

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Волошин Дмитро Ігорович

УДК 629.4.027.115

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО
ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ
ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

05.22.07 – Рухомий склад залізниць та тяга поїздів

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2006

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту на кафедрі “Вагони”, Міністерство транспорту та зв’язку України.

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор,
Головко Владислав Федорович,
Українська державна академія залізничного транспорту,
кафедра “Вагони”,
завідувач кафедри.

Офіційні опоненти – доктор технічних наук, професор,
Головінов Геннадій Георгійович,
Академія митної служби України,
кафедра “Транспортні системи та технології”,
завідувач кафедри.

- кандидат технічних наук,
Донченко Анатолій Володимирович,
Державний Український науково-дослідний інститут
вагонобудування,
директор.

Провідна установа – Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля,
кафедра „Залізничний транспорт”, Міністерство освіти і науки України,
м. Луганськ.

Захист відбудеться “16” березня 2006 р. о 11⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейсрбаха, 7, УкрДАЗТ.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту, 61050, м. Харків, майдан Фейсрбаха, 7.

Автореферат розісланий “14” лютого 2006 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

Бойнік А.Б.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Вступ. Сучасний стан рухомого складу залізниць України потребує вирішення комплексу наукових та практичних задач його відновлення, утримання та ремонту. Напружена економічна ситуація, яка пов'язана з неможливістю належного фінансування галузі вагонного господарства, не дозволяє в повній мірі поповнювати парк вантажних та пасажирських вагонів. Це викликає необхідність подовження їх строку експлуатації і вимагає розробки науково-обґрунтованих рекомендацій, що повинні забезпечити на належному рівні їх надійність. Особливо це стосується буксових вузлів вантажних вагонів, показники надійності яких в експлуатації часто взагалі виходять за рамки своїх граничних значень.

Актуальність теми дисертації зумовлена необхідністю вирішення наукового завдання підвищення надійності буксових вузлів вантажних вагонів за рахунок удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту. Буксовий вузол вагону має свої конструктивні та експлуатаційні особливості, які у першу чергу пов'язані з безпекою руху і його нормальна робота багато в чому залежить від технічного стану. Проведеними випробуваннями з метою з'ясування фактичного рівня надійності буксового вузла вагонів було виявлено, що в значній кількості буксових вузлів має місце зниження експлуатаційної надійності від проектної. Тому науково-прикладна задача удосконалення, розробки і впровадження нових технологій діагностики на підставі доопрацювання статистичних і інструментальних методів контролю технічного стану буксових вузлів вагонів має актуальне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана згідно діючих Державних програм і концепцій: "Реформування транспортного комплексу України"; "Реструктуризації на залізничному транспорті України" (від 1998р.); "Розвитку транспортно-дорожнього комплексу України на 2000-2004р.", затвердженої Кабінетом Міністрів України від 30.12.2000р.; Програми підвищення безпеки руху на залізницях України в 1997-2001 р. (затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 22.04.97 р. №367), Постанови Кабінету Міністрів України №821 від 04.08.97 р. „Про затвердження Концепції створення та функціонування національної мережі транспортних коридорів в Україні”, а також до науково-дослідницької роботи за темою „Проведення спостереження за роботою підшипників 42726E2M та 232726E2M з сепараторами зі склонаповненого поліаміду в буксах пасажирських вагонів з метою накопичення досвіду по їх експлуатації та ремонту” (держ. реєстрація 0103U001713).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є покращення технічного стану вагонів шляхом удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту і підвищення надійності їх буксових вузлів.

Виходячи з цього в дисертації поставлені наступні задачі:

- провести аналіз існуючих технічних рішень і заходів стосовно підвищення експлуатаційної надійності буксових вузлів вантажних вагонів та методів аналізу надійності складних технічних систем;
- виконати аналіз експлуатаційної надійності буксових вузлів вагонів з метою визначення фактичної надійності на розрахунковий період часу;
- формалізувати задачу визначення показників безвідмовної роботи буксових вузлів і одержання найбільш достовірної інформації про фізичні процеси, що протікають у буксовому вузлі в процесі експлуатації;
- доопрацювати існуючу систему технічного обслуговування та ремонту буксових вузлів і запропонувати наукові заходи, що здатні збільшити її ефективність;
- виконати загальне корегування параметрів системи технічного обслуговування та ремонту буксових вузлів вантажних вагонів з науковим обґрунтуванням її ефективності;

- визначити техніко-економічну ефективність впровадження нових заходів щодо удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту буксових вузлів вантажних вагонів на основі корегування періодичності проведення ремонту та технічної діагностики.

Об'єкт дослідження - це процес корегування системи технічного обслуговування та ремонту буксових вузлів вантажних вагонів.

Предметом дослідження є буксовий вузол вантажних вагонів.

