

Дніпропетровський державний технічний університет
залізничного транспорту

Кулешов Володимир Петрович



УДК 629.4.027.2

**НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОДОВЖЕННЯ СТРОКУ
СЛУЖБИ РАМ ВІЗКІВ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ**

05.22.07 - Рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ - 2002

НТБ
ДНУЗТ

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі "Будівельна механіка" Дніпропетровського державного технічного університету залізничного транспорту Міністерства транспорту України.

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор

БЛОХІН Є. П.,

науковий керівник Галузевої науково-дослідної лабораторії динаміки та міцності рухомого складу, завідувач кафедри "Будівельна механіка".

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор КЕЛЬРИХ М. Б., завідувач кафедри рухомого складу Київського університету економіки та технологій транспорту м. Київ;
кандидат технічних наук ДАНИЄВ Юрій Фаїзович, старший науковий співробітник ІТМ НАН України.

Провідна установа

Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля, кафедра залізничного транспорту, Міністерства освіти і науки України, м. Луганськ.

Захист відбудеться
вченої ради Д 08.8
ситеті залізничного
Акад. Лазаряна, 2,

-аної
му універ-
вськ, вул.

З дисертацією мож
технічного універ
Дніпропетровськ, 1

жавного
49010, м.

Автореферат розіс

Вчений секре
спеціалізованої ра

НТБ
ДНУЗТ

ицький І.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Стан парку тягового рухомого складу (ТРС) України характеризується значним періодом його експлуатації після вичерпання встановленого строку служби. Заміна парку ТРС новими, прогресивними типами локомотивів потребує тривалого часу та великих капітальних вкладень. В зв'язку з цим виникає питання про можливість подальшої експлуатації ТРС, який вичерпав встановлений термін служби, при безумовному забезпеченні вимог безпеки руху поїздів.

Вказане обумовлює актуальність роботи, спрямованої на обґрунтування можливості продовження строку служби рам візків ТРС, бо якщо це буде можливо, то економічний ефект від цього дозволяє впровадити програми по удосконаленню показників залізниць, розробці та придбанню нових перспективних типів локомотивів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота являє собою складову частину науково – дослідних робіт (НДР) по оцінці залишкового ресурсу несучих конструкцій (НК) ТРС, які виконувалися Дніпропетровським державним технічним університетом залізничного транспорту на підставі наказу Генерального директора Державної адміністрації залізничного транспорту України (Укрзалізниця) 44-Ц від 17.02.1998 р. та у відповідності до Програми продовження строку служби тягового рухомого складу України. Результати роботи використано при проведенні НДР “Розробка технічного відношення по визначенню залишкового ресурсу рам візків електровозів ЧС4” за темою 91.197.99.99-155/99 ЦТех №ДР 0199U001439.

Мета та задачі дослідження. *Метою* даної роботи є наукове обґрунтування можливості наднормативної експлуатації несучих конструкцій візків тягового рухомого складу з вичерпаним терміном служби.

Для реалізації цієї мети вирішувались наступні *задачі*: вибір типу тягового рухомого складу для вивчення втрати його несучих конструкцій; аналіз причин їх відмов в експлуатації; вибір методів оцінки ресурсу несучих конструкцій; удосконалювання методики експериментальної оцінки характеристик їх опору втрати.

Об'єктом дослідження є втрати несучих конструкцій тягового рухомого складу, що знаходилися тривалий період в експлуатації.

Предметом дослідження є довговічність рам візків тягового рухомого складу.

В роботі було використано такі *методи*:

метод експериментальної оцінки динамічного навантаження несучих конструкцій електровоза в процесі експлуатації для виявлення причин, які спричиняють до руйнування його окремих елементів;

методи теорії ймовірності для оцінки міри відхилення границі витривалості рам візків ТРС від їх середнього значення та визначення функції розподілу циклів змінних напружень у елементах несучих конструкцій в процесі експлуатації локомотива;

методи механіки руйнування для оцінки залишкового ресурсу несучих конструкцій ТРС;

методи вищої математики для проведення аналізу моделі опору втомі, яка використовується для оцінки ресурсу несучих конструкцій ТРС.

Наукова новизна одержаних результатів. Запропоновано наукове рішення проблеми одночасного або поетапного подовження строку служби рам візків тягового рухомого складу залізниць України. Вперше, на підставі теоретичних та експериментальних розробок, встановлено умови та тривалість наднормативної експлуатації рам візків електровозів типу ЧС4.

Практичне значення одержаних результатів. Одержані результати проведеної роботи дозволили розробити комплекс заходів по забезпеченню поетапного подовження строку служби пасажирських електровозів ЧС4, на підставі яких прийнято рішення стосовно продовження їх експлуатації. Це дозволило забезпечити безперервність процесу пасажирських перевезень до проведення капітально-відновлювального ремонту вказаних електровозів (за Технічним відношенням заводу - виготовлювача електровозів ЧС4 Шкода ТТ), або до проведення закупок нових пасажирських локомотивів для забезпечення руху пасажирських поїздів на відповідних напрямках.

Результати роботи впроваджені у локомотивному депо Київ-Пасажирський. Загальний економічний ефект від подовження на 15 років строку служби усього парку електровозів ЧС4 складає близько 800 млн. грн.

Особистий внесок здобувача полягає в наступному:

Зроблено аналіз стану парку ТРС України, прогноз потреби у тяговому рухомому складі з урахуванням його виключення з експлуатації та подовження строку служби [1].

Проведено аналіз математичної моделі опору втомі у частині її придатності до вирішення задач оцінки залишкового ресурсу ТРС [4].

Запропоновано засіб визначення границі опору втомі при проведенні стендових вібраційних випробувань рам візків та її відхилення шляхом врахування похибок вимірів під час випробувань [3,5].

