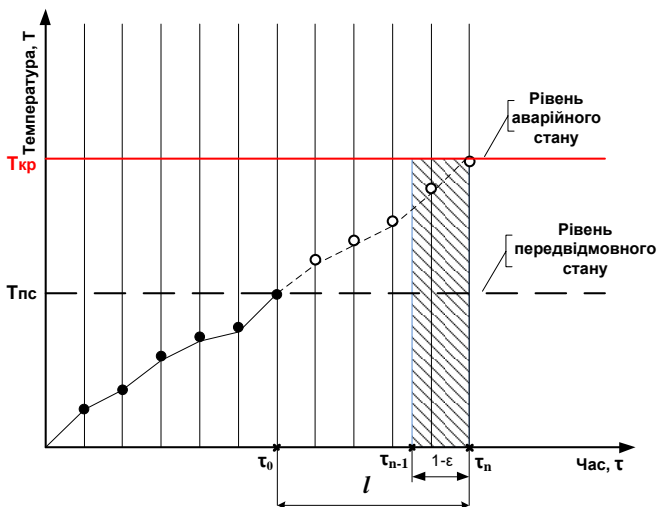


Рисунок 11 – Графічна ілюстрація прогнозування температури букси з наперед заданою імовірнісною межею

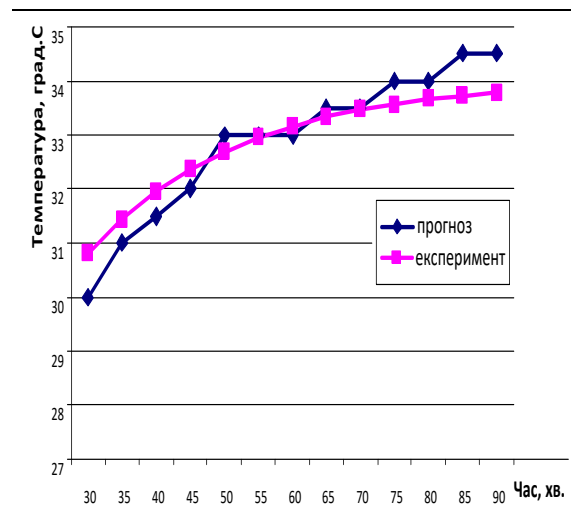


Рисунок 12 – Графік ретроспективного аналізу для перевірки адекватності прогнозної моделі

**Четвертий розділ.** У рамках створення діагностичного забезпечення буксових вузлів вагонів нового покоління була розроблена та випробувана експериментальна буксова діагностична станція (Пат. України № 87333).

Буксова діагностична станція (БДС) призначена для контролю технічного стану буксових вузлів рухомого складу при русі поїзда. Комплекс БДС, структурну схему якого наведено на рис.13, складається з наземних (приколіїних) та бортових модулів. Бортові модулі монтує у кожен буксу. Датчики розташовують безпосередньо на контрольованих елементах букси.

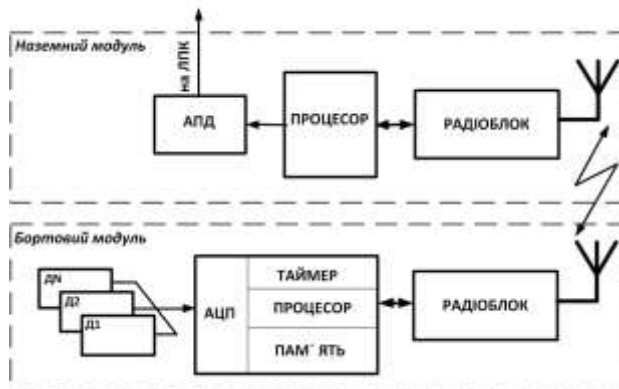
Дана система здатна здійснювати: контроль температури шийки осі; контроль цілісності торцевого кріплення; контроль частоти обертання колісної пари; накопичувати статистичні дані про температурний стан букси, швидкість та пробіг вагона.

В березні 2012 року на станції Основа Південної залізниці були проведені натурні випробування системи згідно з програмою-методикою випробувань, затвердженою Головним управлінням вагонного господарства Укрзалізниці.



