

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

ГРИШЕЧКІНА ТЕТЯНА СЕРГІЇВНА

УДК 629.42-027.45(043.3)

**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УТРИМАННЯ ТЕХНІЧНИХ
ОБ'ЄКТІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ З УРАХУВАННЯМ
ЗАЛЕЖНИХ ВІДМОВ ЇХ ЕЛЕМЕНТІВ**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпро – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі «Прикладна математика» Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор **Босов Аркадій Аркадійович**, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Фалендиш Анатолій Петрович**, в.о. завідувача кафедри рухомого складу транспортних систем ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»;

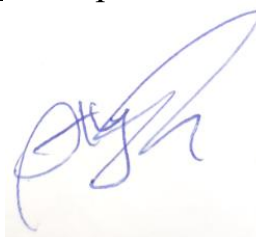
кандидат технічних наук, доцент **Дацун Юрій Миколайович**, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту.

Захист відбудеться "14" травня 2021 р. о 13³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 при Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2, ауд. 314 (зала засідань).

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2, або на сайті <http://diit.edu.ua/> (Наука – Аспірантура і докторантура – Захисти у спеціалізованій вченій раді Д08.820.02)

Автореферат розісланий " 9 " квітня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



І. В. Жуковицький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року передбачає удосконалення системи збору, аналізу та використання статистичних даних на залізничному транспорті для об'єктивного оцінювання його стану та перспектив розвитку. Один з важливих показників, який впливає на якість надання транспортних послуг та безпеку процесу перевезень, – це надійність тягового рухомого складу (ТРС). Сучасний стан ТРС залізниць України характеризується значним наднормативним зносом. Так, знос електровозів становить 94,4 %, тепловозів – 98,3 %. Із загального інвентарного парку локомотивів Укрзалізниці лише 5,3 % молодші за 25 років. Відбувається зростання кількості й складності транспортних подій, що зі свого боку призводить до збільшення витрат на непланові ремонти. Тому актуальною є потреба у впровадженні нових прогресивних систем підтримання локомотивів у працездатному стані й подовженні їх терміну експлуатації.

Система технічного обслуговування і ремонту є основним фактором, який впливає на технічний стан локомотивів. На сьогодні технічне обслуговування і ремонт локомотивів здійснюються за системою планово-попереджувальних ремонтів (ППР). Однак її суттєвим недоліком є відсутність урахування змін технічного стану та надійності, які виникають унаслідок дії умов експлуатації. Це одна з причин підвищеної пошкоджуваності локомотивів у експлуатації, що призводить до зменшення їх кількості в перевізному процесі.

При розрахунку міжремонтних періодів та обсягів регламентних робіт на відповідних видах ремонтів при ППР як один з критеріїв використовується вартість відновлення того чи іншого вузла локомотива, при цьому не враховано можливий вплив на цей показник відмов взаємопов'язаних вузлів.

Відсутність урахування залежних відмов є однією з причин некоректної оцінки міжремонтних періодів, перевищення фактичних витрат на ремонт над плановими витратами, зниження надійності локомотивів у експлуатації.

Удосконалення системи аналізу статистики щодо відмов шляхом урахування залежних відмов вузлів локомотивів є одним з основних шляхів обґрунтування удосконалення планування постановки локомотивів у ремонт. У зв'язку з цим завдання визначення раціональної системи утримання локомотивів з урахуванням залежних відмов вузлів є важливим і актуальним.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до планів науково-дослідних робіт у Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: «Розвиток математичних методів моделей складних систем» (номер: 100.17/50.46, № держреєстрації 0117U005652), «Удосконалення методів випробування та діагностування обладнання локомотивів» (№ держреєстрації 0117U002068).

Мета та завдання дослідження. Метою цієї роботи є підвищення експлуатаційної надійності локомотивів шляхом удосконалення системи їх утримання з урахуванням залежних відмов елементів.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

– розглянути вплив залежних відмов на надійність локомотивів;

- виконати огляд методик вибору раціональних систем утримання тягового рухомого складу;
- розробити математичну модель залежних відмов у технічній системі;
- удосконалити методику побудови раціональної системи утримування локомотивів з урахуванням залежних відмов їх елементів;
- оцінити виконання системи утримання локомотивного парку;
- виконати оцінювання стану безпеки руху в локомотивному господарстві;
- здійснити розрахунок середньої вартості непланового ремонту локомотива з урахуванням ймовірності виникнення залежних відмов;
- розробити раціональну систему ремонту для електрообладнання електровозів серії ДЕ1 з урахуванням залежних відмов їх елементів.

Об'єктом дослідження є процес утримання локомотивів.

Предметом дослідження є система утримання локомотивів.

Методи дослідження. У роботі використано такі методи:

- при розробленні математичної моделі поширення залежних відмов по технічній системі – методи теорії множин, а саме рекурентні співвідношення на множинах;
- при обробленні статистичних даних – методи математичної статистики, теорії надійності та теорії ймовірностей;
- при розробленні раціональної системи утримання локомотивів – методи векторної оптимізації;
- при розробленні методів оцінювання роботи локомотивів – методи зниження розмірності даних, а саме: метод головних компонент та метод аналізу ієрархій.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розв'язанні актуального наукового завдання підвищення надійності локомотивів у експлуатації за рахунок удосконалення їх системи утримання шляхом врахування залежних відмов вузлів. Зокрема, у дисертації отримано такі наукові результати:

- вперше розроблено математичну модель залежних відмов у технічній системі, яка дозволяє визначати загальні набори пошкоджень та вартості відновлень;
- удосконалено підхід до визначення раціональної системи утримання локомотивів шляхом врахування витрат коштів, часу та екологічних ресурсів, що, на відміну від існуючих, дозволяє враховувати обмеження за ресурсними можливостями ремонтних баз;
- удосконалено методику оцінювання роботи локомотивного парку, яка, на відміну від існуючих, дає можливість визначати якість виконання системи утримання та стан безпеки руху в локомотивному господарстві;
- набуло подальшого розвитку застосування методів зниження розмірності даних, зокрема методу головних компонент та методу аналізу ієрархій, для визначення показників оцінки роботи локомотивного парку, що, на відміну від існуючих методів, дозволяє враховувати великі набори абсолютних статистичних показників при створенні єдиного інтегрального показника для оцінки, зберігаючи при цьому 85-90 % вихідної інформації.

Практичне значення отриманих результатів. У результаті виконаних досліджень розроблено методику вибору раціональної системи утримання локомотивів за показниками витрат коштів, часу та екологічних ресурсів. Також прикладне значення має методика оцінювання роботи локомотивного парку. Здійснено оцінювання виконання системи утримання локомотивів Придніпровської залізниці, а також оцінювання стану безпеки руху локомотивів Укрзалізниці. Зроблено розрахунок вартості життєвого циклу (на прикладі ТЕД електровоза серії ДЕ1) з урахуванням залежних відмов обладнання, який дозволив виявити вузли, відмови яких призводять до багатократного зростання вартості відновлення. Запропоновано підхід до удосконалення системи утримання для вузлів локомотивів з урахуванням залежних відмов їх елементів.