Виконано аналіз даних експлуатації та результатів динамічних ходових випробувань електровоза ЧС4 і стендових вібраційних випробувань рам його візків та розроблено засіб подовження терміну служби рам візків електровоза ЧС4 [2].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації було викладено на Міжнародній конференції "Ресурс 2000. Оцінка і обґрунтування продовження ресурсу елементів конструкцій" (м. Київ, 2000р.), X Міжнародній конференції "Проблеми механіки залізничного транспорту" (м. Дніпропетровськ, 2000р.), на міжкафедральному семінарі кафедр Будівельної механіки, Теоретичної механіки, Локомотивів, Електрорухомого складу, Прикладної математики, ЕОМ,

Комп'ютерних інформаційних технологій, Інституту технічної механіки НАН України, Галузевої НДЛ динаміки та міцності рухомого складу.

Публікації. Основні положення дисертації викладено у п'яти наукових роботах у видавництвах, затверджених ВАК України. Інші результати - у тезах доповідей міжнародних конференцій.

Структура та об'єм дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку. Рукопис містить 131 сторінку основного тексту дисертації та має 26 рисунків, 13 таблиць, бібліографію з 93 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

Вступ містить обґрунтування проблеми визначення залишкового ресурсу несучих конструкцій тягового рухомого складу, визначає мету та задачі досліджень.

В розділі 1 розглянуто питання подовження строку служби ТРС та зроблено огляд літератури, присвяченої визначенню ресурсу та оцінці границі опору втомі елементів НК.

Безумовне забезпечення вимог безпеки руху поїздів є найважливішою умовою функціонування залізничного транспорту. Це положення є основним при розробці нормативної документації, що регламентує вимоги до міцності елементів ТРС.

Простежено етапи розвитку уяви щодо опору втомі конструкцій, у які внесли значний внесок С.В. Серенсен, В.П. Когаєв та інші вчені.

Основним принципом розрахунку терміну життя будь-якої конструкції є співставлення границі її опору втомі з динамічними навантаженнями, що діють на неї у процесі експлуатації.

Дослідженню коливань, динамічних властивостей та динамічних навантажень рейкових екіпажів в детерміністичній та ймовірністній постановці присвячено багато робіт українських вчених школи В.А. Лазаряна. Значний внесок у дослідження динаміки рейкових екіпажів внесли роботи російських вчених ВНДІЗТу, МПТу, ЛІЖТу, РІЖТу, БІТМу.

Вважаючи на те, що проблема оцінки залишкового ресурсу рухомого складу в Україні виникла у період після набуття самостійності, чинних документів та методик, які регламентують процес визначення та подовження строку служби рухомого складу, немає. Тому проблеми, пов'язані з науковим обґрунтуванням подовження строку експлуатації ТРС, є дуже актуальними. Це тим більше стосується НК візків - їх рам, стан яких безпосередньо впливає на безпеку руху поїздів.

Проблема подовження строку служби рам візків ТРС складається в уточненню визначенні ресурсу (терміну служби) по їх технічному стану після проведення контролю та встановлення залишкового ресурсу. У процесі експлуатації несучі конструкції рам візків випадковим чином навантажуються циклічними силами і піддаються впливу кліматичних чинників.

З метою визначення методів оцінки залишкового ресурсу у розділі проведено огляд моделей опору втомі, які застосовуються та методик визначення границь опору втомі елементів конструкцій. Робиться висновок щодо необхідності створення української нормативної бази для визначення строку служби НК ТРС.

В розділі 2 проведено аналіз стану експлуатаційного парку ТРС України та прогноз його розвитку на період до 2005 року.

На поточний момент по окремих типах ТРС повністю амортизовано за строком служби біля 84% його експлуатаційного парку.

Ситуація щодо стану та розвитку парку ТРС проілюстрована на рис.1.

З рис.1 (а,б) видно, що за рахунок подовження строку служби НК ТРС можливо на період до 2005 року забезпечити на 30-45% потребу залізниць відповідно в електро- і дизель-поїздах та електровозах.

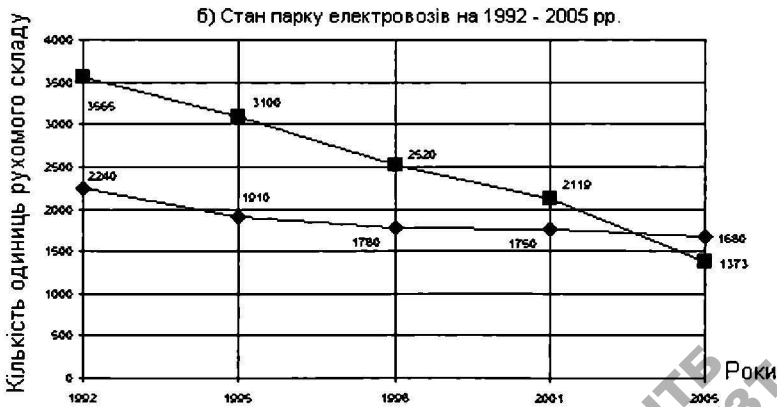
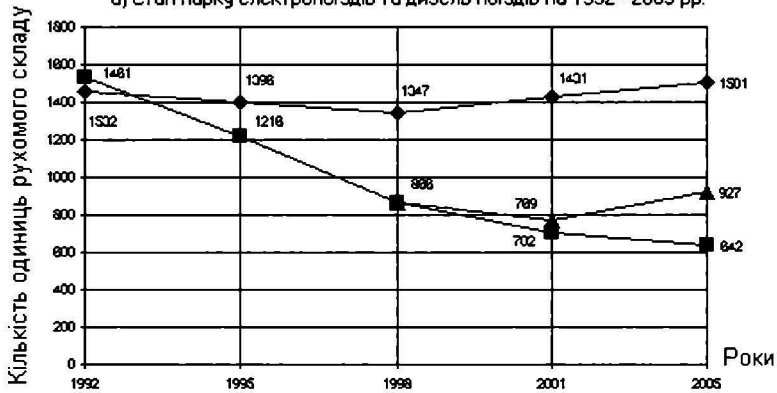
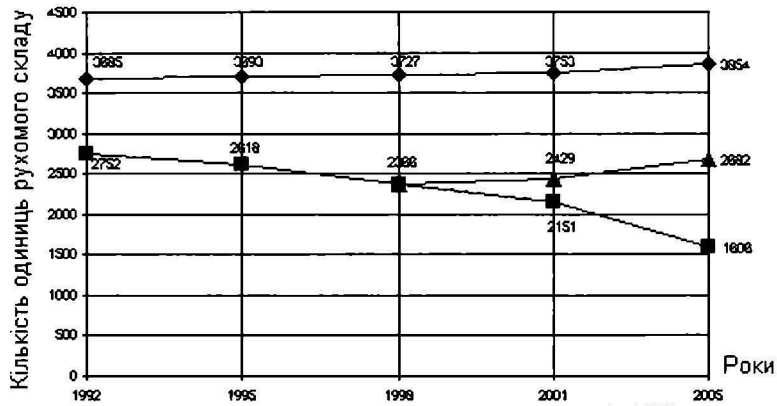
У сукупності з заощадженням певного об'єму капітальних вкладень на придбання ТРС, подовження його строку служби дозволяє забезпечити працездатність експлуатаційного парку локомотивів та моторвагонного рухомого складу без втрати його працездатності. При цьому продовження експлуатації існуючого ТРС доцільно поєднати з модернізацією або заміною тих вузлів та елементів конструкції локомотивів, для яких такі рішення вже існують.

