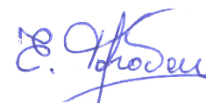


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

Горобець Євген Володимирович



УДК 629.42.02-046.32:51-74(043.3)

РОЗВИТОК МЕТОДІВ ОЦІНКИ МІЦНОСТІ ТА ВИТРИВАЛОСТІ НЕСУЧИХ
КОНСТРУКЦІЙ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

Спеціальність 05.22.07 – Рухомий склад залізниць і тяга поїздів

Галузь знань 27 – транспорт

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпро – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент, доктор історичних наук,
Довганюк Степан Степанович,
Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, кафедра «Вагони і вагонне господарство».

Офіційні опоненти: професор, доктор технічних наук, завідуючий кафедрою машин і агрегатів металургійного виробництва
Білодіденко Сергій Валентинович,
Національна металургійна академія України, м. Дніпро, Україна.

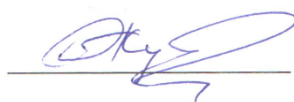
кандидат технічних наук, доцент кафедри Електромеханіки та рухомого складу залізниць
Каращук Вікторія Олександрівна
Державний університет інфраструктури та технологій,
м. Київ, Україна.

Захист відбудеться «23» __09__ 2021 о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, Дніпро, вул. Лазаряна, 2.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, Дніпро, вул. Лазаряна, 2.

Автореферат розісланий «04» __08__ 2021

Вчений секретар
Спеціалізованої вченої ради



І. В. Жуковицький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дисертаційної роботи. Експлуатаційний парк рухомого складу України характеризується тривалим часом експлуатації вже після вичерпання призначеного строку служби. Тому виникає необхідність в розвитку методів визначення можливості подальшої безпечної експлуатації рухомого складу (РС) для забезпечення потреб залізничного транспорту в пасажирських та вантажних перевезеннях при неухильному забезпеченні вимог безпеки руху поїздів.

Фізичний ресурс основних несучих конструкцій (НК) РС, як правило, допускає можливість збільшення їх призначеного терміну служби.

Розвиток вказаних вище методів забезпечує можливість безпечної експлуатацію РС та отримання економічного ефекту задля розвитку парку РС та тягового РС (ТРС) підприємств. Вказане визначає актуальність дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота є складовою частиною робіт з оцінки залишкового ресурсу несучих конструкцій РС, які виконувалися Дніпровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна і ТОВ «НВП «Укртранскад» на замовлення закордонних фірм, АТ «Укрзалізниця» (УЗ) та промислових підприємств. Роботи проводилися згідно договорів та контрактів, що передбачали вказані види робіт.

Результати роботи використано при проведенні наступних НДР: «Проведення досліджень показників якості модернізованого вузла підвищеної надійності шкворневої балки вагону міжрегіонального поїзда подвійного живлення для пасажирських перевезень» в рамках договору ДНУЗТ № ДР 0117U006915; «Проведення комплексних порівняльних випробувань вставок пантографів на мережі змінного струму». за договором ДНУЗТ № 86/2012-ЦТех-218/2012 – ЦЮ від 21.09.2012 р.; «Разработка проекта Технических условий «Капитальный ремонт с продлением срока службы четырехосного вагона, переоборудованного из грузового рефрижераторного», виконаного ТОВ «НВП «Укртранскад» на замовлення Казахської залізниці (Казакстан Темір Жолы, КТЖ).

Мета та задачі дослідження. Метою даної роботи є збільшення призначеного терміну служби основних несучих конструкцій рухомого складу залізниць шляхом спрямованого на це удосконалення методів оцінки їх міцності та витривалості із застосуванням результатів проведених теоретичних та експериментальних досліджень.

Для досягнення вказаної вище мети в роботі необхідно вирішити такі *задачі*:

1. Провести аналіз наукових праць, присвячених проблемі оцінки показників міцності та ресурсу РС, інших наукових публікацій за темою дисертації та аналіз існуючої нормативної бази.
2. Розвинути методику оцінки ресурсу несучих конструкцій рухомого складу шляхом порівняння мір їх напрацювання з метою спрощення використання експериментальних, розрахункових або довідкових даних.
3. Удосконалити методику розрахунку ресурсу відповідальних елементів екіпажної частини РС, орієнтовану на максимальне використання даних теоретичних розрахунків та довідкових даних з чинної нормативної бази.

4. Розробити методологію розрахунку на міцність та визначення припустимих навантажень силових елементів РС з можливою наявністю недосконалостей кристалічної структури металу, здатних ініціювати початок втомного руйнування.
5. Удосконалити спосіб ієрархічного порівняння якості елементів та вузлів РС, задля спрощення процесу порівняння кількісних та якісних показників.
6. Дослідити розвиток рівномірної корозії певних серій ТРС промислового транспорту в умовах тривалої експлуатації.
7. Удосконалити спосіб експериментальної оцінки геометричних характеристик основних НК РС.

Об'єкт дослідження. Процес експлуатації основних несучих конструкцій рухомого складу, що тривалий час знаходився під дією динамічних навантажень та навколишнього активного середовища.

Предмет дослідження. Методи оцінки міцності та ресурсу несучих конструкцій рухомого складу.

Методи дослідження. Методи експериментальної оцінки динамічного навантаження несучих конструкцій одиниць рухомого складу; методи теорії ймовірності та математичної статистики; методи механіки руйнування; методи вищої математики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

Вперше:

1. Обґрунтовано застосування моделі витривалості із використанням ступеневої кривої, обмеженої знизу змінною в часі границею для оцінки ресурсу елементів НК РС, яка на відміну від існуючих підходів поєднує переваги використання ступеневої кривої витривалості та принципу зниження границі витривалості, що дозволяє більш точно оцінювати ресурс НК.

Удосконалено:

1. Систему математичних співвідношень для оцінки міцності та ресурсу несучих елементів та НК РС шляхом співставлення міри їх динамічної навантаженості з мірою напрацювання до переходу НК в граничний стан, що на відміну від загальноприйнятих методів дозволяє комбінувати досяжні експериментальні, розрахункові або довідкові нормативні дані щодо навантаженості НК РС.
2. Методику вимірювань та математичні співвідношення для оцінки геометрії рам кузовів та рам візків тепловозів ПТ, що відрізняється спрямуванням на зменшення похибок вимірювань при використанні бюджетних вимірювальних засобів.
3. Спосіб розрахунку припустимих навантажень НК з ймовірною наявністю недосконалостей на основі їх механічних характеристик та мікроструктури матеріалу НК, конфігурації та характеру навантаження деталі, яка, на відміну від звичайних методів розрахунку потребує мінімального обсягу інформації щодо статистичних характеристик навантажень НК.

Отримали подальший розвиток:

1. Методика оцінювання рівнів та тенденцій рівномірної корозії несучих конструкцій тепловозів ПТ, яке дозволило зробити пропозиції щодо оптимізації обсягів контролю корозійного зносу НК.
2. Спосіб ієрархічного порівняння якості елементів та вузлів РС, який є поєднанням експертних технологій прийняття рішень з нормалізацією даних задля спрощення процесу порівняння кількісних та якісних показників.

Практичне значення одержаних результатів полягає в оцінці строку безпечної експлуатації вузла демпфера коливань виляння візка міжрегіонального електропоїзда подвійного живлення «Hyundai-Rotem» (HRCS2), подовженні терміну служби НК тепловозів ТЕМ2, науковому супроводженні термічної правки рами кузова тепловоза ТЕМ2 зав. №2820 на замовлення ТОВ ЗТРЗ, критого вагона, переробленого з вантажного рефрижераторного, що дозволило забезпечити потрібний термін корисного використання об'єктів досліджень.

На основі положень, викладених в дисертації, обґрунтовано вибір накладок струмоприймачів змінного струму, що являють собою важливі змінні елементи конструкції електровоза, забезпечуючи його безпечну експлуатацію.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати, приведені в роботі, отримані автором самостійно. Статті [4,5] підготовлено без співавторів.

У роботах, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить:

- Аналіз результатів динамічних міцнісних та стендових вібраційних випробувань вузла демпфера коливань виляння візка електропоїзда HRCS2, оцінка впливу вертикальних коливань кузова електропоїзда на рівень навантажень вказаного демпфера, участь в проведенні розрахунків його ресурсу [3].
- Розвиток методу «статистичного програвання» [3] для досліджуваних серій ТРС.
- Участь у розробці методики ієрархічного порівняння експлуатаційних якостей накладок струмоприймачів змінного струму [2].
- Проведення розрахунків напружено-деформованого стану валів електродвигунів електровозів ВЛ80, участь в розробці методики та розрахунках [1].
- Участь в удосконаленні методів оцінки терміну служби рухомого состава залізниць та оцінці перспектив систем ремонту [5,6,7].

