

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ
АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

КАПІЦА МИХАЙЛО ІВАНОВИЧ

УДК. 629.4.083:001.76

РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ
УТРИМУВАННЯ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дніпропетровськ – 2010

Дисертація є рукописом

Робота виконана на кафедрі „Локомотиви” Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства транспорту та зв'язку України

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор **Боднар Борис Євгенович**,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Міністерства транспорту та зв'язку України, завідувач кафедри «Локомотиви», перший проректор

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Тартаковський Едуард Давидович**, завідувач кафедри експлуатація та ремонт рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту (УкрДАЗТ), м. Харків;
доктор технічних наук, професор **Дубинець Леонід Вікторович**, завідувач кафедри автоматизований електропривід Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, м. Дніпропетровськ;
доктор технічних наук, професор **Ткаченко Віктор Петрович** перший проректор Донецької академії автомобільного транспорту, м. Донецьк.

Захист відбудеться “_____” _____ 2010 р. о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ 10, вул. Акад. Лазаряна 2, к. 314 (зала засідань)

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ 10, вул. Акад. Лазаряна 2

Автореферат розісланий “_____” _____ 2010 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради
доктор технічних наук, професор

Жуковицький І.В.

ВСТУП

Залізничний транспорт – одна з найважливіших галузей народногосподарського комплексу, від якої залежить життєдіяльність багатогалузевої економіки України. Забезпечуючи нормальне функціонування економіки країни, залізничний транспорт у свою чергу сам залежить від її стану.

Реформування економіки України, інтеграція її в систему світових економічних відносин поставили перед залізничним транспортом складні задачі, пов'язані з адаптацією до роботи в ринкових умовах, із забезпеченням виконання зростаючих вимог до якості транспортних послуг і з підвищенням економічної ефективності діяльності підприємств, в тому числі і локомотивного господарства.

У відповідності із Концепцією науково-технічного розвитку рухомого складу залізниць України на 2002–2010 роки основним напрямком науково-технічного розвитку локомотивного господарства на перспективу є: зменшення вартості тягового рухомого складу (ТРС), що закупляється, скорочення витрат палива і електроенергії на тягу, підвищення продуктивності локомотива за рахунок високої ефективності використання ТРС, зменшення контингенту працюючих на технічному обслуговуванні, поточному ремонті та на екіпіруванні, зменшення чисельності локомотивних бригад, а також передбачити суттєве зменшення вартості життєвого циклу кожної одиниці ТРС.

Для досягнення поставленої мети повинна бути оптимізована чисельність ТРС за умови зростання його продуктивності на 15–20%, за рахунок, в тому числі, впровадження нової системи ремонтів та обслуговування ТРС, в основу якої буде покладено сервісне обслуговування, широке використання засобів стаціонарної, переносної та бортової діагностики, суттєве збільшення міжремонтних пробігів.

Актуальність теми дисертації

У локомотивному господарстві залізниць України протягом багатьох десятиліть застосовується система планово-попереджувального ремонту (ППР) рухомого складу, тобто з нормативною періодичністю і регламентованим переліком основних робіт. При цьому використовуються єдині технологія та організація технічних обслуговувань (ТО) і поточного ремонту (ПР) тягового рухомого складу.

Діюча система ППР орієнтована на середній рівень технічного стану ТРС. Для її удосконалення час від часу наказами та вказівками Укрзалізниці встановлюється перелік видів ремонту і усереднені норми міжремонтних періодів по кожній із серій. На їхній основі залізницями вводяться диференційовані норми для депо з врахуванням умов експлуатації та можливостей баз ремонту.

Виявляється, що біля 50% робіт передбачених регламентом в залежності від умов експлуатації ТРС виконується без фактичної їхньої необхідності. Крім того, для багатьох складових ТРС обслуговування та ремонт за регламентом не знижують частоту виходу їх із ладу. Більше того, надійність роботи локомотива після ТО та ПР знижується, іноді тимчасово (до моменту припрацювання деталей, вузла), а іноді закономірно, що обумовлено появою дефектів, яких не було до втручання. Дослідженнями встановлено, що біля 70% дефектів локомотива з'являється після виконання ТО та ПР.

Система планово-попереджувальних ремонтів протягом тривалого часу забезпечує необхідний рівень експлуатаційної надійності парку ТРС. Проте починаючи із 1992 по 2008 роки постачання нового ТРС практично припинилося. Одночасно значна частина парку була відставлена в запас (або списана відповідно до технічного стану та терміну служби). При цьому для виконання встановлених обсягів роботи були задіяні локомотиви з найбільшим залишковим ресурсом.

У відповідність з „Державною програмою стратегічного розвитку залізниць України”, що підготовлена Державним науково-дослідним центром залізничного транспорту України сумісно із фахівцями Укрзалізниці, розроблено галузеву Програму оновлення тягового рухомого складу залізниць на період до 2020 року, де вказано, на необхідність:

- створення бортових і стаціонарних засобів технічного діагностування та алгоритмів їх роботи;
- розробка нормативних документів зі зміною термінів міжремонтних пробігів та регламентів ремонтних робіт;
- освоєння виробництва засобів контролю та діагностування;
- створення сучасних систем обслуговування та ремонту ТРС нового покоління та розробка відповідної нормативної документації.

А відповідно до Концепції науково-технічного розвитку рухомого складу залізниць України на 2002–2010 роки, передбачається, протягом 2008–2010 р.р. повністю перейти від планово-попереджувальної системи технічного обслуговування та ремонту, до системи „за технічним станом”, а також розробка та впровадження єдиної системи аналізу технічного стану локомотивного парку України.

Таким чином, розвиток теоретичних і методичних засад які забезпечать ефективність у прийнятті рішень з вибору та удосконаленню систем утримування ТРС нового покоління, та того, що знаходиться в експлуатації є актуальною науковою проблемою, яка має велике значення для залізничного транспорту України.

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

Дисертаційна робота виконана на кафедрі «Локомотиви» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна в період з 2000 по 2009 р.р. у відповідності з

планами науково-дослідних робіт університету, які виконуються в рамках галузевих програм Міністерства транспорту та зв'язку України, Східного наукового центру Транспортної академії України, Укрзалізниці та Придніпровської залізниці за такими темами:

- «Аналіз технічного стану локомотивів після продовження ресурсу і розробка методики їх раціонального утримування та ремонтів», номер держреєстрації 0101U006020;

- «Розробка теоретичних основ і методики раціонального утримування рухомого складу з урахуванням їх технічного стану», номер держреєстрації 0102U000552;

- «Аналіз технічного стану і розробка пропозицій з раціонального утримування локомотивів», номер держреєстрації 0102U005869;

- «Розробка проекту державної цільової програми розвитку залізничного вантажного рухомого складу» номер держреєстрації 0101U002586;

- «Впровадження неруйнівної системи діагностування ізоляції тягових електричних машин локомотивів» номер держреєстрації 0106U011752 (по яких дисертант є виконавцем та автором звітів).

Мета та задачі дослідження.

Метою дослідження є покращення технічного стану локомотивного парку залізниць України шляхом удосконалення методів розрахунку та моделювання параметрів систем утримування, що забезпечує встановлений рівень надійності локомотивів при мінімальних витратах ресурсів

У зв'язку з цим в роботі поставлені та вирішені наступні наукові задачі:

- виконаний аналіз наукових досліджень існуючих систем утримування локомотивів;

- удосконалена аксіоматика теорії відновлення технічних об'єктів з метою більш повного опису ремонтного впливу на надійність ТРС;

- розроблена математична модель побудови адаптованих систем утримування для певної серії локомотива та певних умов експлуатації;

- удосконалені теоретичні основи вибору раціональної системи утримування ТРС;

- вирішена задача побудови раціональної системи планових відновлень ТРС з лінійною інтенсивністю відмов;

- розроблена математична модель розрахунку витрат ресурсів та оцінки ефективності систем утримування локомотивів з врахуванням оснащення ремонтної бази та прийнятої технології ремонту;

- удосконалена математична модель для визначення стану парку локомотивів з врахуванням статистичних даних знаходження локомотивів на різних видах роботи, а також ТО та ПР, протягом доби;

- удосконалена динамічна модель роботи парку локомотивів;

- розроблена математична модель визначення функції опірності ізоляції обмоток збудження ТЕД за значеннями зворотної напруги;

– розроблена математична модель для визначення залишкового ресурсу ізоляції ТЕД з метою корегування міжремонтних періодів та обсягів відновлювальних робіт;

– розроблена математична модель оренди ТРС;

Об'єктом дослідження є технічне обслуговування та поточний ремонт тягового рухомого складу залізниць.

Предметом дослідження виступають методи управління технічним станом тягового рухомого складу залізниць.

Методи дослідження. Теоретичні основи оцінки впливу ремонту та діагностування на стан ТРС викладені ґрунтуючись на класичній теорії відновлення технічних об'єктів та застосуванні σ -алгебри в побудові аксіоматичної моделі ремонтного впливу на надійність ТРС.

Моделі ремонтних впливів на ТРС є синтезом класичної теорії відновлення та запропонованої аксіоматичної теорії відновлення технічних об'єктів.

При розробці методології раціональної системи утримування, що забезпечує встановлений рівень надійності, при мінімальних витратах ресурсів застосовано математичну теорію оптимальних процесів включаючи векторну оптимізацію.

Методологія діагностування базується на математичній теорії випадкових процесів для формування загальних принципів впливу процедури діагностування на ступінь відновлення ТРС.

Монотонні процеси зносу та старіння елементів ТРС розглянуто на основі теорії стаціонарних марковських випадкових процесів. Моделі старіння елементів ТРС побудовані з використанням диференціальних включень.

Для оцінки ефективності системи утримування ТРС в роботі запропоновано методологію з використанням теорії марковських процесів та елементами диференціальних включень. Запропонована методологія є розвитком наукових основ по визначенню потреби в експлуатаційному парку локомотивів та прогнозуванню його роботи на перспективу.

Теоретичне обґрунтування впливу процесу діагностування на систему утримування базується на використанні теорії наближення функцій та методів статистичного моделювання що дало можливість розширити клас моделей для визначення залишкового ресурсу елементів ТРС.

Достовірність наукових результатів роботи підтверджується задовільною збіжністю розрахункових і експериментальних даних, що зумовлено відповідністю прийнятих припущень характеру вирішуваних задач, правильним вибором способів і технічних засобів випробувань, вимірювальної апаратури, коректно створеною методикою, програмою проведення та методами обробки результатів експериментів.

Наукова новизна отриманих результатів.

Вирішена науково-прикладна проблема вибору параметрів раціональної системи утримування з врахуванням статистичної інформації про поточний стан тягового рухомого складу при обмеженнях на ресурси та

часу знаходження на ТО та ПР з використанням засобів технічної діагностики, що дозволило підвищити надійність та зменшити витрати на ремонт ТРС.

Вперше:

- розроблена методологія визначення раціональних систем утримування, що базується на векторній оптимізації функцій множини, дає можливість розраховувати системи утримування за двома показниками;

- розроблена модель розрахунку раціонального утримування парку ТРС з врахуванням обсягів та технології відновлювальних робіт;

- розроблена інженерно – економічна модель визначення раціонального утримування ТРС, що враховує взаємовідносини між власниками локомотивів та орендарями;

- розроблена модель диференційних включень для визначення характеристик раціональних граничних значень параметрів діагностування;

Удосконалені:

- аксіоматика теорії відновлення, яка дозволяє враховувати передісторію ремонтних впливів на стан ТРС;

- задача побудови раціональної системи планових відновлень з лінійною інтенсивністю відмов як задача векторної оптимізації, що дозволяє враховувати обмеження по ресурсним можливостям ремонтних баз;

- математична модель розрахунку витрат ресурсів з врахуванням можливостей ремонтної бази та прийнятої технології ремонту для оцінки ефективності системи утримування локомотивів;

- математична модель визначення стану парку локомотивів з врахуванням статистичних даних знаходження локомотивів в різних станах протягом доби, що дає можливість оцінювати інтенсивність переходу ТРС із стану в стан;

- математична модель залежності залишкового ресурсу ізоляції ТЕД від напрацювання, з метою корегування міжремонтних періодів та обсягів відновлювальних робіт;

Практичне значення отриманих результатів.