Економічна ефективність запропонованого підходу повинна визначатися як різниця між вартістю нового ТРС і витратами, пов'язаними з проведенням глибокої модернізації та додаткових робіт по ремонту та контролю стану НК ТРС.

Існує один тип елементів конструкції ТРС, зі станом якого термін служби локомотивів пов'язаний по умовах безпеки руху залізничного транспорту. Це рами візків та кузовів (або кузова, коли вони є несучими). На відміну від більшості елементів локомотивів, що сприймають силові навантаження, вони не мають захисних пристроїв для запобігання загрозі безпеці руху внаслідок їх руйнування.

Враховуючи вище вказане, концепція подовження строку служби ТРС може бути подана таким чином:

1. Для оцінки залишкового ресурсу всього типу ТРС використовується та його одиниця, що має найбільше напрацювання протягом строку служби в умовах збереження якості технології виготовлення одиниць ТРС.
2. Основним критерієм доцільності збільшення строку служби даного типу ТРС є наявність необхідної для цього величини залишкового ресурсу його несучих конструкцій: рам візків і рам кузовів.
3. Основною умовою подовження строку служби ТРС є його відповідність нормативним вимогам, що пред'являються до нового рухомого складу та такого, що модернізується.



◆ — Необхідний інвентарний парк
 ■ — Інвентарний парк з урахуванням кількості екс. за строком служби
 ▲ — Інвентарний парк з урахуванням кількості екс. та подовження строку служби

Рис. 1. Прогноз розвитку локомотивного парку на період до 2005 р.

Розділ 3 присвячено розробці засобів подовження строків служби ТРС з урахуванням результатів проведення відповідних НДР, викладенню положень Методики оцінки залишкового ресурсу рам візків ТРС а також аналізу та вибору математичної моделі опору втомі несучих конструкцій з урахуванням її придатності для вирішення задачі подовження строків експлуатації ТРС.

Способом подовження терміну служби НК ТРС залізниць України є їх поетапне подовження за умови виконання необхідних модернізацій, або введення обмежень у процесі їхньої експлуатації. Такий спосіб, в основному, виконується для тягового рухомого складу, що мав випадки руйнувань у процесі експлуатації та розглядається, як тимчасова міра для підтримки працездатності парку до виконання робіт, що радикально збільшать ресурс несучих конструкцій.

Рекомендована в роботі методика оцінки залишкового ресурсу несучих конструкцій рам візків ТРС заснована на співставленні динамічних навантажень, що діють на них в процесі експлуатації, з показниками втомлюваної міцності конструкції рам візків.

Методику визначення залишкового ресурсу несучих конструкцій рам візків створено на основі положень Норм, розроблених Науково-дослідним інститутом залізничного транспорту Російської федерації з урахуванням узагальнення багаторічного досвіду створення тягового рухомого складу підприємствами та школами вчених - механіків СРСР, України та РФ.

Розрахунок залишкового ресурсу НК ТРС у частині визначення залишкового ресурсу несучих конструкцій рам візків містить у собі такі основні етапи:

- збір експлуатаційних даних про відмови, що можуть носити характер втомлюваних руйнувань. Відповідно до цього вибираються типи, місця і схеми розміщення датчиків;
- проведення динамічних ходових міцностних випробувань з метою встановлення відповідності динамічних якостей локомотива нормативним вимогам, а також визначення напружень у найбільш навантажених місцях несучих конструкцій з урахуванням статистичних розподілів елементів плану і профілю колії, швидкостей руху і т.п.;
- схематизація отриманих циклограм напружень у несучих конструкціях та приведення їх до напружень еквівалентних симетричних циклів і складання гістограм розподілу величин еквівалентних напружень;
- призначення режимів прискорених стендових вібраційних випробувань рам візків. Прискорення випробувань здійснюється за рахунок форсування по амплітуді і частоті навантаження;
- стендові вібраційні випробування, які виконуються з метою визначення границі опору втомі несучих конструкцій рам візків ТРС;
- визначення ресурсу несучих конструкцій рам візків ТРС.

Блок – схема методики визначення залишкового ресурсу несучих конструкцій рам візків ТРС наведена на рис. 2.

Метою оцінки *технічного стану та умов експлуатації* ТРС є визначення найбільш навантажених місць його конструкції, які виявлені у процесі нормативної та наднормативної експлуатації.

Вихідними даними для *проведення натурних випробувань* НК ТРС являється інформація про розташування найбільш навантажених місць НК, отримана розрахунковими методами або безпосередньо шляхом збирання необхідної для цього інформації. Проведення натурних випробувань рухомого складу необхідно для експериментального визначення напрацювання, яке отримується у процесі експлуатації НК ТРС, який відпрацював тривалий строк служби.

Результатом проведення динамічних міцносних ходових випробувань є гістограми розподілів імовірностей миттєвих значень напружень у слабких місцях конструкції НК, а також гістограми розподілу імовірностей миттєвих значень еквівалентних напружень, необхідних для визначення залишкового ресурсу НК.