Апробація результатів роботи. Основні положення дисертації було викладено на науково-практичній конференції «Актуальні проблеми сучасного управління в соціально-економічних, технічних та гуманітарних системах» - м. Одеса, 2016 [8]; на XIV Міжнародній конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу та енергозбереження» – Дніпропетровськ, 2016 [9]; на міжнародній науково-технічній конференції «Технології та інфраструктура транспорту» - м. Харків, 2018 р. [10]; на XV Міжнародній конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту – Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу та енергозбереження», Дніпро, 2020 [11]; на міжкафедральному семінарі кафедр «Вагони та вагонне господарство», «Локомотиви», «Електрорухомий склад залізниць», «Електронні обчислювальні машини», «Безпека життєдіяльності».

Публікації. Положення дисертаційної роботи викладені в 11 наукових працях, серед яких 7 наукових статей, з них 2 наукові статті, які входять до наукометричної бази даних SCOPUS, 3 опубліковані у фахових виданнях, затверджених департаментом атестації кадрів МОН України, 2 – у вітчизняних періодичних науково-практичних виданнях, 4 – тези доповідей на міжнародних конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів та висновків, які викладено на 148 сторінках машинописного тексту, що містить 61 рисунок і 36 таблиць, переліку літературних джерел із 158 найменування, 1 додатку на 5 сторінках. Повний обсяг дисертації становить 171 сторінку

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведена загальна характеристика роботи та обґрунтування актуальності теми дисертації, сформульована мета та задачі досліджень; надана наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, інформація про апробацію роботи та її зв'язок з науково-дослідницькими темами; вказана кількість публікацій за темою дисертації та особистий внесок здобувача в публікаціях, які підготовлені з участю спів-авторів.

Перший розділ починається з переліку термінів, які використовуються при вирішенні завдання розвитку методів оцінки міцності та витривалості несучих конструкцій рухомого складу.

Аналізуючи стан галузі можна зробити висновок, що завдання комплексного забезпечення безпечної експлуатації РС, особливо такого, який вже проходив процедуру подовження строку служби, потребує розвитку та адаптації методів дослідження його міцності та ресурсу до існуючих умов.

Незважаючи на певні недоліки, промисловий транспорт (ПТ) на поточний момент можна визнати як більш перспективну, маневрену та економічно вмотивовану частину залізничного транспорту України, ніж магістральний транспорт (МТ).

З метою рішення поставлених в роботі завдань, в розділі проведено аналіз розвитку нормативної бази рейкового транспорту та наукових публікацій за темою досліджень. Розрахунок ресурсу НК для напружень, які перевищують границю витривалості, знайшло відображення в «Нормах розрахунку...» моторвагонного рухомого складу (МВРС) та локомотивів. Розрахунок ресурсу НК РС з використанням ступеневої кривої втоми закладено в норми розрахунку вагонів.

Основним принципом розрахунку терміну служби будь-якої конструкції є співставлення поточної величини границі її опору втомі з динамічними навантаженнями, що діють на конструкцію процесі експлуатації.

Дослідженню та математичному моделюванню коливань, динамічних властивостей та динамічних навантажень металоконструкцій РС присвячено багато робіт українських та закордонних вчених.

Далі в роботі проведено аналіз публікацій із застосуванням методів оцінки довговічності та витривалості несучих металоконструкцій. Проблема опору втомі (витривалість конструкцій) присвячена велика кількість наукової літератури.

Для кількісної оцінки довговічності було введено поняття ресурсу, тобто міри напруження від початку його експлуатації, або поновлення після ремонту, до переходу в граничний стан.

Границя витривалості σ_{-1} є найважливішим параметром оцінки ресурсу НК РС. Для її визначення користуються прискореними методами випробувань.

Система обслуговування та ремонту в галузі ПТ суттєво відрізнялася від аналогічних експлуатаційних операцій на МТ. Тому, враховуючи падіння якості показників експлуатації та ремонту МТ, систему методів оцінки міцності та ресурсу НК РС можна логічно удосконалити наступним чином:

- робити операції з контролю технічного стану одиниць РС в єдиному технологічному циклі з формуванням оцінок щодо його залишкового ресурсу;

- визначити, контролювати та оцінювати параметри РС (*важливі або критичні параметри*), які можуть привести до серйозних інцидентів та аварій;
- контроль важливих параметрів РС повинен бути зробленим з використанням найбільш прогресивних методик та обладнання;
- методики обстеження та оцінки важливих параметрів несучих конструкцій РС мають бути науково обґрунтовані, інтуїтивно зрозумілі для виконавців та представників Власника РС.

До переліку важливих або критичних параметрів, можна віднести:

- геометричні характеристики (вигини, прогини, непаралельність) основних несучих конструкцій РС;
- ступінь корозійного ураження (рівномірного або місцевого) НК РС;
- експлуатаційної якості запасних частин з метою вибору їх виробника;
- механічні характеристики НК РС (наприклад, твердість).

В роботі розглянуті напрямки розвитку методів оцінки міцності та ресурсу елементів екіпажної частини на прикладі наступних об'єктів:

- рама кузова маневрового тепловоза ТЕМ2;
- вузол демпфера коливань виляння рами візка електропоїзда НРС2;
- накладки струмоприймачів магістральних електровозів змінного струму різних виробників;
- несучий кузов вантажного вагона, переобладнаного з рефрижераторного вагона для перевезення штучних і пакованих вантажів.

Наприкінці розділу подано економічне обґрунтування доцільності експлуатації рухомого складу за межами призначеного терміну служби.

В **другому розділі** викладено розвинуті автором принципи та математичні моделі оцінки міцності і довговічності НК РС: положення методу «статистичного програмування» циклів навантажень випадкової амплітуди, модельованих з використанням нормального (Гаусового) закону розподілу ймовірностей, спрощеного методу розрахунку міцності НК з можливою наявністю недосконалостей, а також методів статистичної обробки важливих характеристик технічного стану (ТС) МТ та ПТ.

В якості вихідного джерела для оцінки ресурсу НК РС в роботі використовується класична ступенева модель (крива витривалості Велера):

$$\sigma^m N = \text{const} = D, \quad (1)$$

де: D - сумарна міра наробітку НК до переходу в граничний стан, що залежить від кількості циклів динамічних напружень у НК і їх амплітуд; σ – амплітуда циклів навантаження, N – кількість циклів від початку навантаження до початку руйнування при напруженні σ , m показник степені кривої Велера ($m=4\div 5$ для конструкції).

Найбільш практична й, одночасно, досить достовірна розрахункова оцінка показника m дається в «Нормах расчета вагонов...»:

$$m = \frac{16}{K_\sigma}. \quad (2)$$

В формулі (2) K_σ - коефіцієнт зниження границі витривалості, що враховує концентрацію напружень у певній точці НК.

У ступеневу модель (1), як її обмеження знизу вводиться величина границі витривалості $\sigma_{.1}$ у явному виді. Це означає, що напруження в конструкції нижче $\sigma_{.1}$ не

призводять до її руйнування протягом усього терміну служби. Розрахункові формули такої моделі надані нижче

$$N = \begin{cases} N_{-1}(\sigma_{-1}/\sigma)^m & \text{при } 0 > \sigma \geq \sigma_{-1}; \\ \infty & \text{при } \sigma < \sigma_{-1}. \end{cases} \quad (3)$$

У виразі (3): N - кількість циклів навантаження з амплітудою σ до початку руйнування (появи видимої тріщини); N_{-1} - кількість циклів навантаження, що відповідає навантаженню з амплітудою σ_{-1} («база випробувань», $N_{-1} = 10^7 \sim 10^8$ циклів); σ_{-1} - границя витривалості на базі випробувань; m - див. опис до формули (1).

Модель витривалості (1) у вихідному вигляді не містить вказівок щодо способу або характеру зміни параметрів, які характеризують міру наробітку конструкції D . Тому в роботі прийнято, що міра наробітку вичерпується за рахунок зменшення поточного значення границі витривалості $\sigma_{-1}(t)$.

