

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

БОДНАР ЄВГЕН БОРИСОВИЧ

УДК 629.423.62

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ЛОКОМОТИВІВ
ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УТРИМУВАННЯ

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2004

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна, Міністерства транспорту України

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор Босов Аркадій Аркадійович, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна Міністерства транспорту України, кафедра „Прикладна математика”, професор

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, доцент Бабанін Олександр Борисович, Українська державна академія залізничного транспорту Міністерства транспорту України, кафедра „Експлуатація та ремонт рухомого складу”, професор

- кандидат технічних наук, Муха Андрій Миколайович, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства транспорту України, кафедра „Автоматизований електропривод”, доцент

Провідна установа - Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, кафедра „Залізничний транспорт” Міністерства освіти і науки України (м. Луганськ)

Захист відбудеться ”15” квітня 2004 р. о 13:30 годині 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 ознайомитись в бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.
Автореферат розісланий ”5” березня 2004 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Фалендиш А.П.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Державна програма поліпшення роботи залізничного транспорту передбачає реструктуризацію залізничного транспорту, в тому числі удосконалення системи утримування локомотивів шляхом впровадження системи утримування з урахуванням їх технічного стану. Стан тягового рухомого складу (ТРС) залізниць України характеризується значним наднормативним зносом, що потребує впровадження нових прогресивних систем підтримання його в працездатному стані і подовження терміну експлуатації.

Аналіз факторів, що впливають на технічний стан локомотивів, показує, що крім умов експлуатації, значний вплив має система технічного обслуговування і ремонту (ТОР). В даний час технічне обслуговування і ремонт локомотивів здійснюються по системі планово-попереджувальних ремонтів (ППР), характерною рисою якої є проведення профілактичних і ремонтних робіт через рівні і кратні періоди, виражені в кілометрах пробігу або календарних термінах.

Однак, при рівності і кратності призначених міжремонтних термінів існуюча система ППР не враховує зміну технічного стану і надійності, що виникає в наслідок дії різних умов експлуатації. Відсутність обліку цих особливостей є однією з причин підвищеної пошкоджуваності локомотивів в експлуатації, приводить до зменшення числа зайнятих у перевізному процесі локомотивів.

Тому одним з основних шляхів збільшення часу роботи локомотивів між відповідними видами ремонтів є подальше удосконалювання планування постановки локомотивів у ремонт з урахуванням їх технічного стану.

У зв'язку з цим задача визначення раціональної системи утримування локомотивів з урахуванням їх технічного стану є важливою і актуальною.

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

Робота виконана у відповідності з планами науково-дослідних робіт у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: держбюджетними темами „Розробка теоретичних основ та методики раціонального утримування рухомого складу з урахуванням його стану” (№ДР 0102U000552), „Розробка інформаційної системи аналізу показників надійності” (№ДР 0103U005113) та госпрозрахунковими темами „Розробка технічних вимог до системи діагностування електровозу ДЕ1” (№ДР 0101U006022), „Розробка і впровадження автоматизованої системи аналізу технічного стану електровозів і планування їх ремонту” (№ДР 0102U005867), які виконуються згідно з Державною програмою розвитку залізничного транспорту.

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є підвищення експлуатаційної надійності локомотивів шляхом впровадження раціональної системи утримування з урахуванням їх технічного стану.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати розвиток та застосування систем утримування тягового рухомого складу;
- провести оцінку технічного стану локомотивного парку Укрзалізниці і виявити вплив системи утримування на надійність локомотивів;
- проаналізувати методи визначення міжремонтних періодів локомотивів;
- розробити математичну модель для оцінки впливу ремонту на показники надійності локомотива;
- розробити удосконалену методику побудови раціональної системи утримування локомотивів;
- розробити класифікаційну схему несправностей для аналізу технічного стану електровозів в інформаційних системах;
- провести аналіз надійності вузлів нового українського електровоза ДЕ1 і розробити технолого-економічну карту ремонту його вузлів;
- визначити раціональну систему ремонту для електрообладнання перших українських електровозів серії ДЕ1.

Об'єктом дослідження є процес утримування локомотивів.

Предметом дослідження є технічний стан локомотивів.

Методи дослідження. У роботі використані наступні методи:

- при обробці статистичних даних і моделюванні характеристик надійності застосовані методи математичної статистики, теорії надійності і теорії ймовірностей;
- при розробці теоретичних основ утримування локомотивів використовувались методи векторної оптимізації, планування експерименту та теорія множин.

Достовірність і обґрунтованість отриманих у дисертації наукових положень і результатів обумовлені використанням сучасних методів математичного моделювання і теорії надійності, коректних допущень, узгодженістю результатів математичного моделювання і експериментальних даних.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в розробці теоретичних основ удосконалення системи утримування локомотивів, а саме вперше:

- розроблена математична модель для оцінки впливу ремонту на показники надійності локомотива;
- запропонована задача вибору системи утримування локомотивів при мінімальних витратах на ремонт і заданому рівні їх надійності;
- розроблена удосконалена методика побудови раціональної системи утримування локомотивів з урахуванням їх технічного стану.