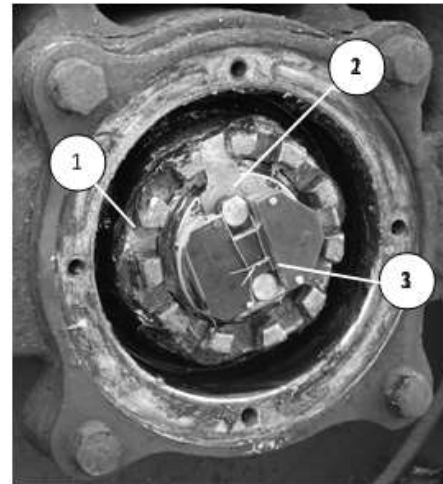
Випробовування проводилися для підтвердження можливості постійного моніторингу буксових вузлів вбудованими засобами контролю, можливості здійснення безпроводної передачі діагностичної інформації від буксового вузла на наземні модулі пункту контролю, а також перевірки прогнозної та теплової моделей.

Для випробувань БДС використовувався напіввагон з буксами, що мають торцеве кріплення гайкою М110. Було змонтовано 8 бортових (у кожному буксу вагона) і 2 наземних модулів. Бортовий модуль був розміщений на торці осі РУ-1 (рис.14). Термодатчик фіксувався також на торці осі, що забезпечило максимальну достовірність контролю температури шийки осі. Для визначення частоти обертання колісної пари використовувався акселерометричний датчик.



ЛПК — лінійний пункт контролю; АПД — апаратура передавання даних; АЦП — аналого - цифровий перетворювач; Д1 ... ДН — датчики

Рисунок 13 – Структурна схема вбудованої системи контролю буксового вузла БДС



1 – гайка М110; 2 – стопорна планка; 3 – бортовий модуль БДС

Рисунок 14 – Розміщення бортового модуля БДС на торці осі РУ-1

Антенна наземної станції розташовувалася на відстані 0,5 м від рейки. Наземний модуль був підключений через USB-кабель до ноутбука із установленим на ньому розробленим програмним забезпеченням.

Програмою-методикою випробувань було передбачено рух досліджуваного вагона зі швидкостями 20, 30 і 40 км / год для отримання діагностичних даних про стан буксового вузла і зіставлення їх з реальними даними. Випробування підтвердили, що можливо отримувати точні діагностичні параметри безпосередньо із буксового вузла і достовірно оцінювати його технічний стан.

В розділі подано аналіз отриманих результатів випробувань, перевірка адекватності запропонованих математичних моделей. При випробуваннях здійснювалась перевірка теплової та прогнозної моделі.

За результатами випробувань був проведений аналіз адекватності запропонованої теплової моделі. Результати дослідження показали, що теплова модель буксового вузла, що враховує частоту обертання колісної пари має розбіжність із фактичною температурою близько 15 %.

Отримані результати дали можливість Головному управлінню вагонного господарства провести експлуатаційні випробування запропонованої системи у реальних умовах експлуатації.

Розрахунок економічних показників показав, що впровадження вбудованої системи контролю технічного стану буксових вузлів вантажних вагонів дозволяє отримати середньорічну економію експлуатаційних витрат у розрахунку на 1 вантажний вагон у сумі 2113,6 грн.

## ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено науково - прикладне завдання щодо удосконалення методів та засобів оцінки і прогнозування ресурсу буксових вузлів вантажних вагонів нового покоління в експлуатації для перспективного рухомого складу. Результати проведених теоретичних і експериментальних досліджень дозволяють зробити такі висновки:

1. Визначено основні діагностичні ознаки відмов буксових вузлів вантажних вагонів, які призводять до транспортних подій. Це надмірний нагрів підшипників (близько 60 %), а також зсув корпусу букси уздовж осі (27,6 %) внаслідок ослаблення та руйнування торцевого кріплення.

2. Виконано порівняльний аналіз існуючих та перспективних систем контролю технічного стану буксових вузлів в експлуатації. Встановлено, що буксові вузли з вбудованими датчиками стають стандартними компонентами сучасного рухомого складу. Такі мехатронні системи значно підвищують достовірність контролю завдяки розміщенню датчиків на елементах, що контролюються. Так, як основним критерієм аварійного стану буксового вузла є рівень нагрівання шийки осі колісної пари, то при розміщенні температурних датчиків на шийці осі, достовірність контролю буде максимальна.