З урахуванням (1), виражена в дискретній формі міра наробітку конструкції D за певний кінцевий період навантаження, представляється як

$$D = \sum_{i=1}^k \sigma_i^m n_i, \quad (4)$$

де k - кількість інтервалів (розрядів) напруження; σ_i - величина напруження (симетричного циклу) i -го розряду; m - показник степені кривої витривалості; n_i - кількість циклів коливань з напруженням σ_i на обраному проміжку часу.

Остаточно, з рівнянь (1 – 4) отримується вираз для рекурсивного визначення границі витривалості як функції часу t , який в поєднанні з моделюванням нормально розподіленої величини послідовності циклів навантаження $\sigma_{\text{тек}}$. являє собою «статистичне програвання» процесу зниження границі витривалості.

$$\sigma_{-1}\left(t + \frac{1}{f}\right) = \sqrt[m]{\sigma_{-1}^m(t) - \frac{\sigma_{\text{тек}}^m(t)}{N_{-1}}}, \text{ де } \sigma_{\text{тек}} > \sigma_{-1}(t), \quad (5)$$

тут f – частота, оборотна до сумарної кількості циклів коливань за одиницю часу

$$f = \sum_1^k n_k.$$

Розглядаючи завдання оцінки напружень біля фронту недосконалості, їх компоненти можна записати у гіперболічній формі, характерній для подібних випадків

$$\sigma_{ij} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \theta_{ij}(\theta), \quad (6)$$


тут $\sqrt{2\pi}$ – нормуючий множник, введений для зручності. Коефіцієнтом K , загальним для усіх компонент напруження, позначають інтенсивність напружень (КІН).

Розрахунок на міцність НК з недосконаластями є однією з актуальних задач механіки руйнування. Суттєво, як розраховуються напруження поблизу фронту недосконалості. Згідно теоретичним положенням, вони наближаються до нескінченності, що робить важливим правильний вибір їх розрахункових схем. В таблиці 1 показано результати визначення трендів для різних типів моделей вістря недосконалості.

Розрахунки підтверджують, що достатньо прийнятні результати моделювання отримані для декількох моделей (моделі t_1, t_4). Даний підхід (таблиця 1), дозволяє отримати теоретичну гіперболу (6) з показником ступеню, близьким до -0,5.

Загальновідомо, що рівномірна корозія основних НК РС відноситься до важливого параметру механічних конструкцій, оскільки вона зменшує реальну товщину несучих конструкцій, отже знижує їх несучу здатність і ресурс.

Таблиця 1. Функції трендів напружень та критерії узгодження при різних видах моделювання форми фронту недосконалості.

№ з/п	Вид моделі недосконалості	Рівняння тренду	Значення критерію R ²	Тип фронту недосконалості
1	t ₁	$\sigma(x) = 207.38x^{-0.655}$	0.9952	
2	t ₂	$\sigma(x) = 303.95x^{-0.79}$	0.9897	
3	t ₃	$\sigma(x) = 221.33x^{-0.671}$	0.9956	
4	t ₄	$\sigma(x) = 201.24x^{-0.639}$	0.9936	

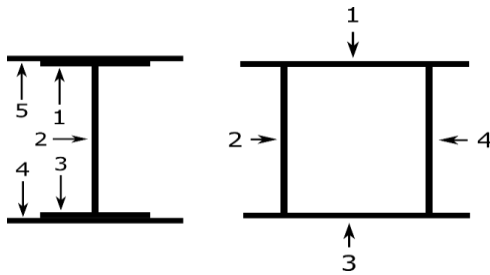


Рисунок 1. Переріз НК теплового ТЕМ2: а – кузов; б – візок

Статистичні дані для аналізу товщини основних НК локомотивів ПТ, як одного для важливих з точки зору безпеки експлуатації параметрів, було отримано в ході виконання робіт з обстеження їх ТС. Було обрано популярні серії локомотивів ТЕМ2 та ТГМ4 як найбільші доступні вибірки за об'ємом – 27 та 37 одиниць відповідно. Місця вимірювання товщини поперечних перерізі для тепловоза ТЕМ2 показано на рисунку 1.

Далі в другому розділі наведена методика рейтингового оцінювання експлуатаційної якості елементів РС на прикладі вставок струмоприймачів електровозів змінного струму. Показники експлуатаційної якості елементів та вузлів РС безсумнівно можна віднести до важливих показників, оскільки такі показники безпосередньо впливають на працездатність, надійність та безпеку експлуатації РС.

Рейтингова оцінка вставок певного типу або виробника складається за виразом

$$R_k = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R_{gj} R_{ci} Y_{ki}, \quad (7)$$

де R_k - умовна рейтингова оцінка вставок (накладок) k – того типу; R_{gj} – вагова оцінка важливості параметру в групі параметрів; R_{ci} – умовна вагова оцінка важливості параметру; Y_{ki} – безрозмірний (відносно певної вставки - еталона) параметр якості вставки; k – кількість типів вставок (накладок); n – загальна кількість груп параметрів; m – кількість параметрів якості вставок (накладок).

Нормовані величини показників Y_{ki} (діапазон зміни значень 0÷1) можуть мати два різні сенси, тобто найвищій якості відповідає значення 0, а найнижчій – 1, та навпаки. Тому в першому випадку (з метою отримання збільшення показника якості при зменшенні його величини) застосовується лінійно зворотна величина

$$Y'_{ki} = 1 - Y_{ki}. \quad (8)$$

Запропонований метод (рівняння(7) та (8)) об'єднує в собі окремі елементи різних методів експертних оцінок та дозволяє їх гнучко комбінувати для досягнення максимально достовірного результату порівняльної оцінки.

Також в другому розділі запропонована методологія розрахунку ресурсу кузова вагону-термоса, модернізованого для перевезення штучних і пакованих вантажів. Критерієм встановлення продовженого строку експлуатації досліджуваного вагона прийнято забезпечення тривалої міцності рами кузова вагону в складі несучого

кузова. Призначення продовженого строку експлуатації вагона базується на наступних критеріях:

- порівняння мір наробітку НК рам кузовів вагонів при дії поздовжніх поїзних ударних навантажень;
- порівняння мір наробітків НК рам кузовів вагонів при русі в експлуатаційному режимі (вертикальні й бічні коливання);
- «статистичне програвання» дії вертикальних і бічних сил на вагон.

Ресурс R_{IIi} за критерієм витривалості i -го навантаженого елемента досліджуваної конструкції **при русі в експлуатаційному режимі (вертикальні й бічні коливання)** формально визначається за формулою

$$R_{IIi} = \frac{D_{сумми}}{D_{IIi}L_{II}} \quad (9)$$

У виразі (9): $i=\{TX1, TY1, TX2, TX3, TX4\}$ - позначення місць розміщення тензодатчика навантаженого елемента (навантаженої зони) несучої конструкції модернізованого вагона-термоса; L_{II} - річний пробіг вагона в процесі експлуатації; D_{IIi} – сумарна міра наробітку i - го елемента конструкції за одиницю пробігу; $D_{сумми}$ - сумарна міра наробітку i - го елемента конструкції до появи видимої тріщини; R_{IIi} - ресурс, виражений в одиницях строку експлуатації досліджуваної конструкції.

Необхідні для оцінки ресурсу змінні визначаються в такий спосіб

$$D_{сумми} = \sigma_{-1i}^m N_{-1}; \quad (10)$$

$$m = \frac{16}{k_\sigma} \quad (11)$$

В рівняннях (10),(11): $N_{-1}=10^7$ – база випробувань для визначення границі витривалості; σ_{-1i} – границя витривалості i – го елемента конструкції (розрахункове значення); m – показник степені кривої витривалості для i -го елемента конструкції; величина k_σ – коефіцієнт зниження границі витривалості при переході від властивостей матеріалу до конструкції.

Ресурс R_{IIi} за критерієм витривалості i -го навантаженого елемента досліджуваної конструкції **при поздовжніх ударах**, якщо в якості аналогу прийняти сумарний розрахунковий наробіток навантаженого елемента конструкції, буде визначатися в такий спосіб:

$$R_{IIi} = \frac{D_{сумми}}{D_{IIPr i}}; \quad (12)$$

$$D_{IIPr i} = \sum_{j=31}^k \sigma_i(S_{aj})^m N_{yj}. \quad (13)$$

У виразах (12) та (13) : $i=\{TX1, TY1, TX2, TX3, TX4\}$ – див. пояснення до формули (9); $D_{сумми}$ – сумарний наробіток i – го елемента конструкції до появи видимої тріщини; R_{II} - ресурс досліджуваної конструкції в процесі експлуатації, виражений в одиницях часу; $D_{IIPr i}$ – сумарний наробіток i -го елемента НК від поздовжніх ударів за рік, (взята для РС - аналога (вантажного вагона) при поїзних навантаженнях; $\sigma_i(S_{aj})$ – напруження в i – му елементі конструкції від поздовжніх ударів як функція зусилля S_{aj} ; S_{aj} – величина зусилля в автозчепленні j – го рівня (за розподілом навантажень згідно «Нормам розрахунку...» вагонів).