Практичне значення одержаних результатів у роботі складає методика вибору раціональної системи утримування локомотивів, основними складовими якої є:

- класифікаційна схема несправностей для аналізу технічного стану електровозів в інформаційній системі;

- інформаційна система для накопичення, обробки, отримання характеристик надійності і аналізу інформації про технічний стан вузлів та систем локомотивів;
- характеристики експлуатаційної надійності вузлів та систем перших українських електровозів ДЕ1, які використовуються для визначення раціональних періодів їх ремонту;
- аналітичні залежності витрат на ремонт електрообладнання електровозів ДЕ1 від параметрів системи їх утримування;
- раціональна система утримування електровоза ДЕ1 та технолого-економічні карти ремонту його обладнання з відповідним переліком технологічних операцій ремонту.

Програмне забезпечення АРМ „Надійність” використовується Державним підприємством НВК „Електровозобудування” для систематизації та аналізу інформації по відмовах електровозів ДЕ1 з метою підвищення надійності електровозів та удосконалення конструкції їх вузлів.

Раціональна система деповських видів ремонту тягових двигунів ЕД141АУ1 і електрообладнання електровозів ДЕ1, перелік технологічних операцій проведення ТО-3, ПР-1, ПР-2, ПР-3, а також АРМ „Надійність” використовується в локомотивному депо Нижньодніпровськ - вузол Придніпровської залізниці.

Особистий внесок здобувача у сумісних публікаціях:

- аналіз розвитку системи ППР та оцінка впливу системи утримування на надійність локомотивів [1,3];
- запропонована класифікаційна схема обладнання локомотивів для обліку та аналізу несправностей [4];
- запропоновано кількісну оцінку прийнятої технології ремонту здійснювати за допомогою технолого-економічних карт ремонту [5];
- запропоновані методики визначення параметрів моделі потоку відмов та планування ремонту локомотивів [7,8].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідались на:

- II міжнародній науковій конференції „Проблеми економіки транспорту”, ДПТ, 16 – 17 травня 2002 року;
- II міжнародному форумі „Карпатський трамвай”, Львів, 27 – 30 липня 2002 року;
- XII міжнародній науково-технічній конференції „Проблеми розвитку рейкового транспорту” Крим, Ялта, 23 – 27 вересня 2002 року;
- III міжнародній науковій конференції „Проблеми економіки транспорту”, ДПТ, 24 – 25 квітня 2003 року;
- XIII міжнародній науково-технічній конференції „Проблеми розвитку рейкового транспорту” Крим, Ялта, 22 – 26 вересня 2003 року;
- Дисертація повністю доповідалась на засіданні міжкафедрального наукового семінару кафедр локомотивів, електрорухомого складу,

прикладної математики від 12 січня 2004 року Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту.

Публікації. На тему дисертації опубліковано 8 статей у виданнях, затверджених ВАК України, а також 5 тез доповідей на міжнародних конференціях.

Структура роботи: Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний об'єм дисертації складає 161 сторінку, в тому числі 129 сторінок тексту, 42 малюнки, 15 таблиць, список використаних джерел із 115 найменувань, що викладені на 11 сторінках, 5 додатків на 21 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульовані мета і задачі досліджень, відображена наукова новизна результатів і їх практичне значення. Приводяться відомості про апробацію і публікацію результатів дисертації.

У першому розділі проаналізовано розвиток і застосування систем утримування тягового рухомого складу (ТРС) в Україні і за кордоном.

Проблема планування постановки локомотивів на ремонт з урахуванням зміни їхнього технічного стану тісно зв'язана в історичному плані з розвитком самої системи технічного обслуговування і ремонту ще відтоді, коли основною тяговою одиницею був паровоз. Тому при розробці циклічності і періодичності ремонту локомотивів були використані основні принципи планування системи планово-попереджувальних ремонтів (ППР) паровозів. Уперше система ППР локомотивів була розроблена і впроваджена на залізницях СРСР у 1937 р. У 1945 році на залізницях СРСР вступили в експлуатацію тепловози Д^А і Д^Б, надійність і моторесурс яких були враховані в новому наказі №1081Ц від 21.11.45. Уперше міжремонтні пробіги були диференційовані в залежності від серії локомотива у наказі № 335Ц від 13.07.48.

У 1951-53 р. у ВНДІЗТі (м. Москва) було проведено дослідження зносу основних вузлів і деталей локомотивів, що дозволило з метою поліпшення організації проведення ремонту, впровадити припустимі відхилення міжремонтних пробігів до 25%.

З метою забезпечення технічного контролю за станом локомотивів у процесі експлуатації в 1961 р. у ремонтний цикл був уведений щодобовий технічний огляд (ТО), виконуваний ремонтним персоналом в основному депо і у пунктах обороту (наказ №46Ц).

Таким чином, у 1961 р. закінчилося формування структури системи ППР локомотивів. У структуру ввійшов: профілактичний огляд (ПО) і планові ремонти (МПР, ВПР, ПР, ЗР).

У 70 – 80 роки в міру вичерпання резервів традиційної системи ТО і ПР на перший план висуваються задачі розробки і впровадження ТО і ПР за технічним станом, заснованих на застосуванні методів і засобів технічного діагностування.

