

УКРАЇНЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Бондаренко В'ячеслав Володимирович

УДК 629.45:621.331.019.3

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ
ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ
ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ**

05.22.07 – Рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків, 2002

Дисертацією є рукопис

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

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор

Головко Владислав Федорович, Українська державна академія залізничного транспорту, кафедра “Вагони”, завідувач кафедрою

Офіційні опоненти – доктор технічних наук, професор

Гусевський Юрій Ілліч, Українська державна академія залізничного транспорту, кафедра “Системи електричної тяги” (м. Харків)

– кандидат технічних наук, доцент

Вислогузов Віктор Тихонович, Дніпропетровський національний технічний університет залізничного транспорту, кафедра “Вагони” (м.Дніпропетровськ).

Провідна установа – Східноукраїнський національний університет, кафедра “Залізничний транспорт”, Міністерство науки і освіти України (м.Луганськ).

Захист відбудеться “14” листопада 2002 р. о 11.00 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

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

Автореферат розісланий “12” жовтня 2002 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Бабанін О.Б.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Вступ. Як відомо, в останній час на залізничному транспорті України однією з важливих є проблема надійності пасажирських вагонів. Згідно літературним даним за останні 8 років середньорічна закупка пасажирських вагонів для залізниць України значно зменшилася. В результаті цього коефіцієнт зносу вагонів, що експлуатуються, зріс від 40% у 1990 році до 56% у 1999 році. За станом на 2000 рік, з усього інвентарного парку пасажирських вагонів, який складає 9025 одиниць, 33% відпрацювали нормативний строк служби. Із загальної кількості пасажирських вагонів кожного типу його відпрацювали купейних вагонів – 34%, вагонів відкритого типу – 36%. За прогнозами експертів ще 1666 вагонів відпрацюють нормативний строк служби у найближчі 3-5 років.

Враховуючи існуючий стан парку пасажирських вагонів, в дисертаційній роботі наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень, спрямованих саме на підвищення експлуатаційної надійності вагонів. Найбільша частка досліджень присвячена розробці ефективних методів та засобів діагностування електрообладнання вагонів. Впровадження їх у експлуатацію дозволяє покращити якість технічного обслуговування вагонів, підвищити їхню експлуатаційну надійність та готовність.

Актуальність теми. Постійне удосконалення електрообладнання вагонів, що пов'язане з високими вимогами до безпеки руху та комфортних умов пасажирів, призвело до ускладнення систем електропостачання вагонів, збільшення кількості та потужності споживачів електроенергії, викликає ускладнення систем контролю, регулювання та сигналізації. Необхідність підтримання високого рівня надійності електрообладнання вагонів вимагає своєчасного виявлення, попередження та усунення можливих несправностей, більшість з яких не виявляється зовнішнім оглядом, та вирішення задач прогнозування технічного стану. В той же час проведені дослідження свідчать, що існуючі технології технічного обслуговування та діагностування електрообладнання вагонів характеризуються великою трудомісткістю робіт та не повною мірою забезпечують підтримання надійності вагонів на необхідному рівні. Одним з ефективних шляхів вирішення цієї проблеми є розробка та впровадження у експлуатацію прогресивних методів, методик, стратегій, та засобів діагностування, які дозволяють достовірно, у найкоротший термін та з мінімальними витратами матеріальних і технічних засобів визначати технічний стан електрообладнання та виявляти несправності у його системах і вузлах. Саме ці задачі підлягали вирішенню у дисертаційній роботі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана згідно з Державною програмою “Розвиток рейкового рухомого складу соціального призначення для залізничного транспорту та міського господарства” (Постанова Кабінету Міністрів України № 769 від 2 червня 1998 року), “Концепцією реструктуризації на залізничному транспорті України” (від 1998 року) та держбюджетними науково-дослідними темами “Технічне діагностування пасажирських купейних вагонів, що відслужили призначений термін служби з метою визначення можливості їхньої подальшої експлуатації” (№ДР 0102U005206 від 2002р.) і “Технічне діагностування пасажирських плацкартних вагонів, що відслужили призначений термін служби з метою визначення можливості їхньої подальшої експлуатації” (№ДР 0102U005207 від 2002р.).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення технології технічного обслуговування та діагностування основних груп електрообладнання пасажирських вагонів на основі науково-обґрунтованих методів дослідження показників

надійності, скорочення часу відновлення електрообладнання та підвищення його готовності в експлуатації.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені наступні основні задачі:

- виявити шляхи і методи удосконалення технології технічного обслуговування та діагностування електрообладнання пасажирських вагонів на основі аналізу експлуатаційної надійності пасажирських вагонів та оцінки показників надійності електрообладнання;
- доопрацювати методи побудови оптимальних контрольних і діагностичних тестів для розпізнавання технічного стану та пошуку місця відмови або дефекту у системі електрообладнання пасажирських вагонів з можливістю реалізації їх на ЕОМ;
- розробити більш точну оцінку довжини контрольних і діагностичних тестів;
- розробити діагностичні моделі для визначення робочих та діагностичних параметрів електронних блоків вагона;
- формалізувати задачу діагностування комплексу електронних пристроїв вагонів з визначенням найбільш раціональної послідовності контрольних та діагностичних операцій;
- розробити та впровадити в експлуатацію мікропроцесорний автоматизований пристрій для експрес-діагностування електронних блоків вагона;
- науково обґрунтувати та експериментально підтвердити ефективність запропонованих заходів по удосконаленню технології технічного обслуговування та діагностування електрообладнання вагонів.

