

Міністерство освіти і науки України
Українська державна академія залізничного транспорту

КРАШЕНІНІН ОЛЕКСАНДР СЕМЕНОВИЧ

УДК 629.42

РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ВИЗНАЧЕННЯ СИСТЕМИ УТРИМАННЯ
ЛОКОМОТИВІВ ПРИ ПОДОВЖЕННІ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОНАД
НОРМАТИВНИЙ

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2013

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту на кафедрі експлуатації та ремонту рухомого складу, Міністерство освіти і науки України

Науковий консультант:

доктор технічних наук, професор
Тартаковський Едуард Давидович,
Українська державна академія залізничного
транспорту, кафедра експлуатації та ремонту
рухомого складу, завідувач кафедри

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Басов Геннадій Григор'євич,
Східноукраїнський національний університет
ім. В. Даля, кафедра залізничного транспорту,
професор кафедри

доктор технічних наук, професор
Капіца Михайло Іванович,
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна,
кафедра локомотивів, професор кафедри

доктор технічних наук, професор
Кельріх Мусій Борисович,
Державний економіко-технологічний університет транспорту,
кафедра вагонів та вагонного господарства, завідувач кафедри

Захист відбудеться «___» _____ 2013 р. о ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7

Автореферат розісланий «___» _____ 2013 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

А.В. Прохорченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Підвищення ефективності використання локомотивів є однією з передумов стабільного функціонування всіх галузей залізниць. Це передбачає пошук резервів при визначенні граничного терміну експлуатації локомотивів. Як показує досвід експлуатації рухомого складу в сумісних галузях промисловості, в ряді випадків можливо отримати суттєвий економічний ефект.

Як неодноразово підкреслювалося в керівних документах Державної адміністрації залізничного транспорту України (Укрзалізниця), значна частина локомотивів вичерпала призначений термін служби. Віковий стан експлуатованого парку локомотивів досяг критичної межі. Знос електровозів досяг 90 % при середньому віці локомотиву 36 років.

У зв'язку з фізичним і моральним зносом рухомого складу, зокрема локомотивного парку, важливим напрямком забезпечення експлуатаційної роботи залізничного транспорту в досяжній перспективі є раціональне використання наявного рухомого складу в межах призначеного й подовження термінів служби. Тому впродовж останніх років за завданнями Укрзалізниці інтенсивно виконуються науково-технічні розробки щодо збільшення термінів служби локомотивів без погіршення показників безпеки руху та надійності.

Забезпечення подовження терміну експлуатації наявних локомотивів повинно вирішуватися шляхом дотримання оптимального співвідношення заходів з подовженням терміну експлуатації і підготовки ремонтної бази для завдань їх відновлення.

Проблемам підвищення ефективності використання локомотивів присвячені численні дослідження в нашій країні і за кордоном. В основному напрямок цих досліджень має пріоритет у визначенні оптимальної структури ремонтних циклів, впровадженні засобів діагностики в технологічні процеси обслуговування та ремонту і оцінки технічного стану до і після ремонту. Останнім часом значна увага приділяється розробці наукових заходів щодо оцінки ефективності подовження терміну служби локомотивів після нормативного терміну його експлуатації. На залізничному транспорті України в цей час відсутній єдиний науковий напрямок щодо розробки сучасної методології визначення техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу з урахуванням витрат на його життєвий цикл. Однозначної уяви щодо оптимального життєвого циклу залізничного тягового рухомого складу не існує. Як показує аналіз, в різних країнах і організаціях, в силу різних економічних і політичних ситуацій, по-різному тлумачиться поняття життєвого циклу.

В нашій країні при цьому одним з найважливіших заходів вважається наукове обґрунтування терміну служби несучих конструкцій локомотивів і практичні заходи щодо забезпечення безвідмовної і безпечної їх експлуатації.

Однак слід відмітити, що цим не повинні окреслюватися підходи щодо ефективної експлуатації локомотивів в після нормативний термін експлуатації.

Актуальним залишається вирішення проблеми забезпечення ефективної роботи локомотивів при оптимальних витратах на технічне обслуговування (ТО) і

поточний ремонт (ПР) різних обсягів, що вимагає наукового обґрунтування як оцінки після нормативного терміну експлуатації, так і вибору тактики проведення ТО, ПР.

Звідси сформульовано цілі і задачі дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася в рамках держбюджетних тем науково-дослідних робіт кафедри експлуатації і ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту (УкрДАЗТ) у відповідності до положень Програми подовження терміну служби тягового рухомого складу (ТРС), що прийнята Державною адміністрацією залізничного транспорту України і знайшла відображення у наказі Укрзалізниці від 30.06.2010 №093–ЦЗ «Положення про планово-попереджувальну систему ремонту тягового рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро та дизель-поїздів)» і положеннями «Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010 – 2019 роки» (затверджена Постановою КМУ в 16.12.2000 №1390 із змінами від 26.10.2011 №1106); «Комплексній програмі оновлення залізничного рухомого складу України на 2008 – 2020 роки» (затверджена наказом МТЗУ від 14.10.2008 №1259).

Тема дисертаційної роботи є часткою науково-дослідних робіт, у яких автор був співвиконавцем і відповідальним виконавцем: „Вплив сезонних факторів на техніко-експлуатаційні показники тепловозних дизелів типу 1 D80” (держ. реєстр. № 0199 U 003100); „Розробка теоретичних основ комплексної оцінки ефективності використання тепловозних дизелів” (держ. реєстр. № 0106 U 004124); „Наукове обґрунтування структурних реформ в локомотивному господарстві залізниць України” (держ. реєстр. № 0108 U 000079); „Наукове обґрунтування подовження терміну служби ТРС” (держ. реєстр. № 0110 U 002129).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є вирішення науково – технічної проблеми розвитку та обґрунтування визначення ефективності подовження терміну служби локомотивів на основі коректування міжремонтних пробігів та обсягів робіт з ТО, ПР в після нормативний термін експлуатації.

Для досягнення поставленої мети були визначені такі задачі дослідження:

- провести аналіз та визначити граничні терміни експлуатації локомотивів за критеріями забезпечення надійності і мінімальних питомих експлуатаційних витрат;
- науково обґрунтувати та сформулювати математичні моделі вибору стратегії забезпечення експлуатаційної надійності в після нормативний термін експлуатації.
- формалізувати процедуру та науково обґрунтувати технологію коректування ТО, ПР локомотивів в після нормативний період експлуатації;
- розробити модель визначення стратегії заміни локомотивів, що потребують виключення з інвентарю, шляхом модернізації діючих і постачання нових локомотивів;
- науково обґрунтувати стратегію структурної реструктуризації підприємств з ремонту і експлуатації локомотивів та доповнити оцінки критерію надійності несучих конструкції локомотивів.

Об'єкт дослідження – система утримання локомотивів при подовженні терміну їх експлуатації понад нормативний.

Предмет дослідження – закономірності зміни параметрів надійності агрегатів і систем локомотивів при подовженні терміну їх служби понад нормативний.

Методи дослідження. При рішенні окремих задач використовувалися сучасні математичні методи і положення наступних теорій: надійності, ігор, імовірності, старіння, розпізнавання образів та інших. Методи теорії надійності використані для моделювання системи ремонту і критеріальної оцінки варіантів організації ТО і ПР в понад нормативний термін експлуатації локомотивів. Методи теорії ігор використані для визначення тактики утримання локомотивів в понад нормативний термін експлуатації. Методи теорії імовірності і математичної статистики використані для збору і обробки початкових даних, визначені закони розподілу випадкових величин робочих властивостей і навантажень при розрахунку надійності несучих конструкцій локомотивів, а також визначенні ефективності заміни старого рухомого складу на новий. Методи теорії старіння використані для визначення критеріїв оцінки граничних термінів і варіантів експлуатації локомотивів в понад нормативний термін за критерієм витрат. Методи теорії розпізнавання образів використані для коректування системи утримання локомотивів в понад нормативний термін експлуатації. Модель оцінки рівня оптимальних приведених витрат на ТО, ПР базується на теорії оптимізації.

Достовірність отриманих наукових результатів підтверджується задовільною збіжністю розрахункових та експлуатаційних даних, що обумовлена відповідністю прийнятих припущень характеру задач, що вирішувалися, відповідним вибором системи утримання локомотивів, методами обробки одержаних результатів, програмним забезпеченням для комп'ютерного моделювання і статистичної обробки результатів.

Наукова новизна отриманих результатів. Наукова новизна полягає в вирішенні науково-технічної проблеми визначення системи утримання локомотивів при подовженні терміну експлуатації понад нормативний при забезпеченні рівня надійності і оптимальних витрат на ТО і ПР, використанні методів транспортної економетрії в оцінці результатів дослідження.

Вперше:

– для тягового рухомого складу формалізовано на базі положень теорії старіння і положень теорії розпізнавання образів обґрунтування термінів його служби в період вичерпання нормативних вимог щодо його експлуатації з урахуванням критерію ефективності;

– розроблені теоретичні методи щодо коректування технології утримання локомотивів при подовженні понад нормативний терміну їх експлуатації, які відрізняються від традиційних тим, що на основі формування бази даних технічного стану локомотивів і їх наробки, і обробки даних методами математичної статистики і розпізнавання образів визначається періодичність ТО, ПР і відповідні обсяги всіх видів робіт по утриманню локомотивів за критеріями ефективності;

– отримані залежності терміну експлуатації локомотивів від інтенсивності використання локомотивів, відносного ресурсу, визначена динаміка критерію оптимальної довговічності ресурсу локомотивів при різній інтенсивності використання локомотивів в експлуатації і відносного ресурсу локомотивів;

– досліджена поведінка залежності витрат на ТО, ПР від варіантів організації ремонтного циклу і варіації коефіцієнту довговічності, а також поведінка коефіцієнту довговічності від коефіцієнтів рівномірності і стабільності та показана залежність питомої придатності обладнання локомотивів від варіантів організації ремонтного циклу і коефіцієнту довговічності;

– досліджена динаміка показників надійності несучих конструкцій локомотивів в залежності від співвідношень законів розподілу навантажень, робочих властивостей, варіації коефіцієнта запаса міцності і варіації робочих властивостей.

Отримали подальший розвиток:

– теорія математичного моделювання формування технологічних процесів утримання локомотивів на базі доопрацювання критеріїв оптимальності, теорії ігор в умовах неявної інформації про технічний стан обладнання локомотивів;

– економіко-математичні методи формування критерію ефективності стратегії оновлення і модернізації локомотивного парку на базі дослідження поведінки зміни технічного стану локомотивів і показана доцільність використання комп'ютерних технологій оптимізації рішень.

Удосконалені:

– моделі, що доопрацьовують методи оцінки живучості несучих конструкцій локомотивів в частині синергетичних впливів і мігрування зон з ризикованими збіжностями впливів зовнішніх факторів і нестійкості з часом старіння внутрішніх властивостей для різних законів їх розподілу і розповсюджено на весь парк локомотивів;

– модель створення концепції, що узагальнює обрані критерії при обґрунтуванні стратегії реструктуризації ремонтної бази з урахуванням співвідношень потужнісно вагових факторів, що визначають особливості локомотивів і відносних показників ефективності утримання локомотивів і розвиває методи розрахунків граничних зон сприятливої ефективності для тепловозної і електровозної тяги;

– методи визначення динаміки показників придатності обладнання локомотивів на основі дослідження ефекту для різних законів зміни технічного стану з використанням номограм і моделей для визначення граничних зон стабільності і питомої придатності.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблені підходи утворюють теоретичну основу системного підходу при формуванні стратегії і тактики ТО, ПР локомотивів в після нормативний термін експлуатації, практична реалізація яких дозволила обґрунтувати:

– витрати на організацію ТО, ПР локомотивів при подовженні терміну експлуатації більше нормативного;

– стратегію і тактику ТО та ПР для забезпечення ефективності і надійності локомотивів в після нормативний термін експлуатації;

– потужності ремонтного господарства депо при заміні старих локомотивів на нові.

Основні результати дослідження впроваджені Головним управлінням локомотивного господарства при уточненні положень наказу Укрзалізниці №093 ЦЗ від 30.06.2010, розвитку положень «Комплексної програми оновлення залізничного рухомого складу України на 2008 – 2020 роки; Службою локомотивного господарства Південної залізниці при оцінці ефективності ремонтного господарства локомотивного депо при обґрунтуванні реструктуризації локомотивних депо і подовженні експлуатації локомотивів в понад нормативний термін (акти впровадження приведені в дисертаційній роботі).

Особистий внесок здобувача. У роботах, опублікованих у співавторстві, автору належить: [1,2,32,33,40] – методологія визначення надійності обладнання локомотивів на стадії проектування; [3,4,5,41,42,44,45] – розробка моделі ефективності функціонування локомотивів при різних підходах до організації ТО, ПР; [6,35] – методологія формування технології ТО, ПР з елементами діагностування; [7,8] – розробка моделей визначення термінів проведення ТО, ПР і ефективності замін локомотивів; [9,16,34,48] – методика автоматизованої розробки технологічних процесів ТО, ПР ТРС; [11,12,13,26] – методика обґрунтування системи ТО, ПР локомотивів при подовженні терміну їх служби; [15] – оцінка якості функціонування ТРС; [17,22] – методичне обґрунтування заходів з утримання локомотивів при подовженні терміну їх експлуатації; [19,20,21] – теоретичне обґрунтування граничних термінів експлуатації ТРС; [10,14,23,24,27,30,36] – методика реструктуризації локомотивних депо і підвищення ефективності їх роботи; [25] – оцінка ефективності подовження терміну експлуатації ТРС; [28] – методика визначення потенційних відмов в елементах несучих конструкцій; [29,37] – методика визначення показників ефективності ТО при подовженні терміну експлуатації ТРС по наробці; [43] – модель роботи підрозділів ремонтного господарства депо в рамках синергетичного підходу; [39] – методи підвищення ефективності ТРС в період понад нормативного їх використання; [18,31,38,46,47] – методи удосконалення тягово-енергетичних випробувань ТРС. Дослідження, що висвітлені в усіх наукових працях, проводились в УкрДАЗТ.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи були доповідані і одержали позитивну оцінку на науково-технічних конференціях, у тому числі: науково-технічних конференціях з міжнародною участю УкрДАЗТ; 2-й міжнародній НПК «Проблеми економіки і управління на залізничному транспорті». (м. Київ, 2007); 6-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми економіки і управління на залізничному транспорті» (м. Київ, 2011г.); 3-й міжвузівський науково-технічній конференції викладачів, молодих вчених та студентів «Енерго- та ресурсозберігаючі технології і при експлуатації машин та устаткування» (м. Донецьк, 2011р.); 3-й міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології на залізничному транспорті» (м. Тель-Авив (Ізраїль), 2012р.); 36-й науково-технічній конференції викладачів, аспірантів і співробітників Харківської національної академії міського господарства (м. Харків, 2012р); 4-й міжвузівській науково-технічній конференції викладачів, молодих вчених та студентів. (м. Донецьк. 2012).