Динамічні напруження, які діють на візки у процесі експлуатації, схематизуються з використанням методу “дошу”. Асиметричні напруження у рамках візків ТРС, які складаються з статичної складової від ваги кузову та динамічного додатку, перераховуються до еквівалентних симетричних циклів.

Амплітуди еквівалентних напружень з урахуванням асиметрії циклу визначається як

$$\sigma_a = \begin{cases} \frac{(\max \sigma_i - \min \sigma_i)}{2}, & \text{якщо } \frac{\max \sigma_i + \min \sigma_i}{2} \leq 0 \\ \frac{(\max \sigma_i - \min \sigma_i)}{2} + \psi \frac{\max \sigma_i + \min \sigma_i}{2}, & \text{якщо } \frac{\max \sigma_i + \min \sigma_i}{2} > 0 \end{cases} \quad (1)$$

де σ_a – величина напруження симетричного циклу, еквівалентна за руйнівною здатністю експлуатаційним, або стендовим випробувальним навантаженням; $\max \sigma_i$, $\min \sigma_i$ - відповідно максимальне та мінімальне значення i - того циклу процесу зміни напруження, зареєстрованого при проведенні випробувань; ψ - коефіцієнт чутливості матеріалу до асиметрії змінного навантаження.

За результатами схематизації будуються таблиці розподілів ймовірностей P_{ikl} напружень у найбільш навантажених місцях конструкції рам візків. Ймовірність значення P_{ikl} є частість попадання амплітуди еквівалентних напружень у i -тий інтервал розподілу величини напруження σ_{ai} при рухові ТРС зі швидкістю V_k (k -й інтервал швидкості руху) по колії, план якої характеризується l -категорією елементів (прямих, або кривих визначених інтервалів радіусів).

Значення P_{ikl} знаходяться за допомогою виразу

$$P_{ikl} = \frac{n_{ikl}}{N_{kl}}, \quad (2)$$



Рис. 2. Укрупнена блок-схема методики визначення залишкового ресурсу несучих конструкцій рам візків ТПС

НТБ
ДНУЗТ

у виразі 2: n_{kl} – кількість циклів коливань з амплітудою напруження $\sigma_{a_{kl}}$, котрі потрапили у i -й інтервал при «кл»-тій ситуації руху (у k -тому інтервалі швидкості та l -тій категорії елементів плану колії), N_{kl} – загальна кількість циклів у даній ситуації, яка отримана шляхом обробки множини випробувань.

Ймовірність виникнення «кл»-тої ситуації руху визначається за розподілами, встановленими нормативною документацією, або, у випадку сталих режимів та напрямків руху досліджуваного типу рухомого складу, визначається за результатами ходових динамічних міцносних випробувань.

Середня кількість циклів N_1 на одиницю пробігу (1 км), яка спільно з амплітудою циклів напружень характеризує напрацювання НК рам візків, визначається, як

$$N_1 = \sum_k \sum_l \frac{P_{kl} N_{kl}}{L_{kl}}, \quad (3)$$

де L_{kl} – сумарна довжина оброблених при випробуваннях ділянок колії у «кл»-ій ситуації руху.

Нормативний розрахунок на міцність та довговічність несучих конструкцій рам візків ТРС виконується з метою попередньої оцінки відповідності характеристик їх навантаженості вимогам Норм. Характеристики навантаженості НК рам візків ТРС визначаються експериментально та розрахунковим шляхом.

Коефіцієнт опору втомі n згідно нормативним вимогам та рекомендованій методиці оцінки залишкового ресурсу НК ТРС визначається як

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma \sigma_v + \psi \sigma_m}, \quad (4)$$

при цьому цей коефіцієнт не повинен бути нижчим, ніж нормативне значення $[n]=2$.

У формулі (4): σ_{-1} – границя опору втомі матеріалу при симетричному циклі навантаження НК ТРС; K_σ – коефіцієнт зменшення границі опору втомі для деталі (несучої конструкції); $\sigma_v = \sigma_v + 1,645S_a$, – найбільша амплітуда напружень з імовірністю 0,95, де σ_v – середнє значення амплітуди змінних напружень, а S_a – середньоквадратичне відхилення амплітуд від середньої величини напруження, σ_m – середнє значення циклу напружень, що визначається, як $\sigma_m = \sigma_{ст} + \sigma_f$, де $\sigma_{ст}$ – статична величина напружень від дії сил ваги, виникаючих у елементах НК; σ_f – напруження від сил тяги або гальмування.

У відповідності до Норм коефіцієнт K_σ зменшення границі опору втомі для конструкції визначається з урахуванням концентрації напружень, масштабних та інших факторів.

Вихідними даними для проведення **стендових вібраційних випробувань** НК рам візків є інформація щодо навантажень, які діють на них у процесі експлуатації.

Стендові вібраційні випробування виконуються для визначення параметрів кривої витривалості несучої конструкції, а конкретно її границі опору втомі σ_{1D} .

Результати стендових вібраційних випробувань використовуються для проведення *уточненого нормативного розрахунку* а також для *визначення залишкового ресурсу* НК візків ТРС.

Для опису кривої втомі зразків та несучих конструкцій використовується гіперболічна апроксимація

$$N = \beta \frac{\sigma_a - \sigma}{\sigma - \sigma_{-1}}, \quad (5)$$

де σ_a - границя міцності матеріалу НК ТРС; σ - амплітуда циклу, при якій до руйнування зразку від втомі потрібно N -циклів, β - стала зразку, яка в принципі асоціюється з характеристиками матеріалу. Для деталі (рами візку) у вираз (5) замість величин β та σ_{-1} підставляються аналогічні характеристики конструкції

$$\sigma_{-1D} = \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma}, \quad \beta_D = \frac{\beta}{K_\sigma}.$$