Залежність напруження в i – му елементі конструкції σ_i від зусилля в автозчепленні визначена як

$$\sigma_i(S_a) = \eta_i S_a. \quad (14)$$

У виразі (14): η_i – коефіцієнт пропорційності між зусиллям в автозчепленні й напруженням в i – му елементі конструкції вагона.

Для вагонів, переобладнаних у вантажні піввагони, істотно важлива їхня здатність витримувати поздовжні удари в автозчепний пристрій. Розглянемо відповідну методику розрахунку, засновану на порівнянні мір наробітку НК рам кузовів вагонів при дії поздовжніх поїзних і сортувальних ударних навантажень.

Між границею витривалості при вигині σ_{-1} МПа і твердістю за Бринелем HB , існує кореляційна залежність (15):

$$\sigma_{-1} \text{ МПа} = 1.65 \cdot HB \pm 70. \quad (15)$$

Зв'язок між границею витривалості при вигині σ_{-1} і розтягненні-стисненні σ_{-1p} складає:

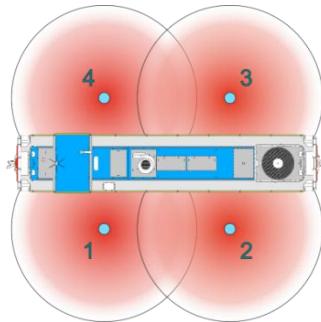
$$\sigma_{-1p} = 0.75 \cdot \sigma_{-1}. \quad (16)$$

Формули (15),(16) дозволяють оцінити границю витривалості елементів конструкції вагона за даними вимірів твердості його елементів.

Оцінка геометричних характеристик основних НК тепловоза (рам візків та рами кузова) є засобом отримання інформації стосовно їх технічного стану. В пропонованому методі використовується круговий лазерний нівелір, а вимірювання ординат на головних балках рами кузова виконується на осі нижньої полицки (рисунок 2а).

На рисунку 2 б приведена схема для найгіршого випадку обстеження, коли на момент проведення роботи присутній хоча б один з наступних факторів:

1. основне обладнання під кузовом не демонтоване;
2. навколишнє освітлення значно перевищує значення 300 лк;
3. сторонні об'єкти в зоні проведення робіт з обстеження.



Узагальнений розрахунок величин прогинів для обох головних балок рами кузова тепловоза наведено у формулі (17).

$$d_i = k \left(h_i - h_{b0} - \frac{(h_{b1} - h_{b0}) \cdot l_i}{l_{b1}} \right), \quad (17)$$

тут k – коефіцієнт, що приймає значення 1 або -1 та залежить від напрямку

вимірювання; $i = 0 \dots n$ – номер одиничного виміру на повздовжній рамі кузова; d_i – розрахункове відхилення в точці; h_i – отримане значення в точці i ; h_{b0} – значення відхилення в умовній нульовій точці основної балки (одна з точок

опори); h_{b1} – відхилення в другій точці опори основної балки; l_i – відстань від початкової точки рами до точки проведення i -го виміру; l_{b1} – відстань між точками опори рами, база локомотива.

З метою отримання уточнених значень прогинів, в роботі [5] розраховано величину похибки вимірів з урахуванням положення локомотива у просторі.

У **третьому розділі** наведено приклади оцінки важливих параметрів елементів та

Рисунок 2. Організація процесу вимірювання геометрії рами кузова: а) встановлений рівень горизонту для проведення замірів; б) схема розташування нівелірів.

вузлів РС, які можуть впливати на безпеку руху, довговічність та експлуатаційну якість його елементів. Розглянуті в розділі методи розроблені в рамках формування переліку робіт, обов'язкових до виконання при проведенні планових робіт з оцінки ТС РС з метою забезпечення його подальшої безпечної експлуатації.

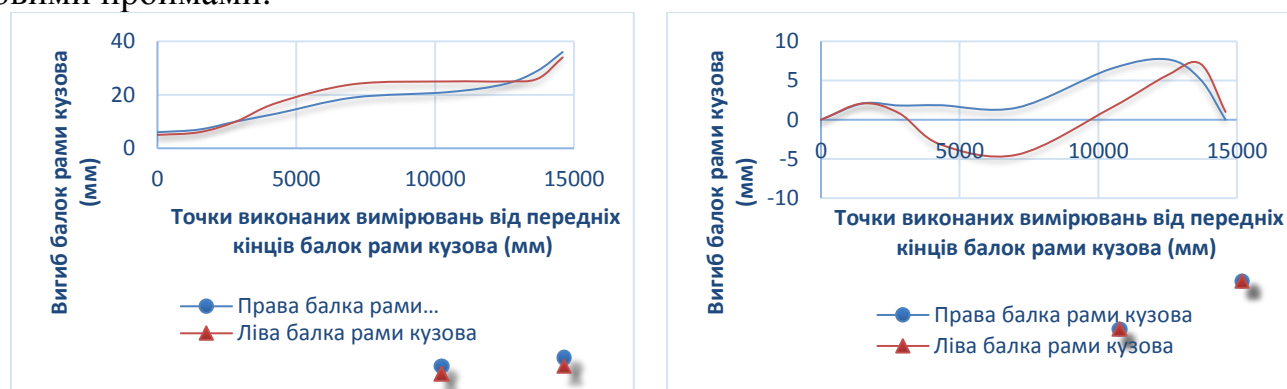
Оцінки геометричних характеристик рами кузова маневрового тепловоза ПТ ТЕМ2(В) роблять внаслідок існування прямих вимог до геометричних характеристик основних НК (рама візка, рама кузова) тепловозів.

Початкові дані (рисунок 3а) отримані за умов положення рівня умовного «нуля» вище нижньої полицки балки, тому результуюче графічне представлення стану рами кузова має віддзеркалений вигляд (рисунок 3б) та характеризується такими характеристиками: дві криві, кривизна яких залежить від прогину/вигину відповідної балки рами кузова, одна з яких обома кінцями перетинається з умовним «нулем».

Непаралельність рами візка отримується математичною обробкою значень відносних висот за формулою

$$p = (h_1 + h_3) - (h_2 + h_4), \quad (18)$$

де h_1, h_2, h_3, h_4 – отриманні чисельні значення відносних висот над відповідними буксовими проймами.



а)

б)

Рисунок 3. Графіки даних: а) отриманих в процесі безпосереднього вимірювання; б) отриманих після математичної обробки.

Експлуатаційні якості накладок струмоприймачів, є одними з важливих параметрів ЕРС. Пропонований в підрозділі підхід може бути пристосований до дуже широкого кола запасних частин, елементів та вузлів конструкції РС.

На підставі аналізу фактичної експлуатаційної інформації, було встановлено наступні значення рейтингових коефіцієнтів по групах параметрів R_g (рівняння (7)), наведено в таблиці 2. Побудовано рейтингову таблицю коефіцієнтів експлуатаційної якості накладок струмоприймачів по окремих показниках. Узагальнюює проведені в роботі дослідження загальна рейтингова таблиця (таблиця 3). Як видно з таблиці, навіть у припущенні зносу контактного дроту за п.9 найкращого – для вугільних вставок типу 2 та найгіршого – для типу 1, вставки типу 1 мають достатньо близькі між собою показники якості (практично вдвічі кращі, ніж для вставок типу 3).

В розділі 4 подано результати оцінки експлуатаційної навантаженості елементів конструкції РС: вузла демпфера коливань виляння електропоїзда подвійного

живлення та кузова вагону-термоса, модернізованого для перевезення штучних і пакованих вантажів.