Об'єкт дослідження – електрообладнання пасажирського вагона.

Предмет дослідження – методи та засоби технічного діагностування.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети в роботі були використані наступні методи дослідження:

- пошук і аналіз науково-технічної та патентної інформації в області електрообладнання вагонів, методів і засобів технічного діагностування;
- теорії імовірностей та математичної статистики – для аналізу експлуатаційної надійності електрообладнання пасажирських вагонів;
- аналітичні, графічні та графоаналітичні – для дослідження діагностичних моделей системи електрообладнання пасажирських вагонів;
- експериментальних досліджень із застосуванням контрольних-вимірних приладів та діагностичної апаратури;
- планування експерименту.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вирішена наукова задача розробки та удосконалення технології технічного обслуговування і діагностування електрообладнання пасажирських вагонів, яка полягає у наступному:

- Виконана оцінка проектної та експлуатаційної надійності електрообладнання з визначенням його найменш надійних груп, переважаючих видів відмов та факторів, що впливають на надійність.
- Доопрацьовано методи побудови оптимальних контрольних і діагностичних тестів на основі комбінаторного підходу, що дає змогу удосконалити технологію технічного обслуговування та діагностування електрообладнання пасажирських вагонів шляхом скорочення часу його відновлення.
- Дістали подальший розвиток методи вирішення комбінаторних задач для скорочення часу проектування оптимальних тестів.

- Вперше запропонована оцінка довжини контрольних і діагностичних тестів на основі сформульованих та доведених теорем, що робить її більш точною та дозволяє скоротити час пошуку оптимальних тестів шляхом зменшення області пошуку за допомогою верхніх та нижніх границь.

- Запропоновано діагностичні моделі електронних блоків вагона, які дають змогу формалізувати умови працездатності блоків, визначити ознаки несправностей, перелік параметрів, що підлягають контролю, розробити алгоритми діагностування та реалізувати їх на програмному рівні.

- Формалізовано задачу діагностування комплексу електронних пристроїв вагона на основі науково-обґрунтованого вибору параметрів, що підлягають контролю, та з урахуванням проектної надійності електронних блоків.

- Створено методичку експрес-діагностування електронних блоків пасажирських вагонів, яка базується на використанні розробленого автоматизованого діагностичного пристрою.

- Запропоновано модель оцінки ефективності діагностування комплексу електронних пристроїв вагона за комплексними показниками надійності, яка базується на положеннях теорії масового обслуговування.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.

Поставлені в дисертації мета і задачі дослідження вирішувалися за допомогою фундаментальних положень математики, фізики та з урахуванням сучасних досягнень електронної техніки. Результати, які були отримані у процесі вирішення наукової задачі, не суперечать відомим результатам, характеризуються додатковими елементами новизни та відрізняються більш високою ефективністю практичного застосування. Аналіз методів та програмно-апаратних засобів, які використовувалися в дисертаційній роботі для вирішення наукової задачі, дає змогу зробити висновок, що одержані результати в достатній мірі підтверджені теоретично та експериментально. Вони обґрунтовані й достовірні.

Наукове значення роботи. Наукове значення роботи полягає в тому, що отримані теоретичні результати доповнюють існуючі наукові знання щодо розробки діагностичного забезпечення електрообладнання пасажирських вагонів.

Практичне значення отриманих результатів.

Основні теоретичні положення роботи були використані при створенні автоматизованого пристрою для діагностування електронних блоків пасажирського вагона та програмно-апаратних засобів, які дозволяють скоротити час проектування оптимальних контрольних та діагностичних тестів для системи електрообладнання вагона. Використання на практиці розроблених методів та засобів діагностування дозволяє скоротити час простою пасажирських вагонів та підвищити їх надійність у експлуатації. Розроблений автоматизований пристрій для діагностування електронних блоків пасажирських вагонів впроваджено у пасажирському вагонному депо ВЧД-6 Південної залізниці (м. Харків). Інші результати теоретичних та практичних досліджень використовуються у навчальному процесі УкрДАЗТ для студентів за спеціалізацією “Виробництво, експлуатація та ремонт вагонів” та магістрів за спеціалізацією “Спеціалісти служб В і Л та їх підприємств”.

Особистий внесок здобувача. Усі положення і результати, які виносяться на захист, були отримані автором самостійно. В роботах, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить: наукове обґрунтування необхідності проведення досліджень у галузі діагностування електрообладнання пасажирських вагонів, класифікація діагностичних засобів за конструктивними особливостями та принципами дії [3]; аналіз існуючих методів

побудови оптимальних контрольних та діагностичних тестів, обґрунтування необхідності розробки нового методу діагностування для електрообладнання пасажирських вагонів [4]; створення формалізованого опису системи електрообладнання вагону, на основі якого були розроблені діагностичні моделі, розробка основних принципів комбінаторного підходу та оптимальної стратегії пошуку [2]; наукове обґрунтування способу побудови оптимальних тестів [5]; дослідження за статистичними даними технічного стану основних груп електрообладнання пасажирських вагонів, отримання функціональної залежності відмов акумуляторних батарей від пори року, визначення причин відмов електронних блоків у експлуатації [6].