Визначення параметрів кривої витривалості несучої конструкції β_D та σ_{-1D} за результатами вібраційних випробувань НК рам візків виконується наступним чином. Проводяться стендові випробування до руйнування не менш, ніж двох одиниць НК ТРС однакового віку, *два режими навантаження* яких вибираються таким чином, аби забезпечити руйнування НК відповідно за ≈ 500000 та 1500000 циклів. Навантаження проводиться або з підвищенням щаблями його амплітуди через певний період випробувань, або при постійній амплітуді навантаження. Параметри кривої втомі (5) визначаються наступним чином

$$\sigma_{1D} = (a_1 - a_2)(\sigma_1 - \sigma_2)^{-1}, \quad \beta_D = (\sigma_1 a_2 - a_1 \sigma_2)(\sigma_1 - \sigma_2)^{-1} \quad (6)$$

В рівнянні (6) застосовані проміжні коефіцієнти, що визначаються як

$$a_1 = \sum n_{i1} \sigma_{i1} (0.95 \sigma_a - \sigma_{i1})^{-1}, \quad \sigma_1 = \sum n_{i1} (0.95 \sigma_a - \sigma_{i1})^{-1}, \\ a_2 = \sum n_{i2} \sigma_{i2} (0.95 \sigma_a - \sigma_{i2})^{-1}, \quad \sigma_2 = \sum n_{i2} (0.95 \sigma_a - \sigma_{i2})^{-1}$$

В наведених вище рівняннях n_{i1} , n_{i2} - кількість циклів навантаження на i -тому щаблі при проведенні випробувань із наростанням амплітуд відповідно для першого та другого зразків НК; σ_{i1} , σ_{i2} - відповідні до цього напруження в контрольованих точках НК; $0.95 \sigma_a$ - границя опору втомі несучої конструкції з урахуванням масштабного фактору.

Оскільки використання кривої втомі (5) для розрахунку ресурсу НК рам візків не нормоване чинними в Україні нормативними документами, в роботі проведено аналіз математичної моделі опору втомі (5), перевірено основні припущення та спрощення, які використано при її побудові.

Показано, що нормативна крива втоми (5) побудована на базі гіпотези Генрі, яка описується рівнянням

$$N = \frac{K_0}{\sigma - \sigma_{-10}} \quad (7)$$

де N - кількість циклів до руйнування матеріалу, або конструкції при амплітуді напружень σ у них; K_0 - параметр гіперболічної апроксимації кривої втоми, що відповідає матеріалу (конструкції) у вихідному стані; σ_{-10} - границя опору втоми матеріалу, або конструкції у вихідному стані, тобто до початку дії навантажень.

Головне припущення Генрі виражається рівнянням

$$\frac{K}{K_0} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-10}} \quad (8)$$

Тут K - аналогічний параметр гіперболічної апроксимації кривої втоми для матеріалу (конструкції) після пошкоджень; σ_{-1} - границя опору втоми матеріалу, або конструкції, після пошкоджень.

В результаті проведення аналізу математичної моделі та основних припущень моделі опору втоми, яка покладена в основу російських Норм, показано її придатність для визначення оцінок залишкового ресурсу НК ТРС.

В результаті проведення стендових випробувань двох, або більше одиниць НК ТРС визначається оцінка медіанного (середньовірогідного) значення границі опору втоми досліджуваних несучих конструкцій, яка безпосередньо використовується при визначенні коефіцієнту запасу міцності (4). При проведенні розрахунку ресурсу НК ТРС актуальною стає задача визначення, із завданняю довірчою ймовірністю, нижньої границі величини границі її опору втоми.

Одним з шляхів оцінки відхилення границі опору втоми від медіанного значення є урахування похибок вимірів при проведенні стендових вібраційних випробувань, засноване на методі статистичного моделювання.

Ілюстрація до визначення величини статистичного відхилення границі витривалості наведена на рис. 3.

Відповідно до розробленої в роботі методики, за рівнянням (6) розраховуються параметри кривої втоми. Але при вирахуванні проміжних коефіцієнтів в якості навантажень на першому та другому режимах вибираються пари можливих значень величин напруження в контрольованих місцях НК.

При цьому величини напружень на двох режимах, відповідно $\sigma^{(1)}_i = \sigma^{(1)}_{icp} + k\Delta\sigma$ та $\sigma^{(2)}_i = \sigma^{(2)}_{icp} + k\Delta\sigma$ де $\Delta\sigma, \Delta\sigma$ є вибрані величини інтервалів розподілу ймовірності похибок вимірів; $2k = (-n..n)$, $2v = (-n..n)$ - поточні номери інтервалів розподілів ймовірностей відповідно при випробуваннях на першому та другому режимах.

Ймовірність кожного отриманого значення границі опору втоми НК з урахуванням статистичної незалежності вимірів при проведенні випробувань буде

$$p(\sigma_{1D}) = p(\sigma_{1d}) p(\sigma_{2d}) \quad (9)$$

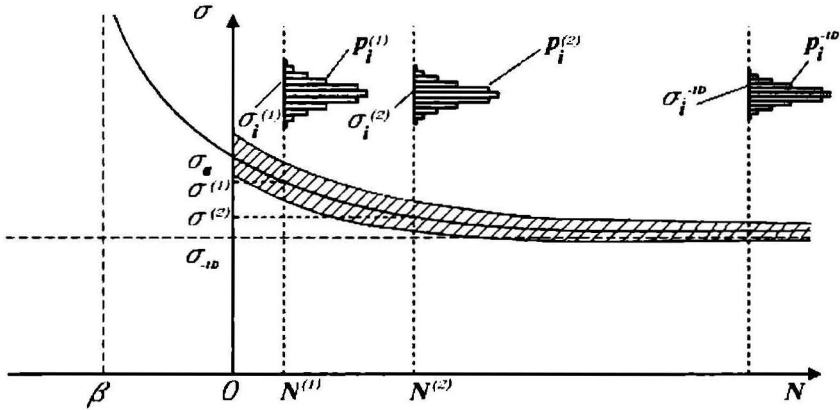


Рис.3. До визначення величини відхилення границі витривалості.

Тоді, якщо розподіл ймовірності $p(\sigma_{1D})$ величини границі опору втомі досліджуваної НК ТРС відомий, то може бути визначена оцінка нижньої границі вказаної величини з заданою довірчою ймовірністю, а також параметри закону, яким може бути описано отриманий розподіл.