Аналіз літератури про розвиток систем ремонту локомотивів за кордоном показує, що на залізницях світу також широко застосовується система ППР. Для подальшого поліпшення використання локомотивів, на Британських залізницях висловлювалася пропозиція про необхідність проведення ППР лише тоді, коли небезпека відмовлень після ремонту з часом експлуатації зростає. В іншому випадку доцільним є тільки виключення позапланових ремонтів (тобто система ремонту “за станом”).

При удосконалюванні системи ТО фахівцями на залізницях Німеччини постійно враховуються наступні фактори: умови експлуатації, удосконалення конструкції локомотива, дослідження надійності деталей і вузлів локомотивів, удосконалювання засобів оцінки граничного стану базових деталей. При цьому широко застосовується метод збору й аналізу даних про ушкодження вузлів і деталей локомотивів з метою корегування міжремонтних пробігів у бік їх збільшення.

Огляд систем ППР локомотивів ряду закордонних країн показує, що спільним для залізниць є прагнення підвищити експлуатаційну надійність для збільшення часу корисної роботи локомотивного парку і зниження експлуатаційних витрат і, в тому числі, витрат на утримування локомотивів. У цих умовах найактуальніше значення набуває задача керування технічним станом локомотивів шляхом корегування термінів проведення профілактичних і ремонтних заходів з урахуванням зміни їхнього технічного стану. Дослідження показують, що цю задачу можна вирішити лише на основі збору, обробки й аналізу великого об'єму первинної інформації про технічний стан локомотивів. Тому новий етап у розвитку системи ТОР локомотивного парку неможливий без широкого використання обчислювальної техніки.

У другому розділі проведено аналіз технічного стану локомотивного парку Укрзалізниці, а також проаналізовано вплив системи утримування на надійність локомотивів.

Незважаючи на те, що система ППР локомотивів допускає виникнення відмов у процесі експлуатації і позапланові ремонти, вона у свій час значно поліпшила технічний стан тягового рухомого складу.

Так, наприклад з 1961 по 1970 рік діяла система, запроваджена наказом МШС № 46Ц, а з 1970 року наказом № 17Ц впроваджується нова. Після цього стан локомотивного парку став поліпшуватися. Число позапланових ремонтів на 1 млн. км пробігу тепловозів скоротилося майже вдвічі, а електровозів це зниження склало близько 30 %.

Також стабільно в цей період знижувалося число порч і несправностей тепловозів і електровозів.

Однак, як видно з рисунку 1, починаючи з 1974 року, усі наведені показники придбали тенденцію росту. На жаль, це не було враховано новою системою ремонту, введеною в 1975 році наказом № 22Ц.

Рисунок 1 - Динаміка зміни порч і несправностей електровозів по роках

Наказом були збільшені міжремонтні пробіги між ТО-3 і ПР-1, зменшений пробіг до ПР-3 і частково скасований ПР-2. У результаті цих змін з 1975 року при відносно стабільному стані електровозів (рис.1), різко погіршився технічний стан тепловозів.

Для виходу з кризової ситуації був проведений аналіз діючої системи утримування, за результатами якого був виданий наказ № 10Ц (1981), який змінив циклічність і періодичність як ТО так і ПР.

Після розпаду СРСР у 1991 році технічний стан електровозів як у Росії, так і в Україні, знову став погіршуватися.

Різке погіршення технічного стану продовжувалося до 1994 року. Однак, якщо в Росії кількість позапланових ремонтів, число порч і несправностей у порівнянні з 1990 роком збільшилися відповідно на 31 і 17% у електровозів, 30 і 24% у тепловозів, а з 1995 року ріст припинився, то в Україні зріст числа позапланових ремонтів тривав до 1996 року і склав 67% для електровозів і 13% для тепловозів.

У МШС Росії для виходу із ситуації, що створилася, були прийняті заходи, які дозволили значно поліпшити технічний стан локомотивів. У першу чергу, це впровадження комплексної системи технічного обслуговування і поточного ремонту локомотивів із застосуванням засобів контролю і діагностики.

Після введення в Україні наказу №187Ц від 9.12.95 р. кількість позапланових ремонтів тепловозів починаючи з 1996 року скоротилася на 52% і до 2000 року зрівнялася з цим показником по Росії. В електровозів зниження склало 24%. Число порч і несправностей українських тепловозів з 1995 року так само знизилося на 32%. Проте ці показники ще треба значно покращувати, оскільки вони не відповідають вимогам експлуатації.

Приведені дані вказують на необхідність прийняття термінових заходів, спрямованих на поліпшення технічного стану старіючого парку локомотивів.

Рівень зносу рухомого складу всіх типів досяг у середньому більше 57%, ступінь зносу електровозів і дизель-поїздів досягла 82%, тепловозів і електропоїздів – 72%.

Таким чином, технічний стан локомотивів в Україні наближається до критичного через уже названі причини, а також у наслідок падіння об'ємів капітальних ремонтів, дефіциту запасних частин (особливо імпортного виробництва) і, фактично відсутності поповнення парку Укрзалізниці новими локомотивами.

При такому становищі для локомотивного парку необхідно терміново розробляти комплекс мір, спрямованих на підвищення його експлуатаційної надійності і, в першу чергу, це стосується удосконалення системи ППР та впровадження сучасних методів діагностування.