Отримані результати використовуються в навчальному процесі ДНУЗТ.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові положення, розробки та результати досліджень, що виносяться на захист, отримані автором самостійно. Мету та постановку завдання, обговорення та аналіз результатів досліджень здійснено разом із науковим керівником.

Роботи [4, 10, 12, 13, 15] опубліковані одноосібно. У працях, які опубліковані у співавторстві, внесок здобувача такий:

- запропоновано детерміновану та ймовірнісну моделі поширення залежних відмов по системі [1, 11];
- запропоновано методику визначення раціональної системи утримання локомотивів [2, 7];
- запропоновано методику оцінювання роботи локомотивного парку за допомогою методів зниження розмірності даних [3, 5, 6, 14, 16–18];
- удосконалено методику визначення вартості позапланового ремонту з урахуванням залежних відмов, запропоновано коефіцієнт оцінки впливу залежних відмов вузла на систему утримання локомотива [8, 9].

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені на 68-й, 69-й, 74-й, 75-й, 76-й та 79-й міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, ДНУЗТ, 2008, 2009, 2014, 2015, 2016, 2019 рр.); 14-й Міжнародній науково-практичній конференції SAIT (Київ, ННК «ПСА» НТУУ «КПІ», 24.04.2012), 6-й та 7-й міжнародних науково-практичних конференціях «Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств» (Дніпро, 2017, 2018 рр.).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 9 статей у наукових фахових журналах (з них 3 публікації у виданнях, які входять до міжнародної бази Scopus), 9 тез у збірниках доповідей міжнародних конференцій, а також 5 додаткових праць: 4 статті, одне свідоцтво авторського права на комп'ютерну програму.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг роботи становить 164 сторінки, з яких основного тексту – 149 сторінок, у основному тексті роботи міститься: 46 рисунків та 17 таблиць, список літератури з 114 джерел викладено на 9 сторінках; 2 додатки розміщено на 15 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи; показано її зв'язок з науковими програмами Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, сформульовано мету та завдання дослідження; визначено об'єкт та методи дослідження; сформульовано наукову новизну та визначено практичну значущість виконаних досліджень.

У **першому розділі** виконано огляд та аналіз наукових джерел та фахової літератури, який підтверджує, що питання удосконалення системи утримання локомотивів з урахуванням залежних відмов їх елементів, а також оцінювання роботи локомотивного парку залізниці є актуальними та їх розв'язання потребує комплексного підходу.

Розглянуто види систем утримання тягового рухомого складу (система обслуговування і ремонту за відмовою, планово-попереджувальна система, система ремонту за фактичним станом, комбінована система обслуговування і ремонту). Показано переваги та недоліки кожної з них.

Розглянуто статистику транспортних подій у локомотивному господарстві. Встановлено, що більшість транспортних подій виникають з двох причин: людський чинник (невірні дії локомотивних бригад) та залежні відмови елементів. Їх урахування при побудові раціональної системи утримання технічних об'єктів залізничного транспорту є основою підвищення безпеки руху.

Питання удосконалення системи утримання локомотивів є об'єктом досліджень багатьох науковців, зокрема: Б. Є. Боднар, О. Б. Бабаніна, Т. В. Буцько, М. І. Капіци, Е. Д. Тартаковського, А. П. Фалендиша, В. О. Четвергова та ін.

Аналіз сучасних методик вибору раціональної системи утримання локомотивів (методики А. А. Босова, М. І. Капіци, Т. В. Буцько та ін.) показав, що за критерії раціональності приймаються різні показники, але жодна методика не враховує відмови залежних елементів вузлів локомотивів. Водночас вивчення протоколів розгляду постановки на неплановий ремонт локомотивів виявило, що причинами майже 2/3 випадків є залежні відмови обладнання.

Основна проблема у вивченні залежних відмов полягає в тому, що статистика транспортних подій за цими відмовами не ведеться. Усі транспортні події, які сталися через залежні відмови елементів рухомого складу, класифікувалися з інших причин – неякісний заводський і деповський ремонт, несправність обладнання, пожежі та інше.

Для підвищення надійності перевізного процесу, зменшення ймовірності виникнення транспортних подій, а також мінімізації витрат на ліквідацію їх наслідків необхідно вести облік залежних відмов елементів тягового рухомого складу. Статистичні дані щодо виникнення залежних відмов використовуються для удосконалення системи утримання ТРС.

У **другому розділі** дисертаційної роботи виконано системний аналіз теоретичних основ удосконалення системи утримання локомотивів. Розглянуто основні кількісні характеристики надійності цієї системи. Інтенсивність відмов технічного об'єкта (або λ -характеристика) визначається таким чином:

$$\lambda = \frac{F'(t)}{1-F(t)},$$

де $F(t)$ – функція ймовірності відмови за напрацювання t . Припускаємо, що в початковий момент часу ймовірність відмови технічного об'єкта дорівнює нулю, тоді

$$F(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau}.$$

Розглянуто поняття залежної відмови. Згідно з ДСТУ 2860-94 «Надійність техніки» визначення терміна «залежна відмова» таке: залежна відмова – це відмова об'єкта, спричинена прямо чи непрямо відмовою або несправністю іншого об'єкта. З'ясовано, що математичне моделювання залежних відмов у технічних системах залізничного транспорту раніше не виконувалося.

Виведено рекурентне співвідношення, яке описує поширення залежних відмов по технічній системі:

$$V(w_i) = \bigcup_{k=1}^n V_i(k),$$

де $V(w_i)$ – загальний об'єм пошкоджень при відмові w_i -го елемента з урахуванням залежних відмов; k – номер хвили відмов.

Зокрема, перше покоління відмов визначається як набір безпосередньо залежних елементів, які будуть пошкоджені при відмові w_i елемента:

$$V_i = V_i(1) = \{x_k, k = 1, m\}.$$

Друге покоління відмов – набір елементів, які залежні від відмов елементів першого покоління:

$$V_i(2) = \bigcup_{j \in V_i(1)} V_j(1).$$

Умова для завершення процесу поширення залежних відмов:

$$V_i(n) = \bigcup_{j \in V_i(n-1)} V_j(1) = \emptyset.$$

На основі цього співвідношення розроблено детерміновану та ймовірнісну моделі залежних відмов у технічній системі. Детермінована модель передбачає в разі відмови елемента обов'язкову відмову всіх залежних від нього елементів. Ймовірнісна модель дозволяє враховувати ймовірнісну природу залежних відмов. Кожному елементу ставиться у відповідність множина таких пар (перше покоління відмов):

$$V_i(1) = \{\langle x_k, p_k \rangle, k = 1, m\}.$$

Друге покоління відмов:

$$V_i(2) = \bigcup_{j \in V_i(1)} p_j V_j(1).$$

І в загальному вигляді n -не покоління відмов:

$$V_i(n) = \bigcup_{j \in V_i(n-1)} p_{j-1} V_j(1).$$

Отримане співвідношення дозволяє визначати загальний набір пошкоджених елементів при відмові досліджуваного елемента.

Визначено функції витрат на відновлення з урахуванням залежних відмов на основі детермінованої та ймовірнісної моделей поширення залежних відмов по системі.