Методи дослідження. Вирішення наукової задачі виконано на основі системного підходу, з використанням методів технічної діагностики, теорії ймовірностей, теорії алгебри логіки, математичної статистики, теорії подібності та моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів. Вирішена науково-прикладна задача підвищення надійності буксових вузлів вантажних вагонів, яка полягає у наступному:

Вперше:

- формалізовано метод для визначення параметрів безвідмовної роботи буксових вузлів на основі структурної математичної моделі з елементами логіки;
- досліджено особливості причинно-наслідкового механізму розвитку відмов в буксовому вузлі на основі графоаналітичного підходу;
- виконана оцінка надійності буксових вузлів вантажних вагонів з визначенням нових факторів, які впливають на їх знос за весь життєвий цикл.

Доопрацьовано:

- методи визначення показників безвідмовної роботи роликів підшипників буксового вузла на підставі розробленої математичної моделі;
- запропоновані наукові підходи щодо удосконалення системи технічного обслуговування буксових вузлів вантажних вагонів за рахунок корегування періодичності проведення ремонту та методу віброакустичної діагностики буксових вузлів, за рахунок застосування двохосового датчика вібрації.

Практичне значення одержаних результатів. Запропонована модель відмов з елементами структурної логіки дає можливість отримати показники надійності для будь-якого типу буксових вузлів вагонів. Що дозволяє на основі отриманих даних визначити ті експлуатаційні фактори, що безпосередньо впливають на надійність буксових вузлів в цілому.

Розроблена модель дозволила проаналізувати існуючу систему технічного обслуговування та ремонту буксових вузлів вантажних вагонів та удосконалити її за рахунок зміни періодичності проведення технічного обслуговування та ремонту і впровадження прогресивних методів технічного діагностування вантажних вагонів.

Отримані положення впроваджені у навчальний процес УкрДАЗТ при вивченні дисциплін „Основи надійності вагонів”, „Технологія вагонобудування та ремонту вагонів”, у дипломному проектуванні, при виконанні науково-дослідних робіт студентів, на ППК УкрДАЗТ при підготовці магістрів. Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними актами впровадження, що наведені у додатках до роботи.

Особистий внесок здобувача. Усі положення і результати, які виносяться на захист, були отримані автором самостійно. В роботах, що опубліковані у співавторстві, дисертанту належить: проведення аналізу існуючих способів аналізу надійності буксових вузлів з роликівими підшипниками з точки зору впливу на експлуатаційні властивості ходових частин та підвищення їх ресурсу [1]; визначені найбільш уразливі місця роликівими підшипників, які визначають виникнення аварійного стану буксового вузла [3, 5]; розроблена математична модель „дерева відмов” для визначення показників надійності буксового вузла та отримані вихідні дані для розрахунку оптимальних термінів проведення планового ремонту буксових вузлів вантажних вагонів [2, 4]. В додаткових працях: розроблений причинно-наслідковий механізм розвитку відмов в роликівими підшипниках [2]; визначені

показники безвідмовної роботи роликів підшипників на основі експлуатаційних даних по відмовам [3].

Апробація результатів дисертації. Основні ідеї, положення та результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювалися на наступних конференціях: на 62, 63, 64 та 67 науково-технічних конференціях кафедр академії і фахівців залізничного транспорту, УкрДАЗТ у 2000, 2001, 2002 та 2005 рр.; ХХХІІ науково-технічної конференції Харківської національної академії міського господарства, 2004 р. (м. Харків); другої науково-практичної конференції КУЕТТ „Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління”, 2004 р. (м. Київ); на другому міжнародному науково-технічному семінарі „Сучасні методи збирання в машинобудуванні та приладобудуванні”, 2002 р., (с. Свалява, Україна).

Повністю дисертаційна робота доповідалася на розширеному засіданні кафедри „Вагони” УкрДАЗТ в 2005 році.

Публікації. Відповідно до теми дисертації опубліковано 8 наукових робіт, з них 5 у виданнях, що затверджені ВАК України як фахові (з них одна одноосібно).

Структура роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг роботи містить 180 сторінок, з них обсяг основного тексту 125 сторінок, 34 сторінки додатків. Робота ілюстрована 51 рисунком, наведено 15 таблиць. Список використаних джерел складається з 114 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, сформульована мета і задачі дослідження, наукова новизна і практичне значення отриманих результатів. Наведено особистий внесок автора, інформацію про апробації і публікації результатів досліджень.

У першому розділі, виходячи з мети дисертаційної роботи, проведено аналіз теоретичних та технічних розробок, які спрямовані на підвищення надійності та удосконалення конструкції буксових вузлів вагонів, а також аналіз існуючих методик дослідження надійності складних технічних систем.

