

**ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО «ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-
ДОСЛІДНИЙ ЦЕНТР ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ»**

УДК 621.355:629.421.4

**Подовження терміну служби АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ
МАНЕВРОВИХ ТЕПЛОВОЗІВ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ
СИСТЕМИ ПУСКУ дизеля**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Kiїв – 2012

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі «Експлуатація та ремонт рухомого складу» Української державної академії залізничного транспорту Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, на кафедрі «Рухомий склад залізниць» Державного вищого навчального закладу «Донецький інститут залізничного транспорту» Української державної академії залізничного транспорту

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
Тартаковський Едуард Давидович,
Українська державна академія залізничного
транспорту, кафедра «Експлуатація та ремонт
рухомого складу», завідувач кафедри

Офіційні опоненти – доктор технічних наук, доцент
Хворост Микола Васильович,
Харківська національна академія міського
господарства, декан факультету заочного навчання

кандидат технічних наук, доцент
Гончаров Олександр Михайлович
«Державний науково-дослідний центр
залізничного транспорту України»,
начальник відділу рухомого складу та
інфраструктури залізниць

Захист відбудеться “ 25 ” квітня 2012 р. о 14:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.885.01 в Державному підприємстві «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України» Україна, 03038, м. Київ – 38, вул. І. Федорова, 39

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного підприємства «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України» Україна, 03038, м. Київ – 38, вул. І. Федорова, 39

Автореферат розісланий “17” березня 2012 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

С.Г. Грищенко

загальна характеристика роботи

Вступ. Відповідно до Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року, яка схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 року за № 1555-р, однією з пріоритетних задач розвитку залізниць є удосконалення конструкції тягового рухомого складу для підвищення його рентабельності та конкурентоспроможності. Важливим напрямком вирішення цієї задачі є ефективне використання резервів ресурсозбереження при проектуванні та модернізації тягового рухомого складу.

З урахуванням доволі повільних темпів оновлення тягового рухомого складу на залізницях України особливої актуальності набувають вирішення комплексу науково-практичних задач щодо підтримання тягового рухомого складу, що експлуатується в належному технічному стані шляхом модернізації окремих систем тепловозів.

Досвід експлуатації маневрових тепловозів на мережах залізниць України, а також на промисловому транспорті вказує на те, що значна кількість браку в роботі, порушення графіків руху обумовлено неналежним технічним станом системи пуску тепловозних дизелів.

Нині склалася досить складна ситуація на ринку хімічних джерел струму. Тепловозні стартерні акумуляторні батареї являють собою найдорожчу та менш надійну ланку системи пуску.

Актуальність теми дисертації. Електростартерна система пуску тепловозних дизелів являє собою найважливішу складову частину систем що забезпечують запуск дизеля. Від технічного стану системи пуску дизеля в значній мірі залежить безперебійна робота залізничного транспорту в цілому.

Результати порівняльного аналізу технічного стану акумуляторних батарей маневрових тепловозів на Донецькій залізниці вказують на те, що понад 36% акумуляторних батарей маневрових тепловозів потребують заміни, 42% знаходяться в задовільному технічному стані, однак з вичерпаним терміном експлуатації, що в значній мірі обумовлено недостатнім фінансуванням та наявністю недоліків в системі пуску тепловозних дизелів.

Вищевказана ситуація визначає актуальність та важливість проведення науково-дослідних робіт, спрямованих на подовження терміну служби акумуляторних батарей та застосування нового схемотехнічного рішення системи пуску тепловозних дизелів з застосуванням нових типів акумуляторних батарей.

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

Тема дисертації відповідає «Комплексній програмі оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки», яку затверджено Наказом Міністра транспорту та зв'язку України від 14.10. 2008 р., №1259, Державній цільовій програмі реформування залізничного транспорту на 2010-2015 роки, затвердженій розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 року №1390 та Стратегії розвитку

залізничного транспорту на період до 2020 року, яку схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 року №1555-р. Наукові результати дисертаційної роботи отримані при виконанні госпдоговірної науково-дослідної роботи «Розробка системи пуску дизелів та рекуперації енергії гальмування поїздів з використанням енергоємних імпульсних конденсаторів» (ДР 0108U005562).

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є вирішення науково-технічного завдання – подовження терміну служби акумуляторних батарей маневрових тепловозів шляхом удосконалення системи пуску дизеля.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити низку науково-технічних завдань, основними з яких є:

- виконати аналіз існуючих систем пуску тепловозних дизелів;
- проаналізувати характеристики штатних акумуляторних батарей;
- проаналізувати доцільність і можливість застосування акумуляторних батарей нового типу в пусковій системі маневрових тепловозів;
- обґрунтування перспективних напрямків поліпшення умов експлуатації акумуляторних батарей;
- аналіз методик розрахункових досліджень акумуляторних батарей маневрових тепловозів;
- розробка методики розрахунку струмів короткого замикання;
- формулювання математичного описання задачі зниження пікового значення пускового струму;
- адаптація математичних моделей акумуляторних батарей для розрахунку процесу пуску тепловоза;
- розробка заходів подовження терміну служби акумуляторних батарей маневрових тепловозів;
- удосконалення схмотехнічного рішення системи пуску тепловозних дизелів, шляхом застосування системи обмеження пускового струму в комплекті з автомобільною акумуляторною батареєю;
- оцінка економічної ефективності від впровадження запропонованих технічних рішень з удосконалення системи пуску.