3. Розроблено структуру діагностичного забезпечення буксових вузлів вантажних вагонів нового покоління, яка складається з апаратного та математичного, інформаційного та методичного забезпечення. Це дозволяє створювати буксові вузли вагонів з урахуванням їх контролепридатності до теплового та іншим видам контролю технічного стану.

4. Створено комплекс взаємопов'язаних моделей для розробки діагностичного забезпечення буксових вузлів вантажних вагонів нового покоління, до складу якого входять такі блоки: тепла модель буксового вузла, яка адаптована до теплового контролю вбудованими засобами; модель розпізнавання технічного стану буксового вузла з додатковою ознакою розпізнавання технічного стану - залежністю температури букси від частоти обертання колісної пари; прогнозна модель технічного стану букси для визначення її залишкового ресурсу. Дано визначення передвідмовного стану буксового вузла, що дозволяє почати процедуру прогнозування моменту його відмови.

5. Запропоновано прогнозу модель залишкового ресурсу буксового вузла з дефектом, що перебуває у передвідмовному стані. Це дозволяє визначити момент відмови цього вузла із заданою ймовірністю. Вбудовані засоби контролю буксових вузлів дозволяють виконувати ці завдання завдяки безперервному моніторингу

технічного стану об'єкта, наявністю таймера й внутрішньої пам'яті. Такий прогноз дозволяє прийняти обґрунтоване рішення про режим руху поїзда, у складі якого є вагон з буксою, що має передвідмовний стан. Похибка прогнозування перебуває у діапазоні від 1,8 до 5 % залежно від горизонту прогнозування.

6. Розроблено структура вбудованої системи контролю технічного стану буксового вузла, що здатна здійснювати: контроль температури шийки осі; контроль цілісності торцевого кріплення; контроль частоти обертання колісної пари; накопичувати статистичні дані про температурний стан букси, швидкість та пробіг вагона.

7. Проведені натурні випробування вбудованих засобів контролю технічного стану букс підтвердили, що можливо отримувати достовірні діагностичні параметри безпосередньо із буксового вузла та максимально вірогідно оцінювати його технічний стан. Результати дослідження показали, що теплова модель буксового вузла з урахуванням частоти обертання колісної пари має розбіжність із фактичною температурою близько 15 %, тобто теплова модель вважається прийнятною і рекомендується для практичного використання.

Економічний ефект при впровадженні вбудованої системи контролю технічного стану буксових вузлів складає 2113,6 грн за рік на 1 вантажний вагон.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **Основні праці:**

1. Петухов В. М. Основні задачі бортової системи автоматичного контролю букс на ходу поїзда / В. М. Петухов // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2007. – Вип. 86. – С. 84 – 91.

2. Борзилов И. Д. Тепловые информационные зоны букс подвижного состава / И. Д. Борзилов, В. М. Петухов // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ. – 2007. – Вип. № 10 – С. 78 – 84.

3. Регеда В. В. Анализ методов контроля букс грузовых вагонов на ходу поезда / В. В. Регеда, В. М. Петухов // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2007. – Вип. 84. – Ч. 3. – С. 94–98.

4. Петухов В. М. Буксовая диагностическая станция / В. М. Петухов // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2008. – Вип. № 13. – С. 96 – 101.

5. Петухов В.М. Статистические характеристики телеметрических сигналов букс / В. М. Петухов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 1/6 (37). – С. 20 – 23.

6. Петухов В.М. Аналіз температурних ознак розпізнавання несправних букс / В.М. Петухов // Зб. наук.праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. № 107. – С. 128 – 132.

7. Петухов В. М. Прогнозирование остаточного ресурса буксы / В. М. Петухов // Зб. наук. праць. –Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип . № 21 – С. 173–177.

8. Петухов В. М. Визначення передвідмовного стану буксового вузла вбудованими засобами контролю / В. М. Петухов, І. А. Точка // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. № 133 – С. 162 – 167.

9. Мартынов И. Э. Натурные испытания встроенной системы контроля технического состояния буксовых узлов / И. Э. Мартынов, В. М. Петухов // Мир транспорта. – 2013. – № 2. – С. 180–182.