Результати, одержані при виконанні дисертаційної роботи, доповідалися і отримали схвалення на засіданнях та наукових семінарах кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу» УкрДАЗТ.

Повністю дисертація доповідалась: на розширеному засіданні кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту за участю членів спеціалізованої вченої ради (м. Харків); на розширеному семінарі кафедри залізничного транспорту Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Луганськ); на розширеному науково-технічному семінарі Харківського філіалу Державного науково-дослідного центру залізничного транспорту України (м. Харків).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 48 наукових працях, у тому числі 29 статей у фахових виданнях, 8 тез доповідей у виданнях, що затверджені Міністерством освіти і науки, 1 патенті, у 2 авторських свідоцтвах, у 7 додаткових працях.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 6 розділів, висновків та додатків. Повний обсяг дисертації складає 404 сторінок, у тому числі 269 сторінки основного тексту, 24 рисунка на 20 сторінках, 18 таблиць на 13 сторінках. Список використаних джерел включає 321 найменувань на 33 сторінках, 11 додатків розташовані на 69 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У вступі обґрунтовані актуальність і новизна теми, дана загальна характеристика роботи, сформульовані мета і задачі досліджень.

Перший розділ дисертації присвячений огляду виконаних досліджень і обґрунтуванню напрямків поставлених задач.

Основна увага приділена наступним питанням:

- аналізу підходів до формування стратегії ТО, ПР локомотивів, що базується на дотриманні умов безпеки, надійності, мінімальних експлуатаційних витратах;
- дослідженні факторів, що приводять до вичерпання ресурсу локомотивів;
- аналізу економічного обґрунтування визначення терміну служби локомотивів.

Питанням визначення та поліпшення техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу приділяється багато уваги. Фундаментальні дослідження в цьому напрямку виконувались і виконуються як в наукових організаціях: Всеросійський науково-дослідний інститут залізничного транспорту. Державне підприємство «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України», Московський державний університет шляхів сполучення, Петербургський державний університет шляхів сполучення, Ростовський державний університет шляхів сполучення, Омський державний університет шляхів сполучення, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, УкрДАЗТ, Національний технічний університет «ХПІ» та ін., так і на виробничих підприємствах: ПАТ «Луганськтепловоз», Виробниче об'єднання «Завод ім. Малишева», Державне

підприємство Науково-виробнича компанія «Електробудування», Промислова група «Трансмашхолдінг» (Росія) та ін.

Питання підвищення техніко-економічних показників роботи залізничного транспорту впровадженням ресурсозберігаючих технологій висвітлені в дослідженнях Данька М.І., Бутько Т.В., Ломотька Д.В. та ін.

Розробці і розвитку основних принципів теорії надійності, оптимізації технічного обслуговування і ремонту рухомого складу присвячені роботи Бабаніна О.Б., Басова Г.Г., Блохіна Є.П., Боднара Б.Є., Володіна О.І., Гетьмана Г.К., Голубенка О.Л., Горбунова М.І., Горобця В.Л., Далеки В.Х., Дьоміна Ю.В., Ісаєва І.П., Калабухіна Ю.Є., Капіци М.І., Кельриха М.Б., Кисельова В.І., Косова Є.Є., Кузьміча В.Д., Мартинова І.Е., Маслієва В.Г., Мороза В.І., Мямліна С.В., Стрекопитова В.В., Тартаковського Е.Д., Устенка О.В., Фалендиша А.П., Четвергова В.А. та інших авторів.

УкрДАЗТ спільно з державним підприємством «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України» за участю Тартаковського Е.Д., Грищенка С.Г., Калабухіна Ю.Є і Фалендиша А.П. виконаний цикл науково-дослідних робіт щодо розробки методології визначення витрат життєвого циклу локомотивів.

Питанням визначення витрат життєвого циклу локомотивів залізничного транспорту присвячені роботи російських вчених Павлова Л.Н., Подшивалова А.Б., Осяєва А.Г., Соколова Ю.І., Вавилова Н.Є., Іванової Н.Т. та інш.

Нові економічні умови, в яких функціонують підприємства локомотивного господарства, передумовляють необхідність більш ретельної оцінки економічної складової терміну експлуатації локомотивів, що пов'язано з оцінкою ціни їх життєвого циклу. Експлуатація будь-якого локомотива потребує визначення разових і поточних витрат, що розділені в часі. Термін цих витрат і визначає «життєвий цикл» (ЖЦ).

За нинішніх умов актуальною стає задача для діючих та нових локомотивів визначити наукові підходи щодо обґрунтування технології ТО, ПР, коли термін експлуатації локомотивів наближається до нормативного або досяг його. Це означає можливість коректування ЖЦ локомотивів з точки зору економічно обґрунтованого після нормативного терміну експлуатації і відповідної стратегії ТО, ПР.

Проведений аналіз наукових досліджень в нашій країні та закордонний досвід визначає необхідність комплексної оцінки термінів експлуатації технічних засобів, що базується на декількох принципово відмінних підходах.

Так, проведені в УкрДАЗТ дослідження щодо утримання ТО, ПР локомотивів направлені на удосконалення існуючих технологічних процесів. Визначено, що формування технологічних процесів доцільно будувати на положеннях теорії розпізнавання образів, фреймів та теорії розкладів. Інші підходи побудовані на концепції заміни (списання, завершення терміну експлуатації) технічних засобів, коли собівартість роботи на старих технічних засобах стає більшою, ніж приведена собівартість, отримана за допомогою нових технічних засобів. Інші – на концепції заміни технічних засобів по мірі збільшення терміну служби, коли починають критично зменшуватися величини витрат на відновлення капітальних вкладень, а також рості відставання старого технічного засобу від нового за експлуатаційними

показниками. Таким чином, будь-яка оптимізуєма система, що моделюється за економічними критеріями, повинна базуватися на врахуванні факторів граничних параметрів; факторів часу, стохастичності і невизначеності.

Так в дослідженнях Дьоміна Р.Ю. сформульовані наукові підходи щодо подовження експлуатації несучих конструкцій локомотивів на основі моделювання і динаміки напружень в кінцевих елементах конструкції.

Сучасні підходи щодо визначення термінів експлуатації техніки базуються на концепції визначеності таких факторів, як ціна нової техніки, можливості оцінки новацій в виробництві і ремонті, а фактори, що не підлягають чи складні для наочної оцінки, враховуються за прогнозом їх зміни.

В даній роботі пропонується для формування системи утримання локомотивів в після нормативний термін експлуатації враховувати методи теорії ігор при виборі варіантів ТО, ПР та індивідуального прогнозування зміни граничних параметрів роботи вузлів та агрегатів локомотивів.

Накопичений досвід показує, що це можливо на основі формування бази даних технічного стану локомотивів методами розпізнавання образів, зокрема, методами фреймів. В основу методів покладені процедури кодування вихідної інформації для побудови математичної моделі коректування технології утримання локомотивів; кодування фреймів і їх ідентифікації, упорядкування кількості фреймів; визначення бази фреймів і визначення оптимального критерія якості фреймів. Остаточним етапом формування технології є урахування особливостей умов експлуатації і стану локомотива.

Другий розділ присвячений оцінці і обґрунтуванню граничних термінів довговічності локомотивів і визначення раціональної періодичності ТО та ПР при подовженні терміну експлуатації локомотивів.

В умовах дефіциту ремонтних фондів, наближених до промислових можливостей локомотиворемонтних заводів, локомотивні депо продовжують використовувати як старе, так і нове обладнання. Це стосується як обладнання локомотивів, так і ремонтної бази, що спонукає на проведення ТО та ПР для локомотива, окреме обладнання якого перевищує граничне допустиме значення ресурсу.

В цих умовах необхідно визначити залишковий і граничний ресурс по базових вузлах і агрегатах локомотивів, а надлишковий ресурс іншого обладнання підтримувати за рахунок коректування ТО і ПР в після нормативний термін експлуатації.

Треба сформулювати ремонтний цикл такого терміну $L_{\text{ПР}}$, відносно якого підсумкова різниця між заданими L_1, L_2, \dots, L_N значеннями ресурсів і шуканими l_1, l_2, \dots, l_N міжремонтними наробітками обладнання досягають мінімуму.

Введемо критерій $H(L_{\text{ПР}})$ для оцінки ресурсу, при якому досягаються оптимальні показники довговічності локомотиву:

$$H(L_{\text{ПР}}) = \sum_{i=1}^N \frac{L_i - l_i}{L_N} \rightarrow \min ,$$

де H_i – критерій оптимальності, що визначає частку підсумкового залишкового ресурсу обладнання, що приходиться на одиницю ресурсу локомотива;

L_i – задане значення ресурсу обладнання;

L_N – граничний ресурс базового обладнання;

l_i – шукана міжремонтна наробітка i – го обладнання ($L_i - l_i \geq 0, 1L_i$).

Мінімально припустиме значення цієї величини характеризує такий граничний рівень ресурсу локомотива, при якому подальше його використання за умови безпеки неприпустиме.

Рішення поставленої задачі полягає у визначенні значень l_1, l_2, \dots, l_N наробіток між залишковими ресурсами обладнання локомотива, що мінімізує цільову функцію. При цьому значенні наробітку базового обладнання локомотива визначається термін ремонтного циклу і відповідне значення граничного ресурсу за умови, що не передбачаються додаткові обсяги робіт щодо оцінки його технічного стану і стану окремого обладнання.

Термін служби, за який локомотив реалізує свій ресурс, визначається з рівняння

$$T = \frac{L_{\text{ПР}}}{365 \cdot S},$$

де S – значення середньодобового пробігу локомотива.

Варіанти реалізації ремонтного циклу, що визначають ресурс локомотива, визначалися за дотримання умов, що наведені в наказах Укрзалізниці, і допускають наробітки на ТО, ПР і КР в границях 20% від нормативних.

Були промодельовані 10 можливих варіантів організації ТО та ПР за умови зміни $L_{\text{ПР1}} = 3000$ тис.км до $L_{\text{ПРН}} = 4500$ тис.км і відповідних їм термінів служби T за граничний ресурс $L_N = L_{\text{ПР}}$ для значень середньодобового пробігу $S_1 = 300$ км/доб, $S_2 = 350$ км/доб, $S_3 = 400$ км/доб., або у відносних значеннях: $\bar{L}_{\text{ПР}} = 1; 1,5$; $\bar{S}_\delta = 1; 1,33$.

Для обраних варіантів визначена кількість ТО, ПР за ремонтний цикл, відповідні витрати на ТО та ПР, позапланові ремонти, витрат на паливо – мастильні матеріали, що приведені в дисертаційній роботі.

На підставі вихідних даних цих розрахунків визначені залежності $T = f_1(\bar{L}_i, \bar{S}_i)$ і $H = f_2(\bar{L}_i, \bar{S}_i)$. Графічні залежності цих параметрів наведені на рис. 1, 2.

Як видно з приведених залежностей, мінімум $H(\bar{L}_{\text{ПР}})$ досягається для варіантів 3 ($T = 22 - 29$ років) і 4 ($T = 23 - 30$ років), для варіантів 8 і 9 відповідно $T = 28 - 37$ років і $T = 30 - 40$ років. Таким чином, можна вважати, що з точки зору використання ресурсу термін служби може бути подовжений більше нормативного $T = 20$ років до $T = 40$ років при відповідній циклічності і пробігів між ТО і ПР. При цьому визначення граничного терміну повинно визначатися за умови економічних підходів, що передбачають пошук обґрунтованого терміну списання локомотивів або подовження експлуатації за умови індивідуальної оцінки їх технічного стану.

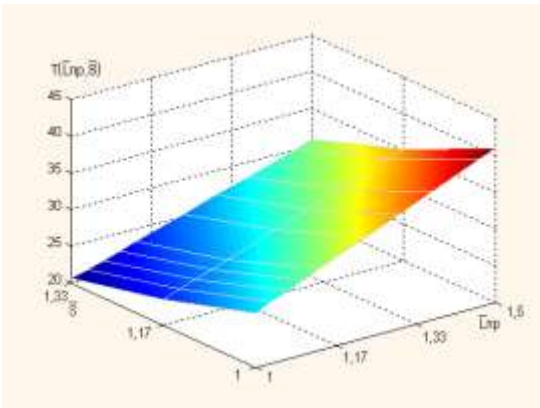


Рисунок 1. – Геометрична інтерпретація траєкторії еволюції ЖЦ в після нормативний термін експлуатації,
де T – термін служби, рік;
 \bar{S} – питомий середньодобовий пробіг; $\bar{L}_{\text{ПР}}$ – відносний ресурс локомотива

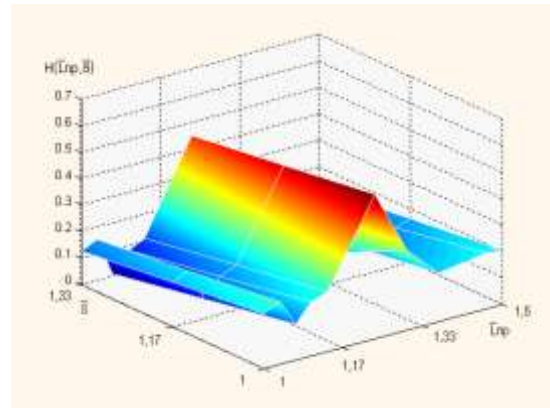


Рисунок 2. – Динаміка критерію оптимальності довговічності ресурсу обладнання від пробігу (терміну служби) при різній інтенсивності використання локомотивів в експлуатації, де H – критерій оптимальності; \bar{S} – питомий середньодобовий пробіг; $\bar{L}_{\text{ПР}}$ – відносний ресурс локомотива

Оцінка ефективності подовження терміну експлуатації локомотивів передбачає визначення раціональної періодичності ТО, ПР в цей період.

