

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

Грушак Іван Михайлович

УДК 629.42.02."4014"

ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ
ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ
(на прикладі тепловозів ТГМ6А, електровозів ВЛ60 та електропоїздів ЕР9М,Е)

Спеціальність 05.22.07 - рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ - 2009

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі «Будівельна механіка» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства транспорту та зв'язку України.

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор
Боднар Борис Євгенович,
перший проректор Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
завідувач кафедри «Локомотиви».

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, професор Кельрих Мусій Борисович, завідувач кафедри «Вагони» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ;
- кандидат технічних наук Білодєденко Сергій Валентинович, доцент кафедри «Машини та агрегати металургійного виробництва» Дніпропетровської національної металургійної академії.

Захист відбудеться "28" квітня 2009 р. о 14 год на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДПТ) за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, ауд. 314.

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

Автореферат розісланий "23" березня 2009 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради, д.т.н., проф.

Жуковицький І. В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Стан парку тягового рухомого складу магістральних колій та колій промислових підприємств України на теперішній час характеризується тривалим часом його експлуатації після закінчення призначеного строку служби. Заміна парку ТРС новими типами локомотивів потребує тривалого часу та суттєвих капітальних вкладень. Тому виникає необхідність у проведенні робіт з визначення можливості подальшої експлуатації ТРС для забезпечення потреб у перевезеннях пасажирів та вантажів.

Фізичний ресурс основних НК ТРС (рам візків та рам кузовів, або кузовів, коли вони є несучими) визначає можливість продовження їх призначеного строку служби. При цьому, основною частиною вказаної проблеми є забезпечення продовження строку служби рам візків, як елементів конструкції ТРС, стан яких оказує найбільший вплив на безпеку руху поїздів. Науково обґрунтована експлуатація НК ТРС за межами призначеного терміну надає можливість забезпечити відповідні перевезення і таким чином отримати економічний ефект, який може сприяти впровадженню програм з удосконалення експлуатаційних показників залізниць, розробки та придбання нових перспективних типів тягового рухомого складу.

Вказане вище обумовлює актуальність роботи, спрямованої на обґрунтування наднормативної експлуатації окремих типів ТРС.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота є складовою частиною робіт з оцінки залишкового ресурсу несучих конструкцій тягового рухомого складу, які виконувалися Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна на замовлення Державної адміністрації залізничного транспорту України (Укрзалізниця) та промислових підприємств. Роботи проводилися згідно з наказом генерального директора Укрзалізниці від 17.02.1998 №44-Ц та відповідно до Програми продовження строку служби тягового рухомого складу України.

Результати роботи використано під час виконання НДР «Дослідження з оцінки залишкового ресурсу та можливостей продовження строку служби основних несучих конструкцій електропоїздів ЕР9Е, ЕР9М», № ДР 0106U006495 (2006 р.), а також у науково-технічних звітах з виконаних робіт та у відповідних Технічних рішеннях на продовження терміну служби тепловозів серії ТГМ6А та електровозів серії ВЛ60.

Мета й завдання дослідження. Метою даної роботи є продовження терміну експлуатації несучих конструкцій рухомого складу на основі порівняння показників міцності та ресурсу за умови забезпечення безпеки руху.

Для досягнення вказаної мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз існуючих методів оцінки показників міцності та ресурсу локомотивів, аналіз наукових публікацій.
2. Визначити експлуатаційне навантаження несучих конструкцій тягового рухомого складу.
3. Здійснити подальший розвиток методики порівняльної оцінки ресурсу несучих конструкцій тепловозів серії ТГМ6А з використанням принципу «слабкого елемента».

4. Удосконалити методику оцінки впливу місцевих модернізацій на залишковий ресурс та розробити методику порівняльної оцінки ресурсу несучих конструкцій вагонів електропоїздів серії EP9M,E шляхом зіставлення їх динамічної навантаженості з навантаженістю електропоїзда-аналога.
5. З метою запобігання руйнуванню одиниць рухомого складу в ході випробувань на співударяння розробити моделі для виконання математичного моделювання з визначення навантаженості рам візків та кузовів тепловозів серії ТГМ6А при поздовжніх співударах.
6. Удосконалити типову методику для проведення динамічних міцнісних випробувань електровозів ВЛ60.
7. Для аналізу напружено-деформованого стану (НДС) найбільш навантаженого фрагмента конструкції рам візка електровоза серії ВЛ60 розробити розрахункову схему для визначення впливу на рівень напружень заходів модернізації.

Об'єктом дослідження є процес опору впливу змінних навантажень несучих конструкцій тягового рухомого складу, який тривалий період знаходився в експлуатації.

Предметом дослідження є залишковий ресурс рам візків та кузовів тепловозів серії ТГМ6А, рам візків електровозів серії ВЛ60 та електропоїздів серії EP9M,E з вичерпанням призначеного строку служби.

У роботі було використано такі *методи*:

- метод експериментальної оцінки динамічного навантаження несучих конструкцій одиниць тягового (електровоз, тепловоз) та моторвагонного рухомого складу в процесі експлуатації для виявлення причин руйнування його окремих елементів;
- методи теорії ймовірностей для оцінки міри відхилення границі витривалості несучих конструкцій ТРС від їх середнього значення та визначення функції розподілу циклів змінних напружень у елементах несучих конструкцій у процесі експлуатації локомотивів;
- методи механіки руйнування для оцінки залишкового ресурсу несучих конструкцій ТРС;
- методи вищої математики для аналізу моделі опору втомі, яка використовується для оцінки ресурсу несучих конструкцій ТРС.

Наукова новизна роботи полягає у такому:

1. Вперше шляхом використання математичних співвідношень науково обґрунтовано застосування принципу «слабкого елемента» при проведенні порівняльної оцінки ресурсу несучих конструкцій тепловозів серії ТГМ6А.
2. Удосконалено математичні співвідношення для оцінки впливу локальних модернізацій на залишковий ресурс та проведено порівняльну оцінку ресурсу несучих конструкцій електропоїздів серії EP9M,E шляхом зіставлення їх динамічної навантаженості з навантаженістю електропоїзда-аналога.
3. Вперше розроблено математичний опис взаємодії елементів механічних систем тепловоза серії ТГМ6А для проведення досліджень з визначення

навантаженості рам візків та рам кузовів при поздовжніх співударах з метою запобігання руйнуванню вказаних одиниць рухомого складу, які можуть виникати під час проведення експериментальних випробувань на співударяння.

4. Вперше розроблено математичні моделі для проведення розрахунків з визначення впливу заходів модернізації на рівень напружено-деформованого стану найбільш навантаженого фрагмента конструкції рами візка електровоза серії ВЛ60.

Практичне значення одержаних результатів полягає в обґрунтуванні продовження строку служби електровоза серії ВЛ60, тепловозів серії ТГМ6А, електропоїздів ЕР9М,Е що дозволяє забезпечити потрібний об'єм пасажирських приміських та вантажних перевезень.

Результати проведеної роботи дозволили розробити заходи з поетапного продовження строку служби електровозу серії ВЛ60, тепловозів серії ТГМ6А, електропоїздів серії ЕР9М,Е на підставі яких прийнято рішення щодо їх подальшої експлуатації.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати, наведені в роботі, отримані автором самостійно. Статтю [5] підготовлено без співавторів. У працях, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача такий:

- виконано аналіз результатів динамічних ходових випробувань електровоза серії ВЛ60 та тепловозів серії ТГМ6А [1,3];
- адаптовано метод оцінки залишкового ресурсу несучих конструкцій тягового рухомого складу з використанням «слабкого елемента» [2] до досліджуваних серій тягового рухомого складу;
- розроблено розрахункові схеми для чисельного аналізу навантажень, що діють на несучі конструкції при співударах локомотивів, та проведено аналіз результатів розрахунків [4];
- проведено розрахунки з оцінки строку служби несучих конструкцій рам візків електропоїздів серії ЕР9М,Е [6].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації було викладено на Х Міжнародній конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту. Динаміка, надійність та безпека рухомого складу» (м. Дніпропетровськ, 2004 р.); на міжкафедральному семінарі кафедр «Будівельна механіка», «Теоретична механіка», «Локомотиви», «Електрорухомий склад», «Прикладна математика», «ЕОМ», «Комп'ютерні інформаційні технології», Інституту технічної механіки НАН України, Галузевої НДЛ динаміки та міцності рухомого складу; на Міжнародній конференції «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: Техніка, технологія, економіка та управління» (КУЕТТ, м. Київ, 2005 р.).