Таблиця 2. Значення умовних рейтингових коефіцієнтів за групами параметрів

№ з/п (j)	Назва групи параметрів	Значення коефіцієнту R_g
1	2	3
1	Знос контактного дроту лабораторний	0,5
2	Знос вставки лабораторний	0,3
3	Порушення цілісності вставки, що може призвести до аварійної ситуації	1,0
4	Порушення цілісності вставки, яке не призводить до аварійної ситуації	0,3
5	Зручність експлуатації та обслуговування	0,1
6	Якості міцності та структури	0,4
7	Показники безаварійної тривалості експлуатації вставки	0,5
8	Конструктивне виконання вставки	0,2
9	Знос вставки, прискорені випробування	0,6

Таблиця 3. Загальна рейтингова таблиця вставок змінного струму

№ з/п	Назва параметру	R_{gj}		R_{ci}		Y_{ki} для вставки $k=$			Складова R_k для вставки $k=$		
		J=	Знач.	i=	Знач.	1	2	3	1	2	3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Секційна або суцільна вставка (накладка)	7	0,2	1	0,8	1,0	1,0	1,0	0,16	0,16	0,16
2	Технологічність монтажу	5	0,1	2	0,5	0,5	1,0	1,0	0,025	0,05	0,05
3	Відшарування вставки	4	0,3	3	0,3	1,0	0,6	0,3	0,09	0,054	0,027
4	Зародкове місцеве викрашування-причина пропилю	3	1,0	4	0,6	1,0	0,6	1,0	0,6	0,36	0,6
5	Руйнування вставки	3	1,0	5	0,8	1,0	0,0	0,0	0,8	0	0
6	Механічний знос контакт-ного дроту	1	0,5	1	1,0	0,953	1,0	0,0	0,477	0,5	0
7	Механічний знос вставки	2	0,3	2	0,8	0,831	0,979	0,0	0,199	0,23	0
8	Знос по товщині вставки, прискорені випробування	8	0,6	1	0,8	-	0,67	0,0	0	0,32	0
9	Знос контактного дроту, прискорені випробування	-	1	1	1	0	1	0,5	0	1	0,5
10	Значення R_k								2,351	2,681	1,337

Для оцінки рівню динамічної навантаженості вузла демпфера коливань були обрані три записи, які характеризуються найбільшим рівнем дисперсії процесів. Процеси були схематизовані методом «дошу». Результати визначення міри наробітку D -питомого (на одиницю відстані) наробітку досліджуваної конструкції в процесі експлуатації (співвідношення (4)) наведені в таблиці 4.

Коефіцієнт ступеневої кривої витривалості m (рівняння 2) прийнятий як $m=16/K_\sigma$, де $K_\sigma=1.72$ – коефіцієнт зниження границі витривалості, розрахований за умовами геометричної конфігурації рами вагона та іншими необхідними показниками. Коефіцієнт m склав $m=9.3$.

Ефективний коефіцієнт концентрації напружень K_σ у вузлах складного обрису, концентрація напружень в яких визначається тільки їхньою геометрією, обчислюється за формулою (3.29) «Норм для оцінки міцності несучих елементів ...» МВРС.

Питання впливу вертикальних коливань на рівень динамічної навантаженості плити кріплення демпфера коливань електропоїзда HRCS2 постало внаслідок припущення, що зміна напрямку вектора дії зусилля може впливати на оцінки ресурсу вказаного вузла, що потребувало додаткових досліджень його навантаженості.

Таблиця 4. Результати дослідження наробітку поперечної балки рами кузова електропоїзда подвійного живлення в процесі експлуатації

Дослід/запис	6-29	4-29	4-26
Наробіток на 1 км. руху, МПа ⁹	1.16 ¹⁴	1.22 ¹³	6.3 ¹³

Проведені розрахунки напружено-деформованого стану вузла демпфера коливань для випадків горизонтального додатка навантаження, а також з відхиленням на 10° у позитивному й негативному напрямках.

На підставі проведеного аналізу зроблено висновок, що вплив вертикальної динаміки на підвищення рівню напружень у опорній плиті демпфера коливань виляння можна врахувати введенням постійного коефіцієнту $K_{vi}=0.947$.

Далі в розділі наведено матеріали з оцінки динамічної навантаженості кузова вагона-термоса, модернізованого для перевезення штучних і пакованих вантажів.

«Норми розрахунку на міцність...» вагонів містять типові розподіли поздовжніх зусиль в автозчепленні при поїзних та сортувальних режимах навантажень. використання цієї *довідкової* інформації при оцінці мір напрацювань елементів рами кузова вагона при поздовжніх ударах виконується прив'язка зусилля в автозчепленні до напружень в навантажених місцях рами дослідного вагона як

$$\sigma_i (S_a) = \eta_i S_a. \quad (19)$$

У виразі (19): η_i – коефіцієнт пропорційності між зусиллям в автозчепленні й напруженням в i – му елементі конструкції вагона.

Коефіцієнт пропорційності η_i між зусиллям в автозчепному пристрої й напруженням в i – му елементі конструкції вагона буде визначений як

$$\eta_i = \frac{\sigma_i^{(5;1)}}{S_a^{(5;1)}}. \quad (20)$$

$$S_a^{(5;1)} = -a_c^{(5;1)} m_g \quad (21)$$

де $S_a^{(5;1)}$ - зусилля в міжвагонному з'єднанні службового й досліджуваного вагонів при проведенні інтенсивного гальмування (дослід 5, запис 1, та формула (21)); $a_c^{(5;1)}$ - прискорення зчепу (заміряне в службовому вагоні) при проведенні маневрів дослід 5, запис 1; $\sigma_i^{(5;1)}$ - напруження в i – му елементі конструкції вагона при проведенні маневрів дослід 5, запис 1.

Розрахунки коефіцієнтів пропорційності η_i між зусиллям в автозчепленні та напруженням в i – му елементі конструкції вагона наведені в таблиці 7 при реалізації в процесі інтенсивного гальмування зусилля, величиною

$$S_a^{(5;1)} = -a_c^{(5;1)} m_g = -(-0,6) \cdot 68 / 1000 = 0.0408 \text{ МН}. \quad (22)$$

За результатами динамічних міцносних випробувань були розраховані величини питомих наробітків $D_{и i}$, (вираз 12), а також середньоквадратичні відхилення за

розподілом максимальних розмахів амплітуд циклічних навантажень. Середні амплітуди навантаження були враховані, за допомогою коефіцієнта чутливості до асиметрії циклу.

Таблиця 7. Величини коефіцієнтів пропорційності η_i

№ з/п	Ідентифікатор i зони вимірів	Величини коефіцієнтів пропорційності η_i , МПа/МН
1	2	3
1	ТХ1	125,0
2	ТУ1	98,0
3	ТХ2	61,3
4	ТХ3	14,7
5	ТХ4	29,4

Напрацювання були розраховані по сукупності розмахів напружень, шляхом схематизації процесів методом «дощу».

Наприкінці розділу 2 в роботі зроблена оцінка рівню та характеру рівномірної корозії НК локомотивів ПТ.

Таким чином, встановлено, що рівень рівномірної корозії основних НК тепловозів ПТ має слабку залежність від строку їх служби (рисунок 4), тобто НК ТРС ПТ працюють в умовах, що сприяють їх стійкості до корозії. Формули трендів корозії візків тепловоза ТЕМ2 наведено в таблиці 8.

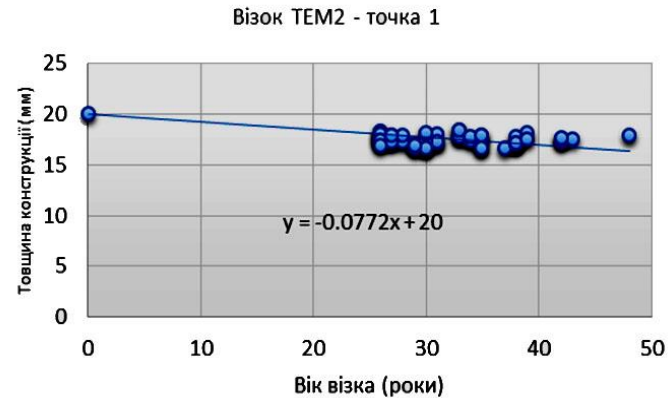
Для балок візків коробчастого типу тепловозів ТЕМ2 та ТГМ4 характерна перевага швидкості розвитку корозії полицок над швидкістю розвитку корозії стінок. При цьому нижні полицки втрачають товщину металу швидше, ніж верхні.

Оптимізувати обсяг вимірювань товщини НК можна наступним чином:

- перевіряти рівень рівномірної корозії нижніх полицок рам візків;
- у випадку незначної корозії провести вибірковий контроль інших точок за протоколами візуального огляду локомотива.
- у випадку виявлення суттєвої корозії провести перевірку її рівню у всіх точках.

Таблиця 8. Тренди корозії візків тепловоза ТЕМ2.