Вагомий внесок у вирішення проблеми підвищення надійності буксових вузлів рухомого складу зробили відомі вчені: Абашкін В.В., Андрієвський В.Г., Борзилов І.Д., Горбенко А.П., Девятков В.Ф., Донченко А.В., Гайдамака А.В., Іванов С.Г., Лосєв А.В., Мартинов І.Е., Перов С.В., Устїч П.О., Шавшишвілі А.Д., Шевченко В.В., Чебаненко В.М., Цюренко В.М. та ін. Питаннями підвищення надійності рухомого складу та удосконалення системи його технічного обслуговування та ремонту займалися Бабанін О.Б., Боднар Б.Є., Бутько Т.В., Войнов К.М., Головінов Г.Г., Головка В.Ф., Дьомін Ю.В., Кельріх М.Б., Савчук О.М., Тартаковський Е.Д. та інші.

Розглянуто основні недоліки та переваги пропонованих технічних рішень і вибрано найбільш раціональний та науково обґрунтований метод аналізу надійності буксових вузлів вагонів, який дозволяє врахувати експлуатаційні та інші фактори, які не враховувалися в достатній мірі. Вважається, що лише при наявності необхідних за точністю вихідних даних можливо удосконалити систему ремонту буксових вузлів вантажних вагонів відповідно існуючим умовам експлуатації. Проведено аналіз існуючих методів дослідження надійності складних технічних систем з метою вибору найбільш раціонального. Обґрунтовано, що поставленій задачі відповідає метод „дерева відмов”, який дозволяє побудувати модель відмов і показати як причинно-наслідковий механізм виникнення відмов у роликів підшипниках буксових вузлів, так і визначити необхідні показники надійності.

Другий розділ присвячено розробці математичної моделі, яка відтворює механізм роботи буксового вузла, як в умовах нормальної експлуатації, так і при різних прогнозуємих

шляхах розвитку відмов, у тому числі і гіпотетичних. Основною перевагою метода „дерева відмов” перед методами, які використовувалися в теорії надійності раніше, є можливість розробки схеми протікання і розвитку причинно-наслідкових процесів розвитку відмов в буксовому вузлі. До того ж усі процеси і причинні зв'язки, що відбуваються в буксовому вузлі, ставляться в жорстку відповідність тільки двом станам: працездатності і відмови. Метод „дерева відмов” реалізується в два етапи. На першому будується графічна модель причинно-наслідкового механізму відмов, що найбільш часто виникають в експлуатації. На другому етапі проводиться аналіз побудованого дерева, при якому разом з визначенням параметрів надійності системи виявляються найбільш критичні місця конструкції буксового вузла. Це дозволяє одержати чітке уявлення як про досконалість його конструкції, так і про відповідність реальним умовам експлуатації.

В рамках проведеного дослідження першочерговою задачею було встановлення верхової події для відмови буксового вузла, що по мірі проведення аналізу мало прийняти вид відмови одного з його елементів. Проміжні події, так само як і головна верхова подія в подальшому зводились в результаті логічних операцій до більш простих подій. Основою для аналізу причинно-наслідкового механізму являлися відмови елементів, які класифікувалися по прийнятій у практиці схемі побудови „дерева відмов” (рис. 1).

Рис. 1. Основна структура „дерева відмов” для роликового підшипника

Для того, щоб забезпечити достатню точність обробки “дерева”, для кількісного аналізу був використаний метод аналогового моделювання сумісно із прямим аналітичним рішенням. Даний підхід полягав у наступному.

Вважаючи, що кожен елемент підшипника може знаходитися тільки в двох станах: працездатному ($x_k^1 = x_k$) і непрацездатному ($x_k^0 = x_k'$), його стан характеризувався m -мірним вектором

$$H_m = \{x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_m\}. \quad (1)$$

Це відповідає тому, що на безлічі $\{X\}$ задається визначена булева функція, яка у математичній теорії надійності часто називається структурною функцією або функцією працездатності системи. Тобто якщо всі елементи підшипника працездатні, то і він сам в цілому працездатний, але якщо всі його елементи відмовили, то і він в цілому знаходиться в стані відмови. Після формалізації умов працездатності підшипника в структурній функції був виконаний перехід до функції імовірності типу

$$P\{y(x_1, \dots, x_m) = 1\} = R_c \text{ або } P\{y(x_1, \dots, x_m) = 0\} = Q_c, \quad (2)$$

де P – імовірність виникнення відмови;

R_c – імовірність безвідмовної роботи підшипника;

Q_c – імовірність його відмови.

Для визначення невідомих значень імовірностей вторинних і базових відмов роликів підшипників було запропоновано метод експертних оцінок, який дозволив зробити необхідні розрахунки з прийнятою складністю та достовірністю результатів.

При проведенні кількісного аналізу розробленої відмови була побудована еквівалентна "гілка дерева", де елементарним подіям у відповідність поставлені незалежні змінні упорядкованого від елементарних відмов числового ряду $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$.