Публікації. Основні положення дисертації викладено в шістьох статтях у виданнях, які входять до переліку ВАК України, з яких одна опублікована без співавторів. Інші результати - у тезах доповідей міжнародних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'ятих розділів, висновків, списку використаних джерел та додатка. Рукопис містить 159

сторінок основного тексту та має 115 рисунків, 32 таблиці, бібліографію з 121 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У вступі обґрунтовується актуальність проблеми визначення залишкового ресурсу несучих конструкцій тягового рухомого складу, визначається мета й завдання досліджень.

У першому розділі розглянуто питання продовження терміну експлуатації тягового рухомого складу після закінчення його призначеного строку служби, зроблено огляд літератури, присвяченої визначенню ресурсу та оцінці границі опору втомі елементів несучих конструкцій.

Відповідно до чинної нормативної бази, конструкції, призначений термін експлуатації яких вичерпано, підлягають виключенню з експлуатації. Їх робота за межами цього терміну повинна бути підкріплена проведенням необхідного обсягу теоретичних та експериментальних досліджень.

Неухильне виконання вимог безпеки руху поїздів є найважливішою умовою роботи залізничного транспорту. Вони є основними при розробці нормативної документації, що регламентує вимоги до міцності елементів рухомого складу.

Термін експлуатації конструкції розраховується на основі зіставлення границі її опору втомі з випадковими динамічними навантаженнями, що діють на конструкцію в процесі експлуатації.

Дослідженню коливань, динамічних властивостей та динамічних навантажень рейкових екіпажів у детерміністичній та ймовірнісній постановці присвячено багато праць українських вчених школи В. А. Лазаряна. Значний внесок у дослідження динаміки рейкових екіпажів зробили російські вчені ВНДІЗТу, МПТу, ЛІІЖТу, РІЖТу, БІТМу.

Проблема оцінки залишкового ресурсу та продовження строку служби рухомого складу в Україні виникла після набуття нею самостійності. Внаслідок цього, чинних документів та методик, які регламентують процес визначення та продовження строку служби рухомого складу, немає. Тому питання, пов'язані з науковим обґрунтуванням продовження строку експлуатації ТРС, є дуже актуальними. Це великою мірою стосується НК візків - їх рам, стан яких безпосередньо впливає на безпеку руху поїздів.

Проблема продовження строку служби рам візків ТРС полягає в уточненому визначенні ресурсу (терміну служби) за їх технічним станом після проведення контролю та встановлення залишкового ресурсу. У процесі експлуатації несучі конструкції рам візків випадково навантажуються циклічними силами й піддаються впливу кліматичних чинників.

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

У другому розділі наведено положення методики порівняльної оцінки навантаженості несучих конструкцій, розробленої на основі використання відповідного методу оцінки залишкового ресурсу НК ТРС.

Практично будь-яка НК ТРС включає в себе елементи з різним співвідношенням міцності та навантаженості. На це існує ряд причин, а саме:

- неможливість на етапі проектування точного врахування всього комплексу навантажень, що діють на кузов ТРС у різних режимах його експлуатації;
- неоднорідність конструкції рами кузова ТРС, що зумовлює різний вплив навантажень певного типу на той самий елемент конструкції;
- прагнення конструктора до полегшення конструкції і неусвідомлене ослаблення елементів, визнаних другорядними або менш навантаженими;
- наявність зварних та інших з'єднань, що послабляють матеріал конструкції або перетин елементів рухомого складу.

Таким чином, у складній конструкції практично завжди існує «слабкий елемент» (СЕ), з якого починається руйнування конструкції під впливом умов її експлуатації, або такий елемент можливо виділити на основі аналізу комплексу навантажень, що діють на досліджувану конструкцію. «Слабким елементом» будемо вважати частину або елемент (фрагмент, перетин) конструкції, що внаслідок діючих на них навантажень, особливостей їх геометричних і механічних характеристик, піддається найбільш ранньому руйнуванню в процесі експлуатації.

У розділі уведено поняття конструкції з позитивним балансом ресурсу, якщо співвідношення ресурсу «слабкого елемента» й основних несучих елементів конструкції, що визначають її перехід у граничний стан, підпорядковуються співвідношенню

$$, \quad (1)$$

де: b_i – коефіцієнт балансу ресурсу для i -го основного несучого елемента конструкції; R_i – ресурс (у тому числі залишковий) основного елемента конструкції; $D_i = \Sigma \sigma^m p$ – питомий (за період часу) наробіток основного елемента конструкції в циклах (p – ймовірність появи напруження з амплітудою σ); $R_{\min}$, $D_{\min}$ – те ж, відповідно, тільки для «слабкого елемента» несучої конструкції.

Компоненти напруженого стану S під час руху механічної системи в кожен момент часу являють собою зважену суму ординат коливань за власними формами коливань.

Якщо руйнівне напруження в слабкому перерізі зв'язано з домінуючим компонентом напруженого стану $s_{\min}$ для «слабкого елемента», справедливе співвідношення

$$s_{\min} = \psi V_{\min} q(t), \quad (2)$$

де $V_{\min}$ – матриця ординат форм коливань, зв'язаних з місцем розташування «слабкого елемента». Для іншого елемента конструкції вираз для визначення руйнівного компонента напруженого стану має вигляд

$$s_E = \psi V q(t). \quad (3)$$

Тоді, прийнявши позначення $T = \psi V$, одержимо

$$s_{\min} = T_{\min} q; \quad s = T q, \quad (4)$$

тут $T_{\min}, T$ - відповідно вектори-рядки форм напруженого стану при власних коливаннях конструкції, що можуть бути безпосередньо отримані з результатів розрахунку напружено-деформованого стану, коли деформація конструкції відповідає формі її коливань. Вказане поле напружень буде далі назване *формою напружено – деформованого стану*.

Для збудження названих форм до конструкції прикладається інерційне навантаження, подібне за виглядом до деформації конструкції. При цьому вигляд такої деформації, а отже, навантаження для форм коливань конструкції як твердого тіла, першої форми згину та крутіння відомий заздалегідь.

Оцінка максимального напруження в основній несучій конструкції виражається через напруження в «слабкому елементі», і відношення величин напружень в основній конструкції і СЕ для «несприятливої» з точки зору співвідношення форми коливань має вигляд

$$s \geq \frac{T_{\xi}}{T_{\min \xi}} s_{\min}. \quad (5)$$

З метою запобігання виконанню повного аналізу НДС всіх елементів і вузлів конструкції кузова локомотива, у випадку, коли немає необхідності локалізації прогнозованого місця руйнування, досить досліджувати напруження в найбільш навантаженій точці конструкції, такої, що $\|T_{\xi}\| = \max(T_{\xi})$. Звідси остаточно одержимо розрахункову формулу для оцінки порівняльної навантаженості основних несучих конструкцій і «слабкого елемента»

$$s_E \leq \frac{\|T_{\xi}\|}{T_{\min \xi}} s_{\min}. \quad (6)$$

Враховуючи (1), одержимо вираз, що зв'язує ресурс найбільш навантаженої точки основної несучої конструкції з ресурсом «слабкого елемента»

$$R = \left(\frac{T_{\min \xi}}{\|T_{\xi}\|} \right)^m R_{\min}. \quad (7)$$

З урахуванням фактичного місця розташування датчика (відношення напруження у місці розташування тензодатчика до максимального напруження в тому ж перерізі даної балки) і наявності концентраторів напружень в області «слабкого елемента» й в основній несучій конструкції кузова тепловоза формула (7) доповнюється коефіцієнтами перерахунку й має такий вигляд:

$$R = \left(\frac{T_{\min \xi} \cdot k_{S \min} \cdot k_{K \min}}{\|T_{\xi}\| \cdot k_{K \xi}} \right)^m \cdot k_n^{-1} \cdot R_{\min}, \quad (8)$$

де: $k_{S \min} = \sigma_{\xi \max} / \sigma_{\xi 0}$ - відношення максимального напруження в перетині «слабкого» елемента $\sigma_{\xi \max}$ при несприятливій формі коливань ξ конструкції кузова тепловоза до напруження $\sigma_{\xi 0}$ (для тієї ж форми коливань) у місці розташування датчика в області «слабкого елемента» (коефіцієнт розподілу напружень в перерізі); $k_{K \min}$, $k_{K \xi}$ - коефіцієнти концентрації напружень в області «слабкого» елемента конструкції кузова тепловоза й основній несучій конструкції відповідно; $k_n \leq [k_{\sigma}]^m = 1 \div 16$ - коефіцієнт надійності розрахунку наробітку, зв'язаний з коефіцієнтом запасу витривалості, величина якого вибирається з умов і характеру експлуатації НК, їх стану і віку, а також забезпечення безпеки руху на магістральних шляхах Укрзалізниці та промислових підприємств.