Точка виміру (рисунок 2)	Формула тренду
1	$y = 20 - 0,0772 * x$
2	$y = 16 - 0,0657 * x$
3	$y = 32 - 0,0778 * x$
4	$y = 16 - 0,0650 * x$



Аналіз даних товщинометрії основних НК локомотивів ПТ показує, що середнє зменшення товщини НК внаслідок рівномірної корозії варіюється в межах 0,03–0,1 мм/рік.

Рисунок 4. Тренд розвитку корозії точки 1 на рамі візка тепловоза ТЕМ2

В п'ятому розділі наводиться результати автора з розрахунку режиму експлуатації валу двигуна компресора магістрального електровоза змінного струму ВЛ80, оцінки ресурсу вузла гідравлічного демпфера коливань виляння електропоїзда подвійного живлення, наведено приклади оцінки ресурсу

рами візка тепловоза ТЕМ2 та ресурсу рами кузова вагона-термоса, модернізованого для перевезення штучних і пакованих вантажів.

Аналіз руйнувань валів якорів електродвигунів на Одеській залізниці дозволяє зробити висновок, що первинною причиною руйнувань є передача крутного моменту тяги, що спричиняється недоскональностями, розташованих уздовж осі валів.

Ідеалізація валу якоря ТЕД наведена на рисунку 5, Розташування поздовжньої несучільності вала – на рисунку 6, а напруження біля границі несучільності з двома концентраторами $R1, R2$ – на рисунку 7.

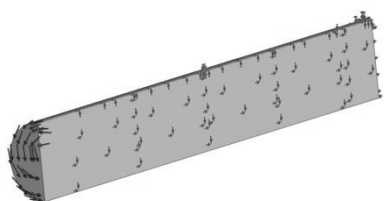


Рисунок 5. Ідеалізація валу якоря ТЕД

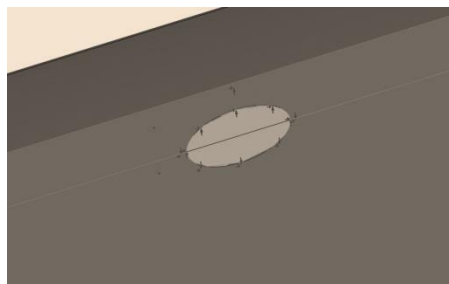


Рисунок 6. Розташування моделі поздовжньої несучільності вала якоря ТЕД.

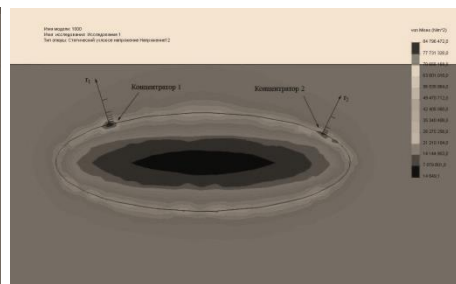


Рисунок 7. Напруження у валу якоря ТЕД біля границь несучільності

Для напружень в місцях концентраторів $R1, R2$ отримані функції (23).

$$\sigma_{R1} = \frac{17,2}{\sqrt{r_1}}; \quad \sigma_{R2} = \frac{8,0}{\sqrt{r_2}}. \quad (23)$$

З виразу (23) отримано довжину в напрямку можливого росту тріщини, всередині якої напруження перевищують припустимі по концентраторах $R1, R2$ $[\sigma_R] = \min\{\sigma_{R1}, \sigma_{R2}\}$:

$$[r] = \left(\frac{K}{[\sigma_R]} \right)^2. \quad (24)$$

Вважаючи зменшення ваги поїзда пропорційним відношенню довжини $[r]$ при фронті недосконалості, де напруження перевищують припустимий рівень (формули (23,24)) з середнім розміром міцних кристалітів (зерен) металу, яке визначається як

$$[P] = \frac{\bar{r}}{[r]} P_{поточн.}, \quad (25)$$

де $[P]$ – припустима вага поїзду; $[r]$ – припустима довжина, усередині котрої напруження перевищують припустимі рівні. \bar{r} – середнє значення розміру зерна металу, визначеного шляхом металографічного дослідження валів; P – поточна вага поїзда на дільниці обертання.

Результати розрахунків зведені в таблицю 9.

Таблиця 9. Дані розрахунку для визначення припустимої ваги поїзда

№ з/п	Концентратор №	Величина $[r]$, мм	Величина \bar{r} , мм,	$[P]$ – припустима вага поїзду, тн.
1	2	3	4	5
1	3	0,01366	0,01244	4560
2	4	0,002955	0,0132	22300

Вагова норма поїзда, скоригована за даними таблиці 8, складає 4500 тон.

При проведенні стендових вібраційних випробувань на втому вузол демпфера коливань електропоїзда HRC52 навантажувався максимальною розрахунковою силою при експлуатації з боку демпфера коливань виляння ($F=9кН$) із частотою $f=5$ Гц. Напруження в навантаженій точці t_{30} при проведенні стендових вібраційних випробувань склало $\sigma_{t30}= 65.5$ МПа. Загальний наробіток, отриманий при цьому конструкцією, становить

$$D_a \cdot T_a = D_a \cdot \frac{N_0}{f} = \frac{(\sigma_{t30} K_{vi})^m \cdot N_0}{f} \quad (26)$$

У виразі (26): D_a - міра наробітку ступеневої форми (див. вище) за одиницю часу; T_a - час випробувань; N_0 – база випробувань; f – див. попередній абзац; K_{vi} – див. інформацію стор 12; $m=9.3$ - згідно виразу (2) та інформації стор. 11.

Результати оцінки ресурсу вузла методом порівняння наробітків та «статистичного програвання» дозволили зробити висновок, що конструкція модуля демпфера коливань виляння (друга модернізація підвищеної надійності) має істотний $n_R=210$ запас наробітку щодо проектного терміну служби 50 років.

Для оцінки строку експлуатації рам візків тепловоза ТЕМ2 (на прикладі тепловоза зав. № 2509 (візки - зав. №№ 1025, 1055 1990 року побудови) використовується метод «статистичного програвання», встановлений системою рівнянь (5).

На підставі проведеного розрахунку строк продовження експлуатації рам візків тепловоза ТЕМ2, зав. № 2509 1990 р. побудови призначено рівним 10 (десять років).

Положення досліджень щодо порівняння наробітків НК рами кузова вагона-термоса, модернізованого для перевезення штучних і пакованих вантажів. при поздовжніх ударах наведені нижче, у таблиці 10.

Таблиця 10. Термін служби модернізованого вагона-термоса при поздовжніх ударах.

№ з/п	Ідентифікатор i зони вимірювань	η_i , МПа/МН	σ_{-1i} МПа	m	$D_{ипр i}$ (МПа) ^{m}	$D_{сум i}$ (МПа) ^{m}	$R_{и i}$ роки
	Джерело	ф-ла (20)	ф-ли (15,16)	ф-ла (11)	ф-ла (13),	ф-ла (10)	ф-ла (12)
1	2	3	4	5	6	78	8
1	ТХ1*	125,0	125,6	9,64	$2,0572 \cdot 10^{25}$	$1,7034 \cdot 10^{27}$	82,8
1a	ТХ1**	94,7	94,7	9,64	$2,0572 \cdot 10^{25}$	$1,1146 \cdot 10^{26}$	5,41
2	ТУ1	98,0	73,5	4,23	$7,1776 \cdot 10^{12}$	$7,9571 \cdot 10^{14}$	>100
3	ТХ2*	61,3	55,2	4,23	$9,8639 \cdot 10^{11}$	$2,3546 \cdot 10^{14}$	>100
3a	ТХ2**	61,3	33,4	4,23	$9,8639 \cdot 10^{11}$	$2,8140 \cdot 10^{13}$	28,5
4	ТХ3	14,7	125,6	9,64	$2.2490 \cdot 10^{16}$	$1,7034 \cdot 10^{27}$	>100
5	ТХ4	29,4	125,6	9,64	$1.7945 \cdot 10^{19}$	$1,7034 \cdot 10^{27}$	>100

* - розрахунок зроблено у припущенні використання матеріалів ГМ1- міцні елементи посилення;

** - розрахунок зроблено у припущенні використання матеріалів ГМ2- існуючі елементи рами кузова .

З наведених розрахунків можна зробити висновок, що опір вагона поздовжнім ударах в поїзному режимі дозволяє забезпечити експлуатацію протягом 28 років при використанні міцних елементів посилення консольної частини рами вагона.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено важливе наукове завдання розвитку методів оцінки міцності та витривалості НК РС з урахуванням сучасного стану залізничної галузі та системи обслуговування РС шляхом пріоритетного використання сучасного фізичного та математичного апарату розрахунків на міцність та витривалість у порівнянні з даними вартісних (стендових ресурсних, ходових) експериментальних випробувань.