Для цього пропонуються такі варіанти міжремонтних пробігів, для яких визначається критерій ефективності на утримання парку локомотивів з забезпеченням необхідного рівня надійності. Були прийняті такі варіанти: пробіг (наробітка) до кінця терміну експлуатації після відновлювального ремонту (ВР) $l_i = 360, 420, 450, 500 \cdot 10^3$ км; число ПР-3 складає $1 \div 2$; число ПР-2 до ПР-3 зменшується по мірі росту порядкових номерів в циклі (тобто замість традиційно принципу кратності і рівності міжремонтних пробігів дотримуємося принципу «диференційності»); нормативні терміни між ТО-3, ПР-1 також зменшується по мірі росту наробки. Можливі варіанти наведені на рис. 3.

Далі на підставі визначеного потоку відмов ω_i для кожного інтервалу $l_{\text{ТО-3}}$ визначався середній рівень потоку відмов $\bar{\omega}_i$ за весь період роботи локомотивів від одного ТО-3 до другого. Це дає можливість прогнозувати зміну потоку числа відмов $\Delta\omega$ при зміні періодичності ТО, ПР.

В результаті проведення розрахунків були визначені періодичності ТО-3, ПР-1, при яких досягається мінімум витрат на технічне утримання локомотивів для розглянутих варіантів після нормативного терміну використання.

З проведеного в роботі аналізу визначено, що найбільша кількість відмов відповідає варіантам VI, VII, VIII, а найменша – варіантам I і II., але за ряду обмежень найкращим варіантом по періодичності і чередуванні ТО, ПР можна прийняти варіант V.

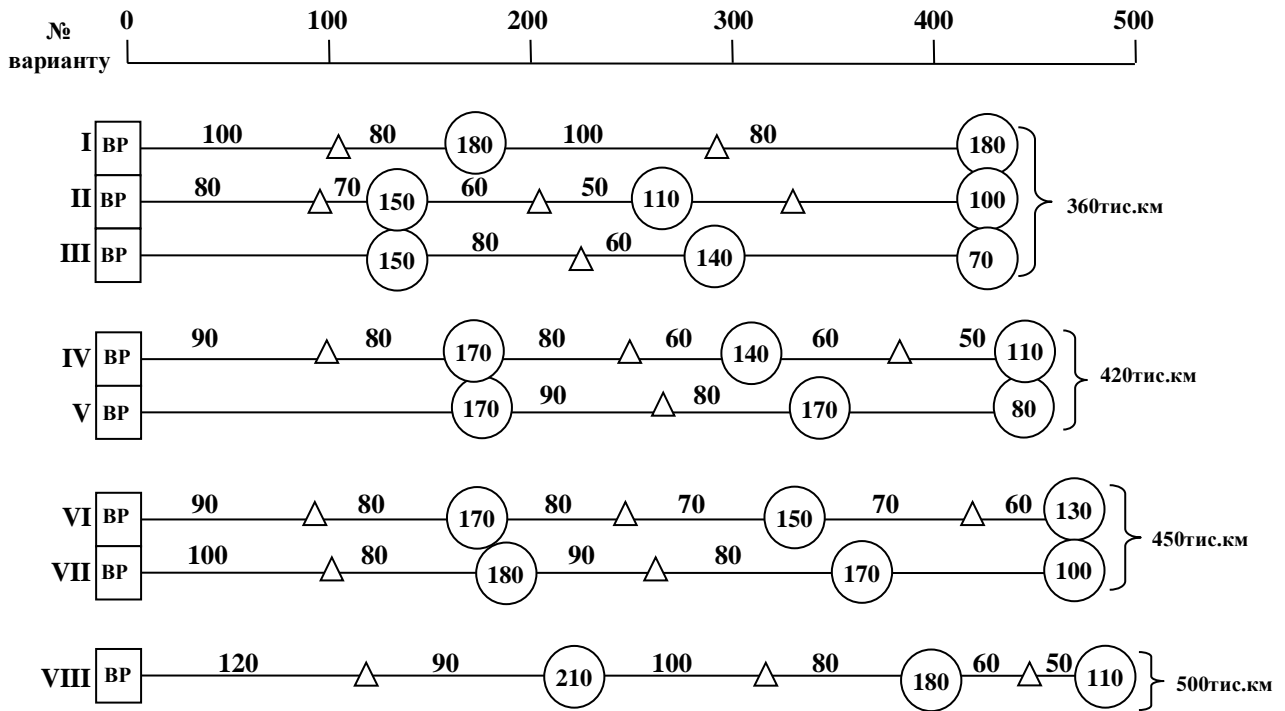


Рисунок 3. – Варіанти періодичності ремонтного циклу ПР-3 і ПР-2 для різних пробігів L_{BP} до списання

Примітка. \bigcirc – ПР-3, числа у колі – пробіг до ПР-3, тис. км;
 \triangle – ПР-2, числа над лініями – пробіг до ПР-2, тис. км.

Оскільки локомотиви належать до категорії машин IV-ої категорії, які складаються з незмінюваних конструктивних елементів вихідної придатності, внаслідок чого для локомотивів, крім періодичних ремонтів, передбачається виконання технічного обслуговування.

В загальному вигляді вихідна придатність локомотива дорівнює

$$E_{mIV} = \sum E_{iIV} + \sum G_{jIV} = \sum E_{iIV} + G_{iIV} + G_{2iIV}^0 + G_{3iIV}^0,$$

де $\sum E_{iIV}$ - придатності всіх конструктивних елементів;

G_{iIV} - придатність, що відповідає довгочасно діючому складанню й припасуванню конструктивних елементів;

G_{2iIV}^0 - частина придатності локомотива, що відповідає недостатньо довго діючій обробці й монтажу конструктивних елементів, яку необхідно через терміни τ_{2iIV}^L повністю відновляти при ремонті $n_{2iIV} - 1$ разів за термін служби локомотива;

G_{3iIV}^0 - частина придатності неконструктивних елементів локомотива, що відповідає короткочасно діючому змащенню і регулюванню, які при використанні локомотива необхідно періодично через терміни τ_{3iIV}^l частково відновляти при технічному обслуговуванні $n_{3iIV} - 1$ разів за термін служби локомотива.

Для кількісної оцінки придатності локомотива пропонуються наступні коефіцієнти.

Коефіцієнт рівномірності визначається відношенням сумарного значення придатностей $\sum E_i$ вихідних конструктивних елементів локомотива до сумарної придатності $\sum n_i E_i$ всіх конструктивних елементів, що зношуються при роботі за термін служби

$$K_p = \frac{\sum E_i}{\sum n_i E_i},$$

де n_i - повна кількість відповідних конструктивних елементів, що зношуються в локомотиві за термін його експлуатації.

Наступним показником оцінки придатності локомотива є коефіцієнт довговічності K_d , що визначається по формулі

$$K_d = \frac{K_p K_c E_M}{K_c \sum E_i + K_p \sum G_j},$$

де E_M – придатність локомотива в цілому.

Питому придатність локомотива можна визначати з виразу

$$P_{\Pi} = \frac{E_M + \sum (n_i - 1) E_i + \sum (n_j - 1) G_j}{T},$$

де T - термін експлуатації локомотива.

Для 8 варіантів подовження терміну експлуатації локомотивів після останнього ВР були розраховані сумарні витрати на всі види ТО, ПР і можливі позапланові ремонти (НР). Кількість ТО, ПР була розрахована за прийнятими варіантами і наведена в роботі. Витрати на ТО-3, ПР-1, ПР-2, ПР-3 були прийняті середнім по залізниці. Як показує практика експлуатації, з ростом пробігу зростає складова понаднорматвних робіт на ТО, ПР. Тому при розрахунках відповідно до варіанту подовження терміну експлуатації ця складова змінювалась в діапазоні $0,26 \div 0,33$ від сумарних витрат на ТО, ПР. Відповідно обов'язковий обсяг регламентних робіт за цих умов зменшувався протилежно понад нормативного терміну. Сумарні витрати, що виникають на позапланових ремонтах, були прийняті в розмірі на 25% більш ніж понад нормативні витрати на планових ТО, ПР. Фактор збільшення терміну експлуатації був врахований збільшенням обсягу ремонтів в діапазоні $0,9 \div 1,25$. Залишкова ціна локомотива на початок експлуатації після КР прийняли в обсязі $C_{\text{л}} = 5 \cdot 10^6$ грн.

На підставі викладеного проведені розрахунки і побудовані графічні залежності зміни показників придатності і витрат для локомотивів (рис. 4, 5, 6, 7). Коефіцієнт рівномірності K_p за рахунок планових заходів з ТО, ПР мав стабільний характер, в діапазоні $0,76 \div 0,73$. Причому найменше його значення прийшлося на 7 варіант організації ТО, ПР в після нормативний термін експлуатації. Це свідчить про те, що при дотриманні технології ТО, ПР досягається стабільний рівень підтримки надійності обладнання.

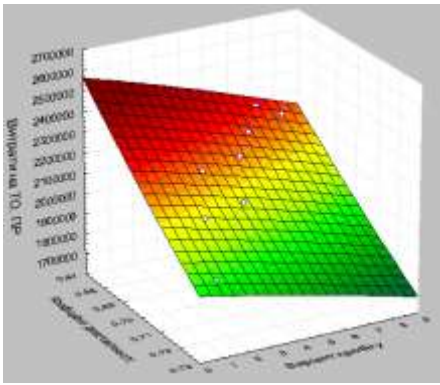


Рисунок 4. – Залежність витрат $Q_{\text{ТО, ПР}}$ на ТО, ПР від варіанту пробігу L_B і коефіцієнту довговічності K_D

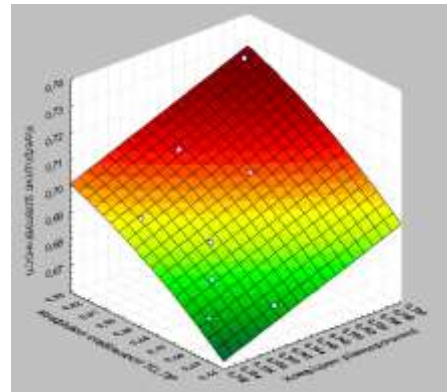


Рисунок 5. – Залежність коефіцієнту довговічності K_D від коефіцієнту рівномірності K_R і коефіцієнту стабільності K_S

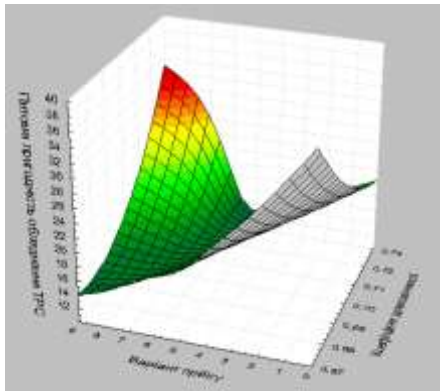


Рисунок 6. – Залежність питомої придатності P_P обладнання локомотивів від варіанту пробігу L_B і коефіцієнту довговічності K_D

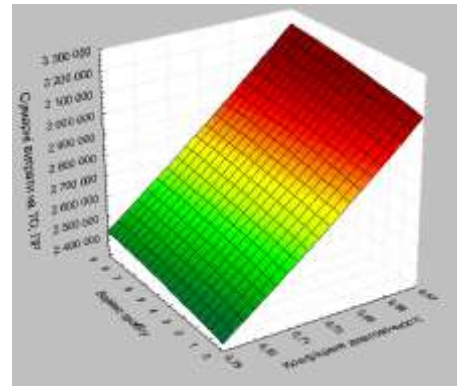


Рисунок 7. – Залежність сумарних витрат $Q_{\text{ЗАГ}}$ на ТО, ПР від варіанту пробігу L_B і коефіцієнту довговічності K_D

Разом з цим при перевищенні нормативного терміну використання локомотивів коефіцієнт стабільності регулювальних робіт K_S зі збільшенням терміну експлуатації зменшується. Діапазон зміни K_S спостерігається в межах $0,55 \div 0,44$. Це підтверджує те, що при зношенні і старінні обладнання все складніше підтримувати технічний стан локомотивів, особливо коли не виконуються спеціальні роботи, пов'язані з подовженням терміну експлуатації.

Такий характер зміни коефіцієнтів K_R і K_S сформував динаміку зміни коефіцієнту довговічності K_D . Діапазон коливань K_D знаходиться в межах $0,73 \div 0,67$, що в значній мірі вдається завдяки коефіцієнту K_R .

Вплив процесів старіння локомотивів в понад нормативний термін експлуатації суттєво впливає на коефіцієнт питомої придатності P_P . З проведених розрахунків визначено, що при збільшенні терміну експлуатації P_P поступово зменшується при рості загальних витрат на підтримку технічного стану локомотива. Звідси можна константувати, що тільки за рахунок коректування міжремонтних пробігів не вдається стабільно підтримувати технічний стан локомотивів, навіть при збільшенні витрат на планові ТО, ПР, що необхідні за

регламентом. Як слідує з практики експлуатації локомотивів, потрібно коректувати обсяги робіт з кожними наступними ТО, ПР за рахунок додаткових діагностичних випробувань обладнання, що доцільно експлуатувати далі.