Після чого записувалася структурна функція стану роликів буксового вузла в булевій та алгебраїчній інтерпретації для формалізації процесу аналізу надійності, і спрощення розрахунків імовірності безвідмовної роботи та імовірності відмови.

$$\begin{aligned}
 P = & A_{11} + x_{14} - A_{11} \cdot x_{14} = A_{11} + ((x_{12} + x_{13} - x_{12} \cdot x_{13}) - \\
 & - A_{11} \cdot (x_{12} + x_{13} - x_{12} \cdot x_{13})) = A_{11} + (1 - (1 - A_1 - A_2 + A_1 A_2) \cdot \\
 & \cdot (1 - A_3 - A_4 + A_3 A_4)(1 - A_5 - A_6 + A_5 A_6)) + (A_7 + A_8 - A_7 \cdot \\
 & \cdot A_8) - [1 - (1 - A_1 - A_2 + A_1 A_2)(1 - A_3 - A_4 + A_3 A_4)(1 - A_5 - \\
 & - A_6 + A_5 A_6)] \cdot (A_7 + A_8 - A_7 A_8) - A_{11} \cdot (1 - (1 - A_1 - A_2 + A_1 A_2) \cdot \\
 & \cdot (1 - A_3 - A_4 + A_3 A_4)(1 - A_5 - A_6 + A_5 A_6)) + (A_7 + A_8 - A_7 \cdot \\
 & \cdot A_8) - [1 - (1 - A_1 - A_2 + A_1 A_2)(1 - A_3 - A_4 + A_3 A_4)(1 - A_5 - \\
 & - A_6 + A_5 A_6)] \cdot (A_7 + A_8 - A_7 A_8),
 \end{aligned} \tag{3}$$

де A_i – базова подія „дерева відмов”.

Використовуючи дані статистики та коефіцієнти важливості були визначені значення імовірностей для базових подій „дерева”.

Безперервна функція роботи буксового вузла протягом часу як імовірність безвідмовної роботи має наступний вигляд (рис. 2):

Рис. 2. Імовірність безвідмовної роботи роликів підшипників згідно розробленої моделі відмов

Згідно отриманій залежності з 90-% імовірністю безвідмовної роботи буксові вузли функціонують на інтервалі наробітку від 1-го до 4-х років. З огляду на той факт, що відносно роликів підшипників (які прямо визначають надійність усього буксового вузла) завод-виготовлювач визначає гарантійний термін як 3 роки з моменту експлуатації або 100 тис. км. пробігу, можна зробити висновок, що отримана причинно-наслідкова модель з високою точністю визначила надійність досліджуваних буксових вузлів.

Третій розділ присвячено вирішенню питань, що пов'язані з дослідженням експлуатаційної надійності буксових вузлів вантажних вагонів. Відповідно до конструкторської і проектної документації, довговічність роликів підшипників буксових вузлів вантажних вагонів повинна складати не менш 1,5 млн. км пробігу (16 років), а пасажирських – 3,0 млн. км (15 років), що підтверджує високу надійність підшипників, закладену при проектуванні. Однак, на практиці фактична надійність роликів підшипників не відповідає розрахунковій і постійно знижується. Варто помітити, що за останні роки число відчеплень вагонів внаслідок відмов буксових вузлів помітно збільшилося.

Треба відмітити, що при експлуатації буксових вузлів найбільш часто вони виходять з ладу в результаті виникнення поступових відмов підшипника. Ці відмови характеризуються поступовою зміною одного або декількох заданих параметрів підшипника. Зміни виникають внаслідок систематичних, які повторюються циклічно, процесів. До поступових відмов відносять втомні раковини та тріщини, корозійні пошкодження та ін., тобто ті, які і визначають довговічність підшипників. До того ж імовірність виникнення поступової відмови в заданому інтервалі часу залежить від тривалості попереднього періоду експлуатації.

В межах проведеного дослідження була оброблена інформація більш ніж про двадцять шість тисяч підшипників вантажних вагонів. Виявлено, що найбільш часто в експлуатації пошкодження підшипників відбуваються через поверхневу та точкову корозію на доріжках кочення зовнішніх кілець – 33,63 %. Далі в порядку зменшення: випадання роликів із гнізд сепаратора – 21,27 %, задири та задирки на бортах зовнішнього кільця – 17,49 %, задири та задирки на торцях роликів – 12,26 %, втомні раковини на доріжці кочення кільця – 8,18 %, шелушіння на поверхні ролика – 7,15 % (рис. 3).

Рис. 3. Причини виходу з ладу підшипників

Необхідно зауважити, що аналіз надійності роликів підшипників істотно ускладнений. Пов'язано це насамперед з тим, що ремонт буксових вузлів є знеособленим. В результаті чого підшипники з одного вузла при ремонті ставлять в інший. Тому експериментальні дані про відмови підшипників або їх відсутність відомі лише за деякий період часу, який передуює попереднім обстеженням.