Далі в розділі запропоновано методику оцінки впливу модернізацій (посилення) НК ТРС на їх ресурс. Будемо вважати, що модернізація конструкції відбувається відповідно до чинних правил та інструкцій і не викликає виникнення надмірних залишкових напружень. Внаслідок цього, порівняльний розрахунок ресурсу будемо проводити таким чином.

Наробіток базового варіанта несучої конструкції (без модернізації) під дією змінних навантажень визначаємо за формулою

$$D_0 = \sum_{i=1}^K \sigma_{0Ei}^m \cdot n_i, \quad (9)$$

де D_0 - міра наробітку базового варіанта конструкції; K - сумарне число рівнів навантаження конструкції; σ_{0Ei} - еквівалентне експлуатаційне напруження базового варіанта конструкції i -го рівню; $m=4$ - показник степеня кривої витривалості n_i - кількість циклів навантаження конструкції з напруженням відповідного рівня.

Наробіток модернізованого варіанта несучої конструкції під дією змінних навантажень визначимо так

$$D_m = \sum_{i=1}^K \sigma_{mEi}^m \cdot n_i, \quad (10)$$

де D_m - міра наробітку модернізованого варіанта конструкції; K – підсумкова кількість рівнів навантаження конструкції; σ_{mEi} - еквівалентне експлуатаційне напруження модернізованого варіанта конструкції i - го рівня.

Відношення ресурсу модернізованої конструкції до ресурсу базового варіанта d знаходиться як обернене відношення наробітків [2]:

$$d = \frac{D_0}{D_m}. \quad (11)$$

Це відношення показує відносну зміну тривалості терміну експлуатації базового варіанта конструкції та конструкції з модернізацією і може слугувати показником якості проведеної модернізації. Значення $d < 1$ відповідає модернізації, що погіршує існуючий ресурс конструкції, $d = 1$ відповідає модернізації, яка не впливає на ресурс несучої конструкції, $d > 1$ – модернізація, яка збільшує її ресурс.

Чим більше отримана величина d , тим краща якість модернізації.

Третій розділ присвячено оцінці експлуатаційного навантаження, міцності та залишкового ресурсу несучих конструкцій тепловозів серії ТГМ6А. У розділі на прикладі парку маневрових локомотивів ВАТ «Нікопольський завод феросплавів» (ВАТ «НЕФ») проведена апробація методики порівняльної оцінки ресурсу НК ТРС з використанням методу «слабкого елемента».

Наведено результати аналізу технічного стану зазначених локомотивів, результати проведення динамічних міцнісних випробувань зразка досліджуваного ТРС в експлуатаційному режимі, їх аналіз і результати обробки експериментальних даних та виконано розрахунок ресурсу рами кузова тепловозів серії ТГМ6А.

Аналіз інформації з ушкоджень рам кузовів тепловозів наведений у табл. 1. Виявлені ушкодження були розділені на три типи. До типу 1 віднесені руйнування зварного з'єднання бічної балки кузова тепловоза, розташованого в районі обпирання кузова на візок, до типу 2 належать руйнування настилу підлоги кузова, до типу 3 – руйнування піддизельної рами тепловоза. Аналіз наведеної в табл. 1 інформації дозволяє зробити такі висновки:

- найбільш масовими й статистично представницькими є руйнування типу 1;
- руйнування типу 2 з великим ступенем вірогідності є вторинними, тобто наслідком зовнішньої причини (руйнуванням іншого несучого елемента);
- руйнування типу 3 практично не придатні для подальшого аналізу внаслідок малої кількості випадків ушкоджень.

На рис.1 наведено залежності періодів від побудови до руйнування від віку локомотивів. Там же подані рівняння лінійної регресії для наведених залежностей, а також їх рівні значущості.

Таблиця 1

Аналіз руйнувань елементів конструкції кузова тепловозів серії ТГМ6А

Зав. № тепловоза	Рік по- будови, частки року	Вік, частки року	Дата руйнування			Період від побудови до руйнуван- ня за групами		
			Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 1	Тип 2	Тип 3
157	1971,92	31,08	1998	-	-	26,08	-	-
204	1972,5	30,5	1998	-	-	25,5	-	-
216	1972,5	30,5	2000	-	-	27,5	-	-
557	1975,33	27,67	-	2001	-	-	25,67	-
701	1976,25	26,75	1999	-	-	22,75	-	-
794	1977	26	1999	-	1999	22	-	22
837	1977,25	25,75	-	1999	-	-	21,75	-
862	1977,42	25,58	2000	-	-	22,58	-	-
954	1978	25	2001	-	-	23	-	-
1012	1978,33	24,67	2001	-	-	22,67	-	-
1013	1978,33	24,67	1999	-	-	20,67	-	-
1014	1978,33	24,67	-	2001	-	-	22,67	-
1265	1979,75	23,25	-	1998	-	-	18,25	-
1266	1979,75	23,25	-	-	2000	-	-	20,25
1268	1979,75	23,25	2000	-	-	20,25	-	-
1454	1980,83	22,17	-	-	-	-	-	-
1748	1993,25	9,75	-	-	-	-	-	-

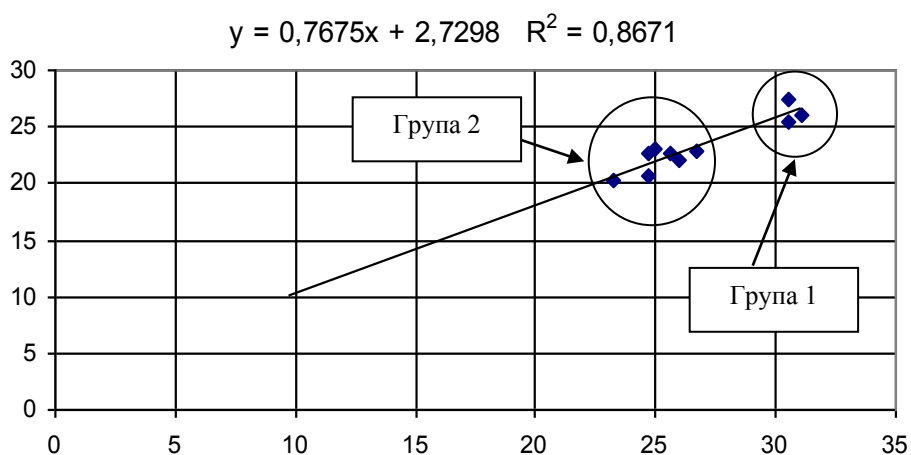


Рис. 1 Залежність періоду між побудовою і руйнуванням від віку локомотивів за типом руйнувань 1

Далі в розділі наведено методику та результати проведення динамічних ходових та динамічних міцнісних випробувань тепловозів ТГМ6А та зроблено їх аналіз. У процесі динамічних ходових та динамічних міцнісних випробувань вимірювалися: деформації за допомогою тензорезисторів; переміщення за допомогою датчиків малих переміщень і за допомогою реохордних датчиків; прискорення за допомогою акселерометрів. За обмірюваними деформаціями визначалися як напруження, так і горизонтальні поперечні рамні сили, що діють на поздовжні балки рам візків. За отриманими переміщеннями визначалися динамічні добавки вертикальних сил, що діють на раму візка.