У третьому розділі розроблені теоретичні основи удосконалення системи утримування локомотивів, методи визначення міжремонтних періодів, математична модель ППР. Оцінено вплив системи ППР на витрати коштів і

надійність, а також наведена методика моделювання технології ремонту локомотива.

Вибір раціональної системи технічного утримування локомотивів займає думки вчених майже з початку створення перших локомотивів. За якими показниками визначати найбільш ефективну систему ТОР, щоби задовольнити вимоги експлуатації – це і є основна задача, яка потребує вирішення в сучасних умовах господарювання.

Дослідження по удосконаленню системи ППР локомотивів проводяться в країнах СНД під керівництвом вчених: С.Я. Айзинбуда, Ю.М. Артем'єва, О.Б. Бабаніна, В.А. Беляєва, А.А. Бовіна, А.А. Босова, Т.В.Буцько, О.І. Володіна, О.Л.Голубенка, А.В.Горського, А.В. Гріщенко, І.П. Ісаєва, Т.Ф.Кузнецова, В.М. Кашнікова, В.І. Кісельова, Р.М. Колегаєва, Є.Є. Косова, М.О. Малозьомова, М.Е. Мандрикова, І.І. Ніколаєва, Є.С. Павловича, А.Б. Подшивалова, М.Д. Рахматуліна, В.І. Сенька, А.І. Селіванова, Т.В. Ставрова, В.В. Стрекопитова, Е.Д. Тартаковського, М.О. Фуфрянського, В.А. Четвергова, В.В. Чернишова, П.А. Шанченка, М.А. Халфіна, та ін.

Аналіз публікацій показав, що існуючі методики, нажаль, не в повній мірі враховують режими експлуатації локомотивів, їхні конструктивні особливості і технологію відновлення (ремонт). Тому пропонується більш універсальний підхід до вибору раціональної системи утримування локомотивів в основу якого покладені аксіоматичні моделі ремонтних впливів на стан технічних об'єктів, запропоновані в роботах професора А.А. Босова.

Вибір міжремонтних періодів здійснюється на основі мінімізації питомих витрат коштів на одиницю наробітку (чи пробігу локомотивів).

Для прийнятої періодичності ремонту вирішується задача

$$C_y = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} C_t \Rightarrow \min, \quad (1)$$

за умови, що

$$T_y \leq \frac{qK_\phi N}{W} - 1,$$

T_y - сумарний час перебування локомотива у всіх видах ремонту за наробіток t з урахуванням технології ремонту;

C_y - питомі витрати коштів;

C_t - витрати на планові і позапланові ремонти з урахуванням технології ремонту за наробіток t ;

q - продуктивність локомотива в працездатному стані при наявності фронту робіт;

K_ϕ - коефіцієнт наявності фронту робіт;

N - парк локомотивів;

W - продуктивність локомотивів, необхідна для виконання заданого обсягу роботи в заданий період.

Система планових відновлень (СПВ) для локомотива будується по періодах відновлень його вузлів і елементів, що отримані в результаті багаторазового перебору періодів шляхом рішення задачі (1).

Модель локомотива будується з передбаченням, що локомотив складається з набору елементів $\{\omega_i\}$, $i = \overline{1, M}$, відмова кожного з яких є незалежною подією і інтенсивність відмов локомотива буде

$$\lambda(t) = \sum_{i=1}^M \lambda_i(t), \quad (2)$$

де $\lambda_i(t)$ - інтенсивність відмов елементів ω_i ,

t - пробіг (наробіток) локомотива від моменту його побудови.

Систему ППР будемо задавати як набір пар $\{x_k, V_k\}$, $k=1,2,\dots$, де x_k - пробіг (наробіток), при якому виконується ремонт в обсязі V_k .

Для оцінки впливу ремонту, в обсязі V_k на інтенсивність відмов його обладнання, пропонується використовувати модель ремонту

$$\lambda(t|x, V) = R_x^V \lambda(t), \quad t \geq x, \quad (3)$$

де x - пробіг (наробіток), після якого виконується ремонт в обсязі V ;

R_x^V - оператор ремонту.

Розглянемо класичну модель ремонтного впливу, яка представляє собою заміну того чи іншого елемента на новий.

Нехай t_1, t_2, \dots, t_M останні моменти по наробітку, коли відбувалася заміна відповідних елементів. У цьому випадку з урахуванням (2) та (3) маємо

$$\lambda(t|x, V) = R_x^V \lambda(t|t_1, t_2, \dots, t_M) = \sum_{\omega_i \in \Omega \setminus V} \lambda_{\omega_i}(t-t_i) + \sum_{\omega_i \in V} \lambda_{\omega_i}(t-x).$$

У даному співвідношенні $t \geq x \geq \max_{1 \leq i \leq M} \{t_i\}$.

Основна вимога по надійності до об'єму V і наробітку x полягає в тому, щоб після наробітку ℓ інтенсивність відмов не перевищувала величини $\bar{\lambda}$.

Вимогу по надійності локомотива можна записати у вигляді

$$\sum_{\omega_i \in V} \varphi(\omega_i) \geq \alpha,$$

де $\varphi(\omega_i) = \lambda_{\omega_i}(x+\ell-t_i) - \lambda_{\omega_i}(\ell)$ і $\alpha = \sum_{\omega_i \in \Omega} \lambda_{\omega_i}(x+\ell-t_i) - \bar{\lambda}$.