Практичне значення роботи полягає в тому, що всі розробки, як теоретичного так і практичного плану, повністю відповідають «Концепції науково-технічного розвитку рухомого складу залізниць України на 2002–2010 роки», а саме:

- розроблена методологія для визначення раціональних систем утримування для окремо взятого локомотива в залежності від умов експлуатації при обмеженнях по експлуатаційній надійності та витратах ресурсів;

- сформульовані умови раціональності систем утримування ТРС дають можливість, в тому числі, визначати „вузькі” місця локомотиворемонтних баз;

- розроблена програма та алгоритм для прогнозування роботи локомотивного парку дає можливість нормувати потребу локомотивного парку по видам роботи на перспективу;

- створена неруйнівна система контролю електричної міцності ізоляції тягових електричних машин локомотивів в умовах експлуатації на базі сучасної мікропроцесорної техніки;

- розроблена структура автоматизованого діагностично-статистичного комплексу з метою збору, обробки та аналізу діагностичної інформації по кожному локомотиву (складових локомотива) депо (залізниці) та видачею рекомендацій;

- запропонована методика визначення залишкового ресурсу ізоляції тягових електричних машин локомотивів з врахуванням початкової її якості та питомих витрат на відновлення дає можливість замовнику (локомотивному депо) вибирати виконавця (локомотиворемонтний завод) для проведення відновлювальних робіт;

- поставлена та вирішена інженерно-економічна задача для умов оренди ТРС це по суті впровадження (введення) нової системи ремонтів та обслуговування в основу якої покладено сервісне обслуговування зі сторони локомотивобудівного заводу;

- вибір та впровадження раціональних систем утримування отриманих на основі теоретичних положень цієї роботи дає можливість збільшити час корисної роботи локомотивного парку тобто призводить до підвищення продуктивності ТРС і, як наслідок, зменшення чисельності інвентарного парку;

- теоретичні положення цієї роботи дають можливість вирішувати зворотну задачу, тобто при відомій системі утримування ТРС визначати (встановлювати) показники надійності які повинні бути закладені при проектуванні та побудові локомотивів нового покоління.

Використання результатів роботи:

1. Отримані в дисертаційній роботі результати були використані:

- державним підприємством „Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України” при розробці нормативних документів щодо впровадження систем утримування тягового рухомого складу залізниць України (акт впровадження від 26.05.2008 р.);

- Головним управлінням локомотивного господарства Укрзалізниця при визначенні раціональної системи утримування для кожного окремо взятого депо по кожній серії локомотива на основі звітної статистичної інформації про надійність ТРС та використанням засобів технічної діагностики (акт впровадження від 17.04.2008 р.);

- державним підприємством „Придніпровська залізниця” при розробці та виготовленні системи неруйнівного контролю стану ізоляції ТЕД електровозів серії ВЛ8 з метою встановлення раціональних міжремонтних періодів (акт впровадження від 27.05.2003 р.);

- управлінням залізничного транспорту ВАТ «Металургійний комбінат „Запоріжсталь”» методика визначення раціональних міжремонтних періодів та структури ремонтного циклу тепловозів серії ТГМ4 та ТГМ4А (акт впровадження від 07.05.2008 р.);

- управління залізничного транспорту ВАТ „Дніпровський меткомбінат” при розробці та виготовленні стаціонарного автоматизованого діагностично-статистичного комплексу з метою збору статистичної інформації, її обробки та видачі рекомендацій щодо надійності локомотивів серії ТГМ4 та ТГМ6 (акт впровадження від 22.05.2008 р.) ;

- у навчальному процесі підготовки спеціалістів і магістрів Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту та Інститутом післядипломної освіти (матеріали про впровадження від 10.06.2008 р.).

2. Отримані в дисертаційній роботі висновки та результати були використані в науково-дослідних розробках кафедри Локомотиви (номери держреєстрації 0102U005869, 0101U006020, 0102U000552, 0101U002586, 0106U011752), у виконанні яких автор приймав безпосередню участь як керівник та співвиконавець.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові положення, розробки та результати досліджень, що виносяться на захист, отримані особисто автором. У наукових працях, опублікованих зі співавторами, особистий внесок здобувача визначається наступним:

- удосконалена аксіоматична теорія відновлення технічних об’єктів з метою більш повного опису ремонтного впливу на надійність локомотива [4, 25];

- сформульовані теоретичні основи побудови раціональної системи утримування ТРС на базі векторної оптимізації функцій множини [10];

- запропоновані математичні моделі ремонту, які дозволяють задачу раціонального утримування транспортних засобів зводити до задачі векторної оптимізації, вирішення якої в свою чергу дозволить отримати можливі варіанти систем утримування стосовно до конкретної залізниці (депо) [18];

- поставлена та вирішена задача побудови раціональної системи планових відновлень з лінійною інтенсивністю відмов як задача векторної оптимізації [6];

- сформульована та вирішена задача максимально надійної системи утримування локомотивів з обмеженнями на ресурси [5];

- розроблена система управління потоком відмов на основі сформульованої теорії побудови раціональної системи утримування технічних об’єктів на базі векторної оптимізації функцій множини [2];

- запропонована методика вибору раціональних параметрів діагностування з метою дослідження впливу стаціонарної діагностики на надійність локомотивного парку [15];

- запропонована математична модель діагностування ТРС яка дозволяє здійснювати оцінку впливу процесу діагностування на середню кількість відмов, а тим самим і на надійність локомотива [3];

- запропонована методика розрахунку показників пристосованості (контролепридатності) локомотива до проведення операцій контролю параметрів його функціонування [8, 9];

– запропонована модель оренди тягового рухомого складу, її математична постановка для найпростішого випадку, коли встановлені обмеження по надійності та локомотив береться в оренду на визначений термін [7];

– розроблено математичну модель визначення стану парку локомотивів з врахуванням статистичних даних знаходження локомотивів в різних станах протягом доби [20];

– удосконалена динамічна модель роботи парку локомотивів з врахуванням раціонального співвідношення необхідної кількості та наявної кількості працездатних локомотивів [1];

– виконаний аналіз величин міжремонтних пробігів локомотивів наведених в наказах Укрзалізниці №187 від 19.12.1995 р., №351-Ц від 14.12.1999 р., № 196-Ц від 4.04.2001 р., 30-Ц від 31.01.2005 р за допомогою побудованої раціональної системи утримування тягового рухомого складу залізниць [12];

– розроблена математична модель визначення функції опірності ізоляції обмоток збудження ТЕД за значеннями зворотної напруги на основі функцій згладжування та теорії відновлення технічних об'єктів [16, 21];

– визначена інтегральна функція розподілу відмов по функції опірності ізоляції обмоток ТЕД для математичного моделювання залишкового ресурсу ізоляції ТЕД з метою корегування міжремонтних періодів та обсягів відновлювальних робіт [23];

– розглянута постановка задачі визначення зон H -характеристики з урахуванням властивостей функції середнього числа відмов та функції інтенсивності відмов [28];

– запропонований пристрій та методи неруйнівного контролю параметрів ізоляції тягових електричних машин локомотивів [13, 17, 24, 26];

– побудований алгоритм визначення раціональної системи утримування ТРС [30].

Апробація результатів дисертації.

Дисертаційна робота в повному обсязі доповідалась на:

– науковому семінарі кафедри „Локомотиви” Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (протокол №1 від 21 жовтня 2008 р.);

– XII Международной конференции „Проблемы механики железнодорожного транспорта” – ДИИТ, 28–30 мая 2008 г., г. Днепропетровск;

– міжкафедральному науковому семінарі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (протокол №1 від 21.10.09) кафедр „Локомотиви”, „Вагони та вагонне господарство”, „Будівельна механіка”, „Вища математика”, „Енергопостачання залізниць”, „Прикладна механіка”, „Електрорухомий склад залізниць”, „Електронні обчислювальні машини”, „Комп'ютерні інформаційні технології”, „Будівлі та будівельні матеріали”, „Автоматика , телемеханіка та зв'язок”, „Автоматизований електропривід”, „Прикладна математика”, „Станції та вузли”, „Фізика”, „Теоретичні основи електротехніки” з участю представників Придніпровської та Донецької залізниць.

– на науковому семінарі кафедри „Експлуатація та ремонт рухомого складу” Української державної академії залізничного транспорту (протокол №9 від 23.11.09р.); а також основні результати доповідались автором на науково-технічних конференціях та семінарах: 13-ой международной школе-семинар «Перспективные системы управления на железнодорожном, промышленном и городском транспорте», ХарДАЗТ, 10–20 сентября 2000 г., г. Алушта; X-ой международной научно-технической конференции “Проблемы развития рельсового транспорта”, ВУГУ, 18–22 сентября 2000 г., г. Ялта ; Третьей научно-практической конференции “Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте”, МИИТ, 29–30 июня 2000г., г. Москва; X-ой международной конференции «Проблемы механики железнодорожного транспорта», ДИИТ, 24–26 мая 2000 г., г. Днепропетровск; Четвертой научно-практической конференции “Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте”, МИИТ, 7–8 июня 2001 г., г. Москва; Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми створення нових машин та технологій», КГПУ, 12–14 травня 2001 р., м. Кременчук; Міжнародній конференції з управління «Автоматика 2001», ОДПУ, 10–14 вересня 2001р., м. Одеса; I-й науковій конференції «Проблеми економіки транспорту в умовах реструктуризації», ДІТ, 8–9 лютого 2001 р., м. Дніпропетровськ; Четвертій міжнародній конференції «Наука і освіта 2001», Дніпропетровськ- Дніпродзержинськ-Харків-Черкаси-Житомир, 1–15 лютого 2001 р. ; XI-й міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми розвитку рейкового транспорту», СНУ, 17–21 вересня 2001 р., Крим; Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса», БелГУТ, 25–26 октября 2001 г., г. Гомель; II-й науковій конференції «Проблеми економіки транспорту в умовах реструктуризації», ДІТ, 8–9 травня 2002 р., м. Дніпропетровськ; Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми створення нових машин та технологій», КГПУ, 21–22 травня 2002 р., м. Кременчук; I-й Міжнародній конференції «Карпатський трамвай», 27–30 червня 2002 р., Львів – Вигода – Іршава; XII-й міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми розвитку рейкового транспорту», СНУ, 17–21 вересня 2002 р., Крим; Науково-практичному семінарі з керівництвом Одеської залізниці: Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту, 15 листопада 2002 р., м. Дніпропетровськ; Международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте», БелГУТ, 24–25 октября 2002 г., г. Гомель; Шостій Міжнародній науково-практичній конференції «Наука і освіта 2003», Дніпропетровськ – Донецьк, 20– 24 січень 2003 р. ; III-й Міжнародній науковій конференції «Проблеми економіки транспорту», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту, 24–25 квітня 2003 р., м. Дніпропетровськ; III Научно-практической конференции «Подвижной состав XXI века. Идеи, требования, проекты», 3–5 июля 2003 г., г. Санкт-Петербург ;

X-ой международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», г. Севастополь 8–14 сентября 2003г.; XIII-ій міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми розвитку рейкового транспорту», СНУ, 22–26 вересня 2003 р., Крим, Ялта; Юбилейной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения доктора технических наук, профессора Гаккель Е.Я. «Новое в конструкции и технологии обслуживания локомотивов», ПГУПС, 16–18 октября 2003 г., г. Санкт-Петербург; Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса», г. Гомель: БелГУТ, 15–22 ноября 2003 г.; XIV-ій міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми розвитку рейкового транспорту», СНУ, 27 вересня – 1 жовтня 2004 р., Крим, м. Ялта; LXVI Міжнародній науково-практичній конференції „Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту” – ДНУЗТ, 11–12 травня 2006 р., м. Дніпропетровськ; XVI-ій міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми розвитку рейкового транспорту», СНУ, 25 вересня – 29 вересня 2006 р., Крим, Ялта; 67 Міжнародній науково-практичній конференції „Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту” – ДНУЗТ, 24–25 травня 2007 р., м. Дніпропетровськ; XII Международной конференции „Проблемы механики железнодорожного транспорта” – ДИИТ, 28–30 мая 2008 г., г. Днепропетровск.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи надруковано в 35 наукових працях, з яких 30 входить до переліку ВАК, в тому числі 3 статті в наукових журналах та 27 статей в збірниках наукових праць, а також в 5 тезах доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і шести додатків. Основний текст роботи викладено на 261 сторінці. Дисертація містить 58 рисунків та 20 таблиць; таблиці та рисунки що розташовані на окремих сторінках, займають 17 сторінок. Список використаних джерел із 317 найменувань приведений на 32 сторінках, додатки на 66 сторінках. Повний обсяг дисертації складає 359 сторінок

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, подано загальну характеристику та окреслено коло питань, що необхідно було вирішити, а також сформульовані мета та основні напрямки проведення досліджень.