За результатами випробувань були визначені коефіцієнти вертикальної $K_{дв}$ динаміки, найбільші значення горизонтальних поперечних рамних сил H_i , коефіцієнти $K_{дг}$, що характеризують відношення найбільших значень горизонтальних поперечних рамних сил H_i до відповідних стичних навантажень на вісь колісної пари і найбільших значень зусиль S_a , діючих на раму тепловоза з боку автозчепу. Основні графіки залежності коефіцієнтів $K_{дг}$ та $K_{дв}$ від швидкості руху тепловоза по різних ділянках колії наведені на рис. 2,3.

Для оцінки інерційних навантажень були розглянуті дві розрахункові схеми, які показані на рис. 4. Перша з них не враховує піддатливість кузова, у зв'язку з чим розрахункова схема тепловоза подана трьохмасовою моделлю (рис. 4 а), де прийняті такі позначення: m – маса кузова тепловоза; m_t – маса візка; S_a – зусилля у автозчепному пристрої; S_t – зусилля взаємодії кузова й візка у поздовжньому горизонтальному напрямку; $Z, \dot{Z}, \ddot{Z}$ – відповідно поздовжнє переміщення, швидкість і прискорення, що стосуються зосередженої маси розрахункової схеми.

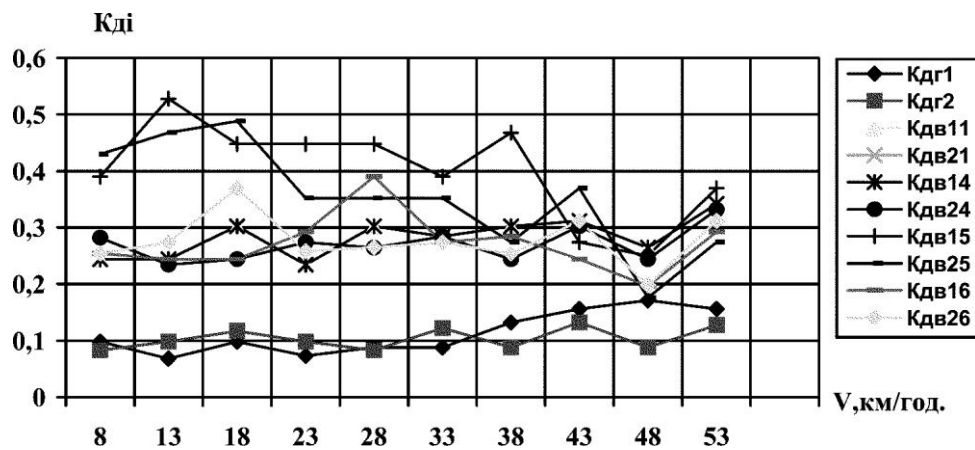


Рис. 2 Значення коефіцієнтів динаміки під час руху локомотива по прямим ділянках колії

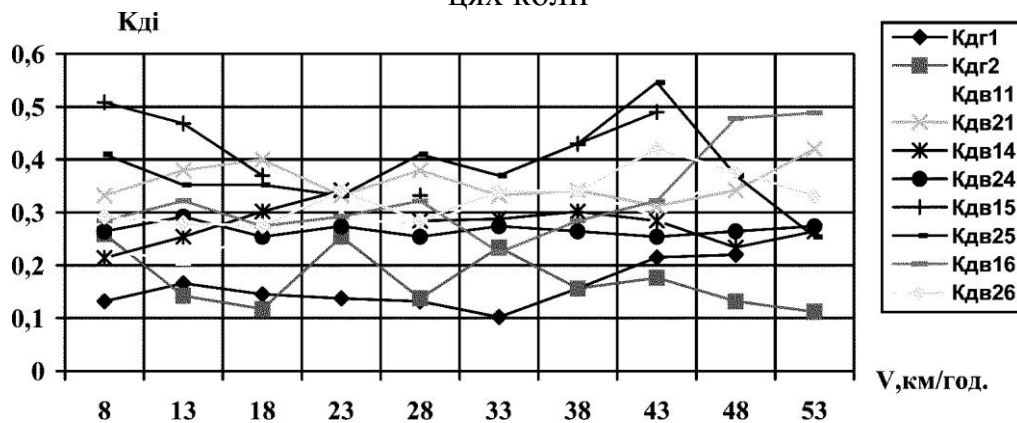


Рис. 3 Значення коефіцієнтів динаміки під час руху локомотива в кривих середніх радіусів

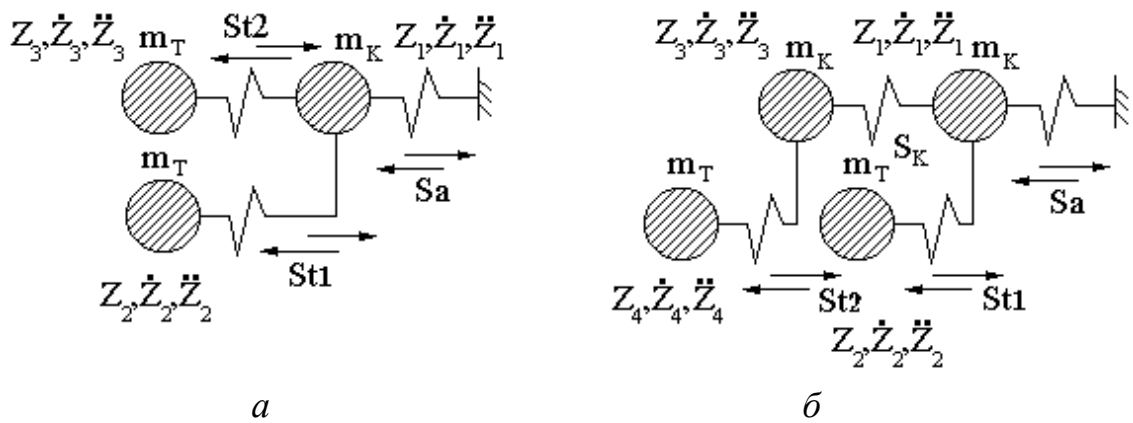


Рис. 4 Розрахункові схеми для визначення інерційних навантажень, що діють на візок при подовжніх ударах: *а* –схема не враховує вплив піддатливості кузова; *б* – схема враховує піддатливість кузова

За допомогою відомих співвідношень аналітичної механіки було складено систему рівнянь для моделювання процесів зіткнення тепловоза з перепорою. Нижче наведено отриману систему рівнянь (11) і (12), які описують коливання тепловоза відповідно до розрахункових схем 1 і 2 (рис. 4)

$$\left. \begin{aligned} m_K \ddot{z}_1 &= S_a - S_{T1} - S_{T2}, \\ m_T \ddot{z}_2 &= S_{T1}, \\ m_T \ddot{z}_3 &= S_{T2}, \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned} S_{T1} &= K_T (z_1 - z_2) + K_T \mu (\dot{z}_1 - \dot{z}_2), \\ S_{T2} &= K_T (z_1 - z_3) + K_T \mu (\dot{z}_1 - \dot{z}_3). \end{aligned} \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} m_{K1} \ddot{z}_1 &= S_a - S_{T1} - S_K, \\ m_T \ddot{z}_2 &= S_{T1}, \\ m_{K2} \ddot{z}_3 &= S_K - S_{T2}, \\ m_T \ddot{z}_4 &= S_{T2}, \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned} S_{T1} &= K_T (z_1 - z_2) + K_T \mu (\dot{z}_1 - \dot{z}_2), \\ S_{T2} &= K_T (z_3 - z_4) + K_T \mu (\dot{z}_3 - \dot{z}_4), \\ S_K &= K_K (z_1 - z_3) + K_T \mu (\dot{z}_1 - \dot{z}_3). \end{aligned} \quad (12)$$

На рис. 5-7 наведено осцилограми процесів, які отримані шляхом інтегрування системи рівнянь (11),(12) при силі удару 2 500 кН. З порівняльного аналізу даних математичного моделювання було встановлено, що для аналізу інерційних навантажень може бути використана спрощена система рівнянь (11).