Апробація результатів дисертації. Основні ідеї, положення та результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на міжнародній науково-технічній конференції “Перспективные системы управления на железнодорожном, промышленном и городском транспорте” 2001р. (м.Алушта); міжнародній науково-технічній конференції кафедр Харківської державної академії залізничного транспорту та спеціалістів залізничного транспорту і підприємств “Транспортні коридори – стратегія і тактика розвитку” 2000, 2001р.р. (м.Харків).

Повністю дисертаційна робота доповідалася на розширеному засіданні кафедри “Вагони” УкрДАЗТ у 2002р.

Публікації. Основні результати досліджень опубліковані у шістьох статтях в фахових виданнях (з них одна – без співавторів) та у тезах трьох міжнародних конференцій (з них три – без співавторів).

Структура роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та семи додатків.

Повний обсяг дисертації складає 194 сторінки, у тому числі 119 сторінок основного тексту, 51 сторінка додатків, 44 таблиці, 50 рисунків, список використаних літературних джерел із 116 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована необхідність проведення досліджень, спрямованих на підвищення експлуатаційної надійності пасажирських вагонів шляхом удосконалення технології технічного обслуговування та діагностування електрообладнання пасажирських вагонів. Доводиться актуальність задачі розробки та впровадження в експлуатацію прогресивних методів та засобів діагностування. Наведено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, обґрунтовано мету та задачі дослідження, методи дослідження, висвітлено наукову новизну одержаних результатів, обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій. Представлено наукове та практичне значення роботи, особистий внесок здобувача, апробацію результатів, публікації та структуру дисертації.

Розділ 1 присвячено аналізу експлуатаційної надійності пасажирських вагонів та системи технічного обслуговування. Проведено огляд робіт, спрямованих на підвищення якості технічного обслуговування вагонів, та відзначено необхідність удосконалення технології технічного обслуговування та діагностування електрообладнання пасажирських вагонів. Вагомий внесок у вирішення фундаментальних проблем діагностування та обслуговування складних технічних систем зробили А.В.Мозгалевський, П.П.Пархоменко, Е.С.Согомоян, Д.В.Гаскаров, С.П.Ксенз, В.В.Клюєв та ін. Серед спеціалістів, що безпосередньо займаються проблемами підвищення експлуатаційної надійності рухомого

складу залізниць на основі науково-обґрунтованих технологій технічного обслуговування та діагностування, необхідно відзначити М.М.Соколова, В.В.Дурова, К.Н.Войнова, Е.Д.Тартаковського, В.Ф.Головка, А.Б.Бабаніна, В.Т.Вислогузова, В.І.Мойсеєнка та ін.

Згідно з літературними даними, основними причинами, з яких пасажирські вагони надходять у поточний ремонт, є несправності колісних пар та електрообладнання, але ці несправності мають принципово різний характер свого виникнення і прояву та порівнювати їх за кількісним відношенням є недоцільним. Тому, враховуючи складність сучасного електрообладнання пасажирських вагонів та важливість його для забезпечення комфортних умов пасажирів, подальші дослідження стосувалися саме електрообладнання вагонів. За рекомендаціями ряду авторів, у тому числі П.В.Шевченка, В.В.Дурова, М.Д.Лінденбаума, Г.А.Шаповалова та ін., для оцінки надійності електрообладнання вагонів доцільно використовувати такі основні показники: параметр потоку відмов $\omega(t)$, середній наробіток до відмови T_c , вірогідність безвідмовної роботи $P(t)$ та інтенсивність відмов $\lambda(t)$.

У результаті проведеного обстеження на вагонній дільниці ВЧ-1 (Південна залізниця) 50-ти вагонів за дворічний період у системі електрообладнання ЕВ 10.02 було зареєстровано 162 відмови. У якості первинної документації використовувалися журнали форми ВУ-94 та документація електродільниці. Розподіл відмов по усіх групах електрообладнання та розрахунок їх показників надійності наведено у табл.1.

Найбільший відсоток відмов припадає на акумуляторні батареї (АБ). В результаті обробки статистичних даних за допомогою програмного пакету "STATISTICA" було отримано щільність розподілу відмов акумуляторних батарей (типів ТНЖ та ВНЖ) протягом року та функцію розподілу. Було встановлено, що найбільший відсоток відмов припадає на січень місяць. Тому в даний період є доцільним впровадження додаткових профілактичних заходів з метою підвищення надійності батарей у експлуатації. В інших групах електрообладнання подібної чітко вираженої залежності не спостерігалось. Незважаючи на досить великий відсоток відмов батарей в експлуатації, їхній середній наробіток до відмови лише в 1,12 разів менше встановленого заводом-виготовлювачем, тобто надійність акумуляторних батарей практично задовільна.