У першому розділі виконаний аналіз систем утримування тягового рухомого складу і показано, що головною задачею систем утримування є постійний контроль і підтримка технічного стану та надійності ТРС на рівні, достатньому для виконання ним заданих функцій.

Проблема планування постановки тепловозів та електровозів на ремонт з урахуванням зміни їхнього технічного стану тісно зв'язана, в історичному

плані, з розвитком самої системи технічного обслуговування і ремонту ще з тих часів, коли основною тяговою одиницею був паровоз. Тому при розробці циклічності і періодичності ремонту тепловозів та електровозів були використані основні принципи планування системи планово-попереджувальних ремонтів (ППР) паровозів. Вона склалася на основі досвіду їх експлуатації і включала періодичні огляди і поточні ремонти, під час яких і виконували заміну зношених деталей або здійснювали їх відновлення.

Для удосконалення ППР наказами (МШС СРСР) та Укрзалізниці регулярно встановлюється перелік видів ремонту і усереднені норми міжремонтних періодів по кожній із серій. На їхній основі залізницями вводяться диференційовані норми для депо з врахуванням умов експлуатації та можливостей баз ремонту.

Тут і виникає задача домогтися раціонального використання ресурсу локомотива при мінімальних витратах на планові ремонти, контроль і діагностування.

Ця задача може вирішуватися наступними шляхами:

- 1) створенням локомотивів з високою ремонтпридатністю, які мають вузли та агрегати з близьким або кратним ресурсом;
- 2) створенням конструкцій локомотивів з високими техніко-економічними показниками, які б в повній мірі відповідали умовам експлуатації;
- 3) забезпеченням раціональної, конструктивної надійності локомотивів і їх високої ремонтпридатності;
- 4) розвитком і використанням засобів діагностування без розбирання вузлів і агрегатів;
- 5) оптимізацією міжремонтних пробігів, структури міжремонтного циклу та обсягів робіт при різних видах ремонту;
- 6) оптимізацією системи технічного обслуговування та ремонту з врахуванням конкретних умов експлуатації.

Існуюча тривалий час система планово-попереджувальних ремонтів локомотивів у її нинішньому вигляді не відповідає сучасним вимогам. Вона не враховує кліматичні та експлуатаційні умови полігонів роботи, фізичний знос ТРС, інтенсивність його використання, конструктивні особливості кожної серії локомотивів. Щоб вирішити цю задачу, необхідна принципово нова концепція переходу на ремонт ТРС за його фактичним станом.

Цій проблемі присвячена значна кількість наукових досліджень, виконаних як вітчизняними так і зарубіжними науковцями під керівництвом Босова А.А., Бодняра Б.Є., Бабаніна О.Б., Бутько Т.В., Тартаковського Е.Д., Четвергова В.О., Павловича Є.С., Пушкарьова І.Ф.. Однією із перших робіт, у якій чітко поставлена задача розробки наукових методів побудови системи технічного обслуговування і ремонту локомотивів - це робота, виконана колективом вчених Всесоюзного науково – дослідного

інституту залізничного транспорту (ВНДІЗТ), де проведений аналіз системи організації ремонту електровозів і тепловозів у СРСР і за кордоном, а також рухомого складу вітчизняного автомобільного і водяного транспорту. Запропоновані пропозиції по основних напрямках наукових досліджень в області удосконалення локомотиворемонтного господарства.

На визначеному етапі розвитку засобів технічного діагностування локомотивів була висунута гіпотеза про можливість поступового «відмирання» основних взаємозалежних регламентів існуючої планово-попереджувальної системи – норм періодичності, циклічності та перелік обов’язкових робіт для кожного виду ТО та ПР, витрат запасних частин і т.і. Проте дослідження, які проводяться зараз, дали можливість більш обґрунтовано відповісти на запитання – діагностування замість плановості технічного утримування локомотивів або поряд із плановістю, але в якості лише чинника, який корегує планову систему та обсяги ремонтних робіт.

Таким чином, для парку локомотивів, який знаходиться зараз в експлуатації, відповідь на сьогодні однозначна: діагностування не замінить планову систему утримування, а буде лише доповненням до неї. Виявлення таких дефектів без розбирання вузла до їхнього переходу до відмовного стану дозволяє своєчасно усунути дефект, витративши на це значно менше коштів, чим на відновлення працездатності вузла після його відмови. При цьому попереджуються і втрати в експлуатації.

Теоретичним основам розробки методів і засобів технічного діагностування присвячені роботи вчених А.А. Босова, Б.Є. Боднаря, Т.В. Бутько, Г.Ф. Верзакова, О.В. Мозгалецького, Я.Я. Осіса, Є.С. Павловича, П.П. Пархоменко, Е.А. Пахомова, Е.Е. Ріделя, Є.С. Согомояна, В.В. Стрекопитова, Е.Д. Тартаковського, В.О. Четвергова, та інших.

Роботи з розвитку засобів і методів технічного діагностування локомотивів виконувалися в науково-дослідних закладах і вузах як на Україні так і в країнах СНД під керівництвом О.О.Бабаніна, О.І. Володіна, О.Д. Глущенко, О.Л. Голубенко, І.П. Ісаєва, О.П. Кудряша, В.Д. Кузьмича, Н.М. Лукова, Н.О. Малозьомова, Ю.А. Магнітського, Е.О. Пахомова, І.Ф. Пушкарьова, Т.Ф. Ставрова, В.В. Стрекопитова, Е.Д. Тартаковського, В.О. Четвергова, О.О. Чернякова та інших.

Короткий огляд робіт, щодо розвитку систем утримування ТРС за кордоном показує, що спільним для залізниць є прагнення підвищити експлуатаційну надійність для збільшення часу корисної роботи локомотивного парку і зниження експлуатаційних витрат, в тому числі, витрат на утримування локомотивів. У цих умовах найактуальніше значення набуває задача управління технічним станом локомотивного парку шляхом корегування міжремонтних пробігів та обсягів відновлювальних робіт з урахуванням зміни їхнього технічного стану. Дослідження показують, що цю задачу можна вирішити лише на основі збору, обробки та аналізу великого обсягу первинної інформації про технічний стан локомотивів. Тому новий

етап у розвитку систем утримування локомотивного парку неможливий без широкого використання обчислювальної техніки, діагностичних систем та приладів. Внаслідок цього, більшість залізниць у технічно розвинених країнах наприкінці шістдесятих – початку сімдесятих років минулого століття приступили до створення як засобів технічного діагностування, так і систем контролю технічного стану ТРС.

Практика експлуатації ТРС на залізницях України констатує про те, що існуюча тривалий час планово-попереджувальна система ТО та ПР локомотивів у її нинішньому вигляді не відповідає сучасним вимогам.

На підставі аналізу сформульована мета та задачі дисертаційної роботи.

У другому розділі розроблена методологія визначення раціональних систем утримування, що базується на векторній оптимізації функцій множини.

Для розгляду цієї задачі спочатку розглянутий класичний підхід до моделювання потоку відмов технічних об'єктів, який не враховує наслідки відмов та неповного відновлення.

Теоретичні основи оцінки впливу ремонту на стан ТРС викладені ґрунтуючись на класичній теорії відновлення технічних об'єктів та застосуванні σ – алгебри в побудові аксіоматичної моделі ремонтного впливу на надійність ТРС.

Запропоновані моделі ремонтних впливів на ТРС є синтезом класичної теорії відновлення та запропонованої аксіоматичної теорії відновлення технічних об'єктів.

Розглянута ситуація, коли після відмови проводиться відновлення локомотива, але це відновлення таке, що інтенсивність відмов буде іншою ніж була раніше, тоді і граф можливих станів та переходів буде наступним (рис.1).

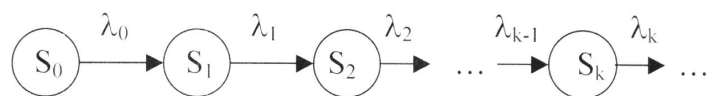


Рис. 1

Позначимо через $P_k(t)$, $k=0, 1, 2, \dots$ ймовірність того що локомотив знаходиться в стані S_k , тобто він уже k разів відновлювався, після чого інтенсивність його відмов складе $\lambda_k(t)$.

Дані ймовірності будуть задовольняти системі диференціальних рівнянь типу

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_0}{dt} = -\lambda_0 P_0 \\ \frac{dP_1}{dt} = -\lambda_1 P_1 + \lambda_0 P_0 \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dP_k}{dt} = -\lambda_k P_k + \lambda_{k-1} P_{k-1} \\ \frac{dP_n}{dt} = \lambda_{n-1} P_{n-1} - \lambda_n P_n \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{array} \right.$$

при початкових умовах: $P_0(0) = 1$; $P_k(0) = 0$; $k \geq 1$.

Перед моделюванням ремонтних впливів зупинимося на основних характеристиках надійності локомотивів:

- модель напрацювання локомотива до відмови – випадкова величина;
- $F(t)$ – ймовірність розподілу напрацювання до відмови;
- $\lambda(t) = \frac{F'(t)}{1 - F(t)}$ – інтенсивність відмов;

$$F(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1 - e^{-\int_0^t \lambda(x) dx}, & t \geq 0 \end{cases}$$

- $H(t)$ – середнє число відмов за напрацювання t .

А побудову моделі ремонтного впливу виконаємо в припущенні, що локомотив складається з M елементів, перелік яких являє собою

$$\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_M\},$$

де ω_i – назва i -того елемента, $i = \overline{1, M}$.

Визначення. Підмножину V множини Ω будемо називати обсягом ремонту.

Нехай після наробітку x виконується ремонт обсягом V , тоді, якщо до ремонту інтенсивність відмов була $\lambda(t)$, то після ремонту вона буде дещо іншою, яку і позначимо через $\lambda(t/x, V)$, де врахований наробіток, на якому виконувався ремонт встановленого обсягу.

З математичної точки зору відбулося відображення функції $\lambda(t)$ у функцію $\lambda(t/x, V)$, такі відображення в математиці відомі, як оператори. Даний оператор будемо позначати у вигляді символу R_x^V – ремонт обсягом V після наробітку x . Використовуючи дане позначення отримаємо

$$\lambda(t/x, V) \triangleq R_x^V \lambda(t).$$

Наробіток x і обсяг ремонту V є параметрами оператора ремонту R_x^V , що діє на функцію $\lambda(t)$, після чого утворюється інша функція $\lambda(t/x, V)$. За фізичним змістом $x > 0$, $V \subseteq \Omega$, а $\lambda(t) \geq 0$.

Виходячи із аналізу практики ремонтів на оператор R_x^V накладаються деякі основні вимоги які представлені у вигляді аксіом.

Введемо в розгляд деякий клас $\mathbf{A}(\Omega)$ підмножин множини Ω , тобто $\mathbf{A}(\Omega)$ – набір обсягів ремонтів.

Аксіома A1. Клас $\mathbf{A}(\Omega)$ є алгеброю, тобто складається з усіляких підмножин множини Ω , а також містить в собі порожню множину \emptyset і саму Ω .

Надалі вважаємо, що R_x^V визначений для будь яких $V \subseteq \mathbf{A}(\Omega)$, $x \geq 0$.

Аксіома A2.

$$R_x^\Omega \lambda(t) = \lambda(t - x), t \geq x$$

Аксіома A3.

$$R_x^{V_2} R_x^{V_1} \lambda(t) = R_x^{V_1 \cup V_2} \lambda(t), t \geq x.$$

Ця аксіома постулює *ситуацію*, коли після наробітку x виконується ремонт локомотива обсягом V_1 , а потім обсягом V_2 . Якщо подивитись на це з точки зору впливу на інтенсивність відмов, то даний захід еквівалентний ремонтів обсягом $V = V_1 \cup V_2$, тобто V є об'єднанням обсягів V_1 і V_2 .

Тепер розглянемо ситуацію, *коли* після наробітку x_1 виконується ремонт обсягом V_1 , а при наробітку $x_2 \geq x_1$ виконується ремонт обсягом V_2 .

Аксіома A4. („Память” ремонтних впливів)

$$R_{x_2}^{V_2} R_{x_1}^{V_1} \lambda(t) = \begin{cases} \lambda(t), & t < x_1; \\ R_{x_1}^{V_1} \lambda(t), & x_1 \leq t < x_2; \\ R_{x_2}^{V_2} R_{x_1}^{V_1 \setminus V_2} \lambda(t), & t \geq x_2 \end{cases}$$

Розроблена модель розрахунку раціонального утримування парку ТРС з врахуванням обсягів та технології відновлювальних робіт.