У розділі 4 описано застосування розроблених концептуальних підходів та методик для оцінки залишкового ресурсу рам візків пасажирського електровоза ЧС-4. Електровози змінного струму ЧС-4 (заводський тип 52Е1) чеського підприємства Шкода ТТ масово надходили у експлуатацію до Радянського Союзу з 1965 року. Тріщини в елементах рам візків електровозів ЧС-4 спостерігалися, починаючи практично з початку їх масової експлуатації (1967 рік). В роботі проведено докладний аналіз історії експлуатації рам візків електровоза, проаналізовано порушення їх конструкції, застосовані методи їх усунення та стан НК рам візків на поточний момент. Виходячи з цього зроблені припущення щодо причини виникнення руйнувань рам візків як результату дії на них горизонтальних поперечних зусиль.

Проблема подальшої експлуатації візків електровозів ЧС-4 може бути вирішена наступним чином:

1. Виключення візків з інвентарю, як таких, що вичерпали встановлений строк служби, разом з електровозами;
2. Виключення візків з інвентарю та заміна їх новими візками у відповідності до Технічного Відношення заводу-виготовлювача Шкода ТТ як умова наднормативної експлуатації електровозів ЧС-4;

3. Обґрунтування продовження експлуатації візків на період до проведення капітально-відновного ремонту та їх заміни;
4. Залишення візків у експлуатації на весь період їх наднормативного строку служби.

Враховуючи те, що одночасна швидка суцільна модернізація парку електровозів неможлива, а виконання капітально-відновного ремонту потребує часу, існує необхідність у визначенні залишкового ресурсу несучих конструкцій рам візків електровозів ЧС-4, які вичерпали нормативний строк служби.

Призначення строку наднормативної експлуатації рам візків електровозів ЧС-4 стикається з особливостями, які полягають у тому, що у експлуатації виявлялися руйнування більшості несучих конструкцій рам візків.

З урахуванням історії експлуатації та результатів проведених досліджень, призначити для рам візків електровозів ЧС-4 єдиний подовжений строк служби, який відраховується від дати побудови локомотива, неможливо.

При проведенні ходових міцносних випробувань електровоза ЧС-4, який було узято після тривалої експлуатації, виявлено, що відбулася якісна зміна розподілу горизонтальних поперечних зусиль, що діють на колісні пари візків. При випробуваннях нових електровозів динамічні зусилля, які діють на середню колісну пару нижчі у всьому діапазоні швидкостей руху екіпажа по відношенню до крайніх колісних пар, що природно при застосуванні розбіжної колісної пари. При проведенні випробувань електровоза, що вичерпав строк служби, було виявлено, що при рухові у кривих сила у середній колісній парі більша, ніж у крайніх. Це дозволяє зробити висновок щодо або неякісної роботи підшипників середніх колісних пар, або відсутності розбіжності колісної пари.

Рами візків електровозу ЧС-4 було обладнано реохордними датчиками, які дозволяли реєструвати переміщення буксових вузлів у поперечному та вертикальному напрямку. Тензодатчики було розташовано таким чином, що це дозволяло фіксувати деформації кінцевих брусів різного характеру, таким чином було проаналізовано можливі причини цих деформацій та вплив на них зовнішніх збурень у вертикальному та поперечному відносно поздовжньої вісі локомотиву напрямках.

Обробка результатів динамічних ходових випробувань дозволила скласти розподіл ймовірності виникнення напружень у характерній точці візку *P4Y* (район сполучення поздовжніх та кінцевих балок рам візків) з урахуванням статистичного характеру режимів водіння та характеристик колії, який наведено у таблиці 1.

Для проведення стендових вібраційних випробувань спроектовано та виготовлено випробувальний комплекс, загальний вигляд якого показано на рис. 4.

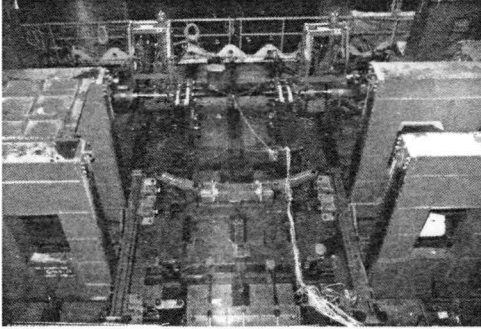


Рис. 4. Вигляд випробувального комплексу для випробувань рам візків електровозів ЧС-4 на опір втомі.

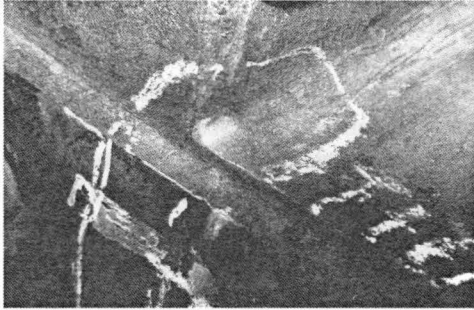


Рис.5. Вид пошкодження рами візку електровоза ЧС-4 в районі розташування посилюючої накладки.

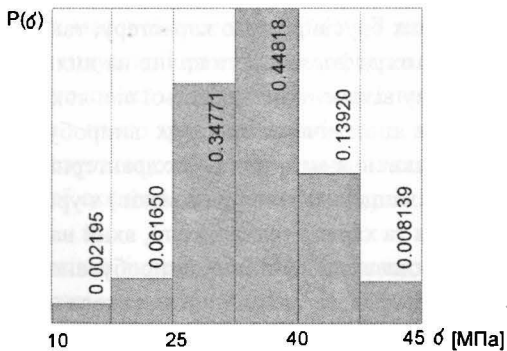


Рис.6. Розподіл величини границі опору втомі рам візків електровоза ЧС-4.