Аналіз експлуатаційної надійності інших груп електрообладнання свідчить про необхідність акцентувати увагу на електронних блоках

Таблиця 1

Розподіл відмов по групах електрообладнання. Розрахунок показників надійності

№ п/п	Найменування обладнання	Кількість відмов на 50 вагонів, (шт.)	T _c , год.	T _c , км.	$\omega \cdot 10^5$ 1/год.	$\omega \cdot 10^6$ 1/км.	Середня кількість відмов на вагон, (шт.)	P(1000), год.	P(4000), год.
1	АБ	67	13075	223881	7,65	4,47	1,34	0,96	0,84
2	СКНБ	26	33692	576923	2,97	1,73	0,52	0,96	0,84
3	Споживачі	23	38087	652174	2,63	1,53	0,46	0,98	0,88
4	Електронні блоки	18	48667	833333	2,05	1,20	0,36	0,92	0,87
5	ТРКП	14	62571	1071429	1,60	0,93	0,28	1,00	0,97
6	Мережа освітлення	8	109500	1875000	0,91	0,53	0,16	0,96	0,92
7	Генератор	6	146000	2500000	0,68	0,40	0,12	0,98	0,94
	Усього	162	5407	92593	18,49	10,80	3,24	0,79	0,45

АБ- акумуляторна батарея, СКНБ- система контролю нагріву букс, ТРКП- текстурно-редукторно-карданна передача.

пасажирських вагонів, що входять до складу низьковольтної системи електропостачання (блок регулятора напруги генератора (БРНГ), блок реле частоти (БРЧ), блок реле температури (БРТ) та блок захисту (БЗ)). Їхній загальний середній наробіток до відмови, розрахований за даними експлуатації, складає 48667 год., що у 4,4 рази менше проектного значення (212965 год.). Результат розрахунку проектної надійності електронних блоків наведено у табл.2.

Таблиця 2

Результат поелементного розрахунку інтенсивності відмов та середнього наробітку до відмови електронних блоків вагона

№ п/п	Найменування блоку	Інтенсивність відмов, $\lambda_{\text{бл}}$ (1/год)	Середній наробіток до відмови, T_c (год.)
1	БРТ	$0,85222 \cdot 10^{-6}$	1173396
2	БРЧ	$1,69071 \cdot 10^{-6}$	591467
3	БЗ	$1,39393 \cdot 10^{-6}$	717411
4	БРНГ	$0,71097 \cdot 10^{-6}$	1406529
Усього		$4,64783 \cdot 10^{-6}$	215154
Із урахуванням пайок		$4,6956 \cdot 10^{-6}$	212965

Враховуючі низьку надійність електронних блоків у експлуатації, були розроблені заходи по удосконаленню технології їх діагностування.

Розділ 2 присвячено удосконаленню технології технічного обслуговування та діагностування електрообладнання шляхом доопрацювання методів побудови оптимальних контрольних і діагностичних тестів та методів вирішення комбінаторних задач.

Відомо, що основною метою проектування оптимальних тестів є скорочення часу контролю та діагностування електрообладнання за допомогою раціонального вибору контрольних точок та тестових впливів на об'єкт. Це дозволяє скоротити час відновлення електрообладнання та підвищити його готовність у експлуатації.

У роботі запропоновано новий підхід до побудови оптимальних контрольних та діагностичних тестів, в основі якого лежить зведення задачі побудови тестів до класу комбінаторних задач. Вперше запропонована оцінка довжини контрольних і діагностичних тестів на основі сформульованих та доведених теорем, розроблено спосіб генерації варіантів тестів, обрана оптимальна стратегія пошуку та складено алгоритм оцінки мінімальної кількості потрібних перевірок.

За критерії при виборі оптимального тесту прийнято реалізуємість цільової логічної функції $F(G)$ та вартість тесту.

Логічна функція $F(G)$ може бути представлена у вигляді:

$$F(G) = D_1(G) \wedge \dots \wedge D_k(G), \quad (1)$$

де $D_i(G)$ - диз'юнкція перевірок (змінних) G , які виявляють i -й стан системи;

$G = \{g_1, \dots, g_n\}$ – множина перевірок;

k – кількість технічних станів системи.

В основі доопрацьованого точного методу лежать наступні положення:

- розглядається множина перевірок $G = \{g_1, \dots, g_n\}$ як множина логічних змінних, де n - кількість припустимих елементарних перевірок;
- послідовність значень змінних g_1, g_2, \dots, g_n називаємо комбінаторною конфігурацією;
- значення змінних комбінаторної конфігурації вказують на її склад, а саме: якщо i -та перевірка входить до конфігурації, то $g_i=1$, в іншому випадку - $g_i=0$. Наприклад, для $n=6$

комбінаторна конфігурація, яка має вид 001011 означає, що розглядаються перевірки з номерами 3, 5 та 6;

- рангом (r) комбінаторної конфігурації називаємо кількість перевірок, що входять до її складу. Наприклад, конфігурація виду 1100101 має ранг $r = 4$;