У загальному вигляді ППР можна задати як набір пар (x_i, V_i) , $i = 1, 2, \dots$, де x_i – напрацювання локомотива, після якого виконуються відновлювальні роботи обсягом V_i .

У загальному випадку вплив ППР на надійність локомотива можна оцінити за формулою

$$\lambda(t \setminus \text{ППР}) = \left(\prod_{i=1}^{k(t)} R_{x_i}^{V_i} \right) \cdot \lambda(t),$$

де $k(t) = \max \{i : x_i \leq t\}$.

Витрати тих чи інших ресурсів визначаються прийнятими технологіями ремонтів і можливостями ремонтних баз. Найкраще це можливо пояснити увівши в розгляд технолого-економічні карти (ТЕК)

- $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_M\}$ – перелік елементів, із яких складається локомотив (або якийсь із вузлів локомотива);
- $\Xi = \{\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_N\}$ – перелік елементарних технологічних операцій при ремонті на даній ремонтній базі;
- C_j^k – витрати k -го ресурсу при виконанні елементарної технологічної операції Θ_j ; $k = \overline{1, N}$;
- ν – число видів ресурсів;
- $T_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо операція } \Theta_j \text{ виконується при ремонті елемента } \omega_i; \\ 0, & \text{якщо операція не виконується.} \end{cases}$

Тоді витрати будь-якого ресурсу складуть

$$C(V) = \sum_{j=1}^N C_j \cdot \sigma \left(\sum_{i \in V} T_{ij} \right), \quad \sigma(x) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x > 0 \\ 0, & \text{якщо } x \leq 0. \end{cases}$$

А при визначенні витрат часу необхідно враховувати організацію ремонтних робіт.

Для паралельного (агрегатного) методу

$$t(V) = \max_{i \in V} \sum_{j=1}^N t_j T_{ij}.$$

Для послідовного методу

$$t(V) = \sum_{j=1}^N t_j \sigma \left(\sum_{i \in V} T_{ij} \right).$$

У загальному випадку для лінійної інтенсивності відмов та встановленої послідовності ремонтних впливів $\{x_i, V_i\}$, $i = 1, 2, \dots$ розглянута задача побудови раціональної системи планових відновлень як задача векторної оптимізації, що дозволяє враховувати обсяги відновлювальних робіт

$$\lambda(t \setminus \{x_i, V_i\}, i = 1, 2, \dots) = 2a \left(t - \sum_{i=1}^k x_i \gamma \left(V_i \setminus \bigcup_{j=i+1}^k V_j \right) \right) + b,$$

де номер k визначається із умови

$$x_k \leq t < x_{k+1},$$

а $0 \leq \gamma(V) \leq 1$ – ступінь відновлення ТРС.

Все що було розглянуто вище і дає можливість сформулювати основну задачу вибору раціональної системи утримування ТРС.

Системи утримування ТРС на поточний момент часу можна розглядати як наступні:

- планово-попереджувальна система ТО та ПР (КР) $\rightarrow (SS)$;

- комбінована (з частковим використанням процедури діагностування) $\rightarrow (SS^{**})$;
- за фактичним технічним станом (із застосуванням процедури діагностування та статистичної інформації про поточний стан ТРС) $\rightarrow (SS^*)$.

Як приклад розглянемо (SS) . Основна ідеологія цієї системи – призначити такі напрацювання та обсяги ремонту ТРС, які б попереджали появу відмов.

Основними параметрами, які визначають (SS) є:

$\lambda(t, SS)$ – інтенсивність відмов яка характерна для цього ТРС та цієї (SS) ;

$Z(T, SS)$ – витрати коштів на виконання встановлених обсягів ремонту ТРС;

$t(T, SS)$ – витрати часу на виконання встановлених обсягів ремонту ТРС.

Постановка задачі:

$$\begin{pmatrix} Z(T, SS) \\ t(T, SS) \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad (\Delta)$$

при умові, що $\lambda(t, SS) \leq \lambda_{встан}$; $t \in [0, T]$.

В математичному плані ця задача (Δ) представляє собою задачу векторної оптимізації де бажано щоб витрати коштів та часу були б як найменшими, при умові що інтенсивність відмов не буде перевищувати наперед встановленої величини в інтервалі напрацювання ТРС $[0, T]$.

Визначення 1. (SS_*) будемо називати ефективною системою утримування ТРС при умові, що $\lambda(t, SS) \leq \lambda_{встан}$, але найменша варіація (SS_*) призводить до погіршення хоча б одного із показників Z або t .

Визначення 2. Під рішенням задачі (Δ) будемо розуміти набір всіх ефективних $\{SS_*\}$ систем утримування ТРС незрівнянних по Парето.

Такий підхід дозволяє побудувати ефективні системи утримування і на їх основі встановити зв'язок між витратами коштів та часу перебування в ремонті (рис.2)

Розглянута також задача векторної оптимізації коли система утримування ТРС являє собою періодичну по елементах

$x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ – вектор періодів по елементах ;

$$\lambda(t, x) = \sum_{i=1}^m \lambda_i \left(t - x_i \left[\frac{t}{x_i} \right] \right)$$

Лінійні інтенсивності відмов $(\lambda_i(t) = 2a_i t + b_i)$

$$\lambda_{cp}(x) = b + \sum_{i=1}^m a_i x_i; \quad b = \sum_{i=1}^m b_i$$

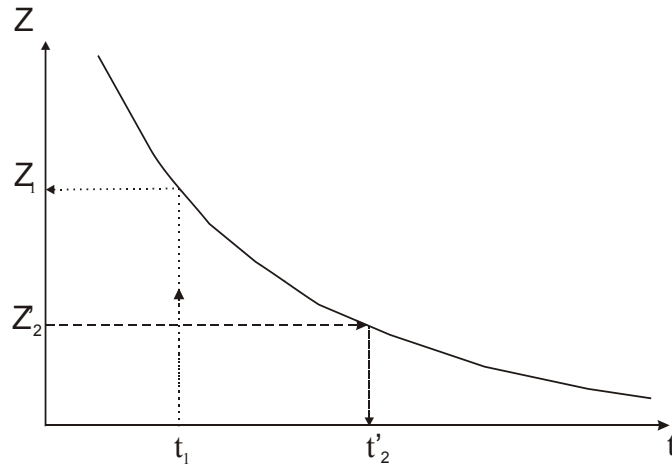


Рис. 2. Зв'язок між витратами на ремонт та часом перебування в ремонті ТРС

$F_1(x) = \lambda_{cp}(x)$ – середня інтенсивність відмов;

$F_2(x) = \sum_{i=1}^m \frac{c_i}{x_i}$ – витрати коштів на одиницю напрацювання.

Задача: $\begin{pmatrix} F_1(x) \\ F_2(x) \end{pmatrix} \rightarrow \min$ при умові що $x > 0$.

Рішенням цієї задачі є $x_i = t \cdot \sqrt{\frac{c_i}{a_i}}$; $i = \overline{1, m}$; $t > 0$.

$$F_1 = b + t \sum_{i=1}^m \sqrt{c_i a_i};$$

$$F_2 = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^m \sqrt{c_i a_i}.$$

$$\rightarrow (F_1 - b)F_2 = \left(\sum_{i=1}^m \sqrt{c_i a_i} \right)^2;$$

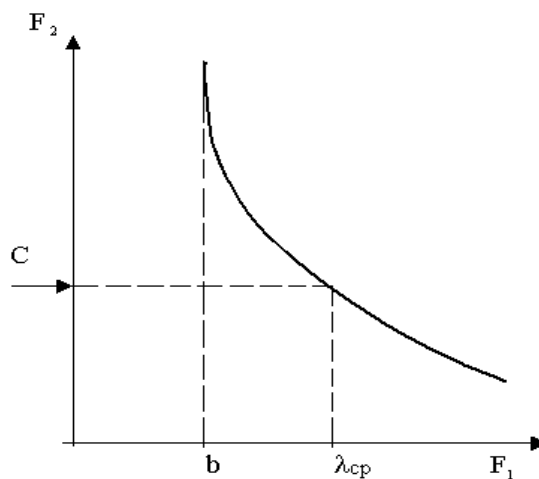


Рис. 3. Зв'язок між інтенсивністю відмов і витратами на утримування ТРС

Розроблена математична модель розрахунку витрат ресурсів з врахуванням можливостей ремонтної бази з метою оцінки ефективності впливу системи утримування на технічний стан локомотивів. Ця модель також дає можливість визначити „вузьке” місце по якомусь із ресурсів (рис.4).

Показники: $F_0(x) = b + \sum_{i=1}^m \sqrt{a_i x_i}$ – середня інтенсивність відмов;

$F_j(x) = \sum_{i=1}^m \frac{c_{ij}}{x_i}$ – витрати j -го ресурсу на одиницю напрацювання,

$j = \overline{1, \nu}$.

Задача: $\begin{pmatrix} F_0(x) \\ F_1(x) \\ \dots \\ F_\nu(x) \end{pmatrix} \rightarrow \min, \quad \text{при умові що } x > 0$

Рішення: $x_{ik} = t_k \cdot \sqrt{\frac{c_{ik}}{a_i}}, \quad i = \overline{1, m}; \quad k = \overline{1, \nu}.$

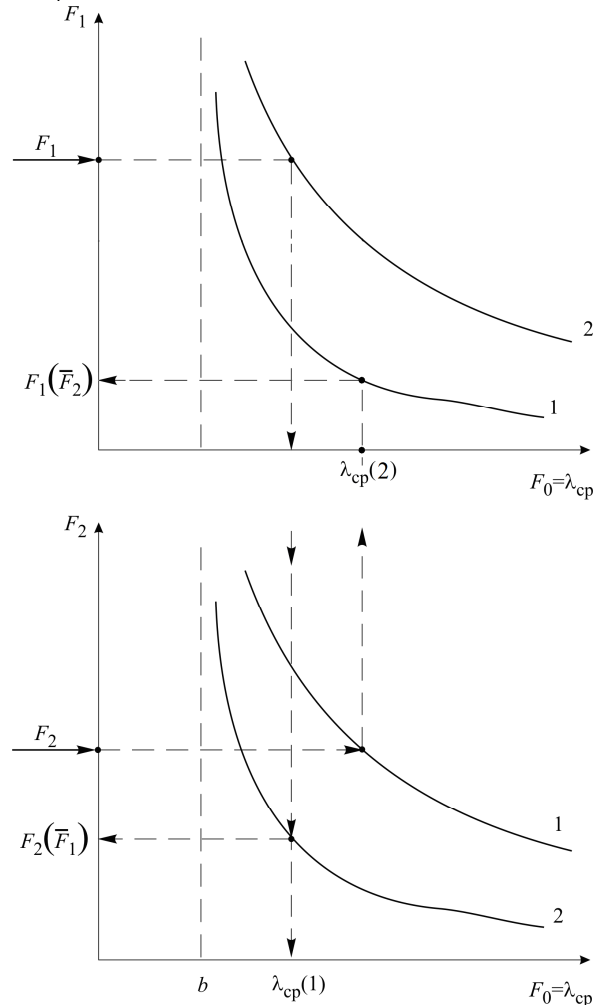


Рис. 4. Відповідності між кривими функцій мети (цілі)

На цей час найбільш досконалі системи утримування ТРС можуть бути побудовані лише на основі інформації про поточний стан, що і приводить до питання діагностування ТРС.

Варто зауважити на те, що діагностування має сенс, тільки тоді коли процес характеризується параметрами, що монотонно змінюються. Відзначимо, що періодичність діагностування раціональна якщо період діагностування та нижня границя параметра діагностування \underline{x} такі що витрати коштів \bar{F}_1 та часу \bar{F}_2 були б як найменші, тобто знову приходимо до задачі векторної оптимізації.

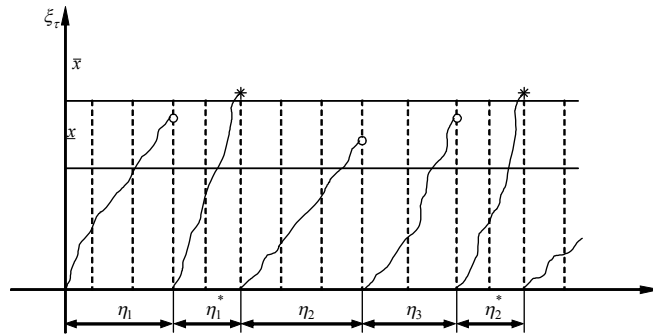


Рис. 5. Можлива реалізація функціонування елемента при діагностування з періодом z

Правило індуктивної поведінки (при умові, що діагностування проводиться з періодом z):

- якщо $\xi_\tau < \underline{x}$ – локомотив відправляється в експлуатацію;
- якщо $\underline{x} < \xi_\tau < \bar{x}$ – надходження локомотива в ремонт;
- якщо $\xi_\tau > \bar{x}$ – надходження локомотива в ремонт та усунення наслідків відмови.