Це вирішується таким чином, що встановлення відсутніх даних відбувається шляхом розрахунку імовірностей відмов підшипників у періоди, коли спостереження за ними не проводилося. Нехай є U типових буксових вузлів вантажних вагонів. Контроль їх працездатності здійснюється з періодом θ . З огляду на той факт, що відповідно до проектної документації підшипники є високонадійними виробами, імовірністю двох та більш відмов того самого підшипника протягом заданого періоду θ можна зневажити. Необхідно зауважити, що тривалість інтервалу J , достатнього для проведення контролю працездатності і відновлення підшипників, значно менше, ніж θ . Особливістю отриманих експериментальних даних є те, що в R -й період контролю підшипників невідомо число попередніх відмов об'єкта; відомий лише факт його безвідмовності або відмови за R -й період θ .

Позначимо імовірність відмови підшипників за один період роботи P (0; 1) через p_1 , за другий – P (1; 2) = p_2 і т.д. (рис. 4).

Рис. 4. Структура графів можливих станів підшипників буксового вузла

$$1 + \frac{b}{n} \sum_{i=1}^n Lnt_i = \frac{b' \left(\sum_{i=1}^n t_i^{b'} \ln t_i + \sum_{j=1}^l \tau_j^{b'} \ln \tau_j \right)}{\sum_{i=1}^n t_i^{b'} + \sum_{j=1}^l \tau_j^{b'}} \quad (9)$$

де n – наробітки до відмови;
 t_i – повні реалізації;
 l – різні безвідмовні наробітки;
 τ_j – неповні реалізації.

Після обчислення одержані кількісні значення параметрів $a = 15,87$, $b = 1,86$. Тобто функція розподілу наробітку до відмови розглянутих циліндричних роликів підшипників має вигляд

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t}{15,87}\right)^{1,86}.$$

В графічному виді вона представлена на рис. 5

Рис. 5. Теоретична функція розподілу наробітку до відмови роликів підшипників

Аналізуючи представлену залежність імовірності безвідмовної роботи можна відзначити, що дана умова не буде виконуватися після наробітку підшипників до відмови більше 5 років. Що по суті в три рази менше розрахункового рівня згідно проектної документації.

В четвертому розділі розглянуто питання удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту буксових вузлів вантажних вагонів. У країнах СНД у 30-х роках минулого сторіччя була розроблена і впроваджена система планово – попереджувальних ремонтів. На цей час ця система використовується і на всіх дорогах Укрзалізниці.

Але як свідчать останні роботи присвячені аналізу системи технічного обслуговування і ремонту, вона має ряд недоліків, які суттєво знижують її ефективність. Основним недоліком цієї системи є знеособленість проведення ремонту вузлів вагонів, завдяки чому на сучасний момент велика кількість вагонів, які експлуатуються, знаходяться в передаварійному стані з-за низької якості ремонту та відсутності необхідного матеріального забезпечення лінійних підрозділів депо. До того ж має місце не тільки низька за якістю система неруйнівної діагностики фактичного стану буксового вузла, а й явно простежується вплив людини на процес ремонту та негативні фактори цього впливу подалі.

Одним з ефективних засобів підвищення безпеки вагонів є здійснення заходів щодо зменшення інтервалу між моментами появи і виявлення небезпечних відмов (ξ). Ця величина найбільш повно характеризує моменти своєчасного виявлення відмов буксового вузла. Маючи в наявності експериментальні дані стосовно характеристик випадкової величини ξ , це можливо трактувати як математичну модель безпеки буксового вузла (рис. 6).

Рис. 6. Постановка задачі удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту

До того ж дана модель є показником ризику аварії буксового вузла як найважливішої характеристики його безпеки.

Тобто мінімально важливим є вибір раціонального співвідношення між характеристикою безвідмовної роботи ξ та періодичністю запланованих ремонтів $L_{БВ}$ (параметром безпеки).

Наробіток буксового вузла до граничного стану виражається через випадкові наробітки до відмови

$$\tau = \min(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n), \quad (10)$$

де τ_i – наробіток i -го елемента буксового вузла до небезпечної відмови, ($i=1, n$).

Для запропонованих умов вираз для функції розподілу має наступний вигляд

$$\begin{aligned} F(t) &= P\{\tau \leq t\} = 1 - P\{\tau > t\} = 1 - P\{\min(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n) > t\} = \\ &= 1 - P\{\tau_1 > t, \tau_2 > t, \dots, \tau_n > t\} = 1 - P\{\tau_1 > t\} \cdot P\{\tau_2 > t\} \cdot \\ &\dots \cdot P\{\tau_n > t\} = 1 - \bar{F}_1(t) \cdot \bar{F}_2(t) \cdot \dots \cdot \bar{F}_n(t), \end{aligned} \quad (11)$$

де $\bar{F}_i(t) = 1 - F_i(t)$.