Результати досліджень дозволяють зробити наступні висновки:

1. Аналіз наукових літературних джерел дозволяє зробити висновок, що чисельні теоретичні та експериментальні дослідження динаміки, міцності та довговічності РС та металоконструкцій найчастіше орієнтовані на проведення вартісних лабораторних та експериментальних робіт і дорогого обладнання. В сучасних умовах виникає необхідність отримання оцінок міцності та ресурсу РС неруйнівними методами.

2. Дослідження наукових та науково-практичних публікацій щодо поточного стану залізничної галузі та якості обслуговування та ремонту РС дозволяє сформулювати завдання розвитку методів оцінки міцності та ресурсу НК РС з урахуванням специфіки його експлуатації в умовах МТ або ПТ та забезпечення безпечної експлуатації наступним чином: виконувати роботи з оцінки технічного стану, продовженню строку експлуатації й контролю важливих параметрів рухомого складу в єдиному технологічному циклі з одержанням оцінок їхнього ресурсу; визначити, а потім контролювати та оцінювати параметри екіпажної частини РС (*важливі або критичні параметри*), які можуть привести до серйозних інцидентів та аварій;

3. На відміну від традиційних методів розрахунку НК з можливою наявністю недосконалостей кристалічної структури металу (типу точкових дефектів, дислокацій, домішок, або пор), які потребують даних щодо режимів навантаження силових елементів з недосконалостями та проведення складних обчислювань, розроблено методологію їх спрощеного розрахунку на міцність та визначення припустимих навантажень, в основному базований на довідкових даних, якими оперує наука опору матеріалів та металографія.

4. Здійснено розвиток та застосовано для оцінки ресурсу об'єктів досліджень принцип порівняння міри наробітку до руйнування одиниць рухомого складу з їх питомою мірою напрацювання з переважним використанням розрахункових, довідкових та експериментальних даних, що заощаджує кошти на проведення випробувань.

5. Удосконалено методику оцінки геометричних характеристик (товщинометрія, прогини, непаралельність) НК з використанням спектру бюджетних засобів вимірювання, дозволяє використовувати її в умовах депо та ремонтних підприємств.

6. Встановлено, що рівень рівномірної корозії основних несучих конструкцій тепловозів ПТ має слабку залежність від строку їх служби, тобто НК ТРС ПТ працюють в умовах, що сприяють їх стійкості до корозії. Визначено, що величина інтенсивності рівномірної корозії НК локомотивів складає 0,03–0,1 мм/рік. Вказані величини отримані для НК ТРС ПТ вперше та можуть використовуватися для прогнозу втрати їх несучої здатності на підставі проведеного аналізу автором розроблено пропозиції з оптимізації обсягів контролю товщини основних НК ТРС.

7. Оцінено показники навантаженості та ресурс експлуатації вузла демпфера коливань вилання електропоїзда HRCS2 та розраховано його строк служби методом

порівняння мір наробітків та підтвердження методом «статистичного програвання». Рекомендовано АТ «Укрзалізниця» призначити ресурс вузла гідравлічного демпфера рівним 50 років від побудови, що дозволило відновити експлуатацію електропоїздів «Hyundai-Rotem» .

8. Проведено експериментальні та теоретичні дослідження ресурсу рами кузова вагону-термоса, модернізованого для перевезення штучних і пакованих вантажів шляхом прямого порівняння наробітків конструкції в процесі експлуатації з наробітками, отриманими з розрахункових (теоретична оцінка наробітку до руйнування на основі розрахунку границі витривалості) та довідкових (перехід від статистичних даних щодо ударних навантажень до напружень в елементах конструкції) даних. На підставі комплексу проведених за участю автора дисертації робіт рекомендовано призначити його ресурс рівним 50 рокам від побудови.

9. Запропоновані автором методи використані при проведенні практичних розрахунків та теоретичних досліджень з оцінки показників міцності, довговічності та витривалості існуючих, модернізованих та перспективних конструкцій рухомого складу. Отримано важливі результати, які використані в практичній діяльності вітчизняних підприємств рейкового транспорту та закордонних адміністрацій залізниць.

10. Економічний ефект від подовження строку служби маневрових локомотивів із застосуванням розвинутих в дисертаційній роботі методів (на прикладі тепловоза ТЕМ2) складає близько 100 тис. грн. на одиницю тягового рухомого складу на рік наднормативної експлуатації.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці:

1. Горобець Е.В. Исследование прочности валов с несовершенствами материала / Горобець В.Л., Мямлин С.В., Горобець Е.В. // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля № 1 (225), 2016.
2. Comparative Tests of Contact Elements at Current Collectors in Order to Comprehensively Assess their Operational Performance / М. Babyak, V. Horobets, V. Sychenko, Y. Horobets // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol 6, No 12 (96). – P. 13–21. – DOI: 10.15587/1729-4061.2018.151751.
3. Horobets E., Sablin O., Fedorov E., Bolotov O., Horobets V., Jangulova O. Methods and Results of Evaluating the Dual-Power Electric Train Crew Elements Service Life. Problems of the railway transport mechanics (PRTM 2020) : 15th Intern. Sci. and Techn. Conf. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. (27–29 May 2020, Dnipro, Ukraine). Dnipro, 2020. Vol. 985. DOI: 10.1088/1757-899X/985/1/012028.
4. Горобець Є.В. Аналіз динаміки зносу несучих конструкцій маневрових тепловозів промислового залізничного транспорту під впливом корозії матеріалу // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна – 2020. – №6 (90). – С. 57-66.
5. Horobets, Y. “Estimation of the Error of the Simplified Algorithm of Processing of Functions of Deflations of Deformed Frames of Bodies of Rolling Stock”. Technology Audit and Production Reserves, June 2021, DOI:10.15587/2706-5448.2021.237296

Додаткові праці:

6. Горобец Е.В. Перспективы развития методов оценки срока службы подвижного состава железных дорог [текст] / В. Л. Горобец, С.В Мямлин, О.Л.Янгулова, Е.В. Горобец // Вісник сертифікації залізничного транспорту №5, 2015.
7. О рациональной организации системы ремонта подвижного состава: [препринт] / С. В. Мямлин, В. Л. Горобец, О. Л. Янгулова, Н. А. Бабяк [и др.] // Вісник сертифікації залізничного транспорту. – 2016. – № 10. – С. 58–60.

Праці апробаційного характеру:

8. Горобец Е. В. Исследование равномерной коррозии материала несущих конструкций локомотивов промышленного транспорта с целью оценки объема их диагностики // тези доповідей науково-практичної конференції «Актуальні проблеми сучасного управління в соціально-економічних, технічних та гуманітарних системах» - м. Одеса, 2016.
9. Горобец Е. В. Метод «статистического проигрывания» при анализе срока службы подвижного состава /С. В. Мямлин , Е. В. Горобец// XIV Міжнародна конференція «Проблеми механіки залізничного транспорту Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу та енергозбереження»: тези доповідей. – Дніпропетровськ, 2016.
10. Горобець Є. В. Застосування методу перетинів до оцінки міцності конструкції з тріщиною // Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Технології та інфраструктура транспорту» - Харків, 2018.
11. Horobets E., Sablin O., Fedorov E., , Bolotov O., Horobets V., Jangulova O. Methods and Results of Evaluating the Dual-Power Electric Train Crew Elements Service Life. Тези доповідей XV Міжнародної конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту – Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу та енергозбереження», Дніпро, 2020. – С.130.

АНОТАЦІЯ

Горобець Є.В. Розвиток методів оцінки міцності та витривалості несучих конструкцій рухомого складу залізниць. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – Рухомий склад залізниць і тяга поїздів. – Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна – Дніпро, 2021.

Дисертаційна робота присвячена актуальному завданню розвитку методів оцінки міцності та витривалості несучих конструкцій рухомого складу з урахуванням особливостей та умов експлуатації залізничного рухомого складу України.