Задача: знайти такі z та \underline{x} щоб витрати коштів на ремонт, діагностування та усунення наслідків відмови, а також часу на їх виконання були б як найменшими.

$$\begin{pmatrix} F_1(z, \underline{x}) \\ F_2(z, \underline{x}) \end{pmatrix} \rightarrow \min$$

при умові $z > 0$; $0 < \underline{x} \leq \bar{x}$.

де $F_1(z, \underline{x})$ – витрати коштів на діагностування, відновлення та усунення наслідків відмови;

$F_2(z, \underline{x})$ – витрати часу на діагностування, відновлення та усунення наслідків відмови;

Особливістю розглянутого процесу діагностування є те що параметр представлений векторною величиною тобто характеризується декількома монотонними параметрами (наприклад зношування гребеня бандажа та прокат поверхні кочення колісної пари).

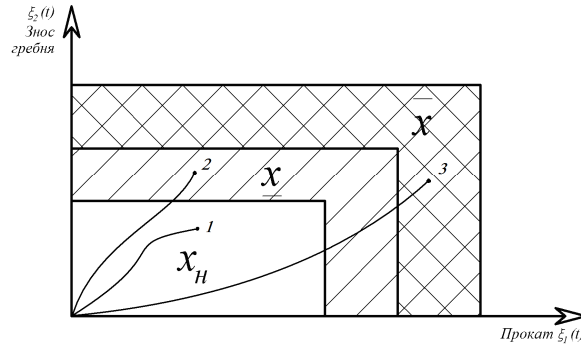


Рис. 6. Геометричне представлення: X – область діагностування; \bar{X} – область відмов; X_N – область нормального стану

Обґрунтований вибір та впровадження раціональних систем утримування отриманих на основі теоретичних положень цього розділу роботи дає можливість збільшити час корисної роботи локомотивного парку тобто призводить до підвищення продуктивності ТРС і, як наслідок, зменшення чисельності інвентарного парку.

Теоретичні положення цього розділу роботи також дають можливість вирішувати зворотню задачу, тобто при відомій системі утримування ТРС визначати (встановлювати) показники надійності які повинні бути закладені при проектуванні та побудові локомотивів нового покоління.

У третьому розділі удосконалена динамічна модель роботи локомотивного парку, що дала можливість встановити вплив системи утримування на чисельність локомотивного парку експлуатації та для найпростішого процесу коли розглядається лише два стани парку локомотивів (працездатний та непрацездатний) (рис. 7) проілюстрована методика визначення необхідної кількості локомотивів X_t в залежності від кількості наявних працездатних і їх системи утримування Λ_{12} та можливостей ремонтної бази Λ_{21} (кількості ремонтних позицій, середнього часу перебування локомотива в ремонті, середньої чисельності локомотивів що знаходиться в ремонті). В ході рішення рівнянь запропонованої моделі вперше застосовувалася модель диференціальних включень із застосуванням теореми про диференціальні нерівності С.А. Чаплигіна.

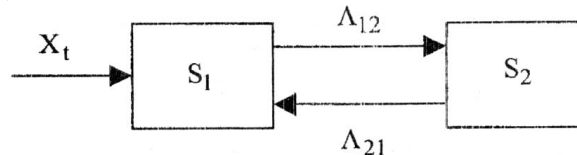


Рис. 7 Граф станів та можливих переходів

$$\Lambda_{12} = \lambda \min(y_1, X_t), \quad \Lambda_{21} = \mu \min(N - y_1, m),$$

$$\frac{dy_1}{dt} = -\Lambda_{12} + \Lambda_{21} = f(y_1, x)$$

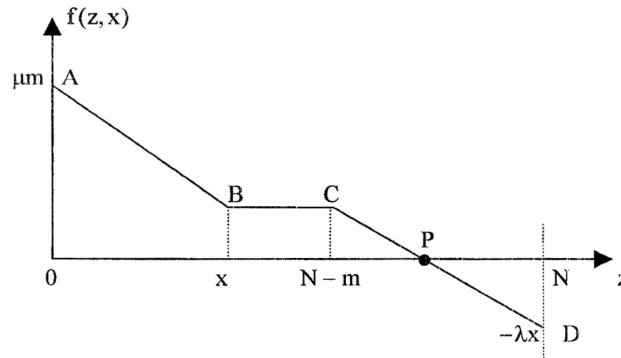
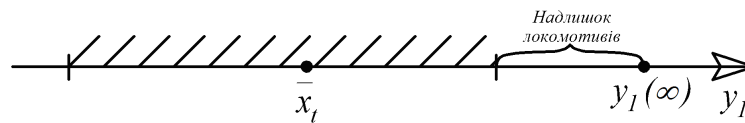


Рис. 8. Якісний характер залежності $f(y_1, x)$ при $y_1 \in [0, N]$.



$$y_1(\infty) = N - \frac{\lambda}{\mu} x.$$

Для сталої роботи локомотивного парку досить того щоб

$$x_t + 3\sigma_{x_t} < y_1(\infty).$$

В цьому ж розділі розроблена математична модель визначення стану парку локомотивів на підставі диференційних рівнянь Колмогорова, теорії масового обслуговування та оптимізаційної задачі з використанням статистичних даних знаходження локомотивів в різних станах протягом доби, що дає можливість оцінювати інтенсивність переходу із стану в стан і прогнозувати роботу локомотивного парку на перспективу.

Дана ідеологія більш детально з врахуванням фактичного стану локомотивного парку ТЧ-1 Придніпровської залізниці представлена на рис.9. Аналіз показує що близько 30% локомотивів це їх надлишок, 10% у всіх видах ремонтів та ТО і 60% в поїзній роботі (станом на 2001 рік).

У четвертому розділі отримала подальшого розвитку неруйнівна система діагностування ізоляції тягових електричних машин та розглянуто питання впливу процесу діагностування на систему утримування ТРС.

Розглянуті монотонні процеси зносу та старіння елементів ТРС викладено на основі теорії стаціонарних марковських випадкових процесів. Моделі старіння елементів ТРС побудовані з використанням диференційних включень.

Для підтвердження теоретичних положень розроблена та виготовлена неруйнівна система діагностування стану ізоляції тягових електричних машин локомотивів, яка пройшла випробування в умовах локомотивних депо магістрального та промислового залізничного транспорту, а також в умовах локомотиворемонтних заводів.

В якості показника стану ізоляції виступає зворотна напруга $U_{\max}^{звор}$ та параметри супроводжуючі її поведінку.

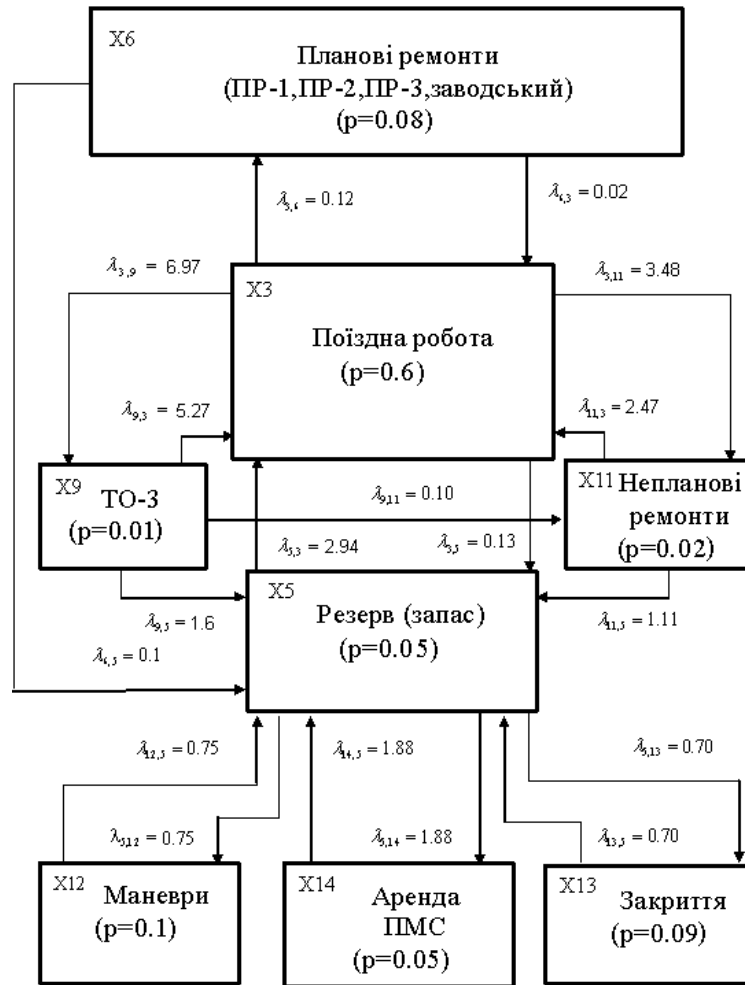


Рис.9. Граф стану парку локомотивів (локомотивне депо ТЧ-1 Придніпровської залізниці)

Під час проведення досліджень встановлені залежності $U_{\max}^{звор}$ від пробігу L (рис. 10), а також встановлені межі (зони) величини $U_{\max}^{звор}$ (рис. 11) для прийняття рішення при діагностуванні про доцільність відновлення властивостей ізоляції.

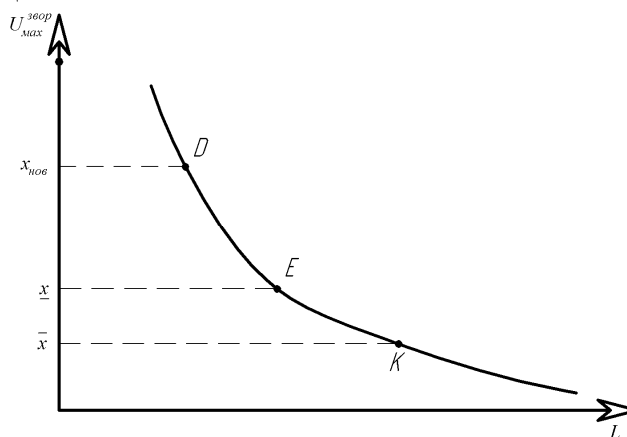


Рис.10. Залежність максимальної зворотної напруги $U_{\max}^{звор}$ від напрацювання L

Розроблена також математична модель визначення залишкового ресурсу ізоляції з врахуванням економічних наслідків (рис.12) і отримані раціональні з економічної та технологічної точки зору періоди відновлення властивостей ізоляції.

$$\varphi(l) = \varphi(0) \cdot e^{-b \cdot l}; \quad \varphi(l/x) = \varphi(x) \cdot (1 + \alpha) \cdot e^{-(1+\alpha)b \cdot (l-x)}.$$

$\bar{z} = \frac{1}{b} \lg \frac{\varphi(0)}{x}$ – максимально допустимий пробіг без відновлення;

$\bar{z}(x) = x + \frac{1}{(1+\alpha)b} \ln \frac{(1+\alpha)\varphi(x)}{x}$ – пробіг до відмови, якщо при напрацюванні

x виконуємо просочування (відновлення),

і якщо $\Delta z = \bar{z}(x) - \bar{z} > \underline{l}$, то просочування має сенс.

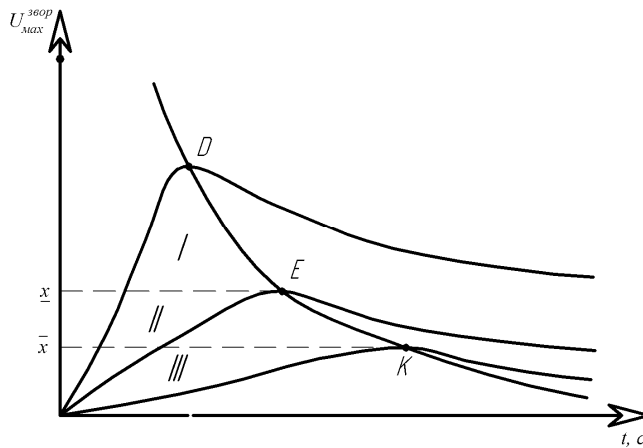


Рис. 11 Правило прийняття рішення при діагностуванні:

- якщо $U_{\max}^{360p} > \underline{x}$ – задовільний стан (зона I);
- якщо $\bar{x} < U_{\max}^{360p} < \underline{x}$ – зона ризику (зона II);
- якщо $U_{\max}^{360p} < \bar{x}$ – відмова (зона III).