Об'єкт дослідження – процес подовження терміну служби акумуляторних батарей маневрових тепловозів.

Предмет дослідження – нові методи описання та дослідження системи пуску дизелів маневрових тепловозів.

Методи дослідження. При виконанні дисертаційних досліджень використовувались такі методи: математична статистика; методи математичного моделювання на основі теорії диференціальних рівнянь в частинних похідних, об'єктно-орієнтовані методи моделювання та аналізу складних систем; сучасні методи та засоби технічних вимірювань при проведенні експериментальних досліджень.

Наукова новизна отриманих результатів. В дисертаційній роботі вирішено науково-практичне завдання подовження терміну служби акумуляторних батарей маневрових тепловозів за рахунок удосконалення схмотехнічного рішення системи пуску з використанням акумуляторних батарей нового типу.

Вперше:

- формалізована математична модель стартерного свинцево-кислотного акумулятора, враховуючи вплив його технічного стану та ступеня розряду;

- на основі математичної моделі отримано параметри електричних характеристик акумуляторів для розрахунку мінімального струму акумуляторної батареї при пуску, необхідного для надійної роботи пускової системи;
- розроблено метод зниження пікових значень пускового струму акумуляторних батарей маневрових тепловозів, який відрізняється від відомих регулюванням пікових навантажень за рахунок використання напівпровідникових приборів;
- доопрацьовано способи діагностики свинцево-кислотних акумуляторних батарей, які враховують відмінності експлуатації на маневрових тепловозах за рахунок застосування нових критеріїв по визначенню внутрішнього опору, що дозволить спрогнозувати надійність роботи системи пуску.

Дістали подальшого розвитку:

- математична модель процесів, які протікають в стартерних акумуляторних батареях маневрових тепловозів, що враховує временну характеристику пуску дизеля для прогнозування ресурсу батареї;
- методи експериментального дослідження перехідних процесів в системі пуску дизелів маневрових тепловозів, за рахунок автоматизації системи вимірювання, що дозволило підвищити точність вимірювання.

Практичне значення одержаних результатів. До основних практичних результатів дисертаційної роботи можна віднести:

- визначене схемотехнічне рішення модернізованої системи пуску дизелів маневрових тепловозів;
- розроблені рекомендації по розрахунку струмів короткого замикання при можливих умовах експлуатації акумуляторних батарей автомобільного типу на маневрових тепловозах;
- запропоновані та прийняті до впровадження в локомотивному депо ТЧ-20 Ясинувата-Західне Донецької залізниці технічні рішення з удосконалення системи пуску дизеля К6S310DR маневрового тепловозу ЧМЕЗ, які за рахунок обмеження пускового струму подовжать термін служби акумуляторної батареї;
- узгоджене впровадження на мережі залізниць України;
- запропоновані рекомендації з подовження терміну служби та контролю технічного стану акумуляторних батарей маневрових тепловозів за рахунок введення нового критерію діагностики, які прийняті до впровадження ЗЦ №2 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»;
- обґрунтовано застосування нових типів акумуляторних батарей з пристроєм обмеження величини пускового струму, що знижує матеріалоємність системи;
- матеріали дисертаційної роботи будуть використані при проектуванні нових і модернізації існуючих систем пуску дизелів маневрових тепловозів;
- дисертаційні дослідження використовуються в навчальному процесі Донецького інституту залізничного транспорту при підготовці бакалаврів і спеціалістів за спеціальністю «Локомотиви та локомотивне господарство».

Особистий внесок здобувача. Усі положення й результати роботи, які виносяться на захист, автором отримані особисто або при його безпосередній участі. У роботі [1] – автором проведено аналіз отриманих даних випробувань на об'єктах дослідження; у роботі [2] – автором розроблена методика перевірки технічного стану системи пуску тепловоза; у роботі [5] – запропоновано спрощення математичних моделей акумуляторних батарей при розрахунках пускових струмів; у роботі [6] – визначена доцільність спрощення математичних моделей акумуляторних батарей тепловозів.

Апробація результатів дисертації. Основні матеріали результатів дисертаційної роботи доповідались, обговорювались і отримали схвалення на наступних конференціях:

- 70 міжнародна НТК «Рухомий склад і спеціальна техніка транспорту» УкрДАЗТ, м. Харків 2008 р.;
- 71 міжнародна НПК «Проблеми и перспективы развития рельсового транспорта» Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени В. Лазаряна, г. Днепропетровск 2011 г.;
- 3 міжвузівська НТК «Енерго- та ресурсозберігаючі технології при експлуатації машин та устаткування» Донецький інститут залізничного транспорту, м. Донецьк 2011 р.;
- 6 міжнародна НПК «Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті ЕКУЗТ 2011» ДЕТУТ, м. Київ 2011 р.

Повністю дисертація доповідалась на розширеному засіданні кафедри «Експлуатація і ремонт рухомого складу» УкрДАЗТ в 2011р., на кафедрі «Рухомий склад залізниць» Донецького інституту залізничного транспорту в 2011р., та науковому семінарі Державного підприємства «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України», за участю членів спеціалізованої вченої ради К 26.885.01, та схвалена до захисту за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Публікації. Результати дослідження опубліковані в 6 статтях (дві без співавторів) у фахових виданнях, затверджених ВАК України.