Система методів оцінки міцності та ресурсу несучих конструкцій повинна бути удосконалена наступним чином: виконувати роботи з оцінки технічного стану, продовженню строку експлуатації й контролю важливих параметрів рухомого складу в єдиному технологічному циклі з одержанням оцінок їхнього ресурсу; визначити, а потім контролювати та оцінювати параметри екіпажної частини рухомого складу, які можуть привести до серйозних інцидентів та аварій; контроль важливих параметрів повинен бути зробленим з використанням найбільш прогресивних методик та обладнання; перевагу слід віддавати методам дослідження, які не супроводжуються незворотнім руйнуванням їх конструкції.

В роботі запропоновано застосування удосконалених методів та методик оцінки важливих параметрів, а саме: метод «статистичного програвання» в оцінці

ресурсу несучої конструкції, який дозволяє роботи обґрунтовані оцінки із застосуванням мінімально необхідного обсягу початкових даних; спрощений розрахунок міцності несучої конструкції з недосконалістю, який на відміну від існуючих підходів потребує даних щодо конфігурації конструкції, характеру навантажень та його механічних та металографічних характеристик; методологію статистичного оцінювання міри рівномірної корозії конструкцій локомотивів промислового транспорту; рейтингового оцінювання експлуатаційної якості елементів та змінних частин, а також моделі оцінки термінів експлуатації рухомого складу, базовані на порівнянні мір наробітків несучих конструкцій з широким застосуванням розрахункових та довідкових даних.

В результаті досліджень обґрунтовано призначення строку служби об'єктів досліджень: рами кузова тепловоза ТЕМ2 (залишковий-10 років); строк служби вузла демпфера коливань виляння рами візка електропоїзда НRCS2 встановлено рівним 50 років від побудови; порівняно експлуатаційну якість накладок пантографів магістральних електровозів змінного струму різних виробників; встановлено термін служби (28 років) кузова вантажного вагона, переобладнаний з рефрижераторного вагона.

Ключові слова: рухомий склад, ресурс, важливі параметри; витривалість, міцність, конструкція з недосконалістю, порівняння мір наробітку, рівномірна корозія.

АННОТАЦІЯ

Горобец Е.В. Развитие методов оценки прочности и выносливости несущих конструкций подвижного состава железных дорог. Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 - Подвижной состав железных дорог и тяга поездов. - Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна - Днепр, 2021.

Диссертационная работа посвящена актуальному заданию развития методов оценки прочности и выносливости несущих конструкций подвижного состава с учетом особенностей и условий эксплуатации железнодорожного подвижного состава Украины.

Система методов оценки прочности и ресурса несущих конструкций должна быть усовершенствована следующим образом: выполнять работы по оценке технического состояния, продлению срока эксплуатации и контролю важных параметров подвижного состава в едином технологическом цикле с получением оценок их ресурса; определить, а потом контролировать и оценивать параметры экипажной части подвижного состава, которые могут привести к серьезным инцидентам и авариям; контроль важных параметров должен быть сделан с использованием наиболее прогрессивных методик и оборудования; преимущество следует отдавать методам исследования, которые не сопровождаются необратимым разрушением их конструкции.

В работе предложено применение усовершенствованных методов и методик оценки важных параметров, а именно: метод «статистического проигрывания» в оценке ресурса несущей конструкции, который позволяет работы обоснованные оценки с применением минимально необходимого объема начальных данных; упрощенный расчет прочности несущей конструкции с несовершенством, который в отличие от существующих подходов основывается на данных относительно конфигурации конструкции, характера нагрузок и его механических и металлографических характеристик; методологию статистического оценивания меры равномерной коррозии конструкций локомотивов промышленного транспорта; рейтингового оценивания

эксплуатационного качества элементов и переменных частей, а также модели оценки сроков эксплуатации подвижного состава, базированные на сравнении мер наработок несущих конструкций.

ANNOTATION

Horobets Y. V. Development of methods for estimation of the strength and durability of load-bearing structures of railway rolling stock. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for a Candidate Degree in Technical Sciences, speciality 05.22.07 "Railway rolling stock and hauling operations" (branch of knowledge 273 Railway transport). – Dnipro National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Dnipro, 2021.

The thesis paper is devoted to the relevant task of development of methods for estimation of the strength and durability of load-bearing structures of railway rolling stock taking into account the peculiarities and conditions of railway rolling stock operation in Ukraine.

The system of methods for estimation of the strength and durability of load-bearing structures should be improved as follows: to carry out operations for extending the service life and the control of important parameters of rolling stock simultaneously, in a single technological cycle of inspection of technical condition of load-bearing structures followed by reports and recommendations on their further operation; to identify and then monitor and evaluate the parameters of the rolling stock underframe (important or critical parameters) that may lead to serious accidents and emergencies; in light of the lack of reserved units of industrial transport rolling stock, precedence should be given to research methods not accompanied by the irreversible destruction of their structure.

The actual, i. e. physical resource of the main load-bearing structures allows, as a rule, to extend their intended service life. The key part of the problem is finding the correct solution of the problem of extending the service life of bogie frames as elements of the rolling stock, the condition of which has the greatest impact on traffic safety. Given the sometimes insufficient level of maintenance, diagnostics and repairs by industrial enterprises and separate carriers, the scope of the said works should be supplemented by estimation of important parameters of rolling stock load-bearing structures, systematic monitoring of which should ensure their proper condition during the extended service life.

The paper suggests improved methods and techniques for estimating the important parameters, namely: "statistical playback" method in estimating the life of a load-bearing structure, which renders it possible to carry out reasonable estimations using the minimum required amount of initial data; simplified calculation of the strength of a cracked load-bearing structure, which, in contrast to existing approaches, requires data on the configuration of the structure, the nature of loads and its mechanical and metallographic characteristics; methods for statistical estimation of the degree of uniform corrosion of industrial transport rolling stock structures focused on the use of equipment available in the conditions of maintenance and repair departments and enterprises; ranking of the operational quality of elements and change parts of rolling stock, which allows to rate their different classes and properties; models for estimating rolling stock service life based on the comparison of the operating life of load-bearing structures with the wide use of calculated and reference data.

The thesis paper consists of an introduction and five sections.

The introduction provides general description of the paper and justification of the paper topic relevance, as well as the purpose and objectives of the paper; it also gives scientific

novelty and practical significance of the obtained results, and information on paper evaluation.

The first section of the thesis paper reviews the literature, sets the task of improving methods for estimation of the strength and durability of load-bearing structures in the current state of operation, repair and scientific support of rolling stock of long-distance and industrial transport, provides an overview of technical characteristics of the objects under investigation, and economic justification for the operation of rolling stock beyond its designated service life.

The second section presents mathematical models and methods that solve the problem set in the thesis paper to estimate the strength and life of rolling stock.

The third section is devoted to the estimation of rolling stock parameters important for its safe operation, namely: the estimation of geometric characteristics of the locomotive body frame, hierarchical rating comparison of pantograph inserts of AC locomotives, estimation of the applicability of the hypothesis of the normal law of distribution of physical measures of dynamic load in the elements of special-purpose cars required for the correct application of use of methods for estimating the life of rolling stock load-bearing structures.

The fourth section presents a study of the load of rolling stock load-bearing structures in operating conditions for selected research objects, which is necessary for further calculation of their strength and life. The section presents the results of the estimation of the operational load of hunting damper of dual-voltage electric train HRCS2 and the body of a thermos car upgraded for the transportation of piece and packaged goods.

The fifth section is devoted to the realization of the goal set in the thesis paper – to estimate the strength and durability of rolling stock using the methods and approaches developed in the thesis paper. In this section the author presents his results of the calculation of the operating mode of the motor shaft of the AC electric locomotive BJI80, estimation of the life of the hydraulic hunting damper unit of dual-voltage electric train HRCS2, examples of estimation of the bogie frame life of the shunting locomotive TEM2 and the body frame life of the thermos car upgraded for the transportation of piece and packaged goods.

Key words: rolling stock, operational life, important parameters; endurance, durability, construction with fault, comparison of operating lives, uniform corrosion.

Горобець Євген Володимирович

РОЗВИТОК МЕТОДІВ ОЦІНКИ МІЦНОСТІ ТА ВИТРИВАЛОСТІ НЕСУЧИХ
КОНСТРУКЦІЙ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку 01.07.2021 р. Формат 60x84/16
Ум. друк. арк. 1,1. Обд.-вид. арк. 1,15
Тираж пр. Зам. №

Видавництво Дніпровського національного університету залізничного
транспорту імені академіка В.Лазаряна
Свідоцтво суб'єкта видавничої діяльності ДК №1315 від 31.03.2003 р.

Адреса видавництва та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010