Запропоновано методику оцінки виконання системи утримання локомотивного парку. Методика ґрунтується на обробленні статистичних звітів щодо діяльності локомотивного господарства методами зниження розмірності даних: методом головних компонент та методом аналізу ієрархій. Показники, які характеризують систему утримання (кількість ремонтів за видами, кількість простоїв та ін.), методом головних компонент об'єднуються в нові, некорельовані між собою показники – головні компоненти. Методом аналізу ієрархій визначаються вагові коефіцієнти для головних компонент і потім вони об'єднуються в єдиний інтегральний показник, який характеризує якість системи утримання. З допомогою цієї методики також оцінюється стан безпеки руху локомотивного парку.

У **третьому розділі** дисертаційної роботи запропоновано методику визначення раціональної системи утримання з використанням математичного апарату векторної оптимізації.

Як критерії раціональності обрано, відповідно до результатів аналізу в другому розділі, такі показники: витрати коштів, витрати часу, витрати екологічних ресурсів.

Системою утримання локомотива назвемо таку послідовність пар:

$$\gamma = [(t_i, V_i)], \quad i = \overline{1, n},$$

де t_i – напрацювання між V_{i-1} та V_i відновленнями; V_i – обсяг i -го ремонтного впливу, об'єм ремонту.

Для знаходження раціональної системи утримання необхідно розв'язати задачу векторної оптимізації:

$$\begin{pmatrix} F_1(\gamma) \\ F_2(\gamma) \\ F_3(\gamma) \end{pmatrix} \rightarrow \min, \quad (1)$$

за умови, що $\lambda(t) \leq \bar{\lambda}$, $t \in [0, T]$, тобто інтенсивність відмов не перевищує наперед встановлену величину на проміжку часу $[0, T]$. У формулі (1): $F_1(\gamma)$ – витрати коштів на матеріали та запчастини при ремонтних впливах при реалізації обраної системи утримання на проміжку часу $[0, T]$; $F_2(\gamma)$ – витрати часу на проведення ремонтних впливів; $F_3(\gamma)$ – витрати екологічних ресурсів (витрати води, мастила, електричної енергії, дизельного палива, викиди в навколишнє середовище) при ремонтних впливах.

Функції $F_1(\gamma)$, $F_2(\gamma)$, $F_3(\gamma)$ визначені на множині $\Gamma \subseteq E^2$. Область визначення

$$\Gamma = \{\gamma(t, V) : t \geq 0, V \geq 0\}.$$

З інженерної позиції множина Γ – це множина всіх варіантів систем утримання технічного об'єкта. Тобто це множина всіх послідовностей пар (t, V) , що задають систему утримання ТРС.

Розв'язок задачі (1) – це множина $\Gamma_* \subseteq \Gamma$, яка має такі властивості:

1. Будь-яка система утримання із цієї множини $\forall \gamma \in \Gamma_*$ є ефективною.
2. Будь-які дві системи утримання із цієї множини $\forall \gamma_1, \gamma_2 \in \Gamma_*$ є непорівнянними за Парето.

Система утримання $\forall \gamma \in \Gamma_*$ є ефективною, якщо за умови $\lambda(t) \leq \bar{\lambda}$ знайдуться такі функції $F_i(\gamma)$ та $F_j(\gamma)$, що будь-яка зміна γ приведе до збільшення однієї функції та зменшення іншої.

Дві системи утримання γ_1 та γ_2 називаються непорівнянними, якщо знайдуться дві функції $F_i(\gamma)$ та $F_j(\gamma)$ такі, що виконується одна з двох умов:

$$\left(\begin{array}{l} F_i(\gamma_1) \leq F_j(\gamma_1) \\ F_i(\gamma_2) \geq F_j(\gamma_2) \end{array} \right) \text{або} \left(\begin{array}{l} F_i(\gamma_1) \geq F_j(\gamma_1) \\ F_i(\gamma_2) \leq F_j(\gamma_2) \end{array} \right), \quad i, j = 1, 2, 3,$$

причому хоча б одна з нерівностей є строгою.

Визначаємо фінансові витрати системи утримання:

$$F_1(\gamma) = \sum_{i=1}^n F_1(V_i),$$

де $F_1(V_i)$ – витрати на запчастини та матеріали на ремонт в обсязі V_i :

$$F_1(\gamma) = \sum_{i=1}^n \sum_{k \in V_i} \sum_{j=1}^J c_j T_{kj},$$

де n – кількість ремонтних впливів; k – номер елемента, який підлягає відновленню при V_i ремонтному впливі; J – загальна кількість елементарних операцій. Перелік елементарних операцій, їх вартість та час виконання визначаються згідно з технолого-економічними картами (ТЕК) вузлів локомотивів; c_j – витрати на j -ту елементарну операцію.

$$T_{kj} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } j\text{-а операція задіяна} \\ & \text{при відновленні } k\text{-го елемента;} \\ 0, & \text{в протилежному випадку.} \end{cases}$$

Витрати, пов'язані з оплатою праці:

$$F_2(\gamma) = \sum_{i=1}^n F_2(V_i).$$

Для визначення потрібної чисельності робочої сили на ремонт локомотивів встановлюються середні норми трудомісткості технічних обслуговувань і ремонтів у людино-годинах.

$$F_2(\gamma) = \sum_{i=1}^n \sum_{k \in V_i} \left[\left(\sum_{j=1}^J t_j T_{kj} \right) \cdot \bar{c} \right],$$

де J – загальна кількість елементарних операцій; t_j – тривалість j -ї елементарної операції; \bar{c} – годинна тарифна ставка.

Екологічні витрати системи утримання містять витрати на воду, електроенергію, паливо та інші:

$$F_3(\gamma) = \sum_{i=1}^n F_3(V_i),$$

$$F_3(\gamma) = \sum_{i=1}^n \sum_{k \in V_i} \sum_{m=1}^M \left(c_m \cdot \sum_{j=1}^J v_{mj} T_{kj} \right),$$

де M – кількість екологічних ресурсів, які витрачаються при відновленні k -го елемента; c_m – вартість одиниці m -го ресурсу; v_{mj} – об'єм m -го ресурсу, який витрачається на j -ту елементарну операцію.

Обґрунтоване удосконалення системи утримання, отримане на основі положень цього розділу роботи, дає можливість підвищити експлуатаційну надійність локомотивів та збільшити час корисної роботи локомотивного парку.

У **четвертому** розділі дисертаційної роботи виконано оцінювання роботи локомотивного парку методами зниження розмірності даних, що дало змогу позбутися надлишкової дублюючої інформації щодо багатьох вихідних показників діяльності локомотивного господарства.

Оцінювання виконання системи утримання локомотивного парку. Стан системи утримання локомотивного парку характеризують такі показники:

- кількості планових деповських ремонтів;
- простої на планових ремонтах;
- кількості і простої на непланових ремонтах;
- вантажообіг бруто;
- відсоток несправних електровозів.

Для оцінювання виконання системи утримання за допомогою методики, наведеної в другому розділі, було створено єдиний інтегральний показник, який характеризує відносний стан системи утримання локомотивного парку.