- вартістю (B) комбінаторної конфігурації будемо називати сумарну вартість перевірок, що входять до складу конфігурації;

У залежності від виду комбінаторної конфігурації, диз'юнкції перевірок D приймають значення "0" чи "1". Причому $D_i = 1$, якщо хоча б одна з перевірок, що входять у конфігурацію, входить у диз'юнкцію D_i та $D_i = 0$ - в іншому випадку. Наприклад, для комбінаторної конфігурації ($n=6$) 001100 диз'юнкція виду $g_1 \vee g_3 \vee g_6$ дорівнює "1". У результаті тотожних перетворень функція $F(G)$ перетворюється у ДНФ. Кон'юнкції, що входять у ДНФ, можна розглядати як комбінаторні конфігурації, які є рішеннями рівняння виду $F(G) = 1$.

Таким чином, задача пошуку оптимальних тестів для системи електрообладнання вагона може бути сформульована у наступний спосіб: знайти таку комбінаторну конфігурацію G , яка задовольняє двом умовам: реалізуємі, тобто $F(G)=1$, та мінімізації вартості $B < B_{min}$. Для вибору оптимального тесту необхідно сформувати варіанти комбінаторних конфігурацій та вибрати з них той, що задовольняє зазначеним вище умовам.

У загальному випадку при виборі оптимального тесту для системи електрообладнання вагона необхідно розглянути $2^n - 1$ варіантів комбінаторних конфігурацій. Однак розгляд деяких з них немає сенсу, тому що вони не можуть бути рішенням. З літератури відомо, що мінімальна теоретична довжина діагностичного тесту L_{min} не може бути менше, ніж

$$\lceil \log_2(k+1) \rceil, \quad (2)$$

де k - кількість несправних станів;

$\lceil a \rceil$ - означає найближче ціле число, але не менше, ніж вираз у дужках.

Отже, комбінаторні конфігурації, що мають ранг менший L_{min} , не містять рішення, тобто їх можна не розглядати. З іншого боку, існує множина комбінаційних конфігурацій, що містять рішення, але їх вартість буде вище оптимальної. Цю підмножину також немає сенсу розглядати.

Таким чином, виникає питання про нижню та верхню границі довжини контрольного та діагностичного тесту (рис.1).

Для контрольних тестів у даний час відсутні ефективні способи оцінки нижньої границі довжини. Для діагностичних тестів мінімальна кількість перевірок, що необхідна для розрізнення k несправних станів, визначається за формулою 2. Однак для реальних об'єктів не завжди існує можливість визначити такий набір перевірок, тому дійсне число перевірок у мініальному діагностичному тесті звичайно перевищує L_{min} (приблизно у 80% випадках).

Таким чином, виникає необхідність у більш точній оцінці нижньої границі довжини тестів, що дозволить зменшити час пошуку оптимального варіанту. З цією метою були досліджені властивості матриць несправностей та відповідних їм логічних функцій, сформульовані та доведені теореми про нижні границі довжини контрольного тесту (теорема 1) та діагностичного тесту (теорема 2).

Теорема 1. Нехай n - кількість перевірок, k - кількість несправностей, $F(G)$ - логічна функція, що відповідає матриці несправностей (у стовпцях матриці розміщується множина несправних технічних станів об'єкта, у строках - множина елементарних перевірок), тоді мінімальна довжина контрольного тесту L_{min} не може бути меншою, ніж

$$n - \lceil \log_2 h \rceil, \quad (3)$$

де h - кількість членів у довільній диз'юнктивній нормальній формі (ДДНФ) логічної функції $F(G)$.

Теорема 2. Нехай n – кількість перевірок, k – кількість несправностей, $F(G)$ – логічна функція, що відповідає розрізняльній функції, тоді мінімальна довжина діагностичного тесту не може бути нижче, ніж

$$\max\{n - \lceil \log_2 h \rceil, \lceil \log_2(k+1) \rceil\}, \quad (4)$$

де h – кількість членів у ДДНФ розрізняльної функції $F(G)$.

Таким чином, за допомогою теорем 1 або 2 можна оцінювати значення L_{min} , а за допомогою відомих достатньо ефективних наближених методів - значення L_{max} . Виключення з подальшого розгляду усіх комбінаторних конфігурацій з рангом $r < L_{min}$, та $r > L_{max}$ дозволяє зменшити час проектування оптимальних тестів та час відновлення електрообладнання вагонів.

У Розділі 3 формалізована задача діагностування комплексу електронних пристроїв вагона та запропонована найбільш раціональна процедура діагностування з урахуванням проектної надійності електронних блоків та науково-обгрутованого переліку параметрів, що контролюються (рис. 2). Це дозволяє скоротити час контролю та пошуку несправностей у системі електрообладнання вагона.

Для реалізації процедури діагностування розроблено та впроваджено в експлуатацію автоматизований пристрій для експрес-діагностування електронних блоків вагона.