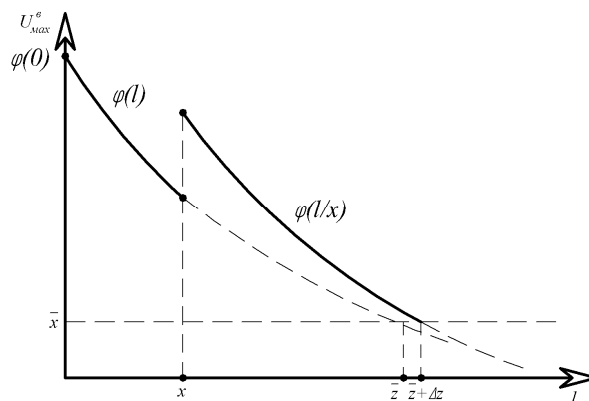


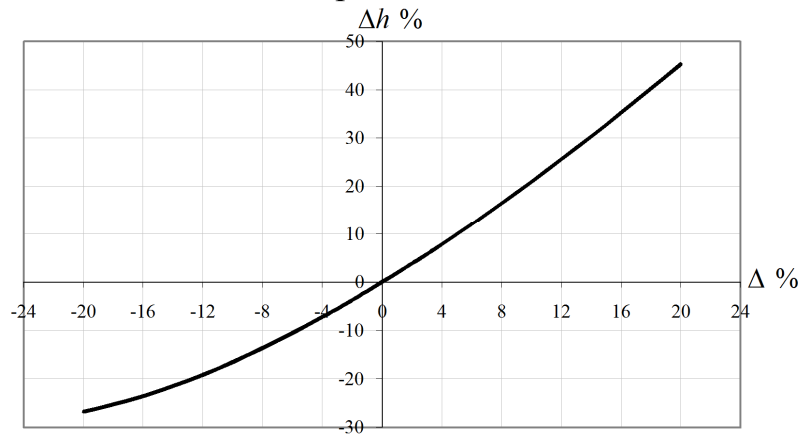
Рис.12

Результати розрахунків отримані на основі запропонованої моделі дають можливість замовнику (локомотивному депо) вибирати виконавця (локомотиворемонтний завод) для проведення відновлювальних робіт.

Теоретичне обґрунтування впливу процесу діагностування на систему утримування, яке виконано в цьому розділі, базується на використанні теорії наближення функцій та методів статистичного моделювання, що дало можливість розширити клас моделей для визначення залишкового ресурсу елементів ТРС.

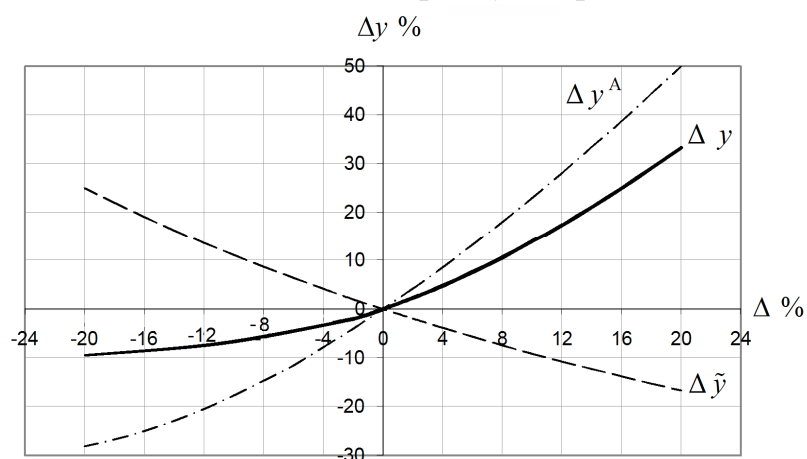
У п'ятому розділі розраховані та запропоновані системи утримування тягового рухомого складу.

На основі удосконаленої аксіоматичної теорії відновлення ТРС проведені розрахунки (рис.13) та виконаний аналіз величин міжремонтних пробігів локомотивів наведених в наказах Укрзалізниці №187 від 19.12.1995 р.,



$\Delta h, \%$ – середня кількість відмов на одиницю напруцювання

$\Delta, \%$ – відхилення від інтервалу напруцювання



$\Delta y^A, \%$ — витрати на усунення відмов та їх наслідків

$\Delta \tilde{y}, \%$ — витрати на планове відновлення

$\Delta y, \%$ — сумарні витрати

Рис. 13. Зміна показників системи утримування при відхиленні від регламентованих міжремонтних пробігів ($\Delta, \%$)

№351-Ц від 14.12.1999 р., № 196-Ц від 4.04.2001 р., 30-Ц від 31.01.2005 р., дає можливість констатувати про наступне, що перепробіг локомотивів небажаний зовсім, а якщо і є в ньому потреба то він не повинен сягати більше 10%, а недопробіг допустимий як з технічної, так і з економічної точки зору на 20%, що знайшло своє втілення в наказі № 30-Ц від 31.01.2005 р.

Розглянута також побудова системи утримування гідропередачі УГП 750 – 1200 ПР на долю якої приходить 20% відмов від тепловоза в цілому для умов експлуатації ВАТ «Металургійний комбінат „Запоріжсталь”».

Таблиця 1

Розподіл відмов по складовим тепловоза ТГМ4 (ТГМ4А)

№	Назва складових тепловоза	Кількість відмов	у %
1	Механічна частина	748	10,6
2	Гідромеханічна передача	1412	20,0
3	Дизель	2768	39,2
4	Допоміжне обладнання	445	6,3
5	Пневматичне обладнання	734	10,4
6	Контрольно – вимірювальні прилади	254	3,6
7	Електричне обладнання	699	9,9
	Всього	7060	100

Таблиця 2

Розподіл відмов по вузлам та системам УГП 750 – 1200 ПР

№	Назва (системи) вузла	Кількість відмов	у %
1	2	3	4
1	Корпус УГП	70	4,95
2	Приводний вал	70	4,95
3	Головний вал та гідроапарати	141	9,98
4	Вал відбору потужності	212	15,06
5	Вторинний вал та вал реверсу	113	8,00
6	Роздаточний вал	85	6,00
7	Допоміжне обладнання	424	30,0
8	Система управління	212	15,06
9	Привод реверсу та режимів	85	6,00
		1412	100

З врахуванням структури ремонтного циклу згідно з наказом МЧМ СРСР №310 від 13.02.1982 р. (в подальшому №310) визначена вартість робіт за шість років, тобто до капітального ремонту (КР), що складе 9724,5 грн..

Для розрахованої (запропонованої) системи утримування вартість робіт складе 7734,5 грн.

Тобто за шість років реалізації системи утримування, порівнюючи запропоновану систему утримування та за наказом №310 економія лише на одній гідропередачі 1990 грн. Для інвентарного парку тепловозів ТГМ4 в 52 одиниці це складе 103480 грн. заощаджених коштів за шість років і на 320 годин менше потребує часу перебування в ремонтах при встановленому відсотку несправних локомотивів, що дає можливість збільшити час корисної роботи локомотивного парку, тобто призводить до підвищення продуктивності ТРС і, як наслідок, зменшення чисельності інвентарного парку.

Розглянута також організація раціональної системи утримування ізоляції тягових електричних двигунів ТЕД НБ–406 електровозів серії ВЛ8 із застосуванням засобів технічної діагностики. З цією метою проводилися заміри зворотної напруги U_{36} ізоляції ТЕД НБ – 406 що проходили капітальний ремонт (КР1) на Львівському локомотиворемонтному заводі (ЛЛРЗ), Запорізькому електровозоремонтному заводі (ЗЕРЗ) та Смілянському електромеханічному ремонтному заводі (СемРЗ) та в процесі експлуатації (локомотивне депо Н.Д. Вузол Придніпровської залізниці).

Якщо відновлення властивостей ізоляції буде здійснюватися під час виконання ПРЗ з періодом по напрацюванню $x = 330000$ км то U_{36} будемо описувати математичною залежністю наступного вигляду

$$U_{36}(l/x) = U_{36}(0) \cdot e^{-b \left(l - \gamma x \left[\frac{l}{x} \right] \right)},$$

де $\left[\frac{l}{x} \right]$ – ціла частина від (l/x) ;

γ – характеристика рівня відновлення ізоляції під час виконання ПР-З.

Напрацювання на відмову $l_{від}$ визначається як рішення рівняння

$$l - \gamma \cdot x \cdot \left[\frac{l}{x} \right] = a,$$

$$\text{де } a = \frac{\ln(U_{36}/U_{36}(0))}{-b}.$$

Так, при фіксованій періодичності коли $x = 330000$ км значення $l_{від}$ по заводах склало (табл. 3).

Таблиця 3

Завод де виконувалося відновлення ізоляції	Напрацювання до відмови, $l_{від} \times 10^5$, км	Витрати коштів на відновлення, $Z(ПРЗ)$, грн	Сумарні витрати коштів $Z(ПРЗ) + C_{КР1}$, грн	Питомі витрати, коп/км
ЛЛРЗ	8,08	4800	9650	1,19
ЗЕРЗ	12,09	7200	12360	1,02
СемРЗ	11,24	7200	13440	1,19

Тепер і виникає задача визначення такої періодичності деповського ремонту, щоб напрацювання на відмову було, по можливості, найбільшим, а витрата коштів на виконання відновлень найменшими, тобто

$$\left(\begin{matrix} -l_{від}(x) \\ Z(x) \end{matrix} \right) \rightarrow \min \text{ при умові що } \underline{l} \leq x \leq a,$$

де \underline{l} мінімально допустимий пробіг до виконання робіт по відновленню ізоляції в умовах депо.

Запропонована методика визначення залишкового ресурсу ізоляції тягових електричних машин локомотивів з врахуванням початкової її якості та питомих витратах на відновлення дає можливість замовнику (локомотивному депо) вибирати виконавця (локомотиворемонтний завод) для проведення відновлювальних робіт (табл. 4, 5).

Також поставлена та вирішена інженерно – економічна задача для умов оренди ТРС це по суті впровадження (введення) нової системи ремонтів та обслуговування в основу якої покладено сервісне обслуговування зі сторони локомотивобудівного заводу.

Таблиця 4

Запропонована періодичність відновлення властивостей ізоляції ТЕД НБ-406, що отримана шляхом моделювання

Завод де виконувався КР1	Періодичність виконання деповського ремонту, $x \times 10^5$, км	Напрацювання до відмови, $l_{від} \times 10^5$, км	Питомі витрати на відновлення ізоляції, z , коп/км
ЛЛРЗ	3,501	8,442	1,119
ЗЕРЗ	3,51	12,64	0,977
СемРЗ	4,51	11,30	0,976

Таблиця 5

Порівняння систем утримування

Завод де виконувався КР1	Напрацювання між деповськими ремонтами у % збільшилось на	Напрацювання ізоляції до відмови у % зросло на	Питомі витрати на відновлення ізоляції, у % зменшились на
ЛЛРЗ	5,71	4,26	5,96
ЗЕРЗ	5,98	4,35	4,41
СемРЗ	26,8	0,53	21,92

В И С Н О В К И

Використання результатів дисертаційної роботи дає можливість вирішити проблему вибору раціональної системи утримування для окремо взятої серії локомотивного парку та умов експлуатації на основі звітної статистичної інформації про надійність локомотивів та використанням засобів технічної діагностики.

Раціональна система утримування стане попереджувачим фактором появи аварійних відновлень, які відволікають значні грошові та трудові ресурси на їх усунення, а також призведе до збільшення часу корисної роботи локомотивного парку та зниження експлуатаційних витрат, в тому числі, витрат на утримування локомотивів.

За результатами виконаної роботи можна зробити наступні висновки:

1. Аналіз систем утримування ТРС за кордоном показав, 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.

2. Практика експлуатації ТРС на залізницях України констатує про те, що існуюча тривалий час планово-попереджувальна система ремонтів локомотивів у її нинішньому вигляді не відповідає сучасним вимогам.