Третій розділ роботи присвячений розгляду задач, що направлені на обґрунтування тактики підтримки технічного стану локомотивів, в тому числі на підставі вибору показників надійності, синергетичного впливу факторів на надійність агрегатів і впровадження індивідуального прогнозу стану вузлів і агрегатів при подовженні терміну експлуатації.

При подовженні терміну служби локомотивів і, зокрема, несучих конструкцій, проведені дослідження, експлуатаційні і стендові випробування, що дозволили перевести проблему в практичну площу. Однак, за рядом експлуатаційних спостережень можливі випадки, коли руйнування чи виникнення передвідмовного стану спостерігається в місцях, що не передбачають перевірки і технологічного оновлення.

Для нестійких систем треба враховувати той факт, що сумісна дія декільких причин і факторів на поведінку роботи і надійність обладнання локомотивів може дати результат їх дії, що неможливо обчислити як суму результатів причин поодиноці. Нестійкість характерна для систем, що знаходяться далеко від рівноваги, що визначає, що малі відхилення в таких системах можуть рости і переводити об'єкт в іншій стан.

Комбінуючи види законів розподілу навантаження в експлуатації X_e і робочих властивостей X_p , можна визначити оцінки імовірності відмови q_0 при різних співвідношеннях розподілів навантажень і робочих властивостей.

Отримані залежності імовірностей відмови дають можливість вирішити такі практичні завдання: оцінити безвідмовність елементів при відомих початкових характеристиках і умовах навантаження в експлуатації; визначити необхідний статистичний коефіцієнт запасу міцності при заданій безвідмовності; встановити допустимі межі навантажень в експлуатації.

На підставі отриманих результатів розрахунків для законів розподілу відмов побудовані графічні залежності імовірності відмов від параметрів розкиду властивостей робочих характеристик і навантаження і коефіцієнту запасу міцності (рис. 8, 9, 10).

З наведених графіків просліджується стабільність залежності імовірностей відмов для кожного варіанту сполучень від запасу міцності, що характеризує конструктивну досконалість конструкції. Варіація робочих властивостей в більшому ступені притамана меншому запасу міцності і росту імовірності відмов. Найбільш несприятливим сполученням, що впливає на надійність роботи конструкції, є сполучення, коли закони розподілу нормальні. Виходячи з цього, очевидно, що зі збільшенням терміну експлуатації знижується несучі властивості конструкції і розкид експлуатаційних характеристик все істотніше впливає на надійність і визначає необхідність більш ретельної уваги до організації експлуатації локомотивів в понад нормативний термін експлуатації.

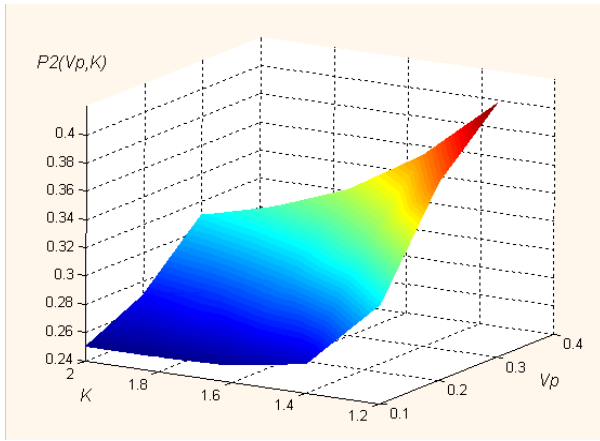


Рисунок 8. – Динаміка імовірності відмови для варіанта I, де
 K – коефіцієнт запасу міцності,
 v_p – коефіцієнт варіації робочих властивостей

(при детермінованому законі розподілу зі щільністю $f_{ед}$, при нормальному законі розподілу зі щільністю $f_{рн}$)

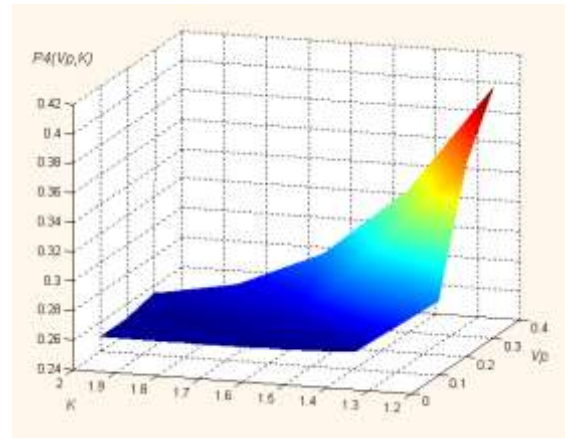


Рисунок 9. – Динаміка імовірності відмови для варіанта II, де
 K – коефіцієнт запасу міцності,
 v_p – коефіцієнт варіації робочих властивостей

(при нормальному законі розподілу зі щільністю $f_{ен}$, при детермінованому законі розподілу зі щільністю $f_{рд}$)

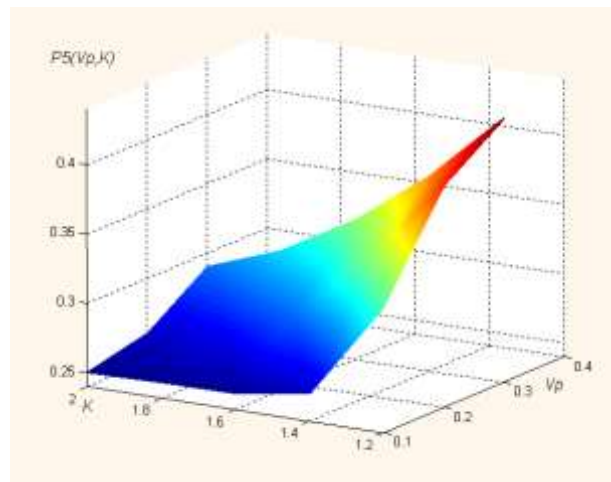


Рисунок 10. – Динаміка імовірності відмови для варіанта III, де
 K – коефіцієнт запасу міцності,
 v_p – коефіцієнт варіації робочих властивостей
 (при нормальному законі розподілу зі щільністю $f_{ен}$,
 при нормальному законі розподілу зі щільністю $f_{рн}$)

Фактично динаміка параметрів стану сукупності складових, вузлів, агрегатів в локомотиві є випадковою функцією $U(t)$, що представляє собою складний математичний об'єкт. Її можна розкласти на елементарні випадкові функції у вигляді

$$U(t) = f_0(t) + V_c^0(t) + V_t' f_i(t),$$

де $f_0(t)$ – математичне очікування випадкової величини стану системи;

V_c^0 – центрована випадкова величина зміни параметра за одиницю наробки під впливом закладених при створенні факторів;

V_t' – центрована випадкова величина в момент t відхилення Z на одиницю зміни параметру під впливом експлуатаційних факторів, $V_t' = V_z$;

$f_i(t)$ – координатна i -та функція.

Для прогнозування стану по реалізації приймаємо, що зміна параметра роботи конкретного обладнання локомотива характеризується екстраполяційною функцією і середнім квадратичним відхиленням цієї функції від фактичної зміни параметру, що діагностується. Особливість прогнозування по реалізації полягає в тому, що в якості випадкової величини Z виступає показник V_c , який визначається за результатами вимірювання параметру стану конкретного обладнання за задану наробку. Рішення задачі зводиться до визначення – чи досягає $U(t)$ граничної величини параметра, коли локомотив працює на протязі часу t_m . Коли t_m не задано, то рішення зводиться до знаходження залишкового ресурсу обладнання по параметру при відомих t і $U(t)$.

Економічний критерій прогнозування по реалізації визначається за умови, що імовірнісні питомі витрати, що виникають при усуненні відмови за прогнозовний період t_m і при заміні в кінці періода, повинні бути меншими питомих витрат на заміну в момент прогнозу t . Цільова функція оптимального залишкового ресурсу при прогнозуванні має вигляд

$$C(t_{\text{зал}}) = \frac{(1 - P(t_{\text{зал}})) \cdot A}{t_{\text{ср}}} + \frac{P(t_{\text{зал}}) \cdot C}{t_{\text{ср}}} \rightarrow \min ,$$

де $P(t_{\text{зал}})$ – імовірність безвідмовної роботи обладнання;

$$P(t_{\text{зал}}) = f_1(U(t), t, V_c, U_{\text{п}}, \alpha, V_z); \quad 0 < P(t_{\text{зал}}) < 1;$$

A – середні витрати на усунення відмов в період експлуатації;

$t_{\text{ср}}$ – середній ресурс роботи обладнання; $t_{\text{ср}} = f_2(U(t), t, V_c, U_{\text{п}}, \alpha, V_z)$;

$$0 < t_{\text{ср}} < t_{\text{пр}};$$

C – середні витрати на планові роботи.

Для різних законів розподілу помилки прогнозування отримані формули визначення залишкового ресурсу обладнання.

Синтезування прогнозу технічного стану локомотива будується на базі прогнозів окремого обладнання за умови виконання вимог: нормування окремих прогнозів, впливу старіння, зв'язку параметрів стану обладнання локомотива.

У четвертому урзділі визначені нові підходи до удосконалення стратегії і тактики забезпечення ефективності використання в після нормативний термін експлуатації. Як показують дослідження, для технічних систем, таких як локомотив, не завжди повністю відомі необхідні характеристики надійності. Це відноситься до функції розподілу часу безвідмовної роботи, функції розподілу часу відновлення і функції розподілу часу непередбачених відмов. Це обумовлює в експлуатації необхідності розгляду і використання найгірших ситуацій чи варіантів проведення ТО, ПР локомотивам. Тобто виникає конфліктна ситуація, що характерна для теорії ігор, яка розглядає випадки, коли терміни відновлювальних робіт слід обирати так, щоб максимізувати мінімум показників якості функціонування, що відповідає найгіршому варіанту характеристики надійності.

При довикористанні локомотивів в після нормативний термін виникає проблема розробки деякої стратегії технічного обслуговування, яка дозволила б отримати від експлуатації локомотива максимально можливий ефект.

Оскільки множина E можливих станів локомотива є кінечною $E = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$, то траєкторії процесу $x(t)$, що описує еволюцію станів локомотива в часі, є ступінчовими функціями. На траєкторії цього випадкового процесу визначимо функціонал, який при фіксованих характеристиках надійності буде характеризувати стратегію обслуговування локомотивів. За відрізок часу $[0, t]$ траєкторія процесу $x(t)$ задається кількістю переходів m , моментами переходів $t_0 = 0 < t_1 < t_2 < \dots < t_m < t$ і набором станів $E_{i_0}, E_{i_2}, \dots, E_{i_m}$, в яких локомотив знаходиться між моментами переходів. Тоді функціонал можна визначити як питомий добуток

$$I = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \mu \left\{ \sum_{k=0}^{m-1} C_{i_k} (t_{k+1} - t_k) + C_{i_m} (t - t_m) \right\} = \sum_{i=1}^n C_i \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\mu(x_i(t))}{t} = \sum_{i=1}^n C_i K_i,$$

де C_i – константи, що визначають добуток за одиницю часу знаходження локомотива в стані E_i ;

$\mu(x_i(t))$ – сумарний час перебування процесу $x(t)$ в стані E_i ;

K_i – відношення середнього часу μ_i в стані E_i за період відновлення до середнього терміну цього процесу μ_i .

Для локомотива, що є системою відновлювальною, тобто процес є регенованим, функціонал може бути представленим у вигляді

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \mu_i}{\mu}.$$

Середні терміни μ_i і μ процесу $x(t)$ залежать від функцій розподілу часу ε безвідмовної роботи системи $F(x)$, функції розподілу часу ζ непередбачених відмов $\Phi(x)$ і характеристик термінів проведення ТО, ПР локомотивів. Тоді досліджуваний функціонал можна записати як дрібно-лінійний функціонал виду

$$I = I(G, \Phi, F) = \frac{\int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} A(x, v, y) dG(x) d\Phi(v) dF(y)}{\int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} B(x, v, y) dG(x) d\Phi(v) dF(y)},$$

де $A(x, v, y)$ – середній час знаходження процесу $x(t)$ в стані E ;

$B(x, v, y)$ – середній час періоду регенерації процесу $x(t)$ за умови, що час безвідмовної роботи $\varepsilon = y$, час непередбачених відмов $\zeta = v$; ТО, ПР виконується через час $\eta = x$.

На підставі розглянутого підходу були визначені наступні показники, що характеризують ефективність роботи:

– коефіцієнт готовності K_r (доля часу перебування локомотива в робочоспроможному стані);

– імовірність виконання завдання P (імовірність, що в будь – якій момент часу локомотив знаходиться в робочоспроможному стані і безвідмовно працюватиме за термін $z > 0$);

– середній питомий прибуток S (за період безвідмовної роботи локомотив приносить добуток, а в інший на локомотив витрачаються кошти);

– середні питомі витрати (витрати на одиницю часу функціонування).

Таким чином, в умовах, коли деякі характеристики невідомі, для рішення задачі вибору стратегії відновлювальних робіт (вибору закона розподілу $G(x)$) необхідно використовувати мінімаксний принцип, при якому визначається деякий гарантований ефект від експлуатації локомотивів в після нормативний термін експлуатації.

Задача формулюється, як визначення функцій $F \in \Omega(n, y, \pi)$, $G \in \Omega$, $\Phi \in \Omega$ при якому досягається

$$I = \max_{\Phi \in \Omega} \min_{G \in \Omega} \min_{F \in \Omega(n, y, \pi)} I(F, \Phi, G)$$

і визначення цього екстремума.

В роботі розглянуті декілька моделей (стратегій) забезпечення експлуатаційної надійності локомотивів, що передбачають різну ідеологію організації ТО, ПР в після нормований термін експлуатації.