На першому етапі було досліджено робочі та діагностичні параметри електронних блоків - БРЧ, БРНГ, БЗ, БРТ, які входять до складу комплексів електрообладнання ЭВ 10.02.26, 10.02.29 та ЭПВ 10.01.03 пасажирських вагонів. За основу прийнятий перелік параметрів, що обов'язково контролюються згідно з "Інструкцією по експлуатації". З метою збільшення глибини діагностування блоків до вузлів та елементів схеми перелік був розширений до 32 параметрів.

На другому етапі розроблені діагностичні моделі електронних блоків, алгоритми діагностування, функціональні і принципові схеми та виготовлено мікропроцесорний діагностичний пристрій. Він створений на сучасній елементній базі, що дозволяє забезпечити його високу надійність, точність вимірювань та достовірність результатів діагностування. Пристрій був впроваджений у пасажирському вагонному депо ВЧД-6 Південної залізниці (м. Харків).

Розділ 4 присвячений експериментальному дослідженню ефективності розроблених методу та засобу діагностування.

Експериментальне дослідження методу полягало у виборі стратегії пошуку оптимального тесту, яка зводиться до послідовності перевірки двох умов: реалізуємості $F(G)=1$ та мінімізації вартості $B < B_{min}$. Оскільки правильно обрана стратегія дозволяє скоротити час пошуку оптимального тесту, то за критерій ефективності прийнято час пошуку оптимального тесту. Було встановлено, що для CPU Pentium II з тактовою частотою 233 МГц час перевірки вартості комбінаторної конфігурації для $n = 5 \div 20$ складає від 0,001 мкс до 0,012 мкс, (де n – кількість елементарних перевірок). Це приблизно у два рази менше часу аналізу реалізуємості. Отримані залежності часу пошуку оптимального тесту від кількості перевірок та несправностей електрообладнання свідчать, що час перевірки умови реалізуємості різко підвищується із зростанням їх значень.

Отже, при побудові оптимального тесту спочатку необхідно перевіряти виконання умови мінімізації вартості, тобто $B < B_{min}$, а у випадку її виконання – перевіряти умову реалізуємості, тобто $F(G)=1$. Ефективність такого відбору варіантів тестів зростає зі збільшенням кількості перевірок та станів системи електрообладнання.

Експериментальне дослідження ефективності діагностичного пристрою полягало в оцінці ступеня впливу діагностування на комплексні показники надійності електрообладнання (коефіцієнти готовності і простою). За критерії ефективності прийнято середній час відновлення електрообладнання, коефіцієнти готовності і простою та економічний ефект від застосування розробленого пристрою. У результаті експерименту встановлено, що середній час відновлення комплексу електронних пристроїв вагона за допомогою відомого діагностичного

пристрою Т-806 ПКБ ЦВ складає 26,32 хвилини, а за допомогою розробленого діагностичного пристрою – 3,85 хвилини, тобто у 6,8 рази менше ($p < 0,001$).

На підставі отриманого середнього часу відновлення та розрахованої проектною надійності визначено стаціонарні коефіцієнти готовності і простою комплексу електронних пристроїв вагона, а також відповідні функції. При розрахунку використовувалась схема станів комплексу, яка дозволила перейти від експериментального дослідження до аналітичної залежності виду:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_{БЗ}}{dt} &= -\lambda_{БЗ} \cdot P_0 + \mu_{БЗ} \cdot P_{БЗ} \\ \frac{dP_{БРНГ}}{dt} &= -\lambda_{БРНГ} \cdot P_0 + \mu_{БРНГ} \cdot P_{БРНГ} \\ \frac{dP_{БРТ}}{dt} &= -\lambda_{БРТ} \cdot P_0 + \mu_{БРТ} \cdot P_{БРТ} \\ \frac{dP_{БРЧ}}{dt} &= -\lambda_{БРЧ} \cdot P_0 + \mu_{БРЧ} \cdot P_{БРЧ} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

де $\lambda_{БЗ}, \lambda_{БРНГ}, \lambda_{БРТ}, \lambda_{БРЧ}$ – інтенсивності відмов відповідно електронних блоків БЗ, БРНГ, БРТ та БРЧ;

$\mu_{БЗ}, \mu_{БРНГ}, \mu_{БРТ}, \mu_{БРЧ}$ – інтенсивності відновлення відповідно електронних блоків БЗ, БРНГ, БРТ та БРЧ;

P_0 – імовірність знаходження системи у працездатному стані;

$P_{БЗ}, P_{БРНГ}, P_{БРТ}, P_{БРЧ}$ – імовірність знаходження системи у одному з чотирьох непрацездатних станів.

При сталому режимі експлуатації та нормувальній умові:

$$P_0(t) + P_{БЗ}(t) + P_{БРНГ}(t) + P_{БРТ}(t) + P_{БРЧ}(t) = 1,$$

стаціонарні коефіцієнти готовності (A) та простою (U) визначено за формулами:

$$A = P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^4 \frac{\lambda_i}{\mu_i}}; \quad (6)$$

$$U = 1 - A \quad (7)$$

Розрахунок функцій готовності $A(t)$ та простою $U(t)$, з урахуванням співвідношення між відповідними стаціонарними коефіцієнтами та функціями, виконано за формулами 8 та 9.

$$A(t) = A + (1 - A) \cdot \exp\left[-\frac{t}{A \cdot T_e}\right]; \quad (8)$$

$$U(t_i) = 1 - A(t_i) \quad (9)$$

Результат розрахунку функцій готовності зображено на рис.3. Він свідчить про ефективність розробленого діагностичного пристрою.