З певним ступенем точності витрати коштів на ремонт в об'ємі V можна оцінити в такий спосіб

$$F(V) = \sum_{\omega_i \in \Omega} f(\omega_i),$$

де $f(\omega_i)$ - витрати коштів на відновлення (ремонт) елемента ω_i .

Відзначимо, що фактичні витрати коштів не будуть перевищувати значення $F(V)$.

Таким чином, якщо x задане і задані ℓ, \bar{h} , тоді приходимо до задачі

$$F(V) \rightarrow \min, \quad (4)$$

за умови $\sum_{\omega_i \in V} \varphi(\omega_i) \geq \alpha, \quad V \subseteq \Omega$

Відносно визначення раціонального об'єму ремонту маємо, що рішення задачі (4) можна представити у вигляді

$$V_*(\mu) = \{ \omega \in \Omega : f(\omega) - \mu \cdot \varphi(\omega) \leq 0 \},$$

де множник Лагранжа μ визначається з умови $\sum_{\omega \in V_*} \varphi(\omega) \geq \alpha$.

Виходячи з того, що інтенсивність відмов визначається за статистичними даними для локомотивів, які входять до вибірки, то раціональним, з погляду на внесення погрешностей, буде проведення розрахунків системи їх утримування через Н-характеристики вузлів та агрегатів для яких справедливі всі положення відповідних λ -характеристик.

Під раціональним обсягом ремонту локомотива будемо називати такий обсяг ремонту V , який необхідно виконати в момент x (x - наробіток (пробіг)), щоб в момент $x + \ell$ (ℓ - наробіток (пробіг) від моменту x) швидкість приросту середньої кількості відмов $h(x + \ell)$ не перевищувала б наперед задану величину \bar{h} .

Швидкість приросту середньої кількості відмов для наробітку (пробігу) $x + \ell$ (при умові, що в момент x виконано ремонт обсягом V) буде

$$h(x + \ell | x, V) = \sum_{i \in \Omega \setminus V} h_i(t) \Big|_{t=x+\ell} + \sum_{i \in V} h_i(t-x) \Big|_{t=x+\ell},$$

вона не повинна перевищувати \bar{h} , тобто

$$h(x + \ell | x, V) \leq \bar{h}. \quad (5)$$

Якщо при відновленні локомотива (виконанні ремонту обсягом V) проведена заміна елементів на нові, то умова (5) буде мати вигляд

$$\sum_{i \in \Omega \setminus V} h_i(x + \ell) + \sum_{i \in V} h_i(\ell) \leq \bar{h}. \quad (6)$$

Нерівність (6) запишемо у вигляді

$$\sum_{i \in \Omega} h_i(x + \ell) - \sum_{i \in V} h_i(x + \ell) + \sum_{i \in V} h_i(\ell) \leq \bar{h},$$

або

$$\sum_{i=1}^N h_i(x + \ell) - \bar{h} \leq \sum_{i \in V} (h_i(x + \ell) - h_i(\ell)).$$

Позначимо

$$\begin{aligned} \varphi_i &= h_i(x + \ell) - h_i(\ell), \\ \alpha &= \sum_{i=1}^M h_i(x + \ell) - \bar{h}, \end{aligned} \quad (7)$$

тоді $F_2(V) = \sum_{i \in V} \varphi_i$, показує наскільки знизиться швидкість приросту середньої кількості відмов в момент $x + \ell$ при умові, що в момент x виконується ремонт обсягом V (рис. 2).

Рисунок 2 – Залежність швидкості приросту середньої кількості відмов від пробігу

Для вирішення задачі необхідно щоб

$$F_1(V) = \sum_{i \in V} c_i \rightarrow \min, \quad F_2(V) = \sum_{i \in V} \varphi_i \geq \alpha.$$

В термінах H - характеристики визначення раціонального обсягу ремонту звелась до необхідності мінімізації вартості ремонту (4) таким чином, щоб сума різниці швидкості приросту середньої кількості відмов всіх елементів локомотива, які ремонтувались була не менше величини α , що визначена по формулі (7).

У четвертому розділі пропонується інформаційна система для аналізу технічного стану електровозів в основу якої покладена класифікаційна схема несправностей. Виконано аналіз надійності вузлів і систем електровозу ДЕ1. Розроблені технолого-економічні карти ремонту вузлів.

В ході проведення досліджень з аналізу технічного стану електровозів, виявлено ряд суттєвих недоліків при фіксації відмовлень устаткування. Як правило первинна статистична інформація про несправності устаткування електровозів має значну кількість неточних записів. Найчастіше фіксується опис наслідків та ознак відмовлень замість назви вузла який відмовив, чи деталі та характеру їх пошкодження. У зв'язку з цим, без детального уточнення і вивчення така статистична інформація для подальшого використання не придатна.

Для цього на кафедрі „Локомотиви” при безпосередній участі автора розроблена єдина для всіх серій електровозів локомотивного парку України автоматизована система обліку і обробки статистичної інформації про відмови і несправності устаткування електровозів „Надійність”. Система передбачає єдині принципи класифікації відмов, методів їх обробки і аналізу.