Модель 1 (Стратегія А). Предбачається відновлення локомотива після появи відмови.

$$x(t) = \begin{cases} E_0 - \text{локомотив робочоспроможний до моменту } t \text{ і до відмови працює час, що більший чи дорівнює } z; \\ E_1 - \text{локомотив робочоспроможний до моменту } t \text{ і до відмови працює час, що менший } z; \\ E_2 - \text{на час } t \text{ на локомотиві є прихована відмова;} \\ E_3 - \text{на час } t \text{ локомотив ремонтується.} \end{cases}$$

Для цієї моделі експлуатації визначені параметри надійності, що наведені в 5 розділі роботи.

Модель 2 (Стратегія В). Відновлення локомотива виконується або в момент відмови, або в наперед призначений момент часу.

$$x(t) = \begin{cases} E_0 - \text{локомотив робочоспроможний до моменту } t \text{ і до відмови працює час, що більше чи дорівнює } z; \\ E_1 - \text{локомотив робочоспроможний до моменту } t \text{ і до відмови працює час, що менший } z; \\ E_2 - \text{на момент } t \text{ на локомотиві проводиться позаплановий ремонт;} \\ E_3 - \text{на момент } t \text{ на локомотиві проводяться планові ТО, ПР.} \end{cases}$$

Методика визначення показників надійності стратегії В базується на даних:

– вектор $y = (y_0 = 0, y_1, \dots, y_n)$ – функції розподілу безвідмовної роботи $F(x)$ і вектор $\pi = (\pi_0 = 0, \pi_1, \dots, \pi_n)$ – прийнятих значень;

– середній час ТО, ПР – T_{nm} ;

– середній час позапланового ремонту – T_{an} ;

– витрати на одиницю часу при проведенні ТО, ПР – C_{nm} ;

– витрати на одиницю часу при проведенні позапланового ремонту \bar{C}_{a1} ;

– прибуток C_0 , що отримується за одиницю часу безвідмовної роботи систем.

Відповідні розрахунки наведені в розділі 5 роботи.

Модель 3 (Стратегія С). Ремонт і відновлення систем проводяться в момент часу виникнення відмови, а також в наперед призначений момент часу.

$$x(t) = \begin{cases} E_0 - \text{локомотив в момент } t \text{ робочоспроможний і може працювати час, що більший } z; \\ E_1 - \text{в момент } t \text{ локомотив робочоспроможний, але до відмови пропрацює час, що менший } z; \\ E_2 - \text{в момент } t \text{ локомотив знаходиться в неробочоспроможному стані по причині прихованої відмови;} \\ E_3 - \text{в момент } t \text{ на локомотиві проводиться позаплановий ремонт по усуненню прихованої відмови;} \\ E_4 - \text{в момент } t \text{ на локомотиві проводиться позаплановий ремонт;} \\ E_5 - \text{в момент } t \text{ проводиться планові ТО, ПР.} \end{cases}$$

Задача полягає в визначенні гарантованого середнього виграшу

$$I = \max_{G \in \Omega} \min_{\Phi(v) \in \Omega} \min_{F \in \Omega(n, y, \pi)} I(F, \Phi, G).$$

Пошук показників надійності зводиться, зокрема, для коефіцієнта готовності, до визначення функції

$$K_r(G, \Phi, F) = \frac{\sum_{i=0}^n A(x, y_i, v) \Delta \pi_i}{\sum_{i=0}^n B(x, y_i, v) \Delta \pi_i}.$$

Аналогічно визначаються параметри імовірності безвідмовної роботи, середніх питомих витрат та прибутку, що приводяться в 5 розділі роботи.

Для втілення розглянутих тактик ТО, ПР в період після нормативного терміну експлуатації локомотивів слід враховувати, що за цей період окремі вузли і агрегати можуть не досягнути граничного рівня надійності, характеризуватися залишковою ціною, витратами і часом, що потрібен на їх заміну.

Тому доцільно визначити умови, коли при ремонті або заміні окремих агрегатів треба проводити роботи, що об'єднують технологічні процеси по всім агрегатам.

В якості цільової функції вибору такої системи ТО, ПР в такій постановці може бути функція виду

$$S_N = f(d_{l_i}, g_{l_i}, y_{l_i}, z_{l_i}) \rightarrow \min ,$$

де $d_{l_i}, g_{l_i}, y_{l_i}$ – відповідні втрати від простою; недовикористання ресурсу; витрати на розбирання – збирання і обкатку агрегатів при одночасній заміні (ремонті) ряду агрегатів на одному ТО, ПР;

z_{l_i} – витрати на заробітню платню ремонтному персоналу при відповідній технології ТО, ПР;

l_i – кількість одночасно замінюємих вузлів або агрегатів.

Задача оптимізації полягає в визначенні мінімальних витрат від групових робіт по вузлах і агрегатах при ТО, ПР за рахунок варіювання l_i .

В розгорнутому вигляді значення цільової функції має вигляд

$$S_N = \alpha_1 \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^{l_i} \tau_j + \alpha_2 \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^{l_i} t_j + \sum_{i=1}^N \left[\sum_{j=1}^{l_i} C_j \left(\frac{x_j - u_i}{x_j} \right) + \varepsilon \sum_{j=1}^{l_i} C_j (x_j - u_j) \right] + \\ + \frac{\alpha D}{c} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} \left(\max_{l_i} C_j \right) \rightarrow \min_{\substack{x_j \in x \\ N > 0}},$$

де кожна складова визначає скорочення відповідних витрат на організацію ТО та ПР локомотивів.

Задача вибору оптимальної структури і періодичності замін вузлів і агрегатів локомотивів формулюється у вигляді управляючих дій

$$S[P(x_j), r(u_i)] = S \rightarrow \min_{\substack{p(x_j) \in H_p, \\ r(u_i) \in H_r}},$$

де $p(x_i)$ – вектор фазових координат або станів локомотива, визначаючий показник надійності при заданому пробігу через ресурси вузлів локомотива в граничній області ($p(x_j) \in H_p$);

$r(u_i)$ – вектор управлінь, який представляється як множина ремонтних дій в окремі моменти часу на відновлення робочоспроможності локомотива в граничній області ($r(u_j) \in H_r$).

Таким чином, умова оптимальності такої системи ремонту буде виконана, коли

$$Q_N^i = \max_{\substack{u_i \in u \\ x_j \in x_i, N > 0}} Q_N,$$

де $Q_N = S_2(u_N, x_N) - S_1(u_N, x_N)$;

$$S_2(u_N, x_N) = \Delta d(u_i, x_j) + \Delta z(u_i, x_j) + \Delta \psi(u_i, x_j);$$

$$S_1(u_N, x_N) = g(u_i, x_j), \quad j = \overline{1, l_i}, \quad i = \overline{1, N}.$$

В такій постановці задачі виконується вибір обсягів робіт ТО, ПР в період після нормативного терміну використання локомотивів.

П'ятий розділ роботи присвячений розгляду підходів щодо реалізації системи утримання локомотивів з використанням індивідуального прогнозування його технічного стану в після нормативний термін експлуатації за даними статистичної інформації.

Підтримка ремонтного господарства забезпечується створенням інформаційно - керуючої системи, що базується на принципах доступності, відкритості, можливості удосконалення.

Вибір тактики ремонту локомотивів в після нормативний термін визначається при моделюванні показників ефективності за наступних варіантів (стратегій) організації ТО, ПР.

Варіант 1. Ремонти виконуються тільки після виникнення відмови з повним відновленням параметрів локомотива.

Варіант 2. Планові ТО, ПР і позапланові ремонти (НР) з повним відновленням систем локомотива, причому НР проводиться відразу після виникнення відмови, ТО, ПР доповнюються проведенням діагностичного обстеження.

Варіант 3. Виконуються тільки планові ТО, ПР, які повністю відновлюють локомотив, причому при виявленні відмови виконуються НР систем локомотива.

Варіант 4. Для локомотивів проводяться НР після виникнення відмов окремих агрегатів чи систем.

Варіант 5. Для локомотивів проводять позапланові ремонти окремих агрегатів, які відмовили, а також планові ТО, ПР всіх систем локомотива в моменти, коли наробіток досягає заданої величини (після ТО, ПР робота систем локомотива повністю відновлюється).

Для оцінки ефективності варіантів визначалися наступні параметри:

- функція розподілу часу роботи агрегату локомотива до відмови $F(t)$;
- середній час роботи агрегату локомотива до відмови T ;
- середній час прояву відмови t_n ;
- середня тривалість позапланового ремонту T_a ;
- витрати за одиницю часу при наявності прихованої відмови C_i ;
- витрати за одиницю часу при проведенні позапланового ремонту агрегату C_a ;
- прибуток, одержуваний за одиницю часу безвідмовної роботи C_o ;
- оперативний час роботи агрегату t_o ;
- інтенсивність відмов $\lambda(t)$;
- середня тривалість планових ТО, ПР T_n ;
- витрат за одиницю часу при проведенні ТО, ПР C_n ;
- щільність розподілу часу роботи до відмови $f(t) = F'(t)$;
- функція відновлення $H(t)$.

Основні показники оцінки якості функціонування локомотивів в експлуатації для 5 варіантів організації ТО, ПР наведені в розділі 5 дисертації.

На підставі цих підходів для після нормативних пробігів: 360, 420, 450, 500 тис. км були проведені розрахунки показників ТО і ПР. Для кожного з обраних після нормативних пробігів згідно попередніх розділів були визначені варіанти чередування ТО, ПР. Це, в свою чергу, дозволило оцінити параметр середнього напрацювання на відмову T , в рамках яких мінялися показники середнього часу простою на ТО, ПР – T_n і часу простою на позапланових ремонтах, які відповідно приймалися для $T_n = 31 \div 60$ годин, для $T_a = 10 \div 20$ годин. Час виявлення відмови для проведення позапланового ремонту t_n приймаєм рівним 1 година.

За облікових даних ряду депо і нормативним показникам середніх питомих прибутків від експлуатації локомотивів приймалися значення $C_0=200$ грн/год, середні сумарні витрати при проведенні НР визначалися як $C_a = T_a \cdot C_0$, а витрати на виявлення скритої відмови $C_c = 0,5 \cdot C_a$.

Діапазон середньодобових пробігів був прийнятий від 300 до 400 км/доб.

Використовуючи результати розрахунків за математичними формулами, що наведені в роботі, були побудовані залежності динаміки коефіцієнту готовності K , коефіцієнту оперативної готовності R , середніх питомих витрат на експлуатацію C^* і середніх питомих прибутків C від пробігів 300, 420, 450, 500 тис. км для трьох перших стратегій (варіантів) в після нормативний період експлуатації. Дві останні

стратегії не були прийняті до розгляду в зв'язку з протиріччям щодо доцільності реалізувати їх для організації ТО,ПР локомотивів.

На рис. 11 приведена номограма змін показників K , R , C^* , C від величини ΔL після нормативного пробігу.

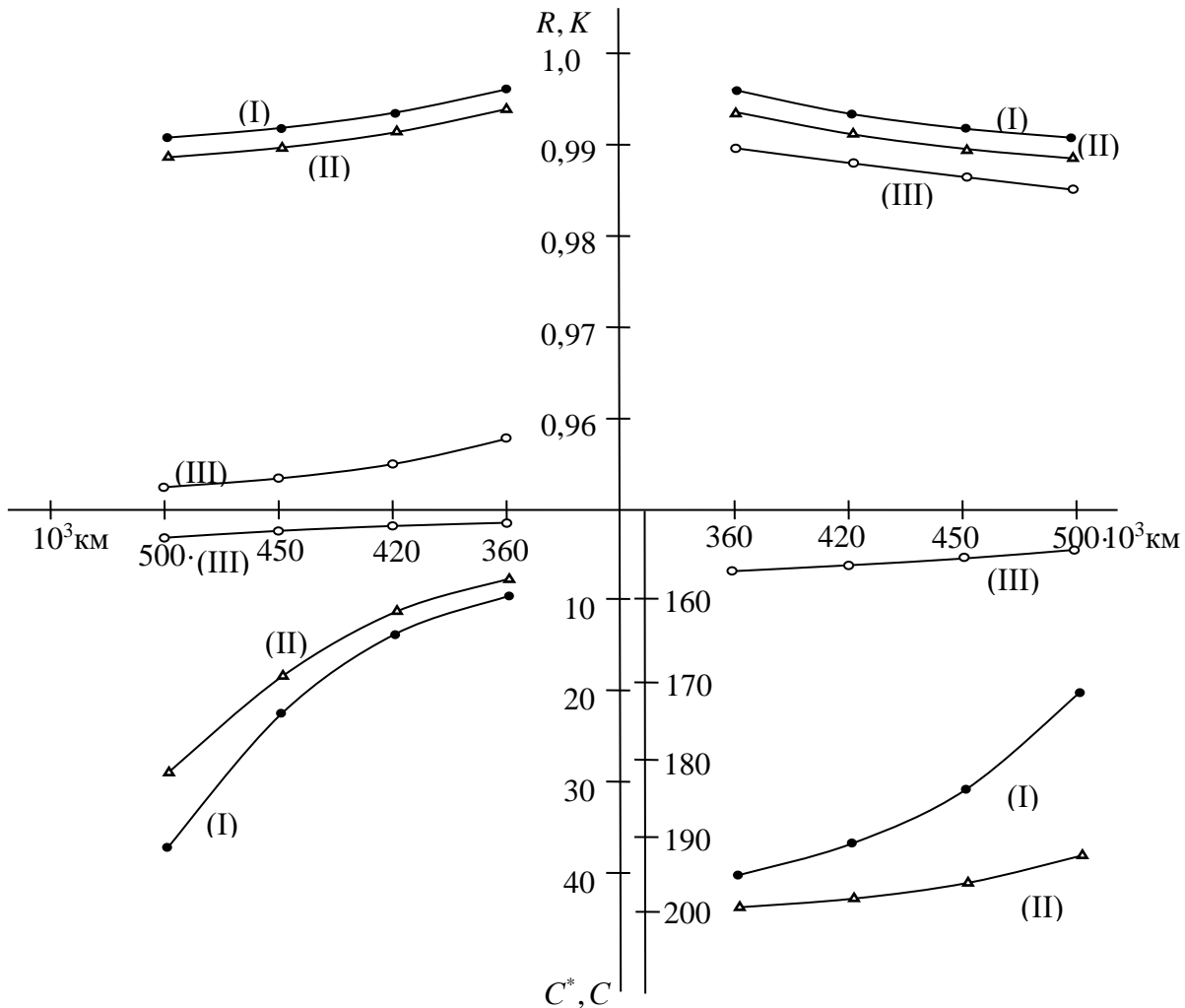


Рисунок 11. – Номограма зміни коефіцієнтів K , R , C^* , C від величини після нормативного пробігу

Застосування I і II стратегій дають практично ідентичні результати зміни K , а для III стратегії цей параметр зменшується більш інтенсивно. Динаміка коефіцієнту оперативної готовності відрізняється по кожній стратегії. Однак стратегія II по цих показниках більш сприятлива.