Очікуваний економічний ефект від впровадження діагностичного пристрою складає 115254 грн. у рік на інвентарний парк пасажирських вагонів України за рахунок скорочення часу відновлення електрообладнання вагонів та підвищення його надійності у експлуатації.

ВИСНОВКИ

За результатами проведених теоретичних та експериментальних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Виконано оцінку експлуатаційної надійності основних груп електрообладнання пасажирських вагонів та встановлено, що середній наробіток до відмови електронних блоків у 4,4 рази нижче проектного значення. Враховуючі низьку надійність електронних блоків у експлуатації, були запропоновані шляхи і методи удосконалення технології їх діагностування.

2. Для удосконалення технології технічного обслуговування та діагностування електрообладнання вагонів були доопрацьовані методи побудови оптимальних контрольних і діагностичних тестів та запропоновано новий підхід, в основі якого лежить зведення задачі побудови тестів до класу комбінаторних задач. В рамках цього підходу розроблено спосіб генерації варіантів тестів, обрана оптимальна стратегія пошуку та складено алгоритм оцінки мінімальної кількості потрібних перевірок. За критерії при виборі оптимального тесту прийнято реалізуємість цільової логічної функції $F(G)$ та вартість тесту.

3. На основі сформульованих та доведених теорем запропоновано більш точну оцінку довжини контрольних та діагностичних тестів, що дозволило скоротити час проектування оптимальних тестів.

4. Експериментально досліджена ефективність доопрацьованого методу діагностування. Критерієм ефективності методу є час пошуку оптимального тесту. Обрана стратегія, при котрій спочатку перевіряється вартість тесту, а потім реалізуємість логічної функції $F(G)$, дозволяє скоротити час проектування тесту приблизно у 2 рази. Отримано функціональні залежності часу пошуку оптимального тесту від кількості перевірок та несправностей електрообладнання.

5. Розроблено та впроваджено в експлуатацію мікропроцесорний автоматизований пристрій для експрес-діагностування електронних блоків БРНГ, БРЧ, БРТ, БЗ пасажирських вагонів з метою підвищення їх надійності у експлуатації. Пристрій виконано на сучасній елементній базі, що дозволяє забезпечити його високу надійність, точність вимірювань та достовірність результатів діагностування.

6. Створено діагностичні моделі електронних блоків вагона, які дозволяють формалізувати умови працездатності блоків, визначити ознаки несправностей та вибрати множину параметрів, які потрібно контролювати у процесі діагностування. Розроблені діагностичні моделі описують логіку функціонування електронних блоків та є необхідними при розробці діагностичного забезпечення.

7. Розроблено найбільш раціональну технологію діагностування комплексу електронних пристроїв вагона з урахуванням проектною надійності електронних блоків та визначеного переліку параметрів, що контролюються.

8. Проведені експериментальні дослідження методу та засобу діагностування свідчать про можливість скорочення середнього часу відновлення комплексу електронних пристроїв вагонів у 7 разів. Це дозволяє суттєво покращити значення комплексних показників надійності - коефіцієнту готовності та простою. Очікуваний економічний ефект від впровадження розробленого діагностичного пристрою складає 115254 грн. у рік на інвентарний парк пасажирських вагонів України за рахунок скорочення часу відновлення електрообладнання вагонів та підвищення його надійності у експлуатації.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бондаренко В.В. Аналіз експлуатаційної надійності пасажирських вагонів // 36. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2002. – Вип. 49. – С. 35-40.

2. Головки В.Ф., Бондаренко В.В. Новый метод контроля и диагностики систем электроснабжения пассажирских вагонов // *Залізничний транспорт України*. - 2002. - №3. - С. 39-41.

3. Головки В.Ф., Бондаренко В.В. Удосконалення технічного обслуговування пасажирських вагонів шляхом застосування діагностики // *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. – 2002. – № 1. – С. 35-37.

4. Головки В.Ф., Бондаренко В.В. Аналіз методів оптимізації контрольних і діагностичних тестів та ефективності їх використання для систем електропостачання пасажирських вагонів // *Коммунальное хозяйство городов: Науч. -техн. сб. Вып. 38.* – К.: Техніка, 2002. – С. 317-320.

5. Головки В.Ф., Бондаренко В.В. Комбинаторный подход к построению оптимальных контрольных и диагностических тестов для систем электроснабжения вагонов // *Системный анализ, управление и информационные технологии: Вестник НТУ «ХПИ»*. – Харьков: НТУ «ХПИ», – 2002. – №8. – Т.1. – С. 164-168.

6. Головки В.Ф., Бондаренко В.В. Аналіз технічного стану та шляхи підвищення експлуатаційної надійності електричного обладнання пасажирських вагонів // *Зб. наук. праць*. – Харків: ХарДАЗТ, 2001. – Вип. 45. – С. 15-18.