**Додаткові праці, які відображають результати дисертації:**

10. Пат. 87333 Україна, МПК В61К 9/00 Пристрій для моніторингу температури букс залізничних вагонів. Патент на винахід / Борзилов І. Д., Петухов В. М., Ходаківський А. М., Михалків С. В.; заявник і патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. – № а200704308; заявл.19.04.07; опубл. 10.07.09, Бюл. № 13.

**Апробаційні праці:**

11. Обеспечение безопасности скоростного движения поездов бортовыми диагностическими станциями / И. Д. Борзилов, В. М. Петухов // Труды VIII Научно-практической конференции «Безопасность движения поездов» (Москва, 2007 г.). – М.: МИИТ, 2007. – С. II.1.

12. Усовершенствование технологии контроля буксовых узлов на ходу поезда / Петухов В. М. // Городской электротранспорт, электроснабжение и освещение городов: Программа и тезисы докладов. XXXIV научно-техническая конференция преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской национальной академии городского хозяйства (Харьков, 2008 г.). Ч. 2. – Харьков: ХНАГХ, 2008. – С. 46 – 48.

13. Повышение точности и достоверности контроля буксовых узлов с помощью бортовых буксовых диагностических станций / Петухов В. М. // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 69 Международной научно-практической конференции (Днепропетровск, 2009г.) – Днепропетровск: ДИИТ, 2009. – С. 45.

14. Система контролю букс бортовими діагностувальними станціями / В. М. Петухов // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції (Харків, 2009 р). Ч. 1. – Харків: НТУ «ХПІ», 2009. – С. 217.

15. Система моніторингу і прогнозування технічного стану буксового вузла в експлуатації / Петухов В.М. // Труды X Научно-практической конференции «Безопасность движения поездов» (Москва, 2009 г.). – М.: МИИТ, 2009. – С. VII.23.

## **АНОТАЦІЯ**

Петухов В. М. Удосконалення методів та засобів оцінки і прогнозування ресурсу буксових вузлів вантажних вагонів нового покоління. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів. – Українська державна академія залізничного транспорту МОН України; Харків, 2013.

У роботі розроблена структура діагностичного забезпечення буксових вузлів вантажних вагонів нового покоління.

Запропоновано комплекс взаємозалежних математичних моделей для розробки діагностичного забезпечення буксових вузлів, до складу якого входять наступні блоки: теплова модель, модель розпізнавання технічного стану, прогнозна модель.

Створено прогнозна модель залишкового ресурсу буксового вузла. Похибка прогнозування перебуває у діапазоні від 1,8 до 5 % залежно від горизонту прогнозування. Розроблено вбудована система контролю технічного стану буксового вузла, що здійснює контроль температури, контроль частоти обертання колісної пари; накопичує дані про температурний стан букси, швидкість та пробіг вагона.

Проведені натурні випробування системи підтвердили можливість одержувати достовірні діагностичні параметри безпосередньо з буксового вузла й вірогідно оцінювати його технічний стан.

Результати дослідження показали, що розрахункова температура, що була отримана з використанням запропонованої теплової моделі, має розбіжність з фактичною температурою букси близько 15%.

Ключові слова: буксовий вузол, підшипник, контроль технічного стану, діагностичне забезпечення, прогнозування залишкового ресурсу, вбудовані засоби контролю.

## АННОТАЦІЯ

Петухов В. М. Совершенствование методов и средств оценки и прогнозирования ресурса буксовых узлов грузовых вагонов нового поколения. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – "Подвижной состав железных дорог и тяга поездов", Украинская государственная академия железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2013.

В работе проведен анализ основных диагностических признаков отказов буксовых узлов вагонов в современных условиях эксплуатации. Доля отказов этого узла в транспортных происшествиях за последние десять лет находится в диапазоне от 26,4% до 51,6% от их общего числа. Установлено, что основными диагностическими признаками неисправных роликовых букс, которые дали основания к отцепке вагона, это повышенная температура буксы (около 60%) и сдвиг корпуса буксы вдоль шейки оси (27,6 %). Сделан аналитический обзор существующих и перспективных методов и систем контроля буксовых узлов вагонов. По результатам анализа был сделан вывод о том, что буксовые узлы грузовых вагонов нового поколения должны быть оснащены встроенными средствами контроля.