Загальна залежність для величини $L_{БВ}$ (інтервалу часу між сеансами діагностики букси)

$$L_{БВ}^p = M_\tau = \left(\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{t_i} \right)^{-1}, \quad (12)$$

де m_i – кратність i -го елемента буксового вузла.

Після аналізу по усьому масиву відмов величина наробітку до моменту проведення ремонту та технічної діагностики буксових вузлів складає $L_{БВ} = 26$ місяців.

В результаті величина повного періоду безвідмовної роботи підшипника складає 2 роки (округлення в меншу сторону робимо з метою забезпечення визначеного запасу по терміну служби). Тобто рекомендується через кожні два роки проводити повну ревізію буксового вузла з максимальною діагностикою всіх його складових частин.

Великого значення в існуючих умовах експлуатації відіграє удосконалення систем технічної діагностики буксових вузлів. Тому при корегуванні системи технічного обслуговування та ремонту необхідно впровадження більш прогресивних методів та засобів технічної діагностики, одним з яких на теперішній час є віброакустична діагностика пошкоджень буксового вузла. За допомогою запропонованої технології можливо на аварійній або передаварійній стадії визначити

наявність в підшипниках буксових вузлів вагонів цілого ряду дефектів: втомних раковин на доріжках кочення кілець, тріщин роликів та сепараторів та ін. В якості діагностичних параметрів можна використовувати амплітудне значення вібрацій у визначеному частотному діапазоні, середнє значення амплітуд сигналів у реалізації за один оберт сепаратора та ін. Одним з шляхів підвищення надійності та достовірності технічного діагностування буксових вузлів вантажних вагонів може бути застосування двохосового датчика вібрації ДВ-301-2-2, що дозволить на основі вимірювання вібрації по взаємноперпендикулярним осям, визначити наявність того або іншого пошкодження.

У результаті попереднього розрахунку економічної ефективності від зміни періодичності проведення планового ремонту та технічної діагностики буксових вузлів вантажних вагонів встановлено, що економічний ефект від зменшення відчеплень по технічним несправностям буксових вузлів складе близько 200-т тис. грн. на рік на Південній залізниці.

ВИСНОВКИ

В дисертації вирішено актуальне наукове завдання, яке полягає в обґрунтуванні і розробці рекомендацій, спрямованих на удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту буксових вузлів вантажних вагонів. Підсумовуючи результати виконаного дослідження можна затвердити, що поставлена мета вирішена – одержані позитивні результати випробувань нових технологій на підставі розробки науково-прикладної задачі підвищення надійності буксових вузлів вантажних вагонів.

Результати проведених теоретичних досліджень та їх експериментальна перевірка дозволяють зробити наступні висновки:

1. Виходячи з аналізу вітчизняного та закордонного досвіду розробок, спрямованих на удосконалення конструкції букс вантажних вагонів та поліпшення їх експлуатаційних характеристик, за результатами проведеного дослідження визначені практичні шляхи удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів на основі розробки логічної моделі відмов та визначення на її основі необхідних експлуатаційних параметрів.

2. Виконаний аналіз надійності і запропоновано застосування моделі "дерева відмов", яка дає змогу наочно оцінити основні характеристики буксових вузлів на розрахунковий період часу і отримати інформацію стосовно шляхів розвитку відмов в роликівих підшипниках.

3. Проведений статистичний аналіз по відмовам роликівих підшипників дозволив визначити найбільш часто виникаючі в них пошкодження і отримати функцію розподілу відмов з визначенням основних показників їх безвідмовної роботи. Відмови підкоряються розподілу Вейбула-Гніденка з параметром масштабу $a = 15,87$ та параметром форми $b = 1,86$. На основі отриманих даних зроблено висновок, що фактичний наробіток до відмови роликівих підшипників складає близько трьох – чотирьох років на відміну від величин, що вказані в нормах проектування вантажних вагонів (1,5 млн. км. пробігу або 16 років).

4. Шляхом доопрацювання існуючого методу „дерева відмов” запропоновано математичну модель на основі апарату булевої алгебри, яка дозволяє отримати структурну функцію станів буксових вузлів вантажних вагонів в процесі експлуатації та визначити показники безвідмовної роботи букс. Розрахунок імовірності безвідмовної роботи згідно розробленої моделі підтвердив отримані статистичні дані по відмовам буксових вузлів та незадовільний наробіток до відмови.

5. Розроблена графічна інтерпретація причинно-наслідкового механізму виникнення та розвитку відмов в буксових вузлах вантажних вагонів дозволила виділити визначальні

фактори експлуатаційного та не експлуатаційного характеру, що впливають на надійність букс. За допомогою експертного оцінювання визначено що найбільш небезпечними в експлуатації є завеликі осьові сили які діють на буксу в процесі руху вагона.