АНОТАЦІЯ

Бондаренко В.В. Удосконалення технології технічного обслуговування та діагностування електрообладнання пасажирських 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, 2002.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної наукової задачі - удосконаленню технології технічного обслуговування та діагностування електрообладнання пасажирських вагонів. Виходячи з поставленої задачі, був проведений аналіз надійності електрообладнання пасажирських вагонів та системи технічного обслуговування, який свідчить про недостатню надійність електронних блоків вагонів. З метою підвищення якості технічного обслуговування електрообладнання та його готовності були доопрацьовані методи побудови оптимальних контрольних та діагностичних тестів на основі комбінаторного підходу. Шляхом доопрацювання методів діагностування та впровадження в експлуатацію автоматизованого пристрою, призначеного для експрес-діагностування електронних блоків вагонів, була удосконалена технологія технічного обслуговування та діагностування електрообладнання пасажирських вагонів. Розроблено діагностичні моделі електронних блоків вагона, які описують логіку функціонування блоків та є необхідними при розробці діагностичного забезпечення. Експериментально були отримані функціональні залежності, що підтверджують ефективність розроблених методу та засобу діагностування

Ключові слова: пасажирський вагон, надійність, відмова, технічне обслуговування, діагностування, технологія, електрообладнання, електронні блоки, контрольний тест, діагностичний тест.

АННОТАЦИЯ

Бондаренко В.В. Совершенствование технологии технического обслуживания и диагностирования электрооборудования пассажирских 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, 2002.

Как известно, эксплуатационная надежность пассажирских вагонов, регулярность и себестоимость перевозок в значительной степени зависят от качества технического

обслуживания и ремонта, производительности труда, от длительности простоев железнодорожной техники.

Несмотря на систематическое повышение надежности элементной базы систем электрооборудования пассажирских вагонов, непрерывное увеличение числа потребителей и сложности электрооборудования все же остается одной из главных причин появления случайных отказов в его системах. В связи с этим наблюдается увеличение времени простоя вагонов на операциях технического обслуживания и ремонта. Одним из путей сокращения длительности простоев пассажирских вагонов является уменьшение времени определения работоспособности систем электрооборудования и поиска места отказа в них. Эта задача может быть решена путем разработки и внедрения в эксплуатацию прогрессивных технологий с использованием эффективных методов и средств контроля технического состояния, что и было предметом исследования в диссертационной работе.

Доработаны методы построения оптимальных контрольных и диагностических тестов для системы электрооборудования пассажирских вагонов на основе комбинаторного подхода. В работе предложены новый способ генерации вариантов тестов, оценка нижней и верхней границ длинны теста, оптимальная стратегия поиска и алгоритм оценки минимального количества проверок. Доработанный метод является более точным, хорошо формализуется и удобный для реализации на ЭВМ. Получены функциональные зависимости времени построения оптимального теста от количества проверок и неисправностей системы электрооборудования.

Усовершенствована технология технического обслуживания и диагностирования электрооборудования пассажирских вагонов путем разработки и внедрения в эксплуатацию автоматизированного устройства, предназначенного для экспресс-диагностирования электронных блоков вагона.

На основе рассчитанной проектной надежности электронных блоков и перечня контролируемых параметров разработаны методика и технология диагностирования комплекса электронных устройств вагона. Получены функциональные зависимости, которые подтверждают эффективность разработанного метода и средства диагностирования.

Проведенные экспериментальные исследования метода и средства диагностирования свидетельствуют о возможности сокращения среднего времени восстановления комплекса электронных устройств вагонов в 7 раз (с 26 до 4 минут). Это позволяет существенно улучшить значения комплексных показателей надежности - коэффициента готовности и простоя. Ожидаемый экономический эффект от внедрения разработанного диагностического устройства составляет 115254 грн. в год на инвентарный парк пассажирских вагонов Украины за счет сокращения времени восстановления электрооборудования вагонов и повышения его надежности в эксплуатации.

Выполненные в работе исследования позволяют повысить качество технического обслуживания пассажирских вагонов и их надежность в эксплуатации.

Ключевые слова: пассажирский вагон, надежность, отказ, техническое обслуживание, диагностирование, технология, электрооборудование, электронные блоки, контрольный тест, диагностический тест.

THE SUMMARY

Bondarenko V.V. Improvement of carriages electric equipment maintenance and diagnostics technology. - Manuscript.

The dissertation on reception of engineering science candidate scientific degree. The speciality is 05.22.07 – Railway rolling-stock and trains traction. - Ukrainian state academy of railway transport, Kharkiv, 2002.

The work is devoted to improvement of carriages electric equipment maintenance and diagnostics technology. The analysis of carriages electric equipment reliability and maintenance system is carried out. Was developed a new method of optimum control and trouble-shooting tests construction for carriages electric equipment system. In basis of the method lays combinatorial

approach. Has been advanced the technology of carriages electric equipment maintenance and diagnostics by development and introduction in operation of the automatic device, intended for carriages electronic blocks express-diagnosing. The functional dependences are received, which confirm efficiency developed of a method and means of diagnosing.

Key words: the carriage, reliability, refusal, maintenance, diagnosing, electric equipment, electronic block, test.