Структура й обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 91 найменування. Основний зміст роботи викладено на 126 сторінках і включає 27 рисунків, 3 таблиці, 3 додатка.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі сформульовано мету й завдання дослідження, відображено загальну характеристику роботи та основні наукові положення, що виносяться на захист. Обґрунтовано актуальність теми, її наукову новизну й практичне значення. Наведено дані про методи досліджень, публікації, апробацію та структуру дисертації.

У першому розділі виконано аналіз існуючих штатних та модернізованих систем пуску дизелів маневрових тепловозів. Наведені їхні принципові схеми визначені недоліки.

Найбільше розповсюдження на маневрових тепловозах отримала система електростартерного пуску, яка має цілий ряд позитивних якостей. Ця система компактна і надійна в роботі, забезпечує можливість автоматизації процесу пуску за допомогою нескладних електротехнічних пристроїв. Вона складається з акумуляторної батареї, ланцюга (дроти, комутаційна апаратура управління) тягового генератора працюючого в режимі стартера.

Загальним елементом для систем пуску і електропостачання тепловоза є акумуляторна батарея. Проте режим її роботи в цих системах розрізнений.

Дослідження, показали, що існуючі системи пуску тепловозних дизелів мають ряд істотних недоліків. З них основним є різке наростання пускового струму акумуляторної батареї, що приводить до зниження її терміну служби, додатковому зносу дизельного двигуна і негативно позначається на експлуатаційно-економічних показниках.

Задачам удосконалення систем пуску та подовженню терміну служби тепловозів присвячено велику кількість наукових праць. Найбільший внесок в цьому напрямку зробили вчені: Беляєв Б.В., Боднар Б.Є., Голубенко О.Л., Горбунов М.І., Іванов В.А., Колесник І.К., Косов Є.Є., Кузьмич В.Д., Матяш В.О., Паламарчук М.В., Панасенко М.В., Репін А.С., Тартаковський Е.Д., Фалендиш А.П., Хворост М.В., Черняк Ю.В., Шумков Е.Б., та інші.

Незадовільний технічний стан, жорсткі умови експлуатації акумуляторних батарей тепловозів обґрунтовують актуальність досліджень спрямованих на удосконалення системи пуску дизелів маневрових тепловозів та розробку засобів підвищення терміну служби акумуляторних батарей.

У другому розділі досліджені електрохімічні системи, які використовуються в стартерних батареях для пуску дизелів маневрових тепловозів. Виконано аналіз статистичних даних технічного стану акумуляторних батарей маневрових тепловозів на Донецькій залізниці.

Обґрунтована можливість застосування акумуляторних батарей нового типу на маневрових тепловозах.

Найважливішими параметрами батареї, що впливають на процес пуску двигуна, є її ємність і число електродів в акумуляторі, температура електроліту та і ступінь розрядженості батареї.

Досліджені технології підвищення працездатності акумуляторних батарей в процесі експлуатації.

У третьому розділі проведено дослідження існуючих методик розрахункових досліджень акумуляторних батарей. Надано наукове обґрунтування урахування характеристик акумуляторів при розрахунку струмів короткого замикання.

Для розрахунків характеристик акумуляторних батарей тепловозів є багато методів, що ґрунтуються на різних принципах.

Математична модель акумулятора, заснована на диференціальних рівняннях в частинних похідних. В цій моделі враховуються процеси виникаючі в акумуляторній батареї при розряді і заряді в процесі експлуатації тепловозів.

При отриманні рівнянь найбільш доцільно розглядати акумулятор, розділений на декілька зон і границь (рис. 1):

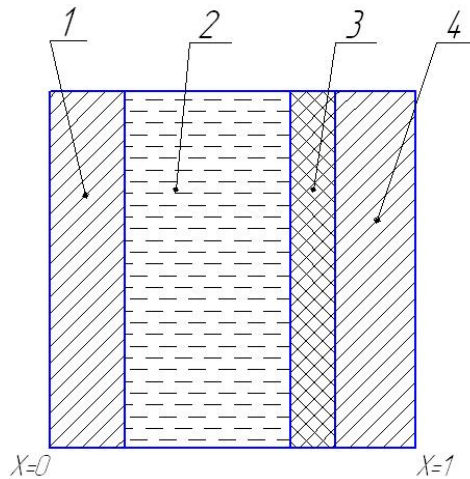


Рис. 1 – Графічна інтерпретація акумулятора

- границя між решіткою позитивного електрода і активною масою позитивного електрода,
- позитивний електрод (зона 1),
- границя між позитивним електродом і електролітом,
- електроліт (зона 2),
- границя між електролітом і сепаратором,
- сепаратор (зона 3),
- границя між сепаратором і негативним електродом,
- негативний електрод (зона 4),
- границя між негативним електродом і решіткою негативного електрода.

Для кожної границі записуються по п'ять граничних умов. Для кожної зони записуються по п'ять диференціальних рівнянь.

Так для першої групи ($x = 0$) записуються такі граничні умови:

- де C – концентрація електроліту, моль/см³;
 ϵ – пористість електродів, у.о.;
 i_2 – щільність струму в електроліті, А/см²;
 ϕ_1 – потенціал в активній масі електрода, В;
 ϕ_2 – потенціал в електроліті електрода, В.

Для першої зони записуються наступні рівняння:

1. Рівняння зміни пористості позитивного електрода:

- де M_i – молярна маса речовини i , г/моль;
 ρ_i – щільність речовини i , г/см³.