3. Сформульовані необхідні умови раціональності системи утримування ТРС як задачі векторної оптимізації для двох показників: інтенсивності відмов та витрат на проведення відновлювальних робіт, що дають можливість отримати залежність між інтенсивністю відмов та витратами на утримування, а тим самим і можливість приймати обґрунтовані рішення щодо доцільності вибору параметрів системи утримування. Вирішена також схожа задача для випадку використання декількох ресурсів при відновленні працездатності локомотива, що дозволяє визначити „вузьке” місце по якомусь із ресурсів а тим самим попередити небажані збої технологічних процесів на ремонтних базах локомотивів.

4. Запропонована модель диференційних включень для визначення раціональних параметрів діагностування яка відрізняється від існуючих моделей можливістю визначати як нижню так і верхню границю (поріг) параметра діагностування що дає можливість використовувати її при діагностуванні елементів на які „покладена відповідальність” за безпеку руху.

5. Сформульована задача векторної оптимізації, рішення якої дозволяє сформувати варіанти системи утримування із яких в залежності від місцевих умов експлуатації (залізниця, локомотивне депо) може бути вибраний раціональний варіант, що дала можливість розробити методiku визначення раціональних міжремонтних періодів та структури ремонтного циклу тепловозів серії ТГМ4 для ВАТ „Металургійний комбінат «Запоріжсталь»”.

6. Удосконалена модель системи управління потоком відмов як задача на умовний екстремум функцій множини дає можливість управляти інтенсивністю відмов (потокom відмов) ТРС варіюючи величиною

напрацювання та обсягами виконуваних відновлювальних робіт забезпечуючи необхідну надійність та мінімальні витрати коштів і часу на відновлювальні роботи.

7. Запропонована математична модель розрахунку витрат ресурсів з врахуванням можливостей ремонтної бази та прийнятої технології ремонту для оцінки ефективності системи утримування локомотивів знайшла своє втілення в нормативних документах державних підприємств: „Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України” та Головного управління локомотивного господарства Укрзалізниці.

8. Запропонована методика вибору раціональних параметрів діагностування з метою дослідження впливу стаціонарної діагностики на надійність локомотивного парку, коли об’єкт (локомотивний парк) описується диференційними включеннями стала основою для розробки та впровадження стаціонарного автоматизованого діагностично - статистичного комплексу з метою збору статистичної інформації, її обробки та видачі рекомендацій щодо надійності локомотивів серії ТГМ4 та ТГМ6 для умов ВАТ „Дніпровський металургійний комбінат”.

9. Запропонована математична модель визначення стану парку локомотивів на підставі диференціальних рівнянь Колмогорова теорії масового обслуговування та оптимізаційної задачі з використанням статистичних даних знаходження локомотивів в різних станах протягом доби, що дає можливість оцінювати інтенсивність переходу із стану в стан і прогнозувати роботу локомотивного парку на перспективу (розглянуто на прикладі ТЧ-1 Придніпровської залізниці).

10. Запропонована динамічна модель роботи локомотивного парку, що дала можливість встановити вплив системи утримування на чисельність локомотивного парку та для найпростішого процесу коли розглядається лише два стани парку локомотивів (працездатний та непрацездатний) проілюстрована методика визначення необхідної кількості локомотивів в залежності від кількості наявних працездатних їх системи утримування та можливостей ремонтної бази (кількості ремонтних позицій, середнього часу перебування локомотива в ремонті, середньої чисельності локомотивів що знаходиться в ремонті). В ході рішення рівнянь запропонованої моделі вперше застосовувалася модель диференціальних включень із застосуванням теореми про диференціальні нерівності С.А. Чаплигіна.

11. Запропонована математична модель визначення функції опірності ізоляції обмоток збудження ТЕД за значеннями зворотної напруги на основі функцій згладжування та теорії відновлення технічних об’єктів для визначення величини параметрів (величини напруги що подається на ізоляцію, часу знаходження ізоляції під цією напругою, часу короткого замикання ізоляції на корпус, час проведення випробувань і т.і.) проведення діагностичних випробувань для кожного типу тягового електричного двигуна

(розглянуто на прикладі ТЕД НБ-406 електровозів ВЛ8 депо ТЧ-1 Придніпровської залізниці).

12. Розроблена методика визначення залишкового ресурсу ізоляції тягових електричних машин локомотивів з врахуванням початкової її якості та питомих витрат на відновлення дає можливість замовнику (локомотивному депо) вибирати виконавця (локомотиворемонтний завод) для проведення відновлювальних робіт;

13. На основі удосконаленої аксіоматичної теорії відновлення ТРС виконані розрахунки та аналіз величин міжремонтних пробігів локомотивів наведених в наказах Укрзалізниці №187 від 19.12.1995 р., №351-Ц від 14.12.1999 р., № 196-Ц від 4.04.2001 р., 30-Ц від 31.01.2005 р., дає можливість констатувати про наступне, що перепробіг локомотивів небажаний зовсім, а якщо і є в ньому потреба то він не повинен сягати більше 10%, а недопробіг допустимий як з технічної, так і з економічної точки зору на 20%, що знайшло своє втілення в наказі № 30-Ц від 31.01.2005 р..

14. Розрахована раціональна система утримування гідропередачі УГП 750-1200 ПР тепловозів серії ТГМ 4 (ТГМ4А) для ВАТ „Металургійний комбінат «Запоріжсталь». Запропонована система утримування в порівнянні із системою утримування за наказом №310 майже в двічі менше потребує коштів, має в двічі меншу трудомісткість і на 320 годин менше потребує часу перебування в ремонтах при встановленому відсотку несправних локомотивів.

15. Поставлена та вирішена інженерно-економічна задача для умов оренди ТРС це по суті впровадження нової системи ремонтів та обслуговування в основу якої покладено сервісне обслуговування зі сторони локомотивобудівного заводу.

16. Вибір та впровадження раціональних систем утримування отриманих на основі теоретичних положень цієї роботи дає можливість збільшити час корисної роботи локомотивного парку, тобто призводить до підвищення продуктивності ТРС і, як наслідок, зменшення чисельності інвентарного парку.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Босов А. А. Динамическая модель работы парка локомотивов / А. А. Босов, М. И. Капица, Н. А. Мухина // Проблемы создания новых машин и технологий: науч. тр. КГПУ. – Кременчуг: КГПУ, 2001. – Вып. 1(10). – С. 435–438.

2. Босов А. А. Управление потоком отказов технического объекта /А. А. Босов, М. И. Капица, Н. А. Мухина // «Автоматика-2001»: матеріали міжнар. конф. з управління. – О.: ОПУ, 2001. – С. 134–137.

3. Капица М. И. Исследование влияния диагностирования на надежность технического объекта / М. И. Капица, В. А. Крячко, В. И. Чабанюк // Вісн. Східноукр. держ. ун-ту. – Луганськ, 2001. – № 7(41). – С. 6–10.

4. Босов А. А. Математическое моделирование в задачах рационального содержания транспортных средств / А. А. Босов, М. И. Капица // Вісн. Східноукр. держ. ун-ту. – Луганськ, 2000. – № 7(29). – С. 54–58.

5. Капица М. И. Рациональная взаимосвязь между затратами на содержание локомотива и его надежностью / М. И. Капица, И. В. Холоша // Транспорт: зб. наук. пр. – Д., 2001. – Вип. 8. – С. 62–65.

6. Капица М. И. Построение рациональной системы плановых восстановлений (СПВ) для объектов с линейной интенсивностью отказов / М. И. Капица, И. В. Холоша // Транспорт: зб. наук. пр. – Д., 2001. – Вип. 9. – С. 169–171.

7. Босов А. А. Оренда тягового рухомого складу – крок до нової системи утримування / А. А. Босов, М. І. Капіца, І. М. Грушак // Залізничний транспорт України. – 2002. – № 1. – С. 16–19.

8. Боднар Б. Є. Оцінка впливу контролепридатності на систему утримування локомотивів за технічним станом / Б. Є. Боднар, М. І. Капіца, В. О. Крячко // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ, 2002. – № 6(52). – С. 148–152.

9. Кузнецов Т. Ф. Автоматизовані діагностично-статистичні комплекси та їх застосування в системі утримування тягового рухомого складу залізниць / Т. Ф. Кузнецов, М. І. Капіца // Вісн. Кременчуцького держ. політехн. ун-ту. – 2002. – Вип. 3(114) – С. 100–104.

10. Босов А. А. Векторная оптимизация функций множества / А. А. Босов, М. И. Капица // Наук. пр. Донецького нац. техн. ун-ту. – 2002. – Вип. 48. – С. 173–179.

11. Капіца М. І. Система утримування тягового рухомого складу з урахуванням його фактичного технічного стану / М. І. Капіца // Промисловий та туристичний транспорт: зб. наук. пр. – Л.: Каменярь, 2002. – Вип. 1. – С. 74–80.

12. Босов А. А. Напрямки розвитку системи утримування тягового рухомого складу залізниць / А. А. Босов, М. І. Капіца, І. М. Грушак // Залізничний транспорт України. – 2003. – № 2. – С. 7–10.

13. Ляшук В. Устройство для оценки состояния изоляции обмоток тяговых электродвигателей локомотивов / В. Ляшук, Я. Савич, М. Капица // Зб. наук. пр. Київ. ун-ту економіки і технологій трансп. Сер.: Транспортні системи і технології. – К.: КУЕТТ, 2003. – Вип. 1–2. – С. 72–79.

14. Капица М. И. Построение интегральной функции распределения отказов по функции сопротивления изоляции обмоток возбуждения ТЭД / М. И. Капица // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ, 2003. – № 9(67) – С. 34–38.

15. Капица М. И. Основные пути развития диагностики локомотивов / М. И. Капица, Б. Е. Боднар, Я. Е. Савич // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ, 2003. – № 9(67) – С. 96–100.

16. Капица М. И. Применение математического моделирования при оценке остаточного ресурса изоляции электрических машин / М. И. Капица, В. В. Лагуа // Сб. тр. междунар. научно-техн. конф. «Машиностроение и техносфера XXI века», г. Севастополь, 8–14 сентября 2003 г.: в 4 т. – Донецк: ДонНТУ, 2003. – Т. 3. – С. 279–283.

17. Капица М. И. Результаты опытной эксплуатации устройства для замеров параметров изоляции обмоток возбуждения тяговых электродвигателей / М. И.

Капица, В. М. Ляшук, В. А. Матяш // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – Х.: УкрДАЗТ, 2003. – Вип. 54. – С. 132–137.

18. Босов А. А. Необходимые условия рациональности системы плановых восстановлений подвижного состава / А. А. Босов, М. И. Капица // Зб. наук. пр. Київ. ун-ту економіки і технологій трансп. Сер.: Транспортні системи і технології. – К.: КУЕТТ, 2003. – Вип. 4. – С. 180–191.

19. Капица М. І. Визначення функції напрацювання ізоляції ТЕД за експериментальними даними / М. І. Капица // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – Вип. 1. – С. 102–105.

20. Капица М. І. Прогнозування станів однотипного локомотивного парку (ВЛ8) Придніпровської залізниці / М. І. Капица, В. В. Лагута // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2004. – Вип. 4. – С. 126–130.

21. Капица М. І. Виявлення зв'язку між показниками надійності та фізичними факторами при прогнозуванні надійності електричних машин локомотивів / М. І. Капица, В. І. Чабанюк // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ, 2004. – № 8(78). – С. 199–203.

22. Спеціалізація та концентрація баз ремонту / Ю. П. Бабич, М. П. Довбня, М. І. Капица, Г. М. Кодола // Транспорт: зб. наук. пр. – Д., 2002. – Вип. 12. – С. 3–6.

23. Капица М. І. Определение рациональных периодов восстановления изоляции катушек возбуждения ТЭД / М. И. Капица, В. В. Лагута // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2006. – Вип. 11. – С. 126–128.

24. Капица М. І. Як відмовитись від передчасного руйнування ізоляції тягових електричних машин локомотивів під час проведення випробувань / М. І. Капица, В. М. Ляшук, Д. В. Бобир // Зб. наук. пр. Київ. ун-ту економіки і технологій трансп. Сер.: Транспортні системи і технології. – К.: КУЕТТ, 2006. – Вип. 9. – С. 69–77.

25. Капица М. И. Уточнения аксиом теории восстановления / М. И. Капица, А. А. Босов // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ, 2006. – № 8(102). – С. 78–84.

26. Капица М. І. Неруйнівні методи контролю стану ізоляції електричних машин та високовольтних силових кабелів / М. І. Капица, Д. В. Бобир // Зб. наук. пр. ДонІЗТ. – Вип. 12. – 2007. – С. 127–138.