Було проведено розрахунок напружено-деформованого стану рами візка. Для розрахунку використана розрахункова схема, яка наведена на рис. 7.

З урахуванням характеру діючих на раму візка при поздовжніх ударах інерційних навантажень, остання, крім необхідних закріплень від поперечних переміщень 1, була закріплена від поздовжніх переміщень при корені кожної щелепи в точках 2.

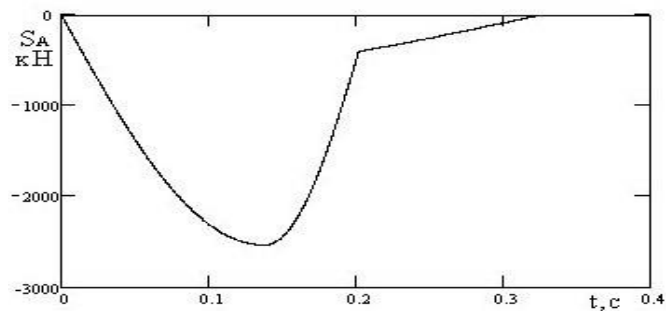
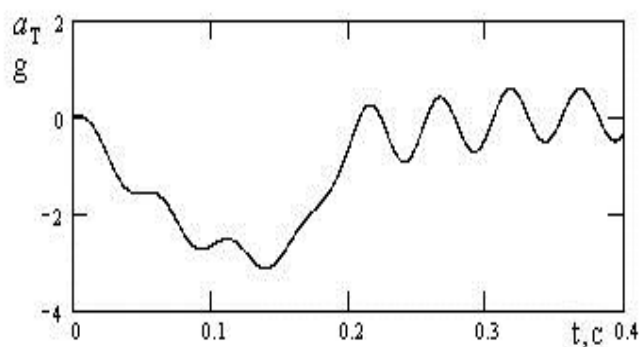
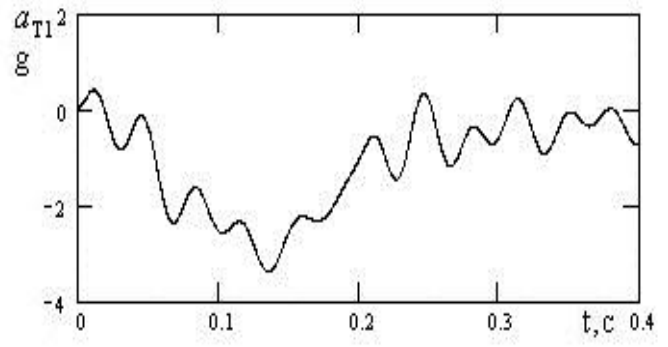


Рис. 5 Зусилля у автозчепному пристрої

Найбільші напруження в рамі візка отримані в місцях обпирання кузова на поздовжні бічні балки. Коефіцієнт запасу для найгіршого з конструкційних матеріалів, які застосовуються в локомотивобудуванні (для сталі ВСтЗсп, границя витривалості $\sigma_{-1}=195$ МПа), становить $n=0,61$.



a



б

Рис. 6 Прискорення візка:
a - розрахункова схема 1, *б* - розрахункова схема 2

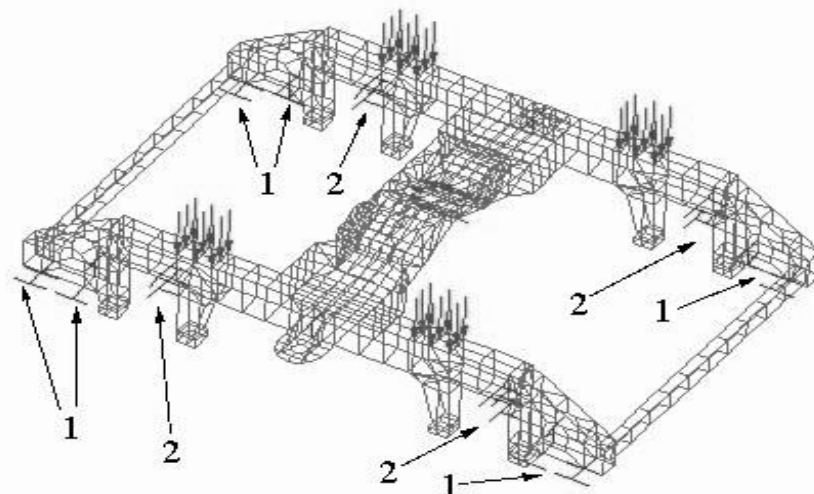


Рис.7 Розрахункова схема і схема закріплення рами візка тепловоза серії ТГМ6А при проведенні розрахунку її напружено-деформованого стану

Однак, з урахуванням оцінки природного відхилення границі витривалості, що базується на даних експлуатації конструкції локомотива, на рівні 21%, оцінка нижньої границі витривалості складе $\sigma_{-1 \min}=154$ МПа. При цьому найбільші напруження в конструкції візка не перевищують нижньої границі витривалості і, таким чином, розрахунок на обмежений ресурс рами візка не проводився.

Дані для оцінки ресурсу кузова тепловоза серії ТГМ6А, отримані на основі результатів випробувань з урахуванням співвідношень (8), наведені в табл. 2.

У формулі (8) вводиться позначення

$$C_{CR} = \left(\frac{T_{\min \xi} \cdot k_{S \min} \cdot k_{K \min}}{\|T_{\xi}\| \cdot k_{K \xi}} \right)^m \cdot k_n^{-1}. \quad (13)$$

Коефіцієнти $k_{K \min}$, $k_{K \xi}$ до розрахунку не вводилися.

Відповідно до даних табл. 2, найбільш несприятливим за співвідношенням наробітків у «слабкому елементі» й основних поздовжніх балках є коливання галопування, при цьому позитивний баланс наробітку становить 1,89.

Таблиця 2

Вихідні дані для оцінки ресурсу кузова

Найменування форми коливань кузова локомотива	Напруження $T_{\min \xi}$, МПа	Коефіцієнт $k_{S \min}$	Коефіцієнт k_n	Коефіцієнт C_{CR} , формула (13)
1. Підскакування	39,2	1,02	1,0	1,91
2. Галопування	33,9	1,03	1,0	1,89
3. Поперечний віднос	49,3	1,00	1,0	1,97
4. Перевалка	30,4	2,22	10,0	140,90
5. Виляння кузова	50,0	1,00	1,0	1,95

На основі обробки даних експлуатаційної статистики табл. 1 оцінимо з ймовірністю 0,997 мінімальний час появи тріщин за формулою

$$R_{\min} = \bar{R}_{\min} - 3\delta_{\min}, \quad (14)$$

де $R_{\min}$ - середній вік руйнування, $\delta_{\min}$ - дисперсія віку руйнування.

Таблиця 3

Оцінка ресурсу кузова тепловозів серії ТГМ6А ВАТ НЗФ

№ експлуатаційної групи тепловозів	Склад експлуатаційної групи тепловозів	Нижня границя віку руйнування, частки років	Уточнення коефіцієнта k_n^*	Коефіцієнт C_{CR}	Оцінка ресурсу, років	Залишковий ресурс, років
1	157,204	23,3	1,2	1,55	36	5
2	557,701,794,837,862,954,1012-1014, 1265, 1266, 1454	18,7	1,07	1,76	33	10
3	1748	-	-	-	30	19

* Значення коефіцієнта k_n обрані з урахуванням різного ступеня морального й фізичного зносу екіпажної частини тепловозів з урахуванням того, що вони експлуатуються без виходу на магістральні шляхи Укрзалізниці.

У розділі 4 наведено результати визначення динамічної навантаженості рам візків електровозів серії ВЛ60 та оцінки впливу їх модернізації на залишковий ресурс.