Записане рівняння описує зміну пористості позитивного електрода в часі, обумовлену перетвореннями активних матеріалів при електродних реакціях в процесі пуску дизеля тепловоза.

2. Закон Ома для електроліту, що міститься в порах позитивного електрода матиме наступний вигляд:

де ϵx_1 – коефіцієнт, що враховує зниження провідності електроліту в порах позитивного електрода;

$\gamma \mathcal{E}$ – провідність електроліту, См/см;

- число переносу іонів водню;

V_0, V_e – молярні об'єми води і електроліту відповідно, см³/моль.

Це рівняння являє собою модифікований закон Ома для електроліту, при якому враховується, що струм протікає під дією градієнтів електричного та хімічного потенціалів.

3. Закон Ома для активної маси позитивного електрода:

де ϵx_{m1} – коефіцієнт, що враховує зміну провідності позитивного електрода в залежності від його пористості, См/см;

– провідність діоксиду свинцю, См/см;

I – сумарна щільність струму розряду (заряду), А/см².

Записане рівняння аналогічне попередньому, але застосовано для електрода.

4. Рівняння матеріального балансу:

де D – коефіцієнт дифузії іонів електроліту, см²/с.

Дане рівняння описує зміну концентрації електроліту в часі, яке відбувається через електродної реакції, дифузії і міграції іонів під час пускового процесу тепловозного дизеля.

5. Рівняння електродної кінетики:

де S – максимальна питома поверхня активної маси позитивного електрода, см²/см³;

C_r – концентрація електроліту, при якій визначена щільність струму обміну для електродів, моль/см³;

$i_{0,r}$ – щільність струму обміну для позитивного електрода при C_r , А/см²;

- пористість позитивного електрода в розрядженому стані;

- пористість позитивного електрода в зарядженому стані;

- анодний і катодний коефіцієнти переносу позитивного електрода;

- коефіцієнт, що враховує залежність щільності струму обміну позитивного електрода від концентрації;

- коефіцієнт, що враховує залежність питомої поверхні активної маси позитивного електрода від ступеня зарядженості;

U_0 – напруга на акумуляторі при відсутності зовнішнього струму (це фактично напруга розімкнутого пускового ланцюга дизеля, контактори КД1, КД2 розімкнуті), В.

На відміну від вище розглянутої методики передбачаються такі припущення:

1. Розглядається акумулятор з плоскими електродами (а не пористими).
2. Коефіцієнти дифузії іонів, провідність і температура електроліту і пластин не змінюються в часі.
3. Щільність струму по поверхні електродів розподілена рівномірно.
4. Кислота повністю дисоціює за рівнянням:

EMBED Equation.3

При розряді акумулятора постійним струмом I вираз розрядної напруги приймає вигляд:

(1)

де α , β - константи, визначаються при апроксимації рівнянь Нернста для кожного з електродів;

N – позитивна константа, що визначається з електродних реакцій.

Однак даний вираз додатково може бути спрощено, якщо час розряду короткий і концентраційні зміни відбулися тільки в тонкому шарі електроліту в приелектродному просторі, цей режим розряду найбільш відповідає режиму пуску дизеля.

Отримаємо для довільної функції струму вираз напруги акумулятора:

(2)

Перевагою розглянутої моделі є те, що вираз дозволяє забезпечити найбільш раціональний вибір типу акумуляторної батареї для системи пуску тепловоза.

Розглянемо кожен складову рівняння (2). Емпіричний вираз для рівноважної ЕРС на початку розряду вірогідний при щільності електроліту ρ від 1,20 до 1,34 г/см³. В роботі наводиться більш точне співвідношення, при щільності електроліту від 1,05 до 1,34 г/см³ похибка менше 2% від табличних значень:

Оскільки щільність електроліту залежить від температури, то прийнято приводити щільність до певної температури. Прийmemo цю температуру рівною 25 °С. Тоді перш, ніж скористатися виразом (2) (і у всіх наступних виразах), необхідно перерахувати щільність за наступною формулою:

$$q_{25} = q_t + 0,0007(T - 25).$$

У виразі (2) припущено, що внутрішній опір акумулятора незмінний, це справедливо лише при коротких розрядах, що найбільш точно відповідає роботі акумуляторної батареї під час пуску дизеля, в зв'язку з цим в подальших перетвореннях виразу (2) немає необхідності, оскільки він в повному обсязі описує процеси які протікають в батареї.

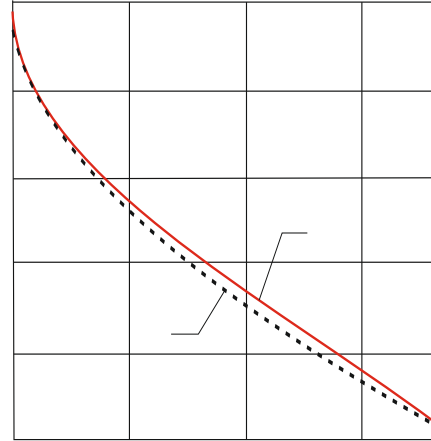
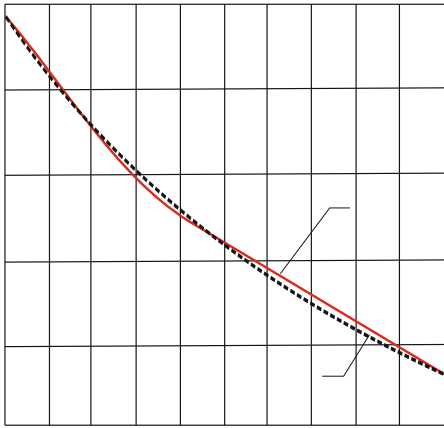
Використовуючи раніше виведений вираз для ЕРС поляризації для пікової форми розрядного струму, можна побудувати вольт-амперні характеристики акумулятора для будь-якого ступеня розрядженості, підставляючи необхідні значення струму і часу. У цьому випадку вираз прийме вигляд:

(3)

Використовуючи цей вираз, легко визначити вольт-амперну характеристику як для повністю розрядженого акумулятора, так і для будь якого стану розрядженості.