27. Боднар Б. Є. Сучасні методи контролю поточного стану ізоляції тягових електричних машин локомотивів / Б. Є. Боднар, М. І. Капица, В. М. Ляшук // Залізничний. транспорт України. – 2006. – № 2. – С. 22–26.

28. Капица М. И. Постановка задачи определения продолжительности зон H – характеристики при расчетах на надежность технических объектов / М. И. Капица, В. В. Лагута // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2008. – Вип. 22. – С. 129–131.

29. Капица М. І. Організація раціональної системи утримування тепловозів серії ТГМ4 на прикладі ВАТ «Металургійний комбінат “Запоріжсталь”» / М. І. Капица // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад.В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2008. – Вип. 21. – С. 41–46.

30. Алгоритм определения рациональной системы содержания технических объектов / А. А. Босов, М. И. Капица, Л. Н. Савченко, Д. Н. Кислый // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – Х.: УкрДАЗТ, 2008. – Вип. 99. – С. 65–72.

ДОДАТКОВІ ПРАЦІ АВТОРА

31. Капица М.И., Холоша И.В. Построение рациональной системы плановых восстановлений (СПВ) для объектов с кусочно – линейной интенсивностью отказов / Тези доповідей четвертої міжнародної конференції „Наука і освіта 2001”. Том 10. Технічні науки. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2001. – С. 46 – 47.

32. Т. Ф. Кузнецов, М.И.Капица Постановка задачи рациональной системы плановых восстановлений тягового подвижного состава по Парето Тез. докл. юбилейной научно – технической конференции, посвященной 100 – летию со дня рождения доктора технических наук, профессора Гаккель Екатерины Яковлевны «Новое в конструкции и технологии обслуживания локомотивов», ПГУПС, 2003, г. Санкт – Петербург, С. 9 – 11.

33. М.И. Капица, А.А.Босов О существовании обратного оператора восстановления // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы LXVI Международной научно-практической конференции.- Д.: ДИИТ, 2006. С. 291.

34. Капица М.І. Організація раціональної системи утримування тепловозів серії ТГМ4 на прикладі ВАТ «Металургійний комбінат „Запоріжсталь”» / Тезиси докладов XII – Международной конференции «Проблемы механики железнодорожного транспорта» – Д.: ДИИТ, 2008. – С. 65

35. М.И. Капица, Т.Ф. Кузнецов, В.М. Ляшук. Диагностические испытания изоляции электроподвижного состава // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса: Тез. докл. Международ. научн.- прак. конф. Ч.І/ Под общ. ред. В.И.Сенько.- Гомель: БелГУТ, 2003. С. 25 – 26.

АННОТАЦИЯ

Капица М.И. Развитие научных основ усовершенствования систем содержания тягового подвижного состава. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.07 - подвижной состав железных дорог и тяга поездов. - Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, 2010 р.

Диссертационная работа посвящена развитию научных основ усовершенствования систем содержания тягового подвижного состава. С

этой целью сформулированы условия рациональности систем содержания тягового подвижного состава как задачи векторной оптимизации для двух показателей: интенсивности отказов и затрат на выполнение восстановительных работ, что и дает возможность установить зависимость между интенсивностью отказов и затратами на восстановительные работы и, тем самым, возможность принимать обоснованные решения относительно целесообразности выбора показателей системы содержания. Решена также задача для случая использования нескольких ресурсов при восстановлении работоспособности локомотива, что позволяет определить "узкое" место по какому - то из ресурсов, и таким образом предупредить нежелательные сбои технологических процессов на ремонтных базах локомотивов.

Разработана модель дифференциальных включений для определения рациональных параметров диагностирования, которая отличается от существующих моделей возможностью определять как нижнюю, так и верхнюю границу (порог) параметра диагностирования.

Разработанная методика выбора рациональных параметров диагностирования с целью исследования влияния стационарной диагностики на надежность локомотивного парка, когда локомотивный парк описывается дифференциальными включениями, стала основой для разработки и внедрения стационарного автоматизированного диагностически - статистического комплекса с целью сбора статистической информации, ее обработки и выдачи рекомендаций относительно надежности локомотивов.

Разработана математическая модель стационарного состояния парка локомотивов на основе дифференциальных уравнений Колмогорова, теории массового обслуживания и оптимизационной задачи с использованием статистических данных нахождения локомотивов в разных видах работы (а также ТО и ПР) на протяжении суток, что дает возможность оценивать интенсивность перехода из состояния в состояние, а также прогнозировать работу локомотивного парка.

Разработана динамическая модель работы локомотивного парка, которая дала возможность установить влияние системы содержания на численность локомотивного парка и для самого простого процесса, когда рассматривается лишь два состояния парка локомотивов (работоспособный и неработоспособный), проиллюстрирована методика определения необходимого количества локомотивов в зависимости от количества имеющихся работоспособных, их системы содержания и возможностей ремонтной базы (количества ремонтных позиций, среднего времени пребывания локомотива в ремонте, средней численности локомотивов, что находятся в ремонте). В ходе решения уравнений предложенной модели впервые применялась модель дифференциальных включений с применением теоремы о дифференциальных неравенствах С.А. Чаплыгина.

Разработанная методика определения остаточного ресурса изоляции тяговых электрических машин локомотивов с учетом начального ее качества

и удельных расходов на восстановление дает возможность заказчику (локомотивному депо) выбирать исполнителя (локомотиворемонтный завод) для проведения восстановительных работ.

На основе усовершенствованной аксиоматической теории восстановления тягового подвижного состава выполнены расчеты и выполнен анализ межремонтных пробегов локомотивов, приведенных в приказах Укрзализныци №187 от 19.12.1995 г. №351-Ц от 14.12.1999 г. №196-ц от 4.04.2001 г., 30-ц от 31.01.2005 г., дает возможность констатировать следующее: перепробег локомотивов нежелательный совсем, а если и есть в нем необходимость, то он не должен превышать 10%, а недопробег допустим как и с технической, так и с экономической точки зрения на 20%, что и нашло свое воплощение в приказе № 30-Ц от 31.01.2005 г..

Поставлена и решена инженерно-экономическая задача для условий аренды тягового подвижного состава. Это по существу подход к внедрению новой системы ремонтов и обслуживания, в основу которой положено сервисное обслуживание со стороны локомотивостроительного завода.

Построены эффективные системы содержания для каждой серии локомотивов и определенных условий эксплуатации с учетом установленных показателей надежности при минимальных расходах средств и времени простоя в ремонте. Эффективные системы содержания в свою очередь дают возможность установить связь между расходами средств и временами простоя в ремонте с целью принятия научно-обоснованных решений по выбору рациональных параметров системы содержания ТПС.

Использование в работе метода векторной оптимизации функций множества позволило получить новые более полные решения, которые являются адекватными сложным условиям реализации исследуемых процессов.

Они могут быть использованы для решения задач по принятию эффективных решений по выбору систем содержания для локомотивов, что находятся в эксплуатации с традиционной планово-предупредительной системой ТО и ПР, а также локомотивов нового поколения, для которых характерным будет создание современных систем сервисного обслуживания и ремонта на основе бортовых и стационарных средств технической диагностики, что дает возможность изменять сроки межремонтных пробегов и объемы восстановительных работ в зависимости от текущего состояния ТПС.

Чтобы подтвердить теоретические положения данной работы, выполнены расчеты для реально существующих технических объектов и определенных условий эксплуатации, а также предложены возможные варианты систем содержания для них и экономические последствия от их внедрения.

Рациональная система содержания станет предупреждающим фактором появления аварийных восстановлений, которые отвлекают значительные

денежные и трудовые ресурсы на их устранение, а также приведет к увеличению времени полезной работы локомотивного парка и снижения эксплуатационных расходов, в том числе расходов на содержание локомотивов.

Теоретические положения этой работы дают возможность решать и обратную задачу, то есть при известной системе содержания ТПС определять (устанавливать) показатели надежности, которые должны быть заложены при проектировании и построении локомотивов нового поколения.

Ключевые слова: тяговый подвижной состав, система содержания, технология ремонта, техническое состояние, отчетная статистическая информация, надежность локомотивов, средства технической диагностики.

АНОТАЦІЯ

Капіца М.І. Розвиток наукових основ удосконалення систем утримування тягового рухомого складу. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів. - Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2010 р.

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню наукової проблеми розвитку наукових основ удосконалення систем утримування тягового рухомого складу. З цією метою побудовані ефективні системи утримування для кожної серії локомотивів та певних умов експлуатації з врахуванням встановлених показників надійності при мінімальних витратах коштів та часу перебування в ремонті. Ефективні системи утримування в свою чергу дають можливість встановити зв'язок між витратами коштів та часом перебування в ремонті з метою прийняття науково-обґрунтованих рішень по вибору раціональних параметрів системи утримування ТРС.

Використання в роботі методу векторної оптимізації функцій множини дозволило отримати нові більш повні рішення, що адекватні складним умовам реалізації досліджуваних процесів.

Вони можуть бути використані для рішення задач по прийняттю ефективних рішень з вибору систем утримування для локомотивів що знаходяться в експлуатації з традиційною планово-попереджувальною системою ТО та ПР і локомотивів нового покоління для яких характерним буде створення сучасних систем сервісного обслуговування та ремонту на основі бортових і стаціонарних засобів технічної діагностики що дають можливість змінювати терміни міжремонтних пробігів та обсяги відновлювальних робіт в залежності від поточного стану ТРС.

Впровадження раціональної системи утримування ТРС дає можливість зменшити трудомісткість технологічних операцій та збільшити час корисної роботи локомотивів, що в свою чергу приводить до скорочення інвентарного парку або до збільшення обсягів виконуваних робіт.

Для збільшення часу корисної роботи локомотивного парку та зниження експлуатаційних витрат, в тому числі, витрат на утримування локомотивів розроблений комплекс моделей по удосконаленню системи утримування ТРС.

Щоб підтвердити теоретичні викладки даної роботи виконані розрахунки для реально існуючих технічних об'єктів та умов експлуатації, а також запропоновані можливі варіанти систем утримування для них та економічні наслідки від їх впровадження.

Ключові слова: тяговий рухомий склад, система утримування, технологія ремонту, технічний стан, звітна статистична інформація, надійність локомотивів, засоби технічної діагностики.

Annotation

M.I. Kapitsa. The development of the scientific basis of the tractive rolling stock retention systems improvement. – Manuscript.

The dissertation thesis for the scientific degree of the Doctor of Technical Science in Speciality 05.22.07 – The Rolling Stock and Trains Tractive Power. – Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after ac. V.A.Lazaryan.

The dissertation thesis is devoted to the scientific problem solving of the scientific basis improvement of the tractive rolling stock systems.

With this aim the effective retention systems for every locomotive series and definite conditions of the exploitation, taking into account established indices reliability at minimal costs spending and detention under repair time, are constructed. The effective retention systems provide us with an opportunity to establish communication between costs spending and detention under repair time to make scientifically grounded decisions while choosing rational retention system's parameters.

The use of the vectorial optimization plural functions method permitted to obtain some new more complete solutions which are adequate to complicated terms of the realization of the research process. They may be used for solving the tasks to make effective decisions while choosing locomotive retention systems, when locomotives are in operation with traditional plan – precautionary system maintenance and planned repair new generation locomotives characterized by creation of modern service systems and repair on the base of trainborne and stationary means of technical diagnostics, which give a possibility to change repair time running and capacity of the reconditioning operations depending on the current condition of the tractive rolling stock.

Introduction of the rational retention system gives an opportunity to reduce technical operation labour-intensiveness and to increase time of the locomotive useful work, which in its turn, leads to the reduction of the inventory stock or the increase of performed work volume.

To increase the locomotive stock efficient work and to bring down exploitation expenses, including locomotive maintenance expenses, the complex of models for locomotive systems of TPC improvement has been elaborated.

Calculations for the real existing technical objects are performed and also possible variants of the retention system and their economic introduction consequences are proposed to corroborate the theoretical proposition of the work.

Key words: rolling stock, retention system, repairing technology, technical condition, accounting statistical information, reliability of the locomotives, means of technical diagnostic.

Капіца Михайло Іванович

**Розвиток наукових основ удосконалення систем
утримування тягового рухомого складу**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

Дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 1.88. Обл. – вид. арк..1.90.
Тираж 150 пр. Зам. №_____

Видавництво Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Свідоцтво суб'єкта видавничої діяльності ДК №1315 від 31.03.2003

Адреса видавництва та дільниці оперативної поліграфії:
49010, Дніпропетровськ, 10, вул Лазаряна , 2; www.diitrvv.dp.ua