Динамічні ходові та міцнісні випробування виконували з метою визначення експлуатаційної навантаженості несучих конструкцій електровоза ВЛ60, що мали руйнування від утомленості в експлуатації (область зварних швів рам візків, шворневі балки кузова і кронштейни поворотних пристроїв шворневих вузлів) і аналіз причин їх виникнення. З урахуванням цієї інформації Інститутом електрозварювання ім. Патона НАН України був розроблений проект модернізації рам візків електровоза серії ВЛ60, спрямований на підвищення їхнього опору втомі. Попередня оцінка навантаженості рам візків дозволила зробити висновок про те, що основною причиною появи ушкоджень, що спостерігалися в експлуатації, є дія поперечних горизонтальних (рамних) сил. Незбалансованість системи вертикального обпирання кузова на візок у чотирьох точках приводить до досить складного напружено-деформованого стану рами.

На рис. 8 наведено результати [2] визначення ступеня впливу силових факторів, що навантажують раму візка, на напруження в найбільш напруженому місці П1а за характером взаємних кореляційних функцій.

Такими факторами були прийняті:

- поздовжні зусилля в поздовжній балці рами візка - для виявлення впливу на напруження в рамі поздовжньої сили, вимірюваної в перерізах до і після поперечної балки і зумовлена набіганням колісної пари в кривій;
- згинальні моменти у перерізах до і після поперечної балки - для оцінки впливу поперечних (рамних) сил, що діють на рами візків у горизонтальному та поперечному що до осі електровоза напрямку;
- переміщення вузлів буксового підвішування колісних пар - для аналізу впливу вертикальної динаміки електровоза на напруження в навантажених місцях рами візка.

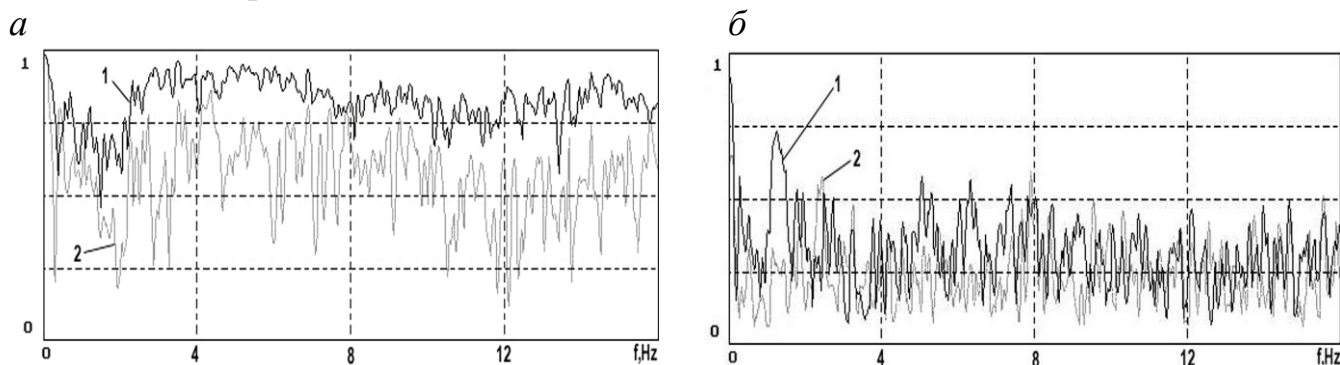


Рис.8 Графіки функцій когерентності зусиль та напружень в навантаженій зоні несучих конструкцій рами кузова тепловоза серії ТГМ6А:

a_1 - функція когерентності «згинальний момент – напруження в навантаженій зоні рами»; a_2 - функція когерентності «поздовжня сила – напруження в навантаженій

зоні рами»); b_1 - функція когерентності «поздовжня сила – напруження в навантаженій зоні рами»; b_2 - функція когерентності «вертикальне переміщення буксового вузла – напруження в навантаженій зоні рами».

За результатами аналізу функцій когерентності були зроблені такі висновки:

1. Підвищені напруження в несучих конструкціях рами візка електровоза серії ВЛ60 зумовлені в основному впливом поперечних горизонтальних сил під час його руху в кривих.
2. Заходи щодо обмеження режимів експлуатації не дають ефекту зі зниження динамічної навантаженості.
3. Напруження в найбільш навантажених точках досягають величин 80-90 МПа під час руху електровоза в кривих зі швидкостями до 60 і більше 80 км/год.
4. Рух електровоза в складі поїзда є більш сприятливим з погляду динамічної навантаженості його несучих конструкцій у порівнянні з його рухом резервом.

Враховуючи вище вказане, було проведено розрахунок напружено – деформованого стану в найбільш небезпечних точках рам візка електровоза серії ВЛ60 методом скінченних елементів з урахуванням впливу на нього модернізацій. Для розрахунку напружено-деформованого стану навантаженої ділянки рами візка була розроблена за методом скінченних елементів розрахункова схема, яка складалася з 2 970 скінченних елементів – трикутних і чотирикутних пластин (рис. 9).

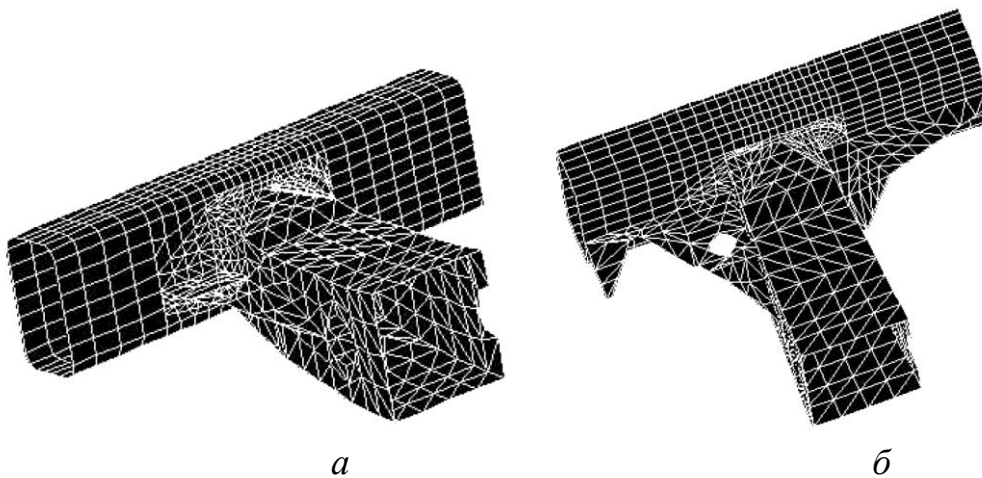


Рис. 9 Розрахункові схеми найбільш навантаженого вузла рами візка електровоза серії ВЛ60: *а* - базовий варіант конструкції; *б* – модернізований варіант конструкції

Найбільші напруження в елементі конструкції виявилися в місцях з'єднання накладки до бічної балки з нижньої її сторони. Їх вигляд (рис. 10, 11) дозволяє зробити висновок про те, що максимальні напруження в рамі візка електровоза серії ВЛ60 виникають у місцях їх руйнування при рівнях навантажень, які створювалися під час руху локомотива в кривих.

У результаті розрахунку був отриманий розподіл деформацій і напружень з вищезазначених варіантів. Аналіз показав, що найбільш небезпечним є місце приварювання поперечної балки до поздовжньої – знизу.

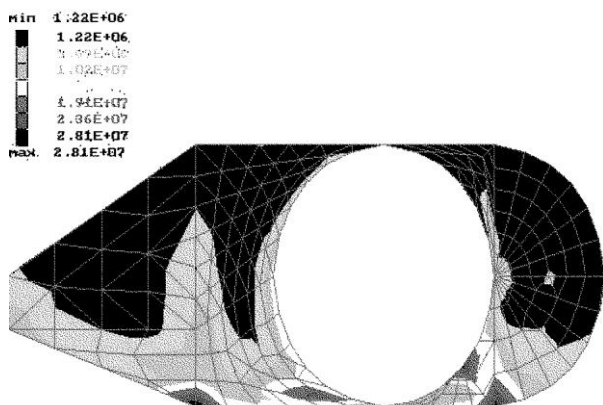


Рис. 10 Напруження в краплеподібній накладці рами візка електровоза ВЛ60

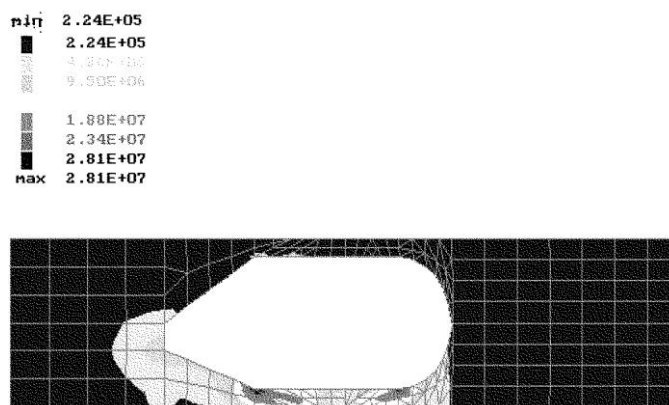


Рис. 11 Напруження в бічній стінці рами візка електровоза ВЛ60

У табл. 4 наведені значення еквівалентних напружень у найбільш навантажених точках. Показник кривої витривалості з урахуванням максимально можливої концентрації напружень [5] приймався рівним $m=4$.