Динаміка середніх витрат на ТО, ПР для стратегії I і II значно відрізняється від стратегії III, причому для стратегії I і II характерна відмінність темпу росту витрат на ТО, ПР в після нормативний термін експлуатації. При цьому стратегія II привабливіша, що пояснюється адаптацією під умови експлуатації при організації ТО, ПР з діагностуванням.

Аналогічні залежності для різних стратегій ТО, ПР в залежності параметрів t_0 , T_a , λ розглянутих параметрів ефективності використання локомотивів показують доцільність використання стратегії II.

Методика формування структури технологічного процесу ТО і ПР у після нормативний термін експлуатації полягає у виборі множини ознак, що характеризують виконувані роботи, побудові фреймів цих робіт, формування технологічного процесу по розрахованих фреймах.

Розв'язок задачі розрахунку фреймів розділяється на: побудову моделі, що відбиває основні властивості процесу, дослідження моделі і розрахунки критерію якості.

При побудові моделі вирішується задача ідентифікації множини робіт і об'єднання їх у групи, для чого проводиться заміна їх цифровими кодами.

Дослідження отриманої моделі включає розв'язок двох задач.

Розв'язок першої задачі являє собою задачу декомпозиції фреймів і складається із підзадач перекодування фреймів і визначення їх кількості. Розв'язок другої задачі складається в розрахунках критерію якості F , визначенні координат центру фрейма і найкоротшого незамкнутого шляху між фреймами.

Це дозволяє по наявній статистичній інформації провадити розрахунки по визначенню необхідного обсягу робіт при виробництві ТО і ПР у після нормативний термін експлуатації (рис. 12).



Рисунок 12. – Реалізація проектування ТО, ПР локомотивів в після нормативний термін експлуатації

Шостий розділ роботи присвячений оцінці ефективності подовження терміну служби локомотивів понад нормативний і стратегії оновлення експлуатаційного парку.

Сучасний стан локомотивів на 80 – 90 % досяг свого граничного ресурсу, що в умовах обмеження можливостей економіки не дозволяє проводити радикальні заходи по заміні старіючого парку. Крім того разом з локомотивами досягла граничних можливостей ремонтна база. Це обумовлює необхідність обґрунтування стратегії ТО, ПР локомотивів, що експлуатуються, і тих локомотивів, що будуть поставлятися в локомотивні депо. В цих умовах доцільно визначення ефективності подовження терміну експлуатації локомотивів після вичерпання нормативного ресурсу, що базується на інформації про пробіги локомотивів і технічного стану його обладнання.

Для вирішення цього питання розроблена граф-модель функціонування парку локомотивів в умовах локомотивного депо (рис. 13), на підставі якої виконані відповідні розрахунки.

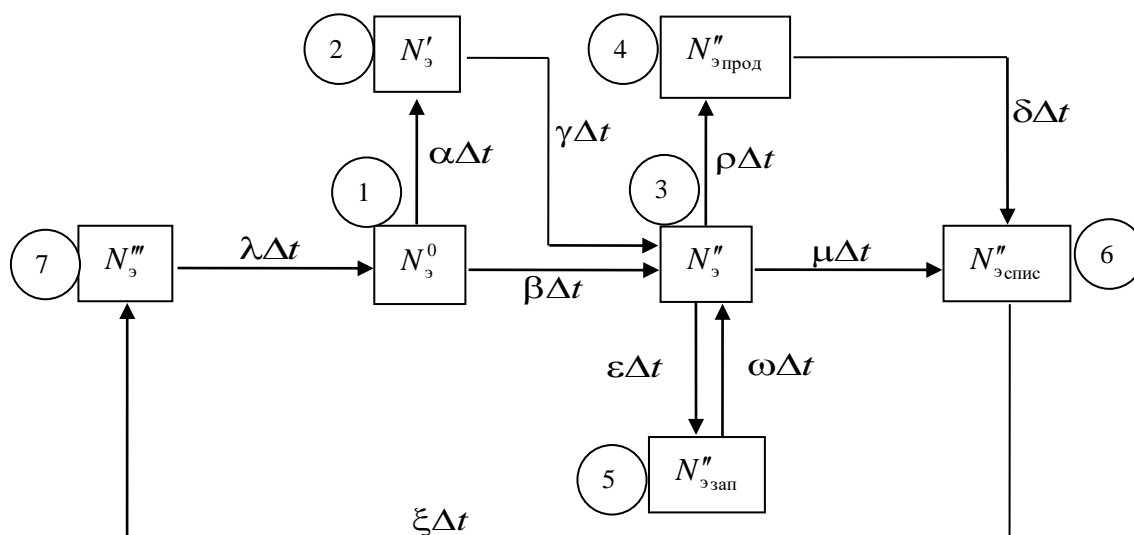


Рисунок 13. – Граф – модель функціонування локомотивів в локомотивному депо

Введені такі позначення:

N_3^0 – експлуатаційний парк локомотивів в депо;

N_3' – локомотиви, що мають пробіги значно менші нормативного;

N_3'' – локомотиви, що досягли нормативного пробігу;

$N_{\text{эпрод}}''$ – локомотиви, для яких доцільно подовження терміну експлуатації понад нормативний, в тому числі можлива модернізація;

$N_{\text{эзап}}''$ – локомотиви, що переводяться в запас залізниць;

$N_{\text{эспис}}''$ – локомотиви, що списується;

N_3''' – локомотиви, що надходить з заводу.

Інтенсивності переходів локомотивів в різні стани наведені в дисертаційній роботі.

Для представленого графу станів методами динаміки середніх складемо систему диференційних рівнянь.

В стаціонарному режимі отримані значення складових системи рівнянь

$$N_{\text{з}}^0 = \left[1 + \frac{\alpha}{\gamma} + (\alpha + \beta) \left(\frac{1}{\xi} + \frac{1}{\lambda} \right) + \frac{(\alpha + \beta)}{(\rho + \mu)} \left(\frac{\rho}{\delta} + \frac{\varepsilon}{\omega} + 1 \right) \right]^{-1} N_{\text{з}};$$

$$N'_{\text{з}} = \frac{\alpha}{\gamma} N_{\text{з}}; \quad N''_{\text{з}} = \frac{\alpha + \beta}{\rho + \mu} N_{\text{з}}; \quad N''_{\text{зпрод}} = \frac{\rho}{\delta} \frac{\alpha + \beta}{\rho + \mu} N_{\text{з}}; \quad N''_{\text{ззап}} = \frac{\varepsilon}{\omega} \frac{\alpha + \beta}{\rho + \mu} N_{\text{з}};$$

$$N''_{\text{зспис}} = \frac{\alpha + \beta}{\xi} N_{\text{з}}; \quad N'''_{\text{з}} = \frac{\alpha + \beta}{\lambda} N_{\text{з}}.$$

Звідси визначається величина коефіцієнта готовності локомотивів як $K_{\Gamma} = \frac{N_{\text{з}}^0 + N''_{\text{зпрод}}}{N_{\text{з}}}$, що характеризує ефективність їх експлуатації з точки зору забезпечення експлуатаційної надійності. Задаючись діапазоном зміни інтенсивностей переходів локомотивів в відповідні стани, оцінювався їх вплив на коефіцієнт готовності. За критерієм $C = \sum C_i P_i \rightarrow \min$, де C_i – витрати на утримання локомотивів в i -х станах, виконується вибір тих варіантів функціонування локомотивів (поступове оновлення і модернізація з подовженням терміну експлуатації; оновлення і подовження терміну експлуатації і т.і.), які забезпечують мінімум витрат на утримання локомотивів.

В якості цільової функції, що визначає оцінку ефективності експлуатації локомотивів обрана функція

$$E = \sum_{j=Ne}^{N_{\text{опт}}} (\Delta K_{\text{Л}} + \Delta A_{\text{T}} + \Delta C_{\text{P}} + \Delta C_{\text{екп}} + \Delta C_{\text{ал}} + \Delta C_{\text{бр}} - \Delta Z_{\text{зап}} - \Delta D - \Delta K^{\text{H}} - \Delta O) \rightarrow \max ,$$

де $\Delta K_{\text{Л}}$ – економія від скорочення капітальних вкладень в локомотивний парк при подовженні терміну служби понад нормативний термін;

ΔA_{T} – економія від скорочення витрат паливо – мастильних матеріалів;

ΔC_{P} – економія від скорочення витрат на ТО, ПР;

$\Delta C_{\text{екп}}$ – економія від скорочення витрат на екіпірування;

$\Delta C_{\text{ал}}$ – економія від скорочення витрат на реновацію локомотивів;

$\Delta C_{\text{бр}}$ – економія від скорочення витрат на утримання локомотивних бригад;

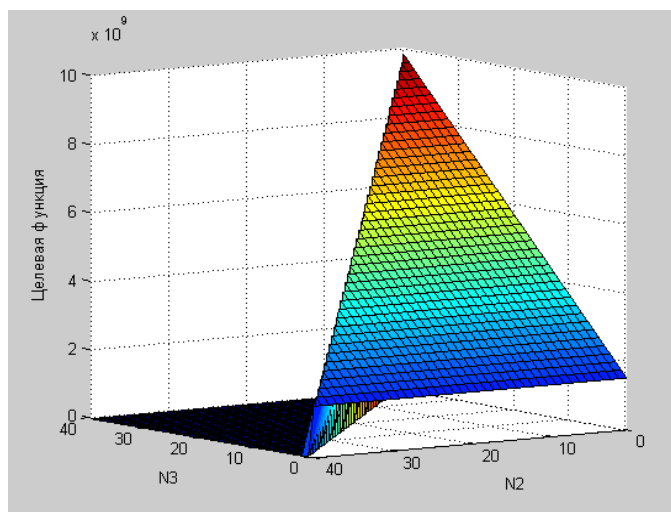
$\Delta Z_{\text{зап}}$ – додаткові витрати на утримання локомотивів при відправленні в запас;

ΔD – витрати від скорочення добутку на перевезення при вилученні з експлуатації старих локомотивів, коли нові локомотиви в депо не поступил;

ΔK^H – витрати на придбання нових локомотивів;

ΔO – витрати на переобладнання ремонтної бази.

На підставі наведених параметрів побудовані залежності ефективності зміни парку від темпу заміни діючих локомотивів на нові (рис.14).



N_3 – нові локомотиви, що надходять в депо;

N_2 – локомотиви, що продовжують експлуатуватися в депо

Рисунок 14. – Динаміка утримання локомотивів в залежності від темпу заміни старих локомотивів новими та подовження експлуатації локомотивів в понад нормативний термін

Рішення цієї задачі пов'язано з необхідністю обґрунтування потужностей ремонтного господарства локомотивних депо відповідно до структури парку і його тягового-енергетичних характеристик. Для визначення факторів, що впливають на ефективність функціонування локомотивного депо для декількох серій локомотивів (електровозів і тепловозів) проаналізовані середньорічні витрати на утримання за умови роботи в межах нормативного терміну експлуатації і понад нормативний термін з урахуванням зміни собівартості при наближенні до і понад нормативний термін використання

$$C_p = \sum_{i=1}^n C_{TO-i} \cdot N_{TO-i} + \sum_{i=1}^m C_{PP-i} \cdot N_{PP-i},$$

де C_p – річні витрати на утримання локомотивів;

C_{TO-i} – собівартість одиниці ТО i -го виду;

N_{TO-i} – кількість ТО i -го виду за рік на один локомотив;

$\sum C_{PP-i}$ – собівартість одиниці ПР i -го виду;

N_{PP-i} – кількість ПР i -го виду за рік на один локомотив.

Середньорічна кількість ТО, ПР визначається по формулі:

$$N_i = \frac{\frac{L_{p1}}{L_i} \left(1 - \frac{L_i}{L_{i+1}}\right) + \frac{L_{p2}}{L_i} \left(1 - \frac{L_i}{L_{i+1}}\right) + \dots + \frac{L_{pn}}{L_i} \left(1 - \frac{L_i}{L_{i+1}}\right)}{n},$$

де $L_{p1}, L_{p2}, \dots, L_{pn}$ – середньорічний пробіг локомотива на перший, другий і n – й роки;

L_i – норми міжремонтних пробігів.

На підставі цих даних на ЕОМ оброблені масиви витрат окремо для тепловозів і електровозів ряду локомотивних депо і отримані наступні залежності витрат від потужності N_3 і зчіпної ваги локомотива P_T

$$C_p^{\text{теп}} = 423339 + 1765,5 \left(\frac{N_3}{P_T}\right) + 826,5 \left(\frac{N_3}{P_T}\right)^2;$$

$$C_p^{\text{ел}} = 456883 - 106,93 \left(\frac{N_3}{P_T}\right) + 238,9 \left(\frac{N_3}{P_T}\right)^2.$$

Середня приведена собівартість C_p на одиницю потужності за рік отримана у вигляді

$$\frac{C_p^{\text{теп}}}{N_3} = 530,54 - 17,3 \left(\frac{N_3}{P_T}\right) + 0,303 \left(\frac{N_3}{P_T}\right)^2; \quad (1)$$

$$\frac{C_p^{\text{ел}}}{N_3} = 390,8 - 18,2 \left(\frac{N_3}{P_T}\right) + 0,312 \left(\frac{N_3}{P_T}\right)^2. \quad (2)$$

Із приведених залежностей видно, що середні витрати C_{pi} з ростом $\left(\frac{N_3}{P_T}\right)$ збільшуються, а приведені витрати на утримання одиниці потужності локомотива мають зони мінімальних значень.