Для цього на першому етапі було використано метод головних компонент. Вихідні змінні (показники, які характеризують систему утримання) шляхом лінійних перетворень було приведено до нових, нормованих і некорельованих між собою змінних. Причому їх кількість уже істотно менша порівняно з вихідними. У результаті вдалося скоротити кількість розглянутих факторів з 12 до 4 зі збереженням 87 % значущої вихідної інформації.

Далі, на другому етапі, застосовувався метод аналізу ієрархій. За допомогою нього на підставі отриманих головних компонент було побудовано індекс оцінки виконання системи утримання. Цей індекс має вигляд

$$Z = \sum_{i=1}^n w_i z_i,$$

де z_i – головні компоненти, отримані на першому етапі аналізу; w_i – вагові коефіцієнти, які визначаються методом аналізу ієрархій як компоненти власного вектора матриці попарних порівнянь.

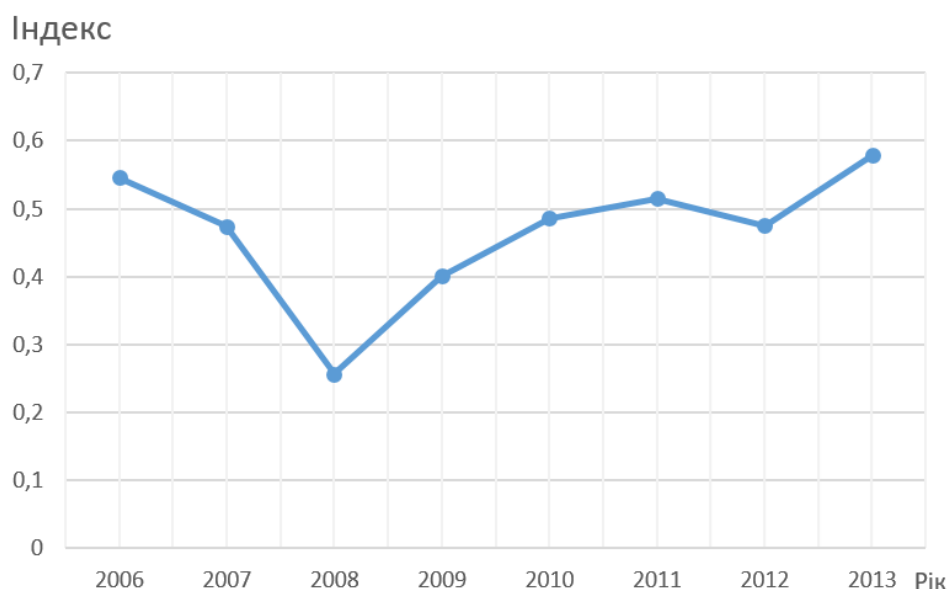


Рисунок 1 – Індекс оцінки виконання системи утримання локомотивного парку

Отриманий індекс дає змогу проводити оцінювання виконання системи утримання.

Оцінювання стану безпеки руху в локомотивному господарстві. Використання запропонованої методики також дозволяє оцінити стан безпеки руху в локомотивному господарстві. Для оцінювання стану безпеки руху в локомотивному господарстві Укрзалізниці як вихідні дані використовувалися статистичні дані, згруповані відповідно до рубрик:

- транспортні події (5 показників);
- причини транспортних подій (5 показників);
- несправності основного обладнання тягового рухомого складу (23 показники).

При виконанні розрахунку прийнято необхідний відсоток збереження вихідної інформації не менше ніж 85 %. У результаті розрахунку визначено 8 головних компонент $g_1 \dots g_8$, які загалом містять 89 % вихідної інформації. Кожна з компонент g_i містить певну кількість інформації щодо стану безпеки руху. Найбільша кількість інформації міститься в першій компоненті.

Схема, що відображає структуру першої головної компоненти, наведена на рис. 2. У кожній з головних компонент виокремлено дві складові: технічну та безпекову.

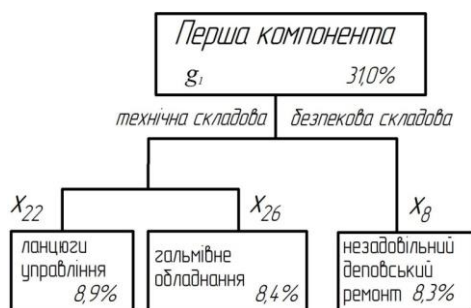


Рисунок 2 – Структура першої головної компоненти

Найбільш інформативно стан безпеки руху в локомотивному господарстві з позиції безпекової складової описується значеннями такого показника, як незадовільний деповський ремонт. До складу технічної складової увійшли: гальмівне обладнання та електричні кола управління.

Структурні схеми інших компонент є аналогічними за складом, але іншими за змістом. Враховуючи, що сьома і восьма головні компоненти мають інформативність менше ніж 5 %, пропонуємо вплив цих компонент на загальний індекс стану безпеки руху $I_{бр}$ не враховувати. Розподіл головних компонент, які є складовими індексу стану безпеки руху, наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Розподіл складових індексу стану безпеки руху

Компонента		Технічна складова				Безпекова складова	
№	Інформа- тивність	Показник	Частка, %	Показник	Частка, %	Показник	Частка, %
1	0,310	Кола управління	8,9	Гальмівне обладнання	8,4	Незадовільний деповський ремонт	8,3
2	0,169	Електро-апаратура кіл управління	10,3	Візок, екіпаж	15,7	Технічні причини транспортних подій	14,3
3	0,104	Силова електро-апаратура	16,1	Електро-апаратура кіл управління	10,6	Проїзд забороненого сигналу	14,2
4	0,086	Букси	7,3	Колісно-моторний блок	9,8	Невірні дії локомотивних бригад (транспортні події)	16,6
5	0,066	Головний генератор	10	Акумуляторна батарея	9,9	Невірні дії локомотивних бригад (несправності обладнання)	19,6
6	0,061	Силові трансформатори	15	Коробка зміни швидкостей	10,2	Сходи, зіткнення при маневрах (інциденти)	10,8

У таблиці виконано ранжирування показників технічної та безпекової складової за ступенем їх впливу на загальний індекс безпеки руху. На основі аналізу результатів, наведених в табл. 1, визначено вузли локомотивів, які найбільше впливають на стан безпеки руху та надійність. Аналіз безпекової складової показує вплив кожного з наведених показників на стан безпеки руху.

Запропонований індекс стану безпеки руху $I_{\text{бр}}$ є інтегральним показником. Він враховує весь обсяг статистичної інформації щодо стану безпеки руху, але одночасно дозволяє визначити ступінь впливу кожного з показників на загальний індекс безпеки руху. Значення $I_{\text{бр}}$ є безрозмірною величиною, яка відображує загальний рівень безпеки руху. Чим більше значення $I_{\text{бр}}$, тим гіршим є стан безпеки руху. Динаміку зміни $I_{\text{бр}}$ за роками наведено на рис. 3.