6. Проаналізовані основні організаційні принципи існуючої системи технічного обслуговування та ремонту буксових вузлів вантажних вагонів і зроблено висновок, що вона не зовсім відповідає сучасним вимогам по забезпеченню надійної роботи букс вагонів. І потребує подальшого удосконалення технологічних процесів, термінів їх проведення, а також широкого впровадження прогресивних методів контролю та діагностування.

7. Розрахована величина наробітку до моменту проведення ремонту та технічної діагностики буксових вузлів, яка склала близько 2-х років експлуатації. На основі отриманих даних запропоновано при кожному деповському ремонті замість проміжної ревізії букс проводити повну ревізію, в результаті чого прогнозується зменшення кількості відчеплень вантажних вагонів по технічним несправностям букс на 30%.

8. Запропоновані заходи дозволяють отримати економічний ефект від зниження відчеплень вантажних вагонів по технічним несправностям буксових вузлів близько 200 тисяч гривень на рік..

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Головка В.Ф., Мартинов І.Е., Волошин Д.І. Аналіз надійності буксових вузлів рухомого складу з роликowymi підшипниками. // Зб. наук. пр. – Харків: ХарДАЗТ, 2001. – Вип. 47. – С. 55-60.
2. Волошин Д.І. Використання методу “дерева відмов” при аналізі надійності буксових вузлів вагонів. // Научн.-техн. сб. – Харьков: ХГАГХ, 2002. - Вып. 43. - С 256-261.
3. Головка В.Ф., Мартинов І.Е., Волошин Д.І. До питання оцінки надійності буксових вузлів з роликowymi підшипниками. Зб. наук. пр. – Харків: УкрДАЗТ, 2003. - Вип. 54. - С. 16-20.
4. Головка В.Ф., Волошин Д.І. Розрахунок імовірності безвідмовної роботи буксових вузлів за допомогою моделі відмов. Зб. наук. пр. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. - Вип. 57. – С. 5-9.
5. Гайдамака А.В., Волошин Д.І. Проблеми надійності роликowych підшипників зі склополіамідними сепараторами. Зб. наук. пр. – Харків: ХарДАЗТ, 2004. - Вип. 58. - С. 71-75.
Додатково матеріали дисертації відображені у наступних працях:
1. Волошин Д.І. Оцінка надійності буксових роликowych підшипників зі склополіамідними сепараторами. // Городской электротранспорт, электроснабжение и освещение городов: Матеріали ХХХІІ –ї науково-технічної конференції. – 2004. – Ч.2. – С. 10-11.
2. Головка В.Ф., Волошин Д.І. Аналіз надійності буксових вузлів вагонів за допомогою „дерева відмов”. // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління: Матеріали другої науково-практичної конференції. – 2004. – Ч.1. – С. 24.
3. Головка В.Ф., Волошин Д.І. Пути повышения надежности буксовых узлов с роликowymi подшипниками. // Современные методы сборки в машиностроении и приборостроении: Материалы 2-го Международного научно-технического семинара. – 2002. – С. 19.

АНОТАЦІЯ

Волошин Д.І. Удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту буксових вузлів вантажних вагонів – 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, Харків, 2006.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної наукової задачі – забезпеченню надійності буксових вузлів вантажних вагонів в експлуатації. Виходячи з поставленої мети, був проведений аналіз існуючих технічних та теоретичних рішень по удосконаленню конструкції та поліпшенню експлуатаційних властивостей буксових вузлів вантажних вагонів. Головну увагу приділено розробці найбільш доцільного методу дослідження надійності буксових вузлів вагонів та удосконаленню на його основі системи технічного обслуговування та ремонту.

Вирішення завдань дисертаційної роботи здійснено на основі використання методу „дерева відмов”, який дозволив отримати в графічному виді причинно-наслідковий механізм розвитку відмов в буксовому вузлі в процесі експлуатації та визначити найбільш уразливі місця роликового підшипника. На основі даного методу була запропонована математична модель відмов, визначена структурна функція станів роликового підшипника та отримані показники безвідмовної роботи буксового вузла. Проаналізовано статистичний матеріал по відмовам буксових вузлів в експлуатації та зроблено висновок, що визначальними є втомні пошкодження. Визначено закон функції розподілу наробітку до відмови роликів підшипників та максимальний строк їх служби. На основі отриманих даних запропоновано удосконалити систему технічного обслуговування та ремонту буксових вузлів вантажних вагонів зміною строків проведення діагностики буксового вузла та планового ремонту.

Ключові слова: буксовий вузол, роликовий підшипник, пошкодження, функція розподілу, структурна функція, система технічного обслуговування та ремонту, метод „дерева відмов”, діагностика.