Після диференціювання рівнянь (1), (2) і прирівняння їх до нуля визначимо мінімальні приведені характеристики локомотивів.

Для тепловозної тяги вони складають $\frac{N_3}{P_T} = 28$ кс/т, для електровозної тяги

$\frac{N_3}{P_T} = 29$ кс/т, а відповідні їм витрати на утримання локомотивів відповідно для

тепловозної тяги $\frac{C_p}{N_3} = 270$ грн/кс і електровозної тяги $\frac{C_p}{N_3} = 150$ грн/кс.

Отримані характеристики дозволяють коректувати ремонтні потужності локомотивного депо як в ході заміни локомотивів, так і подовжені терміну їх

використання понад нормативний термін за рахунок коректування трудоемності ТО, ПР по роках життєвого циклу, визначенні кількості ремонтного персоналу та необхідного для ремонту обладнання та ремонтних ділянок.

Розрахунки економічної ефективності подовження терміну експлуатації локомотивів понад нормативний термін на одну секцію локомотива склали 1,69 млн гривень на рік (секцію).

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-прикладна проблема розвитку наукового обґрунтування подовження терміну служби локомотивів в умовах сучасного економічного і технічного стану залізниць.

Основні наукові і прикладні результати роботи полягають в наступному.

1. Обґрунтовані граничні терміни економічної доцільності експлуатації локомотивів в понад нормативний термін експлуатації, що забезпечують необхідний рівень надійності його обладнання. Показано, що термін служби локомотивів залежить від інтенсивності їх використання в різні періоди експлуатації. З точки зору використання ресурсу термін служби локомотивів може бути подовжений більше нормативного до рівня 30÷40 років за умови дотримання комплексу умов до ТО, ПР.

2. Вибір періоду проведення заходів з подовження терміну використання локомотивів повинен базуватися на упередженні часу, коли досягнута максимальна ефективність використання локомотивів. Це передбачає необхідність формування бази даних щодо динаміки і темпів росту витрат на утримання локомотивів. Задача пошуку оптимального терміну проведення заходів з подовження періоду експлуатації локомотивів повинна вирішуватися комплексно з визначенням обсягів робіт для реалізації цих заходів.

3. В основу обґрунтування терміну експлуатації локомотива необхідно обирати критерій оптимальності довговічності ресурсу, поведінка якого дозволяє визначити термін експлуатації локомотивів при переході від відносних питомих параметрів до загальних.

4. Обґрунтовані терміни подовження експлуатації локомотивів і приведені варіанти періодичності ТО-3, ПР локомотивів для реалізації подовження терміну їх експлуатації. На підставі цього визначена стратегія розрахунку і оцінка різних варіантів виконання ТО, ПР.

5. Розроблені наукові основи формування стратегії забезпечення експлуатаційної надійності в після нормативний термін експлуатації локомотивів. Це передбачало вибір інформативних показників для оцінки надійності локомотивів таких як: економічні показники, показники прибутку за період експлуатації, показники експлуатаційних витрат. В якості доповнення до проведених раніше досліджень запропонована методика визначення потенційних місць концентрації напружень за допомогою синергетичного підходу і варіювання факторів витривалості матеріалу та зміни навантажень в експлуатації.

6. Поведінка витрат на ТО, ПР залежить від варіантів організації ремонтного циклу, варіації коефіцієнтів довговічності, рівномірності, стабільності, діапазон яких в експлуатації не повинен перевищувати відповідно значень $K_d = 0,67 \div 0,73$; $K_p = 0,73 \div 0,76$; $K_c = 0,44 \div 0,55$. Питома придатність обладнання локомотивів

залежить від варіантів організації ремонтного циклу і коефіцієнту довговічності і має складну структуру області досягнення гранично допустимого значення.

7. Визначені критерії оцінки залишкового ресурсу при прогнозуванні терміну експлуатації, що включають формування масиву імовірностей відмов обладнання, середніх витрат на усунення відмов в період експлуатації, середній ресурс обладнання, середніх витрат на ТО, ПР. Вирішена задача врахування зв'язку параметрів станів обладнання локомотива для прогнозування його технічного стану.

8. Розроблені теоретичні підходи до формування стратегії і тактики ТО, ПР локомотивів на основі положень теорії ігор за критерієм забезпечення максимуму мінімальних параметрів показників якості функціонування. На базі п'ятьох варіантів (стратегій) організації ТО, ПР локомотивів в після нормативний термін експлуатації сформовані системи станів і розроблені алгоритми рішення щодо визначення параметрів ефективності.

9. Визначена тактика побудови скоректованих ТО, ПР локомотивів, що формується на об'єднанні технологічних процесів по окремих агрегатах локомотива і визначенні обсягів ТО, ПР в період після нормативного терміну використання локомотива.

10. Обґрунтована технологія коректування ТО, ПР локомотивів на основі підходів індивідуального прогнозування його технічного стану в після нормативний термін експлуатації. Визначені алгоритми і режими діагностування обладнання локомотивів за критерієм мінімуму витрат на організацію безвідмовної роботи обладнання за принципом інформаційної підтримки ТО, ПР і визначення критичних значень параметрів контролю. Для обраних варіантів тактики проведення ТО, ПР при подовженні і експлуатації в після нормативний термін обчислені параметри ефективності, що дозволило остаточно обрати стратегію II, що базується на визначенні індивідуального стану обладнання і проведення робіт по необхідності. Формування технологічних заходів виконується на підставі теорії розпізнавання образів.

11. Розроблені наукові основи стратегії заміни локомотивів в рамках можливого подовження терміну експлуатації, модернізації обладнання і списання. Фактори, що включені в реалізацію моделі, передбачають використання інформації щодо інтенсивності переходів локомотивів в різні стани, побудови матриці переходів і рішення системи рівнянь, що визначають величину коефіцієнтів готовності, оперативної готовності, оцінки витрат на утримання локомотивів. За критерієм мінімуму цільової функції витрат, що включає різні чинники, на які впливають темпи оновлення і стратегія утримання локомотивів, визначені залежності ефективності зміни парку локомотивів від темпу заміни і стратегії подовження терміну дії експлуатованих локомотивів.

12. На підставі обробки статистичних даних локомотивних депо щодо витрат на організацію ТО, ПР локомотивів за період експлуатації до списання визначені мінімальні приведені витрати, що визначають його потужністю – вагові властивості, і їх вплив на середню приведену собівартість і загальні витрати на утримання локомотивного парку. Для тепловозної тяги вони складають величину

$\frac{C_p}{N_e} = 270 \text{ грн/кв}$ при величині $\frac{N_e}{P_t} = 28 \text{ кв/т}$, а для електровозної тяги –
 $\frac{C_p}{N_e} = 150 \text{ грн/кв}$ при величині $\frac{N_e}{P_t} = 29 \text{ кв/т}$. Отримані характеристики визначають

параметри ремонтних потужностей локомотивних депо при заміні, подовженні терміну експлуатації локомотивів і дозволяють коректувати технологію ТО, ПР в період експлуатації.

13. Обґрунтована стратегія структурної реструктуризації лінійних підприємств (локомотивних депо) на основі досягнення максимального ефекту за критеріями: оснащеності, віддаленості, готовності персоналу, готовності підприємств до модернізації. Отримані результати підтверджені відповідними актами впровадження. Економічний ефект від подовження терміну експлуатації локомотивів понад нормативний термін складає 1,69 млн. гривень на рік (секцію).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні наукові праці:

1. Крашенинин, А.С. Методика расчета надежности локомотива на ЭВМ. Компьютеризованные системы контроля и управления на железнодорожном транспорте [Текст] / А.С. Крашенинин, А.П. Фалендыш // Сб. науч. тр. ХарГАЖТ. – 1997. – Вып. 28. – С. 20–22.
2. Крашенинин, А.С. Расчет показателей надежности асинхронного двигателя проектируемого дизель-поезда [Текст] / А.С. Крашенинин, А.П. Фалендыш // Межвуз. сб. научн. трудов ХарГАЖТ. – 1997. – Вып. 29. – С. 46–50.
3. Крашенинин, А.С. Методика оценки эффективности функционирования объектов локомотивных хозяйств [Текст] / А.С. Крашенинин // Міжвуз. зб. наук. праць ХарДАЗТ. – 1997. – Вип. 31. – С. 40–42.
4. Крашенинин, А.С. Оценка факторов, определяющих организацию технологических процессов при ТО, ТР локомотивов [Текст] / А.С. Крашенинин // Міжвуз. зб. наук. праць ХарДАЗТ. – 1999. – Вип. 34. – С. 75–78.
5. Крашенинін, О.С. Оцінка життєвого циклу локомотивів [Текст] / О.С. Крашенинін, А.П. Фалендиш // Зб. наук. праць ХарДАЗТ. – 2001. – Вип. 46. – С. 55–58.
6. Організація технологічних процесів ремонту ТРС із застосування засобів діагностування [Текст] / І.Г. Крамчанін, О.С. Крашенинін, В.Г. Пузир, А.П. Фалендиш // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2004. – Вип. 57. – С. 31–34.
7. Крашенинін, О.С. Модель розрахунку кількості ремонтів локомотивів з урахуванням імовірнісного розподілу їх пробігів [Текст] / О.С. Крашенинін, А.П. Фалендиш // Вісник Міжнародного Слов'янського університету. Серія “Технічні науки”. Том VII. – Харків, 2004. – № 2. – С. 33–35.

8. Крашенінін, О.С. Модель визначення термінів заміни рухомого складу [Текст] / О.С. Крашенінін, А.П. Фалендиш // Вісник Східноукраїнського національного університету. – 2005. – № 3(85). – С. 126–130.
9. Крашенінін, О.С. Автоматизована розробка технологічних процесів обслуговування тепловозів за допомогою ПЕОМ [Текст] / О.С. Крашенінін, В.Г. Пузир, І.Г. Крамчанін // Міжвуз. зб. наук. праць ХарДАЗТ. – 2000. – Вип. 41. – С. 42–47.
10. Модель формування парку тягового руху рухомого складу в локомотивних депо в умовах реформування залізниць України [Текст] / А.П. Фалендиш, С.Г. Жалкін, О.С. Крашенінін, О.О. Шапатіна / Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2008. – Вип. 97. – С. 5–9.
11. Методика розрахунку системи технічного обслуговування локомотивів при подовженні терміну їх експлуатації [Текст] / О.С. Крашенінін, С.Г. Жалкін, І.Г. Крамчанін, О.М. Обозний // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2009. – Вип. 107. – С. 217–221.
12. Крашенінін, О.С., Щипак Ю.В., Шапатіна О.О. Обґрунтування обсягів ремонту для ТРС при подовженні терміну експлуатації [Текст] / О.С. Крашенінін, Ю.В. Щипак, О.О. Шапатіна // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – 2009. – Вип. 19.
13. Крашенінін, О.С., Шапатіна О.О., Обозний О.М. Методика оцінки ефективності подовження терміну служби ТРС після досягнення нормативних термінів [Текст] / О.С. Крашенінін, О.О. Шапатіна, О.М. Обозний // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2009. – Вип. 111. – С. 183–189.
14. Паламарчук, М.В. Моделювання парку ТРС на перехідний період поступової його зміни [Текст] / М.В. Паламарчук, О.С. Крашенінін, Ю.В. Кривошея, С.А. Матвієнко, Є.В. Щипак // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – 2009 – Вип. 20. – С. 61–68.
15. Крашенінін, О.С. Методика оцінки показників якості функціонування ТРС [Текст] / О.С. Крашенінін, П.О. Харламов // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2009. – Вип. 108. – С. 143–146.
16. Крашенінін, О.С. Інформаційне забезпечення при подовженні терміну служби ТРС [Текст] / О.С. Крашенінін, О. М. Обозний // Зб. наук. праць. УкрДАЗТ. – 2010. – Вип. 113 – С. 139–142.
17. Крашенінін, О.С. Моделювання технічного обслуговування та поточних ремонтів ТРС при подовженні терміну його експлуатації [Текст] / О.С. Крашенінін, О.О. Шапатіна, О.М. Обозний // Зб. наук. праць УкрДАЗТ – 2010. – Вип. 119. – С. 172–177.
18. Крашенінін, О.С. Удосконалення експлуатаційних випробувань локомотивів [Текст] / О.С. Крашенінін, Ю.В. Черняк, С.А. Матвієнко // Зб. наук. праць. УкрДАЗТ. – 2010. – Вип. 117 – С. 22–27.
19. Крашенінін, О.С. Економічна оцінка подовження терміну експлуатації ТРС понад нормативний [Текст] / О.С. Крашенінін, О.М. Обозний // Зб. наук. праць. УкрДАЗТ – 2011. – Вип. 127. – С. 118–122.
20. Обґрунтування оптимального терміну експлуатації тягового рухомого складу [Текст] / О.С. Крашенінін, Є.В. Щипак, С.А. Матвієнко, О.О. Шапатіна // Зб. наук. праць ДонДАЗТ. – 2011. – Вип. 25. – С. 126–128.