Розподіл ймовірностей амплітуд напружень в точці Р4У візку електровозу

Напруження, МПа	Ймовірність	Напруження, МПа	Ймовірність
1	2	3	4
1	$4.8586 \cdot 10^{-1}$	9	$1.0771 \cdot 10^{-4}$
2	$1.6671 \cdot 10^{-1}$	10	$1.1156 \cdot 10^{-4}$
3	$5.5103 \cdot 10^{-2}$	11	$7.1657 \cdot 10^{-5}$
4	$2.4312 \cdot 10^{-2}$	12	$2.7701 \cdot 10^{-5}$
5	$9.1862 \cdot 10^{-3}$	13	$3.9542 \cdot 10^{-5}$
6	$1.8849 \cdot 10^{-3}$	14	$5.9202 \cdot 10^{-5}$
7	$5.3943 \cdot 10^{-4}$	15	$8.7126 \cdot 10^{-5}$
8	$2.8747 \cdot 10^{-4}$	16	$2.3681 \cdot 10^{-5}$

Руйнування рами візку відбулося у районі розташування посилюючої накладки в районі з'єднання поздовжньої та кінцевої балки, як показано на рис. 5. Характер руйнування рами при проведенні стендових вібраційних випробувань відповідає таким, що спостерігалися в процесі експлуатації електровозів.

По результатах проведених випробувань визначено розподіл величини границі опору втомі рам візків електровоза ЧС-4, який наведено на рис. 6. Закон розподілу отримано, приймаючи, що закони розподілу похибок при випробуваннях незалежні, підкоряються нормальному закону та мають відносну погрішність $\pm 15\%$.

Закон розподілу границі опору втомі небезпечного місця рами візку показує, що з вірогідністю 0.997 границя його втомлюваності не менша, ніж $\sigma_{-1Dm} \geq 10 \text{ МПа}$ з параметром кривої втоми $\beta = 43000$ (найгірший випадок). При цьому напруження найбільших розрядів амплітуд в експлуатації перевищують границю втоми. Розрахунок за нормативним алгоритмом та даними таблиці 1 при $\sigma_{-1Dm} \geq 10 \text{ МПа}$ та $\beta = 43000$ показує, що рама візка може мати пошкодження від втоми через 5 років.

Умовами поетапного подовження експлуатації рам візків електровозу ЧС-4 буде:

- Етап 1. Проведення суцільного комісійного огляду електровозів ЧС-4 з метою експертної оцінки стану несучих конструкцій рам візків електровозів та можливості їх експлуатації на період до проведення їх поточного ремонту;
- Етап 2. При поточних ремонтах інструментальний неруйнуючий контроль стану небезпечних місць рам візків електровозів ЧС4 з метою визначення можливості їх експлуатації до проведення капітального ремонту;
- Етап 3. При проведенні капітального ремонту модернізація рам у місцях з'єднання поздовжніх та кінцевих брусів рами та виконання їх повторної модернізації та неруйнуючий контроль основних навантажених місць рам візків.

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено задачі, спрямовані на вирішення забезпечення наднормативної експлуатації рам візків тягового рухомого складу з вичерпаним строком служби.

Результати проведених досліджень дозволяють зробити наступні висновки:

1. Ситуація зі станом парку тягового рухомого складу України потребує розробки наукового обґрунтування подовження його строку служби з використанням прогресивних технологій проведення теоретичних та експериментальних робіт.
2. Забезпечення виконання соціально-значимих пасажирських перевезень може бути ефективно вирішене шляхом продовження строку служби пасажирського тягового рухомого складу.
3. Подовження строку служби ТРС може супроводжуватися впровадженням нових, не фундаментальних конструктивних рішень по модернізації окремих його вузлів при проведенні капітальних ремонтів на ремонтних заводах, а деяких - в умовах локомотивних депо.
4. Рішення про продовження термінів служби ТРС приймається індивідуально по його типах або одноразово (призначенням терміну служби), або поетапно.
5. Проведено аналіз математичної моделі кривої витривалості, яка використовується при розрахунку залишкового ресурсу несучих конструкцій рам візків ТРС та встановлено її придатність до досягнення мети досліджень.
6. Розроблено методику випробування рам візків на двох режимах навантаження для визначення параметрів кривої витривалості.
7. Розроблено засіб урахування відхилення від середнього значення результатів визначення параметрів кривої витривалості методом статистичного чисельного експерименту.
8. Проведено аналіз відмов несучих конструкцій візків електровоза ЧС4 в експлуатації та запропоновано заходи по зменшенню їх впливу.
9. Визначено систему розташування датчиків, спрямовану на повний аналіз напруженого стану навантажених місць рам візків електровоза ЧС4 та проведено аналіз результатів ходових випробувань.
10. Визначено умови наднормативної експлуатації несучих конструкцій візків електровоза ЧС4.
11. Визначено термін поетапного подовження строку експлуатації рам візків електровоза ЧС4 з урахуванням імовірності відхилення границі опору втомі конструкцій рам візків електровозів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ РОБІТ У ФАХОВИХ ВИ- ДАННЯХ, У ЯКИХ ОСВІТЛЕНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ:

1. Продление срока службы тягового подвижного состава - один из способов обеспечения его надежной эксплуатации /Блохин Е.П., Горобец В.Л., Лашко А.Д. Кулешов В.П. /Транспорт: Зб. наук. пр. ДПТУ, Випуск 6. -Дніпропетровськ: Арт-Прес, 2000. С.14-20.
2. Визначення залишкового ресурсу тягового рухомого складу / Горобець В.Л., Паламаренко О.І., Кулешов В.П., // Залізнич. транспорт України, 2001. -№1. -С.14-16.
3. Кулешов В.П., Горобец В.Л., Паламаренко А.И. Оценка остаточного ресурса рам тележек электропоездов ЭР1, ЭР2 путем их стендовых вибрационных испытаний / Транспорт. Нагруженность и прочность подвижного состава: Сб. научн. тр. ДИИТа. - Днепропетровск: "Наука и образование", 1998. -С. 56-62.
4. О модели сопротивления усталости несущих конструкций тягового подвижного состава для оценки их остаточного ресурса / Блохин Е.П., Горобец В.Л., Кулешов В.П., Саввин Ю.И // Вісник СУДУ, 2000. - №10. -С. 31-42.
5. Кулешов В.П. Об учете разброса напряжений в несущих конструкциях при оценке срока службы тягового подвижного состава / Транспорт: Сб. научн. тр. ДИИТа. - Днепропетровск, 2001. С. 129-132.