АННОТАЦІЯ

Волошин Д.И. Усовершенствования системы технического обслуживания и ремонта буксовых узлов грузовых вагонов – 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, Харьков, 2006.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научной задачи – обеспечению надежности буксовых узлов грузовых вагонов в эксплуатации. Исходя из поставленной цели, был проведен анализ существующих технических и теоретических решений по усовершенствованию конструкции и улучшению эксплуатационных свойств буксовых узлов грузовых вагонов. Был сделан вывод о необходимости разработки более точного метода оценивания надежности буксовых узлов и получения фактической картины поведения рассматриваемого узла в эксплуатации. В результате разработки наиболее целесообразного исследовательского приема появляется возможность усовершенствования на его основе системы технического обслуживания и ремонта по необходимым критериям, что позволит увеличить срок службы и повысить надежность буксовых узлов.

Решение задач диссертационной работы осуществлено на основе использования метода „дерева отказов”, который позволил получить в графическом виде причинно-следственный механизм развития отказов в буксовом узле в процессе эксплуатации и определить наиболее уязвимые места роликового подшипника. На основе данного метода была предложена математическая модель отказов, на ее основе определена структурная

функция состояний роликового подшипника и получены показатели безотказной работы буксового узла в эксплуатации. При определении вероятностей базовых событий использовался метод экспертного оценивания. Был проанализирован статистический материал по отказам подшипников в эксплуатации, уточнена классификация отказов и сделан вывод, что определяющими являются усталостные повреждения. Определен закон функции распределения наработки до отказа роликовых подшипников и проведено точечное оценивание его параметров. После расчета основных показателей безотказности и долговечности сделан вывод, что максимальный срок службы подшипника в настоящее время составляет не более трех лет. На основе полученных данных предложено усовершенствовать систему технического обслуживания и ремонта буксовых узлов грузовых вагонов за счет изменения сроков проведения диагностики буксового узла и планового ремонта. Определен максимальный срок проведения полной диагностики буксовых узлов грузовых вагонов, который составил 2 года. Сделан общий вывод о необходимости проведения полной ревизии буксового узла через каждые два года. В качестве прогрессивной меры предотвращения возникновения отказов в буксовых узлах и снижения числа аварийных ситуаций предложено использование метода виброакустической диагностики.

Проведены исследования по определению экономического эффекта в результате усовершенствования системы технического обслуживания и ремонта. В расчете на десятилетний период эксплуатации экономический эффект по Южной дороге составил порядка 200 тысяч гривен в год в результате снижения затрат на отцепки подвижного состава по техническим неисправностям буксовых узлов.

Выполненные в работе исследования позволяют повысить уровень надежности буксовых узлов грузовых вагонов и снизить затраты в результате отцепок подвижного состава.

Ключевые слова: буксовый узел, роликовый подшипник, повреждения, функция распределения, структурная функция, система технического обслуживания и ремонта, метод „дерева отказов”, виброакустическая диагностика, полная ревизия.

ANNOTATION

Voloshin D. I. The improvement of maintenance and repair system of freight cars axle-box assembly units – Manuscript.

The dissertation for obtaining the scientific degree of the candidate of technical sciences according to the speciality 05.22.07 – railway rolling stock and traction of trains. – The Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkov, 2006.

The given work is dedicated to the solution of an acute scientific task – ensuring the reliability of axle-box assembly units of freight cars in operation. Starting from the problem put by, we carried out the analysis of the existing technical and theoretical solutions both to the perfection of the design and the improvement of the operational qualities of freight cars axle-box assembly units. The main attention is aimed at the development of the most appropriate research method of axle-box assembly units reliability and the improvement of technical maintenance and repair system on its base.

The solution of the dissertation work tasks have been performed on the base of the so-called method of “tree of failures” which allowed obtaining cause-effect mechanism of the failure development in a axle-box assembly unit in the process of operation in graphical shape and determining the most vulnerable parts of a roller bearing. On the base of the given method we offered mathematical failure model, and on its base the structural function of a roller bearing states has been determined and the indices of faultless work of a axle-box assembly unit have been obtained. We have analyzed the statistical material as to failures of axle-box assembly units in operation and we

have made such a conclusion that fatigue failures are the determining. Also we determined the law of distribution prefailure life function of roller bearings and their maximum life term. On the base of the obtained data we offered to perfect the system of technical maintenance and repair of freight cars axle-box assembly units at the expense of changing the terms of conducting diagnostics of a box assembly unit and scheduled repair.

Key words: axle-box assembly unit, roller bearing, failures, distribution function, structural function, technical maintenance and repair system, method of “tree of failures”, diagnostics.

Волошин Дмитро Ігорович

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО
ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ
ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

05.22.07 – Рухомий склад залізниць та тяга поїздів

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Відповідальний за випуск

Бондаренко В.В.

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку “9” січня 2006 р.
Формат 60x90/16 Папір офсетний
Умовн.-друк.арк. 0,9 Обл. –вид. арк. 1,25
Замовлення № _____. Тираж 100 прим.

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК №112 від 06.07.2000р.
Друкарня УкрДАЗТу, 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.