У результаті розрахунків отримані вольт-амперні характеристики акумулятора типу 6СТ-190 для зарядженого і розрядженого станів при різній температурі і струмі розряду, а також розрядні характеристики акумулятора. На (рис. 2, 3) представлені результати чисельних розрахунків, суцільна лінія - модель з диференційними рівняннями, пунктир - розроблена модель. Розбіжність між спрощеною розробленою моделлю і моделлю, заснованою на диференційних рівняннях, менше 7% у всьому розглянутому діапазоні температур і ступеня розрядженості, як для розрядних, так і вольт-амперних характеристик акумулятора.

На основі математичної моделі отримано параметри електричних характеристик акумуляторів для розрахунку необхідного пускового струму акумуляторної батареї при пуску дизеля для надійної роботи пускової системи тепловоза.



1 – з урахуванням міграції іонів
 2 – без урахування міграції іонів
 Рис. 2 – Розрядні характеристики
 акумуляторної батареї

1 – по виразу (1)
 2 – по виразу (2)

Рис. 3 – Результати чисельних
 розрахунків

В четвертому розділі розглянуті питання по розробці засобів подовження терміну служби акумуляторних батарей тепловозів шляхом рекомендацій по діагностиці та модернізації системи пуску на основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень.

Актуальним є застосування методів зниження пускового струму акумуляторних батарей тепловозів на підставі результатів теоретичних та експериментальних досліджень.

Для того, щоб уникнути негативних впливів пускових пікових струмів і продовження терміну служби акумуляторних батарей, запропоновано включити в електричну схему пуску дизеля індуктивний опір (котушку індуктивності), який буде протидіяти різкому наростанню струму, або застосувати систему обмеження пускового струму виконану на напівпровідникових тиристорах з обмежуючим опором.

Розроблена система обмеження пускового струму, є найбільш доцільним схемотехнічним рішенням модернізації системи пуску тепловозних дизелів, враховуючи простоту виготовлення, мінімальні капітальні вкладення на модернізацію, виключення необхідності технічного обслуговування та надійність експлуатації.

Застосування розробленої схеми дозволило знизити значення пускових струмів до величини ~ 930 А.

На основі експериментальних досліджень та акта приймання експлуатаційних випробувань акумуляторно-конденсаторної системи пуску, обладнаної автомобільними акумуляторними батареями „АКСП”, к омісією головного управління локомотивного господарства Укрзалізниці, призначеного наказом ЦЗЛ № 14/380 від 15.07.09р. можна зробити висновок, що розроблена система дозволяє:

- реалізувати надійний пуску дизеля при різних ступенях зарядженості АБ навіть у випадку розряду акумуляторної батареї тепловоза до 40% від номінального значення;

- здійснити гарантований запуск при температурі охолоджуючої рідини й мастила дизеля до + 10°С після холодного відстою в депо (згідно протоколів випробувань);

Величина розрядної ємності АБ через рік експлуатації складає 91% від номінального значення, що відповідає хорошому її стану (згідно протоколів випробувань).

За рік експлуатації відмов системи АКСП не відмічалось, що підтверджує задану в ТЗ імовірність безвідмовної роботи АБ – не менше 0.98.

При діагностиці акумуляторних батарей тепловозів важливим моментом є визначення критеріїв працездатності. Для обслуговуючого персоналу запропоновано виділення трьох станів акумуляторної батареї: працездатна, непрацездатна, працездатна в обмеженому діапазоні умов експлуатації.

Чисельні критерії працездатності акумуляторної батареї впливають з її режиму роботи. Так в режимі пуску дизеля величина струму повинна бути не менше мінімально допустимого: $I_{п} \geq I_{доп}$. В режимі «холодного» простою акумуляторна батарея повинна забезпечувати необхідний рівень напруги, тобто напруга приладів безпеки, допоміжного обладнання має бути вище мінімально допустимого: $U_{пот} \geq U_{доп}$. Отже можна перейти к критерію: напруга на шинах акумуляторної батареї не повинна бути нижче допустимого протягом заданого часу розряду $U_{АБ} \geq U_{доп}$. Така умова використовується при виборі ємності акумуляторів.

При розрахунку пускового струму для перевірки надійного запуску дизеля мінімальним необхідним струмом враховується зміна параметрів акумуляторів від температури і ступеня розрядженості. Тому мінімально допустимий струм можна прийняти рівним мінімальному розрахунковому струму на виводах акумуляторної батареї: $I_{доп} I_{п.р.мін}$.

Замість критерію по напрузі можна використовувати критерій по ємності. А так як ємність акумулятора зворотно пропорційна його внутрішньому опору в зарядженому стані, то критерій по ємності також зводиться до критерію по опору: $R_{АБ} < R_{АБ.р.мах}$

Зазначені критерії працездатності акумуляторної батареї дозволять при її обслуговуванні оцінити стан акумуляторів та спростять обслуговування тепловозних акумуляторних батарей.