21. Крашенінін, О.С. Визначення граничних термінів довговічності тягового рухомого складу [Текст] / О.С. Крашенінін, О.М. Обозний // Зб. наук. праць. УкрДАЗТ. – 2011. – Вип. 122. – С. 134–140.
22. Крашенінін, О.С. Визначення періодичності діагностування ТРС в післяремонтний термін експлуатації [Текст] / О.С. Крашенінін, О.М. Обозний // Зб. наук. праць. УкрДАЗТ. – 2011. – Вип. 123. – С. 173–175.
23. Концепція розвитку і реструктуризації локомотивного депо [Текст] / А. П. Фалендиш, О.С. Крашенінін, О.О. Шапатіна, М.М. Одегов // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – 2011. – Вип. 27. – С. 133–136.
24. Крашенінін, О.С. Оцінка ефективності системи подовження терміну служби ТРС більш нормативного і оновлення експлуатаційного парку [Текст] / О.С. Крашенінін, П.О. Харламов // Вісник Східноукраїнського університету ім. Володимира Даля. Науковий журнал № 3(174). – Луганськ, 2012. – С. 109–113.
25. Покращення організації технічного обслуговування та поточного ремонту тягового рухомого складу в після нормативний термін його використання [Текст] / О.С. Крашенінін, О.О. Шапатіна, Ю.В. Черняк та інші // Транспортні інновації № 9. – Київ, 2011. – С. 26–28.
26. Оценка периодичности технического обслуживания и ремонта в период после нормативных сроков эксплуатации ТПС [Текст] / А.С. Крашенинин, О.А. Шапатина, С.А. Матвиенко, К.А. Зезюлин // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – 2011. – Вип. 28. – С. 165–167.
27. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 45387 Комп'ютерна програма “Розрахунок структури парку тягового рухомого складу на перехідний період його зміни” [Текст] / О.С. Крашенінін, С.А. Матвієнко : заява 02.07.2012 ; реєстрація 03.09.2012. – Київ.
28. Янушкевич, І. П. Методика визначення потенційних відмов в елементах несучих конструкцій локомотивів [Текст] / І.П. Янушкевич, О.С. Крашенінін // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2012. – Вип. 128. – С. 233–237.
29. Оцінка показників ТО при подовженні терміну експлуатації ТРС по наробці [Текст] / Е.Д. Тартаковський, О.В. Устенко, О.С. Крашенінін, О.М. Обозний // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2012.-Вип.132.-С.5-11.
30. Гринів, Ю.В. Методика оцінки терміну виробництва нового ТРС для заміни експлуатованого ТРС, ресурс якого наблизився до граничного [Текст] / Ю.В. Гринів, О.С. Крашенінін, М.В. Максимов // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2012. – Вип. 133. – С. 247–250.
31. Пат. №66334 Україна, МПК (2011.01) Спосіб контролю тягового – енергетичних параметрів роботи локомотивів зі складом поїзда [Текст] / С.А. Матвієнко, О.С. Крашенінін, Ю.В. Черняк ; заявник Донецький інститут залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту, № 201109151; заявл. 21.07.2011; опубл. 26.12.2011, Бюл. № 24.

Праці апробаційного характеру

32. Крашенінін, О.С. Розробка методики розрахунку показників надійності локомотивів при проектуванні. [Текст] / О.С. Крашенінін, О.В. Устенко // Матеріали

доповідей 57 науково-технічної конференції кафедр академії та спеціалістів залізничного транспорту за міжнародною участю. – Харків: ХарДАЗТ, 1995. С. 11 – 12.

33. Крашенінін, О.С. Методика оцінки надійності на стадії проектування. [Текст] / О.С. Крашенінін, А.П. Фалендиш // Матеріали доповідей 58 науково-технічної конференції кафедр академії та спеціалістів залізничного транспорту за міжнародною участю. – Харків: ХарДАЗТ, 1997. С. 10.

34. Крашенінін, О.С. Удосконалення організації ремонту тягового рухомого складу за рахунок впровадження інформаційних технологій [Текст] / О.С. Крашенінін, А.П. Фалендиш // Материалы 2 международной НПК “Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте ЭКУЖТ 2007”. Т. 1. – Киев : КУЕТТ, 2007. – С. 153–154.

35. Крашенинин, А.С. Микропроцессорное управление и диагностика систем на ТРС [Текст] / А.С. Крашенинин, К.А. Зезюлин // Энерго- та ресурсозберігаючі технології при експлуатації машин та устаткування. Матеріали 3-ї міжвузівської науково-технічної конференції викладачів. – Донецьк. – 2011 – С. 138–140.

36. Крашенінін, О.С. Оцінка ефективності системи подовження терміну служби ТРС більш нормативного і оновлення експлуатаційного парку [Текст] / О.С. Крашенінін, П.О. Харламов. – 3-я международная научно – практическая конференция. Иновационные технологии на железнодорожном транспорте. – г. Тель – Авив (Израиль). – 2012.

37. Черняк, Ю.В. Покращення організації технічного обслуговування та поточних ремонтів тягового рухомого складу в після нормативний термін його використання [Текст] / Ю.В. Черняк, О.С. Крашенінін, С.А. Матвієнко // Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте. Материалы шестой Международной научно-практической конференции. – Киев. – 2011. – С. 235–236.

38. Крашенінін, О.С. Дослідження ефективності експлуатації локомотивів шляхом моделювання дослідних поїздок з використанням програмного комплексу [Текст] / О.С. Крашенінін, С.А. Матвієнко // Городской электротранспорт, электроснабжение и освещение городов. XXXVI научно – техническая конференция преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской национальной академии городского хозяйства. Часть 2. – Харьков. – 2012. – С. 30–31.

39. Крашенинин, А.С. Разработка методики совершенствования содержания ТПС методами динамического программирования [Текст] / О.С. Крашенінін, К.А. Зезюлин // Матеріали 4-ї міжвузівської науково-технічної конференції викладачів, молодих вчених та студентів. – Донецьк. – 2012. – С. 144–145.

Додаткові наукові праці

40. Крашенінін, О.С. Розрахунок показників надійності локомотивів на стадії проектування [Текст] / О. С. Крашенінін, А. П. Фалендиш / Міжвуз. зб. наук. праць ХарДАЗТ. – 1997. – Вип. 31. – С. 18–19.

41. Крашенинин, А.С. Оценка эффективности совершенствования организации ТО и ТР локомотивов [Текст] / О.С. Крашенинин, А.П. Фалендыш // Міжвуз. зб. наук. праць ХарДАЗТ. – 1999. – Вип. 34. – С. 29–33.
42. Оцінка конкурентноспроможності тягового рухомого складу [Текст] / О.С. Крашенинін, Д.А. Іванченко, Є.В. Бондаренко, О.О. Шапатіна // Вісник східно – українського національного університету ім. Володимира Даля. Науковий журнал № 5(123). Ч. 1. – 2008. – Луганськ. – С. 201–204.
43. Крашенинін, О.С. Синергетичне моделювання інноваційних процесів в системі технічного утримання рухомого складу [Текст] / О.С. Крашенинін, І. Д. Борзилов // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2010. – Вип. 113. – С. 96 – 102.
44. Крашенинін, О.С. Резерви підвищення ефективності використання маневрових локомотивів [Текст] / О.С. Крашенинін, О.О. Шапатіна // Зб. наук. праць. ДонДАЗТ. – 2010. – Вип. 24. – С. 107–112.
45. Крашенинін, О.С. Оцінка ефективності використання нових маневрових тепловозів на сортувальних станціях [Текст] / О.С. Крашенинін, О.О. Шапатіна // Зб. наук. праць. УкрДАЗТ. – 2011. – Вип. 124. – С. 121–126.
46. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 41833 Комп'ютерна програма “Програмний комплекс”. Корегування тягово – енергичних розрахунків за результатами моделювання дослідних поїздок [Текст] / С.А. Матвієнко, О.С. Крашенинін, Ю.В. Черняк, О.М. Горобченко ; реєстрація 17.01.2012, Київ.
47. Исследование эффективности эксплуатации локомотивов путем моделирования опытных поездок [Текст] / А.С. Крашенинин, Ю.В. Черняк, В.И. Данилевский, С.А. Матвиенко // Науково-практичний журнал “Залізничний транспорт України”. – 2012. – Вип. 5. – С. 21–28.
48. Крашенинін, О.С. Нові технічні рішення оптимізації контролю енерговитрат у системі тепловозної тяги на залізничному транспорті [Текст] / О.С. Крашенинін, В.В. Даценко, К.М. Раков // Междунар. информац. Научно-технический журнал “Локомотив-информ”. – Харків: Вид-во “Рухомий склад”, 2012. – Вип. 12(78). – С. 9–11.

АНОТАЦІЯ

Крашенинін О.С. Розвиток наукових основ визначення системи утримання локомотивів при подовженні терміну експлуатації понад нормативний. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів. – Українська державна академія залізничного транспорту, Міністерство освіти і науки, Харків, 2013.

В дисертації розглядаються теоретичні дослідження щодо обґрунтування системи утримання локомотивів при подовженні терміну служби, а також результати експлуатаційних досліджень і моделювання.

Надані теоретичні положення і результати моделювання, які забезпечують ефективне використання локомотивів в після нормативний термін експлуатації з

урахуванням коректування обсягів технічного обслуговування, поточного ремонту (ТО, ПР) і терміну їх проведення.

Здійснено впровадження розроблених підходів у вигляді нормативних документів, що забезпечують подовження терміну експлуатації локомотивів за даними індивідуального стану його обладнання і необхідного обсягу заходів, що включають скоректовані технічне обслуговування і поточний ремонт.

Ключові слова: локомотив, надійність, технічне обслуговування, поточний ремонт, після нормативний термін експлуатації, діагностика, тактика, стратегія, тяговий рухомий склад.

АННОТАЦІЯ

Крашенинин А.С. Развитие научных основ формирования системы содержания локомотивов при продлении срока их эксплуатации сверх нормативного. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов. - Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Министерство образования и науки, Харьков, 2013.

В диссертации рассматриваются теоретические исследования по обоснованию системы содержания локомотивов при продлении срока службы сверх нормативного, а также результаты эксплуатационных исследований и моделирования.

Показано, что в условиях старения локомотивного парка и ремонтной базы локомотивного хозяйства, возникла ситуация, которая является критической для железнодорожного транспорта Украины.

В связи с физическим и моральным износом подвижного состава в современных условиях важнейшим направлением обеспечения эффективной работы железнодорожного транспорта в обозримой перспективе является рациональное использование эксплуатируемого подвижного состава в пределах назначенного и продленного сроков службы. При этом продление срока эксплуатации локомотивов должно осуществляться путем соблюдения оптимального соотношения мероприятий по корректировке сроков и технологии ТО, ПР и подготовки ремонтной базы.

Приведены теоретические положения и результаты моделирования системы содержания локомотивов, которые обеспечивают эффективное использование локомотивов в после нормативный срок эксплуатации с учетом корректирования объемов технического обслуживания (ТО), текущего ремонта (ПР) и сроков их проведения.

На основе положений теории старения и теории надежности обоснованы предельные сроки эксплуатации локомотивов с учетом критерия эффективности.

В соответствии с этими теоретическими положениями по критерию оптимальной долговечности получены аналитические и графические зависимости изменения срока эксплуатации локомотивов от интенсивности использования и относительного ресурса. Кроме этого исследована динамика затрат на техническое

обслуживание и текущий ремонт в зависимости от вариантов организации ремонтного цикла, вариации коэффициентов долговечности, равнопрочности и стабильности. Получены зависимости удельной годности оборудования локомотивов от вариантов организации ремонтного цикла и коэффициента долговечности.

С учетом этого рекомендованы диапазоны выбранных критериев, обеспечивающих минимальные издержки на содержание локомотивов.

На основе положений математического моделирования и положений теории игр выбраны и рассчитаны критерии оценки эффективности предложенных мероприятий по продлению эксплуатации локомотивов сверх нормативных сроков, что позволило определить оптимальные варианты организации системы ТО, ТР.

Показано, что задача продления срока эксплуатации сверх норматива должна решаться комплексно: с учетом синергетических процессов и факторов, влияющих на долговечность несущих конструкций локомотивов; формирования технологии технического обслуживания и ремонта с учетом оптимальных соотношений мощностно-весовых характеристик локомотивов и оптимальных приведенных затрат на ТО, ТР за период эксплуатации; определения показателей эффективности ремонтных подразделений локомотивных депо.

Осуществлено внедрение разработанных подходов в виде нормативных документов, которые регламентируют концепцию продления сроков эксплуатации локомотивов по данным индивидуального прогнозирования состояния его оборудования и необходимого объема мероприятий, которые включают скорректированные технологические процессы технического обслуживания и текущего ремонта.

Корректировка ТО, ТР определены с учетом формирования объемов технологических процессов, учитывающих период эксплуатации, объемы контрольно – диагностических и восстановительных работ.

Ключевые слова: локомотив, надежность, техническое обслуживание, текущий ремонт, после нормативный срок эксплуатации, диагностика, тактика, тяговый подвижной состав.

THE SUMMARY

Krashenin A.S. Development of scientific basis for the formation of the content of locomotives for extension of their service. - Manuscript.

Dissertation for the degree of doctor of technical sciences, specialty 05.22.07 - Railway rolling stock and traction trains. - Ukrainian State Academy of Railway Transport, Ministry of Education and science, Kharkov, 2013.

The thesis deals with theoretical studies to justify the maintenance of locomotives when extending service life, and the results of experimental research and modeling.

Provided theoretical concepts and simulation results that provide efficient use of locomotives in operation after the baseline date based adjustment of maintenance, maintenance (maintenance, PR) and the duration of their conduct.

Implemented the approach developed in the form of regulations to ensure the extension of locomotive according to the individual condition of its equipment and the required volume measures, including adjusted current maintenance and repair.

Keywords: locomotive, reliability, maintenance, maintenance, after the required period of service, diagnostics, tactics, strategy, traction rolling stock.

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ВИЗНАЧЕННЯ СИСТЕМИ УТРИМАННЯ
ЛОКОМОТИВІВ ПРИ ПОДОВЖЕННІ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОНАД
НОРМАТИВНИЙ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск

професор Д.С. Жалкін

Підписано до друку __. __. 2013 р.
Формат паперу 60x84 1/16. Папір для множних апаратів..
Умовн.-рук. Арк. 1, . Обл.-вид. Арк. 1,1
Тираж 100. Замовлення № 431.

Видавництво УкрДАЗТ. Свідоцтво ДК №2874 від 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДАЗТу: 61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7