

УДК 629.4.083.001.76

Р. Ю. Дьомін

(докторант кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля)

ДОСЛІДЖЕННЯ З УБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ПОЗА МЕЖАМИ ПРИЗНАЧЕНОГО СТРОКУ СЛУЖБИ

У статті наведені методичні положення і результати дослідження надійності несучих конструкцій локомотивних візків методом оцінки надійності за експериментальними даними і методом розрахунку на втомну довговічність. На підставі виконаного аналізу відмов рам візків, що виникають в експлуатації, встановлено можливі причини виникнення відмов несучих конструкцій, а також визначено характер їх виникнення. На підставі проведеного порівняльного аналізу двома методами встановлено, що для несучих конструкцій екіпажних частин характерні процеси втомного руйнування, які відбуваються в матеріалах. Проведені розрахунки свідчать, що 95% дефектів несучих конструкцій виникають внаслідок накопичення пошкоджень в металі при тривалому напруженому стані, що призводить до утворення тріщин і руйнування. Згодом, внаслідок зниження втомної довговічності елементів несучих конструкцій, відбуватиметься зниження несучої здатності рам візків. Крім того, представлено методику розрахунку втомної довговічності рамних конструкцій стосовно екіпажної частини. Наведено порядок розрахункової оцінки залишкового ресурсу несучих конструкцій тягового рухомого складу з вичерпаним терміном служби.

Ключові слова: тяговий рухомий склад, несучі конструкції, надійність, довговічність, ймовірність відмови, ресурс.

Постановка проблеми. В процесі експлуатації тягового рухомого складу (ТРС) під дією циклічних знакоперемінних навантажень відбувається зміна механічних та фізичних властивостей металу несучих конструкцій (НК). На певній стадії розвиваються безповоротні явища зниження опору металу руйнуванню, що характеризуються як втомні ушкодження. Процеси руйнування металевих конструкцій спричинені, головним чином, поступовим накопиченням локальних дефектів, ростом деформацій, розвитком тріщин. Разом з тим, у результаті накопичення втомних пошкоджень або залишкових деформацій, а також через недотримання норм проектування або неврахування реальних умов навантаження, неправильного вибору співвідношення між характеристиками міцності та показниками експлуатаційного навантаження відбуваються відмови НК рухомого складу.

© Дьомін Р. Ю., 2018

Відпрацьований ресурс ТРС, з одного боку, та погіршення технічного стану інфраструктури, з другого, призводить до збільшення динамічних впливів на ходові частини, що висуває підвищені вимоги до елементів НК, міцність яких безпосередньо впливає на безпеку руху. Значне зростання дефектів під час експлуатації свідчить про погіршення механічних властивостей матеріалу і зниження в цілому надійності екіпажних частин ТРС. За відсутності можливостей оновлення парку ТРС проблема подовження терміну служби ТРС стає як ніколи актуальною.

Основним завданням робіт з подовження терміну служби ТРС, який вичерпав призначений строк служби, є забезпечення його подальшої експлуатації. Під забезпеченням експлуатації ТРС мають на увазі комплекс робіт, на основі виконання яких може бути змінений раніше призначений термін служби певного типу ТРС та його окремих одиниць. Роботи з забезпечення експлуатації ТРС виконуються з метою найбільш повного використання його фактичного ресурсу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Враховуючи технічний стан та темпи старіння ТРС, Укрзалізницею разом із спеціалізованими науковими організаціями розширюються роботи з оцінки залишкового ресурсу несучих конструкцій (НК) ТРС та поетапного подовження його строку служби. За останнє десятиліття в цьому напрямі науковцями та спеціалістами в галузі рухомого складу залізниць та тяги поїздів проведено низку досліджень практичного спрямування [1 – 5].

У початковий період практика подовження призначених термінів служби ТРС базувалась на обліку досвіду експлуатації і на тих технічних і експериментально-розрахункових положеннях оцінки несучої здатності і довговічності конструкції, які використовувалися при проектуванні і були закладені в нормативно-технічну документацію на виготовлення та експлуатацію відповідного транспортного засобу [6]. За низкою умов експлуатації конструкцій такий підхід дає цілком об'єктивні оцінки. Наприклад, він дозволяє враховувати фактичні геометричні розміри елементів конструкцій, в розрахунках на статичне навантаження і на зіткнення. Разом з тим при розрахунках вузлів на експлуатаційну довговічність виникало багато невизначеностей, пов'язаних з встановленням критеріїв граничного стану, а також з призначенням розрахункових напруг і характеристик опору втомі. Тому для обґрунтування можливості подовження термінів служби передбачалися лабораторні випробування натурних НК рухомого складу [7].