Аналіз наведених результатів показує, що проста модернізація рам візків, яка запропонована і може бути здійснена в умовах депо, приводить до зниження найбільших напружень у небезпечних точках до 20 %. Це означає, що запропонований спосіб дозволяє аналізувати напружено – деформований стан рам візків електровозів в умовах їх модернізації, сприяє зменшенню напружень у навантажених точках та буде сприяти продовженню терміну їх експлуатації.

Таблиця 4

Найбільші еквівалентні напруження та показник якості модернізації для розглянутих варіантів конструкції

Варіант розрахункової схеми	Напруження, МПа	Показник ефективності модернізації
Модель базового з'єднання, яка складена за кресленнями заводу - виготівника	28,1	1,0
Модель модернізованого вузла, посиленого ребрами жорсткості	25,1	1,57
Модель модернізованого вузла, посиленого ребрами жорсткості та накладками	22,9	2,27

За отриманими оцінками можна очікувати подвійне продовження терміну експлуатації розглянутого елемента конструкції електровоза серії ВЛ60.

П'ятий розділ присвячено експериментальному та теоретичному визначенню показників міцності, а також експериментальній оцінці динамічних показників електропоїздів серії ЕР9М та ЕР9Е для встановлення можливості продовження терміну їх експлуатації.

Для порівняння навантаження рам візків електропоїздів серії ЕР9П та ЕР9Е,М визначений наробіток, який вони отримують через динамічне наванта-

ження з боку кузовів вагонів, тобто з урахуванням динаміки другого ступеня підвищення.

Результати розрахунків з порівняння питомих наробітків вагонів електропоїздів серії EP9E,М з наробітком електропоїзда серії EP9П наведено в табл. 5, 6. У табл. 5 уведено позначення: DI , – міри наробітку навантаженої області поздовжніх балок рам візків головного або причіпного вагонів електропоїздів серії EP9М, EP9E, EP9П. У табл. 6 подані такі самі оцінки для рам візків моторних вагонів.

Таблиця 5

Порівняння питомих наробітків причіпних (головних) вагонів

	Вагони причіпні (головні)			Порівняльна оцінка	
	EP9М	EP9E	EP9П	D3/D1	D3/D2
Позначення	D1	D2	D3		
Наробітки	0,00706	0,00924	0,0225	3,18	2,43

Таблиця 6

Порівняння питомих наробітків моторних вагонів

	Вагони моторні			Порівняльна оцінка	
	EP9М	EP9E	EP9П	D3/D1	D3/D2
Позначення	D1	D2	D3		
Наробітки	0.0041	0.00536	0.00440	1.07	0.82

З даних табл. 5, 6 випливає, що відношення наробітків візків причіпних (головних) вагонів електропоїздів серії EP9М,Е та моторних вагонів EP9М дозволяє без обмежень поширити результати Технічного рішення з продовження строку служби для електропоїзда серії EP9П. При цьому вважається, що показники витривалості рам візків електропоїздів серії EP9E,М не гірші від рам візків електропоїздів серії EP9П. Рами моторних вагонів електропоїздів серії EP9E навантажені більше рам візків електропоїзда - аналога (EP9П), що в даній постановці дозволяє продовжити їх строк служби до 35 років. У даному випадку існує певний резерв строку служби, пов'язаний з тим, що при виконанні оцінки строку служби несучих конструкцій електропоїздів серії EP9П як еталон навантаження було прийнято найбільш жорсткий з точки зору отриманого наробітку режим руху (рух у кривих великого радіусу, діапазон швидкості руху 60-100 км/год) з питомим наробітком $D = 0,01$ (наробіток у статистичній постановці становить $D = 0,0044$). Враховуючи вказане, строк служби рам візків моторних вагонів електропоїздів серії EP9E з особливими зауваженнями та підвищеним контролем може бути продовжений на 9 років, тобто до 37 років від побудови.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором результати, які в сукупності вирішують науково-практичну задачу продовження терміну експлуатації несучих конструкцій тягового рухомого складу та електропоїздів на основі порівняння показників міцності і ресурсу за умови забезпечення безпеки руху. Виконані в роботі дослідження дозволяють зробити такі висновки та сформулювати такі пропозиції:

1. Виконано аналіз наукових публікацій та існуючих методів оцінки показників міцності ресурсу локомотивів, що дозволило зробити висновок щодо актуальності проблеми продовження строку служби тягового рухомого складу та прийняти рішення про необхідність розробки методики оцінки залишкового ресурсу без руйнування основних несучих елементів.

2. Розроблено наукове обґрунтування розвитку методики порівняльної оцінки ресурсу несучих конструкцій тепловозів серії ТГМ6А з використанням принципу «слабкого елемента».

3. Запропоновано методику оцінки впливу модернізацій на залишковий ресурс несучих конструкцій для випадків, коли вказані модернізації не змінюють загальні характеристики динамічності локомотива та методику порівняльної оцінки ресурсу несучих конструкцій електропоїздів серії ЕР9Е,М та ЕР9П шляхом зіставлення їх динамічної навантаженості.

4. Розроблено математичні моделі для аналізу навантаження візків тепловозів при поздовжніх співдарах. Проведено розрахунки напружень, які виникають у рамах візків тепловозів при вказаному режимі навантаження.

5. Встановлено, що залежно від дати виготовлення тепловозів серії ТГМ6А, термін їх експлуатації може бути продовжений на 10 - 13 років додатково до встановленого строку служби (20 років).

6. Проведено аналіз результатів динамічних міцнісних випробувань рам візків електровоза серії ВЛ60, при цьому визначено, що надмірні напруження в зонах з'єднання поздовжніх та поперечних балок рам візків (до 90 МПа) спостерігаються при рухові локомотива у кривих практично у всьому діапазоні швидкостей.

7. Проведено аналітичні порівняльні розрахунки на міцність фрагмента рами візка. Результати досліджень показали, що посилення елемента ребрами жорсткості дозволяють зменшити максимальний рівень напружень в 1,57 разу. Модернізація вузла ребрами жорсткості та накладками дозволяє зменшити максимальний рівень напружень у 2,27 разу та забезпечує необхідну міцність конструкції в експлуатації.

8. Проведено порівняльну оцінку ресурсу рам візків електропоїздів серії ЕР9М,Е шляхом зіставлення їх навантаженості з навантаженістю рухомого складу – аналога (ЕР9П). Встановлено, що відношення наробітків візків причіпних (головних) та моторних вагонів ЕР9М,Е дозволяє застосувати до них Технічні рішення з продовження строку служби їх аналога (електропоїзд серії ЕР9П). При цьому приймається, що показники витривалості рам візків електропоїздів серії ЕР9М не гірші, ніж рам візків електропоїздів серії ЕР9П. Рами моторних вагонів електропоїздів серії ЕР9М навантажені більше, аналог (ЕР9П), що в даній постановці дозволяє продовжити їх строк служби до 35 років.