Предлагается при конструктивной разработке буксовых узлов грузовых вагонов нового поколения параллельно производить разработку их диагностического обеспечения.

Предложена структура диагностического обеспечения буксовых узлов грузовых вагонов нового поколения, которая состоит из аппаратного, а также математического, информационного и методического обеспечения.

Создан комплекс взаимосвязанных математических моделей для разработки диагностического обеспечения буксовых узлов таких вагонов. В состав комплекса входят следующие блоки: тепловая модель буксового узла; модель распознавания технического состояния узла; прогнозная модель; алгоритм принятия решения о воздействии на объект.

Также в рамках создания модели определения технического состояния буксы, был проведен анализ и выбор признаков распознавания. Были предложены следующие признаки: температура, темп роста температуры, отношение температуры буксы к средней температуре буксы вагона, без учета максимальной температуры, зависимость температуры буксы от частоты вращения колесной пары.

Для фиксации начала опасного развития дефекта предложено ввести понятие предотказного состояния буксового узла, т.е. когда отказ еще не состоялся, но вероятность его возникновения высокая. Для этого используется понятие трехмерного радиус - вектора технического состояния буксового узла, который имеет направленность к увеличению вероятности отказа.

Предложена прогнозная модель остаточного ресурса буксового узла, который находится в предотказном состоянии. Эта модель позволит определить остаточный ресурс узла, выраженный либо в расстоянии, либо во времени, и принять обоснованное решение о режиме движения поезда, в составе которого есть вагон с буксой, которая находится в предотказном состоянии. Проведенный ретроспективный анализ прогнозной модели показал, что погрешность прогнозирования технического состояния буксового узла находится в диапазоне от 1,8 до 5 % в зависимости от горизонта прогнозирования.

Разработано встроенное система контроля технического состояния буксового узла, которое осуществляет контроль температуры шейки оси; контроль частоты вращения колесной пары; накапливает данные о температурном состоянии буксы, скорости и пробеге вагона.

Проведены натурные испытания встроенной системы контроля технического состояния буксы. Они подтвердили возможность достоверно оценить техническое состояние буксы. Результаты исследования показали, что тепловая модель буксового узла, которая учитывает частоту вращения колесной пары, имеет расхождение с фактической температурой около 15 %.

Ключевые слова: буксовый узел, подшипник, контроль технического состояния, диагностическое обеспечение, прогнозирование остаточного ресурса, встроенное средство контроля.

## ABSTRACT

Petukhov V. M. The improvement of methods and means of estimation and forecast of axle equipment lifetime of a new generation freight cars.

Dissertation to obtain the scientific degree of a Candidate of Engineering Sciences according to the speciality 05.22.07 “Railway rolling stock and train traction”, Ukrainian State Academy of Railway Transport of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkov, 2013.

The structure of diagnosability provision of new generation freight car axle equipment has been developed in the work. The complex of interconnected mathematical models for the development of diagnosability provision of axle equipment consisting of the following units: heat model of axle equipment; the model of axle equipment technical state detection; forecast model has been proposed.

The forecast model of axle equipment residual life has been created. A built-in test equipment of axle equipment technical state has been developed. It monitors axle journal temperature; monitors wheelset rate speed; accumulates data of a box temperature state, speed and run of a car.

The conducted full-scale test proved the possibility to obtain authentic diagnostic variables directly from axle equipment and to estimate its technical state reliably.

Key words: axle equipment, bearing, technical state monitoring, diagnosability provision, residual life forecasting, built-in test equipment.

ПЕТУХОВ ВАДИМ МИХАЙЛОВИЧ

УДК 629.4.067.3:629.4.027.11

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ОЦІНКИ І  
ПРОГНОЗУВАННЯ РЕСУРСУ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ  
НОВОГО ПОКОЛІННЯ

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск

Калмиков О.С.

---

Підписано до друку “12” вересня 2013 р.  
Формат 60×90/16 Папір офсетний  
Умовн.-друк. арк. 0,9 Обл. – вид. арк. 1,25.  
Замовлення № 392. Тираж 100 прим.

---

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК № 2874 від 12.06.2007 р.  
Друкарня УкрДАЗТу, 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.