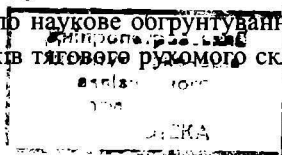
АНОТАЦІЇ

Кулешов В.П. **НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОДОВЖЕННЯ СТРОКУ СЛУЖБИ РАМ ВІЗКІВ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ. - Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 - рухомий склад залізниць і тяга поїздів. Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту, Дніпропетровськ, 2002.

Забезпечити працездатність парку тягового рухомого складу можливо за рахунок подовження його строку служби, одначе, в Україні не існує сучасної нормативної бази для наукового обґрунтування вирішення проблеми подовження строку служби тягового рухомого складу.

Метою даної роботи було наукове обґрунтування наднормативної експлуатації несучих конструкцій візків тягового рухомого складу з вичерпаним терміном



служби й удосконалювання методики експериментальної оцінки характеристик їх опору втомі.

В рамках досягнення мети досліджень проаналізовано стан парку тягового рухомого складу України, та доказана на прикладі електровозу ЧС-4 можливість та доцільність подовження строків його експлуатації, розроблено концепцію подовження строку служби несучих конструкцій тягового рухомого складу та засоби подовження строку їх експлуатації. Проведено аналіз математичних моделей опору втомі несучих конструкцій та обрана модель, придатна для використання як базова при розробці вітчизняної нормативної бази.

Ключові слова: тяговий рухомий склад, строк служби, несучі конструкції, залишковий ресурс, стендові вібраційні випробування.

Кулешов В.П. НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА
СЛУЖБЫ РАМ ТЕЛЕЖЕК ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО
СОСТАВА. - Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 - подвижной состав железных дорог и тяга поездов. Днепропетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта, Днепропетровск, 2002.

Защищается пять научных работ, которые содержат исследования по научному обоснованию продления срока службы несущих конструкций рам тележек тягового подвижного состава и обоснование методики экспериментальной оценки предела выносливости их несущих конструкций.

Значительная часть тягового подвижного состава Украины исчерпала установленные сроки службы и согласно действующим нормативным документам подлежит исключению из эксплуатации.

Обеспечить работоспособность парка тягового подвижного состава можно за счет продления его срока службы, однако, в Украине не существует современной нормативной базы для научного обоснования решения проблемы продления срока службы тягового подвижного состава.

Целью данной работы было научное обоснование продления срока службы несущих конструкций тележек тягового подвижного состава с исчерпанным сроком службы и совершенствование методики экспериментальной оценки характеристик их сопротивления усталости на основании проведения комплекса теоретических и экспериментальных работ.

В рамках достижения поставленной цели исследований проанализировано состояние парка тягового подвижного состава Украины, и доказана на примере электровоза ЧС-4 возможность и целесообразность продления сроков его эксплуа-

тации, разработана концепция продления срока службы несущих конструкций тягового подвижного состава и способы продления срока их эксплуатации.

Предложено два возможных способа продления срока тягового подвижного состава. Единовременное продление срока службы его несущих конструкций используется при наличии достаточного остаточного ресурса, когда для продолжения эксплуатации не требуется проведение дополнительных работ по ремонту и модернизации. Поэтапное продление применяется, когда срок службы тягового подвижного состава удлиняется на определенные периоды, в зависимости от объемов проводимых на каждом этапе ремонтов или модернизаций.

Проведен анализ математических моделей сопротивления усталости несущих конструкций и выбрана модель, пригодная для использования в качестве базовой при разработке отечественной нормативной базы.

Разработана методика учета отклонения предела выносливости несущих конструкций рам тележек при проведении их стендовых вибрационных испытаний.

Исследован остаточный ресурс рам тележек пассажирского электровоза ЧС 4 и избран способ продления их срока эксплуатации.

Исследования показали, что установление срока службы локомотивов в основном базировалось не на их физическом ресурсе, а на иных причинах, например, моральном старении конструкции и поддержке темпа обновления тягового подвижного состава.

Ключевые слова: тяговый подвижной состав, срок службы, несущие конструкции, остаточный ресурс, стендовые вибрационные испытания.

Kouleshov V. P. SCIENTIFIC JUSTIFICATION OF WORK'S PERIOD
PROLONGATION OF SUPPORTING STRUCTURES OF
THE TRACTIVE ROLLING STOCK BOGIE FRAMES. -
Manuscript.

Thesis for a candidate's degree by specialty 05.22.07 - railway rolling stock and train traction. Dnipropetrovsk State Technical University of Railway Transport, Dnipropetrovsk, 2001.

The purposes of the given work are a scientific justification of extra-standard operation of supporting structures of the tractive rolling stock bogies with the expired service duration and improvements in the methods of experimental estimation of their fatigue resistance characteristics.

In order to achieve the investigation purposes, the conditions of tractive rolling stock in Ukraine have been analyzed and the necessity of its operating life prolongation has been proven on example of passenger electric locomotive ChS 4 (ЧС 4). Items of a concept of prolongation of service duration of supporting structures of the tractive rolling stock have been listed and the ways of prolongation of their operating life have been

developed. Analysis of mathematical models of fatigue resistance of supporting structures has been conducted and the model suitable for use as basic one in the development of domestic standard basis has been chosen.

Key words: tractive rolling stock, service duration, supporting structures, residual operating life, vibration rig trial.

Кулешов Володимир Петрович

**НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОДОВЖЕННЯ СТРОКУ
СЛУЖБИ РАМ ВІЗКІВ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ**

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Спеціальність 05.22.07 - Рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Підписано до друку 23.05.02. Формат 60X84 1/ 16. Папір для множних апаратів. Ум. друк. арк. 1,0. Обл. - вид арк. 1,1. Тираж 100 прим. Замовлення № 696.

Безкоштовно.

Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту. Адреса університету та дільниці оперативної поліграфії ДІТу: 49010, м.Дніпропетровськ, 10, вул. Акад. В.А. Лазаряна, 2.

Сканувала Юнаковська В. В.