Результати роботи впроваджені у вигляді Технічних умов на проведення капітального ремонту з продовженням строку служби, економічна ефективність впровадження приблизно складає 500 млн гривень.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ РОБІТ У ФАХОВИХ ВИДАННЯХ, У ЯКИХ ВИСВІТЛЕНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ:

1. Влияние эксплуатационных нагрузок на напряжения в элементах несущих конструкций электровоза ВЛ60 / А. М. Бондарев, В. Л. Горобец, И. М. Грущак и др. // Залізничний трансп. України. - 2002. - №4. - С.21– 25.
2. Боднарь Б. Е. Методы сравнительной оценки ресурса несущих конструкций подвижного состава/ Б. Е. Боднарь , В. Л. Горобец, И. М. Грущак // Вестн. Восточноукраинского нац. ун-та им. В. Даля. – 2004. – №8 (78). – С. 118 - 126.
3. Экспериментальная оценка динамических качеств тепловозов ТГМ6А в условиях их эксплуатации на путях промтранспорта/ А. М. Бондарев, В. Л. Горобец, И. М. Грущак и др.// Зб. наук. праць Київського ун-ту економ. і технологій трансп.: Сер. „Транспортні системи і технології”– К: КУЕТТ, 2003. – Вип. 4 - С. - 13 – 21.
4. Довганюк С. С. Применение методов математического моделирования к оценке выносливости рам тележек тягового подвижного состава/ С. С. Довганюк, В. Л. Горобец, И. М. Грущак // Зб. наук. праць Київського ун-ту економіки і технологій транспорту: Сер. „Транспортні системи і технології”. – К: КУЕТТ, 2005. – Вип. 8. – С. 27 – 35.
5. Грущак І. М. Порівняльна оцінка впливу модернізації на напружено – деформований стан рами візка електровоза ВЛ60./ І. М. Грущак// Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид - во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2008. – Вип. 22. - С. 18-22.
6. Бондарев О. М. Визначення строку служби несучих конструкцій моторвагонного рухомого складу із застосуванням методики порівняння їх динамічної навантаженості/ О. М. Бондарев, В. Л. Горобець, І. М. Грущак.// – Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д: Вид - во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2008. – Вип. 24– С.18-24.

АНОТАЦІЇ

Грущак І. М. **ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ (на прикладі тепловозів ТГМ6А, електровозів ВЛ60 та електропоїздів ЕР9М,Е).** - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 - рухомий склад залізниць та тяга поїздів. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2009.

Метою роботи є продовження терміну експлуатації несучих конструкцій рухомого складу на підставі порівняння показників їх міцності та ресурсу.

Проведено розвиток методики порівняльної оцінки ресурсу несучих конструкцій з використанням принципу «слабкого елемента» . Вдосконалено методику оцінки впливу місцевих модернізацій на залишковий ресурс несучих конструкцій

та методику порівняльної оцінки їх ресурсу шляхом зіставлення динамічної навантаженості.

Строк служби маневрових тепловозів ТГМ6А може бути встановленим 30 - 33 років. Модернізація рами візків електровозів серії ВЛ60 дозволяє вдвічі збільшити строк їх експлуатації. Порівняльний аналіз наробітків візків причіпних (головних) та моторних вагонів електропоїздів ЕР9М,Е дозволяє без обмежень застосувати до них Технічні рішення з продовження строку служби електропоїзда ЕР9П (45 років). Рами моторних вагонів електропоїздів ЕР9М навантажені більше, ніж аналог (ЕР9П), що дозволяє продовжити їх строк служби до 35 років від побудови.

Ключові слова: тяговий рухомий склад, строк служби, несучі конструкції, залишковий ресурс, напружено–деформований стан.

Грущак И. М. ПРОДЛЕНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА (на примере тепловозов ТГМ6А, электровозов ВЛ60 и электропоездов ЭР9М,Е). - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой 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, Днепропетровск, 2009.

Защищается шесть научных работ, которые содержат результаты исследований по обоснованию продления срока службы несущих конструкций определенных серий тягового и моторвагонного подвижного состава с использованием методики сравнительной оценки их наработки.

Актуальность темы исследований обусловлена тем, что значительная часть подвижного состава Украины исчерпала назначенные сроки службы, поэтому согласно действующим нормативам соответствующие единицы подвижного состава должны быть исключена из эксплуатации. Обеспечить дальнейшую эксплуатацию такого парка подвижного состава возможно на основании результатов комплекса расчетно-экспериментальных работ по определению остаточного ресурса его основных несущих конструкций.

Целью данной работы является продление срока эксплуатации несущих конструкций подвижного состава на основании сравнения показателей прочности и ресурса при условии обеспечения безопасности движения.

В рамках достижения цели при исследованиях проведено развитие методики сравнительной оценки ресурса несущих конструкций тепловозов ТГМ6А с использованием принципа «слабого элемента». Предложена методика оценки влияния местных модернизаций на остаточный ресурс несущих конструкций рам тележек электровозов серии ВЛ60 и методика сравнительной оценки ресурса НК электропоездов серии ЭР9М,Е путем сопоставления их динамической нагруженности с нагруженностью электропоезда – аналога ЭР9П. Для анализа напряженно-деформированного состояния наиболее нагруженного элемента рамы тележки электровоза серии ВЛ60 разработаны соответствующие расчетные схемы. Проведена сравнительная оценка ресурса рам тележек электропоездов серии ЭР9М,Е пу-

тем сопоставления их нагруженности с нагруженностью рам тележек подвижного состава-аналога ЭР9П.

Исследования показали, что срок службы маневровых тепловозов серии ТГМ6А может быть удлинён на 10-13 лет дополнительно к назначенному сроку службы (20 лет). Сравнительные расчеты показали, что модернизация рамы тележек электровозов серии ВЛ60 способствует увеличению вдвое срока ее эксплуатации в сравнении с обычной конструкцией тележки. Отношение наработок тележек прицепных (головных) вагонов электропоездов серии ЭР9М,Е и моторных вагонов электропоездов серии ЭР9М позволяет без ограничений принять Технические решения по продлению срока их службы, разработанные для электропоезда – аналога ЭР9П. Рамы тележек моторных вагонов электропоездов серии ЭР9М оказались более нагруженными, нежели рамы тележек электропоезда - аналога ЭР9П, что в принятой постановке позволило установить срок их службы до 35 лет от постройки.

Ключевые слова: тяговый подвижной состав, срок службы, несущие конструкции, остаточный ресурс, напряженно-деформированное состояние.

Grushchak I. M. THE PROLONGATION OF OPERATION TERM OF SUPPORTING STRUCTURES OF TRACTION ROLLING STOCK (by the example of diesel locomotives ТГМ6А, electric locomotives ВЛ60 and electric trains ЭР9М,Е). - Manuscript.

A thesis for competition on an academic degree of candidate of technical sciences by speciality 05.22.07 – railway rolling stock and train traction. – Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipropetrovsk, 2009.

The purpose of work is prolongation of operation term of the rolling stock supporting structures on the basis of comparison of qualities of their durability and resource.

The development of a technique of comparative estimation of the resource of supporting structures with use of a “weak element” principle is carried out. The estimation technique for influence of local modernizations on the residual resource of supporting structures and the comparative estimation procedure for their resource by means of comparison of dynamic loading are advanced.

The service life of shunting diesel locomotives ТГМ6А can be set as long as 30-33 years. The modernization of a frame of bogies of electric locomotives ВЛ60 allows increasing twice the term of their operation. The comparative analysis of operating time of bogies of trailer (main) and motor cars of electric trains ЭР9М,Е allows applying to them without restrictions the Technical solutions on prolongation of service life of electric train ЭР9П (45 years). Frames of motor cars of electric trains ЭР9М are loaded more than analogue (ЭР9П) that allows extending their service life up to 35 years since the construction.

Key words: traction rolling stock, service life, supporting structures, residual resource, stressed-and-strained state.

Грущак Іван Михайлович

**ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ
ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ
(на прикладі тепловозів ТГМ6А, електровозів ВЛ60 та електропоїздів
ЕР9М,Е)**

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Спеціальність 05.22.07 - рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Підписано до друку 17.03.09. Формат 60X84 1/ 16. Папір для множних апаратів. Ум. друк. арк. 1,0. Обл. - вид арк. 1,1. Тираж 100 прим. Замовлення № 426

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Адреса університету та дільниці оперативної поліграфії: 49010, м. Дніпропетровськ, 10, вул. Лазаряна, 2.