За допомогою програми „Надійність” проведено систематизацію відмов електровоза ДЕ1 і отримані H -характеристики його обладнання.

Для аналізу надійності електровозів ДЕ1 систематично проводився збір статистичної інформації за видами обладнання починаючи з 1995 року, коли був побудований перший електровоз ДЕ1 №001. В подальшому, при введенні в експлуатацію нового електровозу інформація про відмови його обладнання систематично вводилась в інформаційну систему. Таким чином, накопичено інформацію про всі електровози (з №001 до №015).

При збиранні інформації враховані вимоги ДСТУ 2860-94 до такої інформації. Її аналіз показує, що до вузлів, які обмежують міжремонтні періоди відноситься електрична апаратура та тягові електродвигуни.

Як відомо, витрати трудових і матеріальних ресурсів визначаються прийнятими технологіями ремонтів та технічними можливостями ремонтної бази депо.

Реалізація тієї чи іншої технології супроводжується витратами певних ресурсів (енергії, матеріалів, часу, трудових і т.д.). Облік цих факторів

пропонується проводити за допомогою технолого-економічної карти, що являє собою технологічну структуру, яку можна використовувати як математичну модель технології ремонту для побудови раціональної системи утримування локомотивів.

В роботі розроблена технолого-економічна карта ремонту тягового електродвигуна ЕД141АУ1 для обсягу ремонту ПР-3.

Витрати часу визначались на основі хронометражних обстежень та результатів розрахунків за нормативами для слюсарних робіт в локомотивному депо Нижньодніпровськ – вузол. Витрати коштів визначались на основі витрат часу з урахуванням тарифних розрядів відповідних робіт.

У п'ятому розділі приведені методики визначення економічної ефективності від впровадження раціональної системи утримування локомотивів і визначення залежності витрат на ремонт від параметрів системи утримування.

Одержані аналітичні залежності витрат на ремонт локомотивів від параметрів системи їх утримування. Ці розрахунки були викликані відсутністю необхідної статистичної інформації з місць експлуатації. Крім цього, використання таких залежностей дозволяє вибирати раціональну систему утримування вузлів і систем локомотивів без проведення трудомістких розрахунків.

Задача визначення раціональної системи утримування є задачею багатопараметричною і зводиться до визначення мінімуму функції, що залежить від трьох змінних: максимально припустимої швидкості приросту середньої кількості відмов \bar{h} , мінімального пробігу між найближчими ремонтами ℓ і пробігу до кінця експлуатації локомотива X .

Для одержання аналітичної залежності витрат на ремонт локомотивів від цих трьох параметрів, використано метод планування експерименту Бокса-Уілсона.

Для рішення задачі складені математичні моделі вузлів та систем електровозу, які у загальному вигляді можна представити залежностями виду

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

За результатами експериментів знайдені значення коефіцієнтів моделі і одержано значення факторів мінімізуючих сумарні витрати на ремонт.

Проведено розрахунок раціональних періодів ремонту вузлів електровозу ДЕ1, рекомендована схема його ремонтного циклу. Уточнений перелік технологічних операції ТО і ПР для електричної апаратури і тягового двигуна електровоза ДЕ1.

Показана економічна ефективність впровадження запропонованої в роботі раціональної системи утримування локомотивів, яка визначається по формулі

$$E = C_* \Delta H - C_{пл},$$

де C_* - середня вартість одного позапланового ремонту;
 $\Delta N = N_3 - N_p$ - різниця кількості відмов між заводською системою утримування і раціональною (рис. 3);
 $C_{пл}$ - вартість одного планового ремонту.

Розрахунковий економічний ефект від упровадження раціональної системи утримування вузлів електричної апаратури та тягового двигуна електровоза ДЕ1 складає відповідно 38470 грн. та 10170 грн. за період до ПР-3 на один електровоз.

Рисунок 3 – Швидкість приросту середньої кількості відмов вузлів локомотива від пробігу

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором нові науково обґрунтовані теоретичні і експериментальні результати, які в сукупності є суттєвими для підвищення експлуатаційної надійності локомотивів шляхом впровадження раціональної системи їх утримування, тобто поставлена мета і задачі вирішені. За результатами проведених теоретичних і експериментальних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Виконаний аналіз літератури щодо розвитку систем ремонту локомотивів в нашій країні та за кордоном показав на необхідність управління технічним станом локомотивів шляхом корегування термінів проведення профілактичних і ремонтних заходів з урахуванням зміни їхнього технічного стану та впровадження систем діагностування. Для урахування технічного стану кожного локомотива необхідно створювати інформаційні системи для накопичення статистичної інформації про надійність їх систем та вузлів.
2. Аналіз технічного стану локомотивів Укрзалізниці показав, що рівень їх зносу складає понад 70%. Це потребує розробки і впровадження термінових заходів, направлених на підвищення експлуатаційної надійності локомотивів.
3. Діюча система утримування локомотивів недосконала, оскільки не враховує технічний стан застарілого локомотивного парку і потребує подальшого удосконалення.
4. Розроблена математична модель, яка побудована з використанням аксіоматичних моделей, що дозволяє оцінювати вплив ремонтних операцій на показники надійності вузлів локомотива.
5. Запропонована удосконалена методика для вибору раціональної системи утримування локомотивів в основу якої покладена мінімізація вартості ремонту з урахуванням заданого рівня їх надійності.