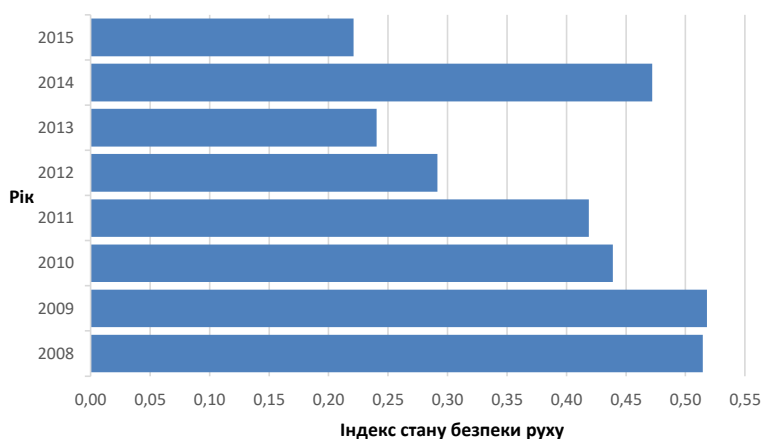


Рисунок 3 – Індекс стану безпеки руху в локомотивному господарстві

На значення індексу стану безпеки руху впливають як технічні причини, так і економічні, соціальні та інші. Цим і можна пояснити різке зростання індексу у 2014 році.

У п'ятому розділі дисертації наведено методику та виконано розрахунок вартості життєвого циклу технічної системи (локомотива) з урахуванням залежних відмов його обладнання. З допомогою цієї методики можна визначати середню вартість непланового ремонту, що зі свого боку дозволяє вдосконалити систему утримання. Для обґрунтування цієї методики запропоновано показник, який дає можливість оцінити вплив залежних відмов на систему утримання. Виконано апробацію методики на даних про відмови основного обладнання електровозів серії ДЕ1. Це дозволило виявити вузли, відмови яких призводять до значного зростання (до 12 разів) вартості відновлення у разі виникнення залежних відмов. Для таких вузлів пропонується обслуговування за системою утримання з обстеженням та відновленням у фіксовані моменти напрацювання. Запропоновано раціональну систему утримання, яка враховує залежні відмови вузлів локомотива (на прикладі електровоза серії ДЕ1).

На рис. 4 наведено схему витрат на життєвий цикл технічного об'єкта залізничного транспорту.

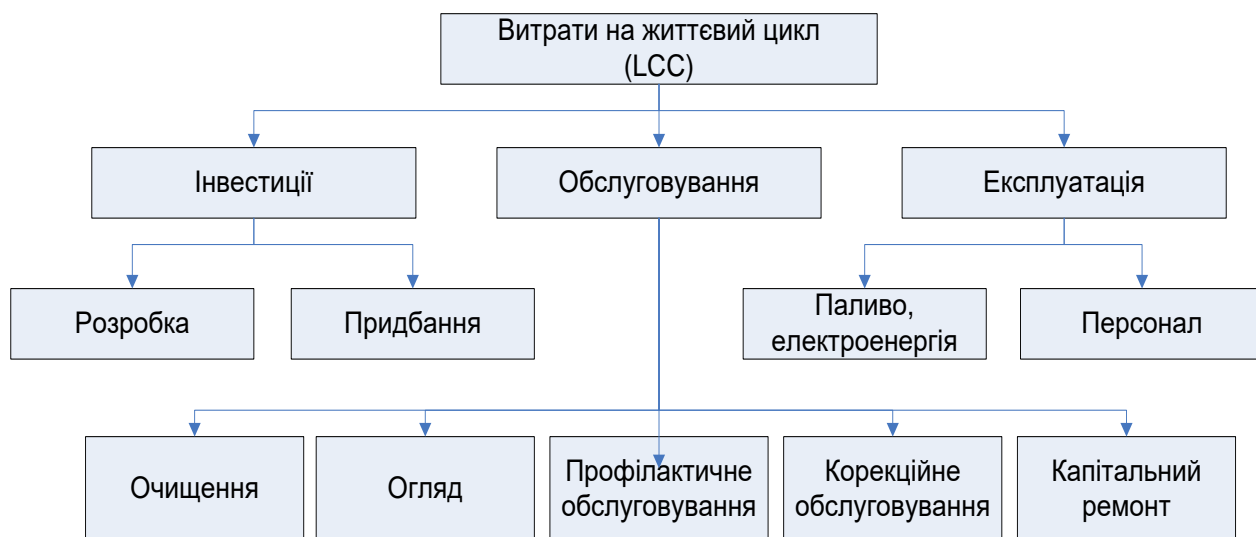


Рисунок 4 – Схема витрат на життєвий цикл

Однією зі складових вартості життєвого циклу LCC є витрати на обслуговування локомотива, величина яких залежить від показників надійності та прийнятої системи технічного утримання.

Відповідно до методики оцінювання економічної ефективності системи утримання локомотивів, запропонованої Є. Б. Боднарем, вартість непланових ремонтів у раціональній системі без урахування залежних відмов визначається таким чином:

$$C = C_{\text{непл}} \cdot H_p,$$

де $C_{\text{непл}}$ – середня вартість непланового ремонту вузла локомотива; H_p – середня кількість відмов за час життєвого циклу локомотива.

Середня вартість одного непланового ремонту $C_{\text{непл}}$ визначається з виразу

$$C_{\text{непл}} = C_{\text{пл}} + C_{\text{лг}}(t_{\text{мп}} + t_{\text{нр}}),$$

де $C_{\text{пл}}$ – вартість одного планового ремонту; $C_{\text{лг}}$ – вартість однієї локомотивогодини; $t_{\text{мп}}$ – час транспортування локомотива до місця ремонту; $t_{\text{нр}}$ – час простою локомотива на ремонті.

Для удосконалення методики розрахунку вартості системи утримання локомотивів пропонується враховувати залежні відмови вузлів таким чином.

Середня вартість одного непланового ремонту C_3 з урахуванням залежних відмов визначається з виразу

$$C_3 = C_{\text{пл}} + \sum_{i \in V} p_i C_{\text{пл}}^i + C_{\text{лг}}(t_{\text{мп}} + t_{\text{нр}}),$$

де V – множина залежних елементів; p_i – ймовірність залежної відмови i -го елемента; $C_{\text{пл}}^i$ – вартість одного планового ремонту i -го залежного елемента.

У загальному вигляді ймовірності виникнення залежних відмов пропонується подавати у вигляді таблиці 2.

Таблиця 2 – Ймовірності виникнення залежних відмов

Обладнання локомотива	Вузол 1	Вузол 2	...	Вузол <i>i</i>	...	Вузол <i>N</i>
Вузол 1		p_{12}		p_{1i}		p_{1N}
Вузол 2	p_{21}			p_{2i}		p_{2N}
...						
Вузол <i>i</i>	p_{i1}	p_{i2}				p_{iN}
...						
Вузол <i>N</i>	p_{N1}	p_{N2}		p_{Ni}		

У табл. 2 у стовпцях вказано назви вузлів з первинними відмовами. У рядках – назви вузлів із залежними відмовами. Елементи цієї матриці (таблиці) заповнюються експертами, які вказують імовірності залежних відмов для кожного вузла локомотива. Наприклад: p_{12} – ймовірність того, що відбудеться залежна відмова вузла № 1 у разі відмови вузла № 2. У загальному вигляді: p_{iN} – ймовірність того, що відбудеться залежна відмова вузла № *i* у разі відмови вузла № *N*.