Визначення кількісних показників довговічності акумуляторних батарей маневрових тепловозів визначається в роботі наступним: довговічність акумуляторних батарей маневрових тепловозів довгостроково зберігати працездатність до відмови або граничного стану може бути кількісно оцінена декількома показниками, серед яких у першу чергу варто враховувати середнє значення тривалості роботи T батареї до відмови. При відомому законі розподілу пускового струму батареї i , можна визначити математичне очікування, що має фізичний сенс середнього значення, тобто:

Для акумуляторних батарей маневрових тепловозів як показник довговічності доцільно застосовувати середнє напрацювання на відмову, що є відношенням сумарного напрацювання $T_{\text{сум}}$ однотипних батарей до кількості їхніх відмов потк протягом цього напрацювання:

де $\omega_{\text{ср}}$ – середнє значення параметру потоку відмов.

Для нормального закону розподілу оцінки параметрів роботи акумуляторних батарей a й σ визначаються по:

На підставі проведених розрахунків отримана щільність розподілу напрацювань на відмову акумуляторних батарей маневрових тепловозів із штатною й модернізованою системою пуску (рис. 4). Отримані дані свідчать про збільшення терміну служби акумуляторних батарей на 36%.

..... – штатна система пуску дизеля

_____ – модернізована система пуску дизеля

Рис. 4 – Щільність розподілу напрацювання на відмову акумуляторних батарей маневрових тепловозів

Визначення річного економічного ефекту від подовження терміну служби акумуляторних батарей маневрових тепловозів ґрунтується тим, що річний економічний ефект від підвищення довговічності Егд акумуляторних батарей створюється двома складовими. Величина першої складової ефекту ЕГ.П.ПР.П.Р. утвориться в результаті збільшення фонду корисного часу роботи модернізованого локомотива з підвищеним ресурсом акумуляторної батареї в порівнянні з локомотивом, прийнятим за базу. У цьому випадку зменшується кількість планових технічних обслуговувань і поточних ремонтів, що виконуються протягом року роботи, скорочується також і час на їхнє проведення в порівнянні з базовим локомотивом. Друга складова ЕГ.П.Р показує зниження витрат на проведення планових технічних обслуговувань і поточних ремонтів удосконаленого локомотива за той же період роботи.

З огляду на вищесказане, напрацювання між плановими видами ремонтів і технічним обслуговуванням ТО-3 у випадку базової конструкції локомотива представляються у вигляді:

При підвищенні рівня надійності локомотива, величини міжремонтних пробігів, що змінюються одночасно, можуть бути представлені у вигляді:

де ТПР_{ін} – нове значення напрацювання локомотива до і-го виду поточного ремонту;

ТПР_{ів} – значення напрацювання до і-го виду ремонту (технічного обслуговування) базового локомотива;

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішене важливе науково-технічне завдання – подовження терміну служби акумуляторних батарей маневрових тепловозів шляхом удосконалення системи пуску.

В роботі отримані наступні основні результати:

1. Аналіз існуючих систем пуску дизелів маневрових тепловозів свідчить, що штатні системи пуску мають ряд суттєвих недоліків які негативно впливають на технічний стан акумуляторної батареї її термін служби та на технічний стан дизель-генераторної установки в цілому. Тому виникає необхідність вирішення науково-технічного завдання їх подальшого удосконалення з метою подовження терміну служби акумуляторних батарей;
2. Аналіз характеристик штатних акумуляторних батарей дозволяє зробити висновок, що застосовані електрохімічні системи являють собою ненадійну ланку пускової схеми. Термін служби бортової акумуляторної батареї знаходиться в широких межах від 1 до 5 років, актуальною задачею являється розробка заходів підвищення надійності акумуляторних батарей маневрових тепловозів
3. Обґрунтовано доцільність і можливість застосування акумуляторних батарей нового типу 6СТ-190, характеристики батарей нового типу відповідають основним вимогам надійності експлуатації системи пуску;
4. Визначені і обґрунтовані перспективні напрямки поліпшення умов експлуатації акумуляторних батарей маневрових тепловозів шляхом зменшення негативного впливу пускового струму;
5. Зроблений аналіз методик розрахункових досліджень акумуляторних батарей свідчить, що в якості математичної моделі акумулятора для вирішення задач проектування нових систем пуску оптимально підходять моделі, які дозволяють визначати характеристики акумуляторів в широкому діапазоні умов експлуатації;
6. Розроблена методика розрахунку струмів короткого замикання рідинного свинцево-кислотного стартерного акумулятора, що дозволяє враховувати при розрахунку ступінь розрядженості, технічний стан, вплив максимальних значень пускового струму в діапазоні розрахункових умов прийнятних при проектуванні систем пуску дизелів маневрових тепловозів;
7. Сформульовано математичне описання задачі зниження пускового струму на основі узагальнення математичних моделей електрохімічних процесів, що протікають в свинцево-кислотних акумуляторних батареях під час пуску. Пусковий струм може досягати ~ 1900 А, доцільно зниження пікових значень до 950 – 1200 А.
8. Розроблена адаптована математична модель акумуляторної батареї маневрового тепловоза, яка враховує вплив температури навколишнього середовища і ступеня розрядженості на вольт-амперні характеристики для розрахунку процесу пуску тепловоза з метою вибору оптимального типу акумуляторної батареї та подовження її терміну служби за рахунок зниження пікового значення пускового струму;
9. Розроблені заходи подовження терміну служби акумуляторних батарей маневрових тепловозів, система обмеження пускового струму з використанням баластного опору в комплекті з автомобільною акумуляторною батареєю, є найбільш доцільним схемотехнічним рішенням модернізації системи пуску тепловозних дизелів та дозволить підвищити прогнозний коефіцієнт готовності локомотивів на 0,164;
10. Запропоновано найбільш ефективний спосіб діагностики акумуляторних батарей тепловозів, шляхом контролю їх стану по омичній складовій внутрішнього опору, так як цей спосіб дозволяє оцінювати як ємність, так і вольт-амперні характеристики батареї що дозволить підвищити термін служби акумуляторних батарей маневрових тепловозів на 36%;
11. Очікуваний економічний ефект від впровадження системи обмеження пускового струму в комплекті з автомобільними акумуляторними батареями 6СТ-190 за рахунок зниження вартості акумуляторів, зменшення експлуатаційних витрат, підвищення надійності системи пуску дизеля складає 87,11 тис. грн.;