6. Розроблена класифікаційна схема устаткування електровозу, яка побудована за принципом структурного розподілу складних систем на частини, що дозволяє проводити аналіз технічного стану і надійності устаткування, як в загалом по серіях електровозів, так і по видах вузлів, систем, чи підсистем.
7. Розроблена інформаційна система обліку і обробки статистичної інформації про відмови і несправності устаткування електровозів „Надійність”, яка дозволяє автоматизувати збір, обробку і систематизацію статистичної інформації про несправності вузлів локомотивів і будувати характеристики їх надійності.
8. Впровадження запропонованої в роботі раціональної системи утримування локомотивів на прикладі електровоза ДЕ1, дозволило отримати економічний ефект, який складається із зменшення кількості відмов, в тому числі непланових ремонтів і відмов в експлуатації, і складає для електричної апаратури 38470 грн.; тягового двигуна 10170 грн. за період до ПР-3 на один електровоз.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Босов А.А., Боднар Е.Б., Мосендз А.И. Основная задача совершенствования системы планово-предупредительных ремонтов локомотивов // Вісник Східноукр. нац. ун-т №7(41).-Луганськ:-2001. С. 93 – 97.
2. Боднар Є.Б. Методи визначення міжремонтних періодів локомотивів // Зб. наук. праць. Дніпропетровського держ. техн. ун-ту залізн. тр-ту. Транспорт. Випуск 9. -Дн-ск: ДПТ - 2001. С. 33 – 37.
3. Босов А.А., Боднар Є.Б. Влияние системы содержания на надежность локомотивов // Зб. наук. праць Дніпропетровського держ. техн. ун-ту залізн. тр-ту. Транспорт. Випуск 10. -Дн-ск: ДПТ – 2002. С. 66 – 68.
4. Боднар Б.Е., Очкасов А.Б., Боднар Е.Б., Гилевич О.И. Повышение эксплуатационной надежности электровозов ДЭ1 // Зб. наук. праць Дніпропетровського держ. техн. ун-ту залізн. тр-ту. Транспорт. Випуск 11. - Дн-ск: ДПТ – 2002. С. 134 – 137.
5. Босов А.А., Боднар Б.Є., Боднар Є.Б. Моделирование технологий ремонту технических объектов // Вісник. Нац. тран. ун-ту та ТАУ. – К., 2002. – Випуск 6. С.10 – 14.
6. Боднар Є.Б. Оцінка впливу системи ремонту на витрати коштів і надійність локомотива // Зб. наук. праць Дніпропетровського держ. техн. ун-ту. залізн. тр-ту. Транспорт. Випуск 12. -Дн-ск: ДПТ – 2002. С. 17 – 19.
7. Босов А.А., Боднар Є.Б. Методика планування ремонту локомотивів // Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля №6(52).-Луганськ: -2002.С. 95 – 97.
8. Босов А.А., Боднар Є.Б. Методика визначення характеристик надійності вузлів локомотивів // Вісник. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля №9(67).-Луганськ:-2003. С. 75 – 78.

АНОТАЦІЯ

Боднар Є.Б. Підвищення експлуатаційної надійності локомотивів шляхом впровадження раціональної системи утримування. – 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, 2004.

Дисертація присвячена питанням підвищення експлуатаційної надійності локомотивів шляхом впровадження раціональної системи утримування з урахуванням їх технічного стану.

У роботі проведений аналіз технічного стану локомотивного парку Укрзалізниці, а також проаналізовано вплив системи утримування на надійність локомотивів.

Для визначення раціональних міжремонтних періодів розроблена математична модель і методика вибору системи утримування локомотивів, яка побудована на основі аксіоматичних моделей. Визначення міжремонтних періодів, при яких забезпечуються вимоги по надійності і мінімум витрат коштів на ремонт, проводиться з урахуванням оцінки впливу системи ППР на витрати коштів і надійність локомотива.

Для визначення параметрів раціональної системи утримування використано метод планування експерименту Бокса-Уїлсона.

Розроблена класифікаційна схема устаткування електровоза, яка побудована за принципом структурного розподілу складних систем на частини. На цій основі створена інформаційна система „Надійність”, яка дозволяє автоматизувати збір, обробку і систематизацію статистичної інформації про несправності вузлів локомотивів, проводити їх аналіз і отримувати характеристики надійності вузлів і агрегатів сформованої вибірки залежно від пробігу локомотива.

З використанням розробленої методики побудована раціональна система утримування тягового двигуна та електричного устаткування електровоза ДЕ1 і складений перелік робіт для проведення ТО та ПР в локомотивному депо.

Ключові слова: система утримування, локомотив, надійність, міжремонтні пробіги.

АННОТАЦИЯ

Боднар Е.Б. Повышение эксплуатационной надежности локомотивов путем внедрения рациональной системы содержания. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук за специальностью 05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов; Украинская государственная академия железнодорожного транспорта Министерства транспорта Украины; Харьков, 2004.

Диссертация посвящена вопросам повышения эксплуатационной надежности локомотивов путем внедрения рациональной системы содержания с учетом их технического состояния.