Для оцінки впливу залежних відмов на систему утримання та вартість життєвого циклу локомотива пропонується використовувати коефіцієнт $P_{зо}$. Цей показник оцінки впливу залежних відмов на вартість відновлення після відмови обчислюємо таким чином:

$$P_{зо} = \frac{C_з}{C_{непл}} \cdot 100\% .$$

Запропонований коефіцієнт дозволяє визначати вузли, відмова яких впливає на вартість відновлення більше, ніж становить їх номінальна вартість, а також враховувати ймовірні втрати внаслідок відмови вузла при розробці та коригуванні системи утримання локомотивів.

Зростання вартості ремонтів основних вузлів локомотива при виникненні залежних відмов наведено в табл. 3.

Урахування залежних відмов дозволило виявити вузли локомотива, відмови яких призведуть до значного зростання загальної вартості відновлення (до 12-кратного зростання від номінальної вартості заміни вузла). Тому їх рекомендується обслуговувати за плановою системою, а не за технічним станом.

Формування раціональної системи утримання локомотивів, яка враховує залежні відмови обладнання, здійснювалося на прикладі електричного обладнання електровозів серії ДЕ1.

Таблиця 3 – Оцінка впливу залежних відмов на систему утримання електровоза серії ДЕ1

Групи вузлів	Назва вузла	Зростання вартості, %
Апарати силової мережі	Контактори електропневматичні	624,55
	Контактори електромагнітні	572,04
	Пускові й гальмові резистори	22,03
Апарати захисту	Реле захисту та контролю	7,63
	Високовольтні запобіжники	2200,58
Допоміжна апаратура	Резистори	1292,43
	Акумуляторна батарея	1006,01
	Лічильники електроенергії	0,00
Кола керування	Блокування та реле	942,83
	Контролери машиніста	748,98
	Низьковольтні запобіжники	4,39
	Електронне устаткування	758,92
	ТЕД	2,34

Результати розрахунків системи утримання апаратів силової мережі електровоза серії ДЕ1 з урахуванням залежних відмов показано на рис. 5 (витрати та середні витрати на одиницю пробігу – до ПРЗ). За допомогою системи комп'ютерної алгебри Maple створено програму для визначення раціональних періодів відновлення вузлів з урахуванням залежних відмов елементів.

Для оцінки економічної ефективності удосконалення системи ремонту локомотивів шляхом урахування залежних відмов вузлів було виконано такі розрахунки (на прикладі ТЕД).

Економічний ефект визначено за формулою

$$E = C_3 \Delta H - C_{\text{нел}},$$

де C_3 – середня вартість непланового ремонту одного ТЕД з урахуванням залежних відмов; $\Delta H = H - H_3$ – різниця кількості відмов при існуючій системі утримання й системі, що враховує залежні відмови; $C_3 \Delta H$ – економія коштів на непланових ремонтах.

Середню кількість відмов при існуючій системі визначив Є. Б. Боднар залежно від функції швидкості приросту середньої кількості відмов вузлів локомотива від пробігу. Кількість відмов ТЕД при існуючій системі утримання та при запропонованій системі з урахуванням залежних відмов елементів становить відповідно 4,78 та 1,43.

Розрахунковий економічний ефект від урахування виникнення залежних відмов для одного ТЕД становить:

$$E = C_3 \Delta H - C_{\text{нел}} = 715,40 \cdot (4,78 - 1,43) - 699,02 = 1697,57 \text{ грн.}$$

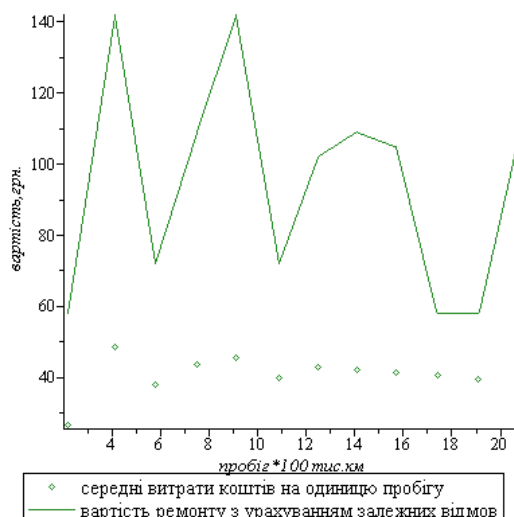


Рисунок 5 – Результати розрахунків системи утримання апаратів силової мережі електровоза серії ДЕ1з урахуванням залежних відмов

З урахуванням коефіцієнта інфляції на 2021 рік економічний ефект для одного ТЕД електровоза серії ДЕ1 дорівнюватиме 10,51 тис. грн. Тобто економія витрат на його життєвий цикл при удосконаленні системи утримання з урахуванням залежних відмов становитиме 10,51 тис. грн на один ТЕД.

Методика розрахунку може бути використана для порівняння та оцінювання варіантів системи утримання локомотивів та розроблення систем діагностування локомотивів.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором результати, які в сукупності вирішують наукове завдання підвищення надійності локомотивів у експлуатації за рахунок удосконалення їх системи утримання шляхом урахування залежних відмов їх елементів. Виконані в роботі дослідження дозволяють зробити такі висновки та пропозиції:

1. Аналіз причин виникнення транспортних подій у локомотивному господарстві виявив, що майже 64 % відмов виникають через залежні відмови вузлів локомотивів. При цьому наявні методики побудови раціональних систем утримання не враховують можливість виникнення цього виду відмов та їх вплив на вартість непланових ремонтів.

2. З використанням рекурентних співвідношень на множинах розроблено математичну модель залежних відмов у технічній системі. За допомогою цієї моделі визначають вузли локомотива, вартість усунення наслідків відмов яких з урахуванням залежних відмов значно перевищує номінальну вартість відновлення цього вузла.

3. Для визначення раціональної системи утримання локомотивів розроблено методику, яка дозволяє мінімізувати витрати коштів, часу та екологічних ресурсів при збереженні заданого рівня надійності.

4. Здійснено оцінювання виконання системи утримання локомотивного парку методами зниження розмірності великих масивів даних. Запропоновано використання єдиного інтегрального показника, який, на відміну від існуючих, дозволяє оцінити роботу локомотивного парку на основі великої кількості показників з мінімальною втратою інформації.

5. Виконано оцінювання стану безпеки руху в локомотивному господарстві на підставі аналізу абсолютних показників безпеки руху. Розроблена методика дозволила об'єднати 33 показники зі збереженням 85 % вихідної інформації у єдиний інтегральний показник, який характеризує стан безпеки руху. Розроблений показник дав можливість виявити погіршення стану безпеки руху в локомотивному господарстві у 2014 році на 95 %.

6. Обчислено вплив залежних відмов на вартість непланових ремонтів вузлів електровоза серії ДЕ1, що дозволило визначити вузли, які потребують посиленого контролю під час проведення регламентних робіт. Наприклад, залежні відмови апаратів захисту збільшують вартість відновлення у 22 рази, апаратів силової мережі – у 6 разів.