12. Результати виконаних досліджень впроваджено на ДП «Донецька залізниця» в локомотивному депо ТЧ-20 Ясинувата-західне, в ЗЦ №2 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та в учбовий процес Державного вищого навчального закладу «Донецький інститут залізничного транспорту» Української державної академії залізничного транспорту, що підтверджено відповідними актами.

Список опублікованих праць за темою дисертації

Основні праці:

1. Рябко К.А. Исследование процессов пуска дизеля К6S310DR с использованием энергоемких конденсаторов / Н.В. Паламарчук, Ю.В. Черняк, Л.Т. Писарев, К.А. Рябко, В.Г. Фычак // Збірник наукових праць ДонІЗТ, Донецьк, 2007. Вип № 9 – С. 112-124.
2. Рябко К.А. Разработка методики проверки технического состояния конденсаторного комплекта системы конденсаторного пуска тепловоза ЧМЭЗ / Ю.В. Черняк, В.И. Дорошко, К.А. Рябко, С.А. Матвиенко // Збірник наукових праць УкрДАЗТ, вип.. 108. - Харків, 2009. – С. 75-83.
3. Рябко К.А. Способ продления срока службы аккумуляторных батарей тепловозов путем снижения пусковых токов / К.А. Рябко // Збірник наукових праць ДонІЗТ, Донецьк, 2011. вип. 25 – С. 121-125.
4. Рябко К.О. Аналіз математичних моделей акумуляторних батарей системи пуску тепловозних дизелів / І.К. Колесник, К.О. Рябко // Збірник наукових праць ДонІЗТ, Донецьк, 2011. вип 26 – С. 119-125.
5. Рябко К.О. Визначення доцільних спрощень математичних моделей акумуляторних батарей тепловозів / К.О. Рябко // Збірник наукових праць ДонІЗТ, Донецьк, 2011. вип 27 – С. 138-142.
6. Рябко К.О. Аналіз експериментальних даних та їх порівняння з результатами теоретичних досліджень на основі розробленої адаптованої математичної моделі акумуляторних батарей системи пуску тепловозних дизелів / Е.Д. Тартаковський, Ю.В. Кривошея, К.О. Рябко // Збірник наукових праць ДонІЗТ, Донецьк, 2011. вип 28 – С. 136-142.
7. Экономия дизельного топлива тепловозами ЧМЭЗ за счет использования импульсных энергоемких конденсаторов / Ю.В. Черняк, Ю. В. Прилепский, К.А. Рябко, В.Г. Фычак // Збірник наукових праць 70-ї науково-технічної конференції «Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту». – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – С. 44-49.
8. Методики исследований процессов пуска дизелей маневровых тепловозов / К.А. Рябко // Тези доповідей 71 міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2011. – С. 65.
9. Математичне моделювання процесів, що протікають в акумуляторних батареях тепловозів під час пуску / К.О. Рябко // Матеріали

3-ої міжвузівської науково-технічної конференції «Енерго- та ресурсозберігаючі технології при експлуатації машин та устаткування». – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. С. – 78.

10. Аналітичні дослідження процесів, які протікають в акумуляторних батареях маневрових тепловозів під час пуску / К.О. Рябко // Матеріали Шестой международной научно-практической конференции «Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте ЭКУЖТ-2011». – К. : ГЭТУТ, 2011.

АНОТАЦІЯ

Рябко К.О. Подовження терміну служби акумуляторних батарей маневрових тепловозів шляхом удосконалення системи пуску дизеля. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів; Державне підприємство «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України», Київ, 2012.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального науково-технічного завдання – подовження терміну служби акумуляторних батарей тепловозів шляхом удосконалення системи акумуляторного запуску тепловозних дизелів.

Формалізована математична модель тепловозного стартерного свинцево-кислотного акумулятора, враховуюча вплив технічного стану та ступеня розрядженості при визначенні вольт-амперних характеристик акумуляторної батареї з метою проектування систем пуску дизелів маневрових тепловозів. Отримано параметри електричних характеристик акумуляторів, для розрахунку мінімального струму акумуляторної батареї при пуску, необхідного для надійної роботи пускової системи.