В работе проведен анализ технического состояния локомотивного парка Укрзализныци, а также проанализировано влияние системы содержания на надежность локомотивов. Анализ тенденции развития системы ТО и ТР за период от ее внедрения до настоящего времени показал, что система ТО и ТР существенно влияет на эксплуатационную надежность локомотивов. Техническое состояние локомотивов требует принятия срочных мероприятий по его улучшению и, в первую очередь, внедрения системы управления техническим состоянием локомотивов путем корректирования сроков проведения профилактических и ремонтных мероприятий с учетом изменения их технического состояния и результатов диагностирования. Поскольку техническое состояние локомотивов зависит от многих факторов, в том числе и от режимов и условий работы каждого локомотива, необходимо создавать автоматизированные системы учета состояния каждого локомотива.

Для определения рациональных межремонтных периодов разработана математическая модель и методика выбора системы содержания локомотивов, которая построена на основе аксиоматичных моделей. Выбор наиболее эффективного варианта системы содержания локомотивов и определения межремонтных периодов, при которых обеспечиваются требования по надежности и минимум расходов средств на ремонт, производится с учетом оценки влияния системы ППР на расходы средств и надежность локомотива. Оценка влияния ППР на расходы средств производится путем оптимизации параметров системы.

Для определения параметров рациональной системы содержания использован метод планирования эксперимента Бокса-Уилсона. Это позволило построить аналитические зависимости расходов средств на ремонт узлов локомотивов от параметров системы их содержания.

Разработанная классификационная схема оборудования электровоза, которая построена по принципу структурного деления сложных систем на части, что позволяет проводить детальный анализ технического состояния оборудования электровозов. На этой основе разработана информационная система учета и обработки статистической информации об отказах и неисправностях оборудования электровозов „Надежность”. Система позволяет автоматизировать сбор, обработку и систематизацию статистической информации о неисправностях узлов локомотивов, проводить их анализ и получать характеристики надежности узлов и агрегатов сформированной выборки в зависимости от пробега каждого локомотива или выбранной серии. С помощью информационной системы „Надежность” проведен анализ надежности узлов первых украинских электровозов серии ДЕ1, получены характеристики их надежности. Предложена методика аппроксимации Н-характеристик, обеспечивающая соблюдение свойств, предъявляемых к этой функции.

Установлено, что наибольшая часть отказов приходится на электрическое оборудование и тяговые электродвигатели. Разработаны технолого-экономические карты ремонта тягового электродвигателя и

электрооборудования электровоза, которые используются при построении рациональной системы их содержания.

С использованием разработанной методики построена рациональная система содержания тягового электродвигателя и электрического оборудования электровоза ДЕ1 и составлен перечень работ для проведения ТО и ТР в локомотивном депо.

Ключевые слова: система содержания, локомотив, надежность, межремонтные периоды.

SUMMARY

Bodnar Ye. B. Improvement of Operational Reliability of Locomotives by Introduction of the Rational Maintenance System. – A manuscript.

A thesis for competition of a candidate's degree in engineering sciences by specialty 05.22.07 – railway rolling stock and train traction. – Ukrainian state academy of railway transport of Ministry of transport of Ukraine; Kharkov, 2004.

The thesis is devoted to the issue of improvement of operational reliability of locomotives by introduction of the rational maintenance system taking into consideration their technical conditions.

In the work an analytical treatment of the technical conditions of the Ukrzaliznytsia locomotive fleet has been performed and the maintenance system effects on the locomotives reliability have been determined.

In order to obtain the rational overhaul period values, a mathematical model has been developed and the axiomatic-models-based procedure of choosing the locomotive maintenance system has been elaborated. The determination of overhaul period values, which ensure meeting the reliability requirements and minimizing the repair expenses, was conducted taking into account the evaluation of influence of the planned preventative maintenance system on the related expenses and the locomotive reliability.

The Box-Wilson experimental design method has been used in obtaining the rational maintenance system parameters.

The classification scheme of electric locomotive equipment built on the principle of structural distribution of complex systems into parts has been developed. On this basis the "Reliability" Information System has been created that allows automating the acquisition, processing and systematization of statistical information on malfunctions of locomotive parts, analyzing these data and obtaining the reliability characteristics for parts and units of the formed sample in dependence on the locomotive mileage.

Using the technique developed, the rational maintenance system for tractive engine and electric equipment of the DE1-type electric locomotive has been designed and the list of actions for conducting the maintenance and routine repairs in a locomotive depot has been compiled.

Keywords: maintenance system, locomotive, reliability, overhaul period.

Боднар Євген Борисович

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ЛОКОМОТИВІВ
ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УТРИМУВАННЯ

Автореферат

Підписано до друку „_____” _____ 2004 р.
Формат 60x84 1/16. Папір для множильних апаратів. Різограф.
Ум. др. арк. 1,0. Обл. – вид. л. 1,0. Тираж 100 екз.
Замовлення № _____ . Безкоштовно.

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В.Лазаряна

*Адреса університету і ділянки оперативної поліграфії:
49010, Дніпропетровськ, вул. Ак. В.А. Лазаряна 2.*

Надруковано згідно оригінала автора.