7. Запропоновано раціональну систему утримання локомотивів, яка враховує залежні відмови обладнання, та оцінено її економічну ефективність на прикладі ТЕД електровоза серії ДЕ1. Запропонована система утримання дозволяє зменшити вартість життєвого циклу 1 ТЕД цього електровоза на 10,51 тис. грн.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці:

1. Босов А. А., Гришечкина Т. С., Савченко Л. Н. Математическое моделирование зависимых отказов технического объекта. *Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта*. 2009. Вып. 28. С. 129-132.

2. Kapitsa M. I., Hryshechkina T. S. Rational Recovery Model of Depot Processing Equipment at the Industrial Enterprise. *Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта*. 2014. Вып. 4 (52). С. 60-66.

3. Лоза П. А., Гришечкина Т. С. Оценка качества выполнения системы содержания парка электроподвижного состава. *Электрификация транспорта*. 2015. № 9. С. 87-93.

4. Гришечкіна Т. С. Побудова математичної моделі раціональної системи утримання технічних об'єктів залізничного транспорту. *Транспортные системы и технологии перевозок*. 2017. Вып. 14. С. 30-35. DOI: 10.15802/tstt2017/123165

5. Bodnar B., Bolzhelarskyi Y., Ochkasov O., Hryshechkina T., Černiauskaite L. Determination of Integrated Indicator for Analysis of the Traffic Safety Condition for Traction Rolling Stock. *Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS'2018)* : the 12th Intern. Sci. Conf. (April 26–27, 2018, Panevėžys) / Kaunas University of Technology. Panevėžys, 2018. P. 45–54. Retrieved from www.scopus.com

6. Bodnar B., Ochkasov O., Bodnar E., Hryshechkina T., Keršys R. Safety Performance Analysis of the Movement and Operation of Locomotives. *Transport*

Means 2018 : proc. of the 22nd Intern. Sci. Conf. (Oct. 03–05, 2018, Trakai, Lithuania). Kaunas, 2018. Pt. II. P. 839–843. Retrieved from www.scopus.com

7. Bodnar B. E., Ochkasov O. B., Bodnar E. B., Hryshechkina T. S., Ocheretnyuk M. V. Simulation of locomotive repair organization by the methods of queue systems theory. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*. 2018. № 5 (77). P. 28–40. DOI: 10.15802/stp2018/147740

8. Bodnar B. E., Hryshechkina T. S., Bodnar E. B. Choosing the System of Locomotive Maintenance in View of the Effect of Dependent Failures. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*. 2018. № 6 (78). P. 47-58.

9. Bodnar B., Ochkasov O., Hryshechkina T., Bodnar E., Skvireckas R. Consideration of Dependent Failures Impact on Selecting the System of Locomotive Maintenance. *Transport Means 2019* : proc. of the 23rd Intern. Sci. Conf. (Oct. 02–04, 2019, Palanga, Lithuania). Kaunas, 2019. Pt. III. P. 1103–1107. Access Mode: <https://transportmeans.ktu.edu/wp-content/uploads/sites/307/2018/02/Transport-means-2019-Part-3.pdf> (18.11.19). Retrieved from www.scopus.com

Праці апробаційного характеру:

10. Гришечкина Т. С. Моделирование зависимых отказов в технических системах. *Системный анализ и информационные технологии* : материалы 14-й Междунар. научно-техн. конф. SAIT 2012 (Киев, УНК “ИПСА” НТУУ “КПИ”, 24 апреля 2012 г.). Киев, 2012. С. 48-49.

11. Босов А. А., Гришечкина Т. С. Учет зависимых отказов при усовершенствовании систем содержания технических объектов. *Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта* : тезисы докл. 68-й Междунар. научно-практ. конф. (Днепропетровск, ДНУЖТ, 2008 г.). Днепропетровск, 2008. С.16.

12. Гришечкина Т. С. Повышение надежности тягового подвижного состава путем усовершенствования контроля отказов элементов. *Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта* : тезисы докл. 69-й Междунар. научно-практ. конф. (Днепропетровск, ДНУЖТ, 21-22 мая 2009 г.). Днепропетровск, 2009. С.71.

13. Гришечкина Т. С. Сравнительный обзор систем содержания локомотивов. *Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта* : тезисы докл. 74-й Междунар. научно-практ. конф. (Днепропетровск, ДНУЖТ, 15-16.05.2014). Днепропетровск, 2014. С. 11-13.

14. Лоза П. А., Гришечкина Т. С. Новый подход к оценке системы содержания локомотивного парка дороги. *Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта* : тезисы докл. 75-й Междунар. научно-практ. конф. (Днепропетровск, ДНУЖТ, 14-15 мая 2015 г.). Днепропетровск, 2015. 510 с.

15. Гришечкина Т. С. Модели зависимых отказов элементов технических систем. *Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта* :

тезиси докл. 76-й Междунар. научно-практ. конф. (Днепропетровск, ДНУЖТ, 20.05.2016). Днепропетровск, 2016. С. 13-14.

16. Очкасов О. Б., Гришечкина Т. С., Коренюк Р. О. Оцінка інформативності діагностичних параметрів з використанням методів зниження розмірності. *Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств* : тези 6-ї Міжнар. науково-практ. конф. (Дніпро, ДНУЗТ, 29.11 – 30.11.2017). Дніпро, 2017. С. 111-113.

17. Очкасов О. Б., Гришечкіна Т. С. Вплив показників надійності на вартість життєвого циклу локомотива. *Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств* : тези 7-ї Міжнар. науково-практ. конф. (Дніпро, ДНУЗТ, 30 листопада 2018 р.). Дніпро, 2018. С. 121-123.

18. Боднар Б. Є., Очкасов О. Б., Боднар Є. Б., Гришечкіна Т. С. Оцінка роботи локомотивного парку з використанням методів зменшення розмірності. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту* : тези 79-ї Міжнар. науково-практ. конф. (Дніпро, ДНУЗТ, 16-17 травня 2019 р.). Дніпро, 2019. С. 23-24.

Додаткові праці, які відображають наукові результати дисертації

19. А.с. Твір Комп'ютерна програма «Програмне забезпечення для оцінки впливу залежних відмов на систему утримання технічних об'єктів залізничного транспорту» / Т. С. Гришечкіна (Україна). №82306; опубл. 17.10.2018.

20. Гришечкіна Т. С. Моделирование зависимых отказов элементов сложных технических систем. *Труды Ростовского государственного университета путей сообщения*. 2016. № 2. С. 13-17.

21. Очкасов О. Б., Гришечкіна Т. С., Очеретнюк М. В. Применение методов теории массового обслуживания при моделировании работы цеха ремонта локомотивов. *21th Conference for Lithuanian Junior Researchers "Science - Future of Lithuania. Transport Engineering and Management"* (Vilnius Gediminas Technical University. May 4, 2018 – May 5, 2018). Vilnius, 2012. P. 40-44.

22. Очкасов А. Б., Гришечкіна Т. С., Очеретнюк М. В. Подходы к моделированию системы технического обслуживания локомотивов. *Актуальні проблеми автоматизації та управління* : V Міжнар. науково-практ. інтернет-конф. молодих учених та студентів (Луцьк, Луцький національний технічний університет, 2017). Луцьк, 2017. № 5. С. 100-105.