Визначене схемотехнічне рішення модернізованої системи пуску дизелів маневрових тепловозів. Розроблені рекомендації по розрахунку струмів короткого замикання при можливих умовах експлуатації акумуляторних батарей автомобільного типу на маневрових тепловозах. Запропоновано застосування нових типів акумуляторних батарей з системою обмеження величини пускового струму. Запропоновані технічні рішення з удосконалення системи пуску дизеля К6S310DR маневрового тепловозу ЧМЕЗ, та прийняті до впровадження в локомотивному депо ТЧ-20 Ясинувата Донецької залізниці, узгоджене впровадження на мережі залізниць України.

Ключові слова: акумуляторна батарея, дизель генератор, стартер генератор, акумуляторна система пуску дизеля, рівняння нестационарної дифузії, математична модель акумулятора, схемотехнічне рішення системи пуску.

АННОТАЦИЯ

Рябко К.О. Продление срока службы аккумуляторных батарей маневровых тепловозов путем усовершенствования системы пуска дизеля.

– Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 - подвижной состав железных дорог и тяга поездов; Государственное предприятие «Государственный научно-исследовательский центр железнодорожного транспорта Украины», Киев, 2012.

Диссертационная работа посвящена решению актуального научно-технического задания - продление срока службы аккумуляторных батарей тепловозов путем усовершенствования системы аккумуляторного запуска тепловозных дизелей.

В диссертационной работе разработана формализованная математическая модель тепловозного стартерного свинцово-кислотного аккумулятора, с учетом влияния технического состояния и степени разряженности при определении вольт-амперных характеристик аккумулятора с целью проектирования систем пуска дизелей маневровых тепловозов. Получены параметры электрических характеристик аккумуляторов, для расчета минимального тока аккумуляторной батареи при пуске, необходимого для надежной работы пусковой системы.

Долговечность аккумуляторных батарей маневровых тепловозов длительно сохранять работоспособность до отказа или предельного состояния может быть количественно оценена несколькими показателями, среди которых в первую очередь следует считать среднее значение длительности работы T батареи до отказа. Для аккумуляторных маневровых тепловозов в качестве показателя долговечности целесообразно применять среднюю наработку на отказ, которая является отношением суммарной наработки $T_{\text{сум}}$ однотипных батарей к количеству их выходов из строя потк в течение этой наработки.

На основании проведенных расчетов получена плотность распределения наработок на отказ аккумуляторных батарей маневровых тепловозов со штатной и модернизированной системой пуска, полученные данные свидетельствуют об увеличении срока службы аккумуляторных батарей на 48%.

Определено схемотехническое решение модернизированной системы пуска дизелей маневровых тепловозов. Разработаны рекомендации по расчету токов короткого замыкания при возможных условиях эксплуатации аккумуляторных батарей автомобильного типа на маневровых тепловозах. Предложено применение новых типов аккумуляторных батарей с системой ограничения величины пускового тока. Предложенные технические решения по совершенствованию системы пуска дизеля К6S310DR маневрового тепловоза ЧМЭЗ, и приняты к внедрению в локомотивном депо ТЧ-20 Ясиноватая Донецкой железной дороги, согласованное внедрение на сети железных дорог Украины.

Оценка экономической эффективности рекомендаций по усовершенствованию системы аккумуляторного пуска тепловозных

дизелей с целью продления срока службы аккумуляторов показала, что внедрение предложенных решений обеспечит годовой экономический эффект с одного тепловоза 87,11 тис. грн.

Ключевые слова: аккумуляторная батарея, дизель генератор, стартер генератор, аккумуляторная система пуска дизеля, уравнения нестационарной диффузии, математическая модель аккумулятора, схмотехническое решение системы пуска.

THE SUMMARY

Ryabko K.O. Extend the life of the battery by shunting locomotives to improve the system start-up diesel. - Manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.22.07 - Railway rolling stock and train haulage, State Enterprise "State Railway Research and Development Center" Kiev, 2012.

Thesis is devoted to solving current scientific problems - extending the life of the battery locomotives by improving battery run diesel locomotive engines.

A formalized mathematical model locomotive starter lead-acid battery, including the impact of technical status and degree discharge in determining current-voltage characteristics of the battery in order to design systems start diesel shunting locomotives. Parameters of electrical characteristics of the batteries, to calculate the minimum current of the battery at start-up needed for reliable launch system.

Defined technical solution schemes modernized launch diesel shunting locomotives. The recommendations for calculating short circuit currents of possible operating conditions of batteries for automotive-type locomotives. Application of new types of batteries with the system size limit inrush current. The proposed technical solutions to improve the system start-up diesel locomotives K6S310DR CHME3 and accepted for implementation in the locomotive depot of Yasinovataya road, consistent implementation of the railway network in Ukraine.

Keywords: rechargeable battery, diesel generator, starter generator, battery system start of diesel, the equation of nonstationary diffusion, mathematical model of the battery, charts and technical solutions of the system start-up.

Рябко Костянтин Олександрович

УДК 621.355:629.421.4

Подовження терміну служби акумуляторних батарей маневрових тепловозів шляхом удосконалення системи пуску дизеля

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку “ 15 ” березня 2012 р.
Формат паперу 60x84 1/16.
Папір для множних апаратів.
Умовн.-друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,0.
Замовлення № 119 Тираж 100 прим.

Видавництво УкрДАЗТу. Свідоцтво ДК №2874 від 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДАЗТу: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.