23. Босов А. А., Гришечкіна Т. С., Савченко Л. Н. Влияние зависимых отказов на безопасность технических систем: анализ транспортных происшествий с 2005 по 2008 гг. *Локомотив-информ*. 2010. № 5. С. 46-50.

АНОТАЦІЯ

Гришечкіна Т. С. Удосконалення системи утримання технічних об'єктів залізничного транспорту з урахуванням залежних відмов їх елементів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту». –

Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, 2021.

Дисертаційна робота присвячена проблемі підвищення надійності локомотивів у експлуатації за рахунок удосконалення їх системи утримання шляхом урахування залежних відмов елементів.

Виконано огляд сучасних систем утримання локомотивів, розглянуто методики вибору раціональних систем утримання. З'ясовано, що причинами більшості транспортних подій у локомотивному господарстві є залежні відмови елементів. При цьому жодна існуюча методика не враховує такі відмови при побудові раціональної системи утримання. У рамках вирішення цієї проблеми запропоновано врахування залежних відмов для вдосконалення системи утримання тягового рухомого складу та підвищення його експлуатаційної надійності.

Виведено рекурентне співвідношення на множинах, яке описує поширення залежних відмов по технічній системі. На основі цього співвідношення розроблено модель, яка дозволяє визначати вплив залежних відмов на вартість непланових ремонтів, враховувати витрати на усунення наслідків залежних відмов. Запропоновано раціональну систему утримання, яка враховує витрати коштів, часу та екологічних ресурсів при обмеженні показника інтенсивності відмов.

Для оцінювання виконання системи утримання запропоновано використання єдиного інтегрального показника, який будується на основі статистичних даних із застосуванням методів зниження розмірності, що дозволило врахувати інформацію про систему технічного обслуговування та ремонту, а також вплив додаткових показників (наприклад, вантажообіг) на систему утримання. Також було виконано оцінювання стану безпеки руху в локомотивному господарстві з використанням запропонованої методики, яка дозволила перейти від 33 показників до одного, який достатньою мірою (зі збереженням 85 % вихідної інформації) характеризує стан безпеки руху.

Запропоновано раціональну систему утримання локомотивів, яка враховує залежні відмови обладнання, та надано оцінку її економічної ефективності на прикладі ТЕД електровоза серії ДЕ1. Виконані дослідження показали, що запропонована система утримання дозволяє зменшити вартість життєвого циклу 1 ТЕД цього електровоза на 10,51 тис. грн.

Ключові слова: тяговий рухомий склад, надійність, система утримання, залежні відмови, математичне моделювання, методи зниження розмірності, вартість життєвого циклу

ABSTRACT

Hryshechkina T.S. Improvement the railway transport technical objects maintenance system, taking into account the dependent failures of their elements. – Manuscript copyright.

Thesis for a candidate of technical sciences degree in specialty 05.22.20 "Operation and repair of transport means" – Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, 2021.

The work was performed at the Department of Applied Mathematics of the Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

The thesis is devoted to solving the problem of improving the existing system of maintenance of technical objects of railway transport, namely, to take into account the influence of dependent equipment failures.

The introduction substantiates the relevance of the topic of the dissertation, formulates the purpose and main tasks of the research, determines the scientific novelty of the work and the practical significance of the results obtained, shows the connection of work with scientific themes. Information is given about the testing of the results of work, the personal contribution of the author and his publication.

In the first section of the thesis, an analysis of the current state of traction rolling stock hold systems was carried out. Their advantages and disadvantages are determined. The lack to take into account the consequences of dependent failures of the main components of locomotives in any existing system of maintenance of technical objects of railway transport was detected. The analysis of transport events in the locomotive economy was carried out, which revealed that most of the accidents arose precisely due to the reasons for the equipment failures.

According to the results of the first section the expediency of taking into account the dependent failures of elements of technical systems during construction of a rational system of holding these objects has been proved.

The main task of rail transport is to ensure the needs of the population in transportation, that is, the solution of problems and the national economy and social needs. Modern realities also demand a careful attitude towards the use of ecological resources (water, fuel, etc.). Therefore, the question arises about the choice of rationality criterion when improving the railway transport technical objects maintenance systems.

In the second section of the thesis, a systematic analysis of the theoretical foundations for improving the locomotive retention system was carried out. The main quantitative characteristics of the reliability of the system and the concept of dependent failure are considered. Modeling of failure to work and recovery process was performed. A recurrence ratio is described that describes the distribution of dependent failures on the system. Based on this correlation, the deterministic and probabilistic models of the distribution of dependent failures on the system are developed. This allowed taking into account the costs of eliminating the consequences of dependent failures in the maintenance system of technical objects.

To assess the quality of the maintenance system and other aspects of the work of the locomotive park, a method is proposed based on methods of reducing the dimension of the data. With this technique, it is possible to analyze the state of the locomotive economy on various aspects (in terms of traffic safety, in terms of the quality of the implementation of the system of locomotive hold, in terms of operational safety, etc.).

The third section of the thesis a method for determining a rational maintenance system using the mathematical apparatus of vector optimization. As criteria of rationality, according to the results of the analysis in the second section, the following indicators are selected: costs of expenses, time expenditures, expenses of ecological resources. The problem of vector optimization for three functions, which are described in detail, is formed. The basic conditions for existence of the solution of this problem are formulated.

In the fourth section of the thesis, an estimation of the work of the locomotive park was carried out by methods of reducing the dimension of data, which made it possible to get rid of redundant duplicate information from a large number of output indicators of the activity of the locomotive economy.

In order to evaluate the efficiency of the maintenance system, using the method of the main components and the hierarchy analysis method, a single integral index, the Index of execution the maintenance system, was developed. To substantiate the adequacy of the proposed indicator, its testing was carried out on the data of the Prydniprovskaya railway locomotive park. Comparison of the obtained values of the index and the average percentage of implementation of the repair plan showed a high degree of interdependence of these indicators. To test the hypothesis of equality of mathematical expectations of these indicators, t-criterion of Student was calculated, the value of which testified that the received empirical value was in the zone of meaningful results.

The fifth section of the thesis presents the methodology and calculates the cost of the life cycle of the technical system (locomotive), taking into account the dependent failures of its equipment. This technique has allowed to determine the average cost of unplanned repair, which in turn allows you to improve the retention system. In order to substantiate this technique, an indicator is proposed that allows assessing the impact of dependent failures on the retention system. Approbation of the methodology work is carried out on data on the failure of the main equipment of electric locomotives DE1. This allowed to identify the nodes, failures of which lead to a significant increase (up to 12 times) of the cost of recovery in the event of dependent failures in the locomotive. For such nodes maintenance is provided by the maintenance system with a survey and restoration in fixed moments of work.

Key words: traction rolling stock, reliability, retention system, dependent failures, mathematical modeling, methods of diminishing of dimension, cost of life cycle.

Гришечкіна Тетяна Сергіївна

**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УТРИМАННЯ ТЕХНІЧНИХ
ОБ'ЄКТІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ З УРАХУВАННЯМ
ЗАЛЕЖНИХ ВІДМОВ ЇХ ЕЛЕМЕНТІВ**

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підп. до друку 05.04.2021. Формат 60×84 1/16. Ум. друк. арк. 0,9.
Тираж 60 пр. Зам. № 7

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010