За результатами випробувань однієї конструкції подовжувався термін служби всіх конструкцій цієї серії машин незалежно від їхнього технічного стану. Тим часом результати стендових випробувань безпосередньо залежать від невизначеності вибору конструкції – аналога серії, схеми її навантаження при випробуваннях і реалізації механізмів накопичення втомних пошкоджень ідентичних тим, що мають місце при експлуатації. Подальша практика засвідчила, що результати випробувань натурних конструкцій найдоцільніше використовувати для порівняльних оцінок, а встановлювати по них терміни служби транспортних засобів недостатньо обґрунтовано [6].

Мета роботи полягає у пошуку нових підходів до наукового вирішення питань подальшого подовження терміну служби ТРС за умови гарантованої безпеки руху.

Оцінка надійності екіпажних частин. Сучасні методи дослідження надійності систем ґрунтуються на принципі прийнятного ризику ALARP (as low as reasonably practicable), який являє собою метод, при якому ризик виникнення небезпечної події (смертельного випадку) розглядається на трьох рівнях: прийнятний, допустимий і

неприйнятний. Ідея методу полягає в тому, що по відношенню до ризиків прийнятого рівня вжито всі виправдані заходи для їх зменшення, і подальше зменшення ризику потребує непропорційно великих витрат.

Одиниці ТРС – це складні технічні системи, характеристиками яких є: якість, ефективність, безпека, ризики, готовність і довговічність. Одним з показників надійності елементів складних систем є інтенсивність відмов $\lambda(t)$. Досвід експлуатації таких систем свідчить, що зміна інтенсивності відмов у часі більшості об'єктів описується U-подібною кривою (рис. 1) [8].

Період припрацювання складної технічної системи має підвищену інтенсивність відмов, яка викликана відмовами через дефекти виробництва, монтажу та наладки. У період нормальної експлуатації інтенсивність відмов практично постійна, при цьому відмови носять випадковий характер виникнення і з'являються раптово, перш за все, внаслідок випадкових змін навантажень, недотримання умов експлуатації, несприятливих зовнішніх факторів тощо. Цей період відповідає основному часу експлуатації об'єкта. Зростання інтенсивності відмов характерне для періоду зносу, коли поява більшості відмов викликані зносом, старінням та іншими причинами, пов'язаними з тривалою експлуатацією технічної системи.

Збільшення інтенсивності відмов $\lambda(t)$ може свідчити про втомні процеси руйнування, що протікають в матеріалах НК. Проблема втомних руйнувань у вітчизняних нормах для рейкового рухомого складу вирішується за допомогою закладення запасу міцності за межею витривалості на призначений строк служби, який повинен бути не менше 2 [9]. Натомість в європейських нормативних документах втомну довговічність прийнято визначати за правилом лінійного накопичення ушкоджень [10, 11, 12].

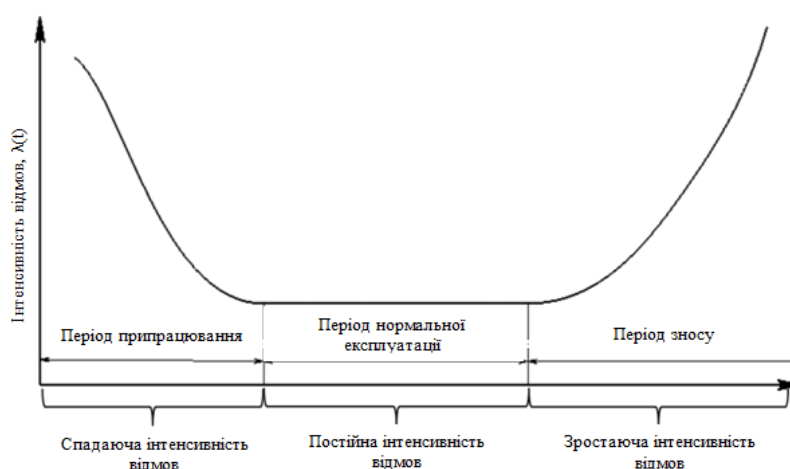


Рис. 1. U-подібна крива

Для дослідження надійності НК візків ТРС понад призначений термін служби вибрано два методи: метод розрахунку на втомну довговічність і метод оцінки надійності за результатами спостережень у процесі експлуатації. Обидва методи досліджують випадкові величини і ґрунтуються на теорії ймовірностей і математичної статистики. Для аналізу обрано статистику за дефектами і тріщинами, які виникають в рамах візків.

Розрахунок на втому ймовірнісними методами дозволяє визначити втомну довговічність за номінальним напруженням на підставі статистичної оцінки параметрів силового дії і призначених характеристик втоми за параметром ймовірності відмови елементів конструкцій. Достовірність розрахункових даних залежить від повноти історії напружено-деформованого стану в розрахунковій точці, а також від характеристик опору втомі. Графік напружень, при яких відбувається руйнування матеріалу при заданому числі циклів навантаження, є кривою втоми або кривою Веллера [13].

Для розрахунків запропоновано метод визначення концентрації напружень заснований на ймовірнісному підході, який полягає в тому, що напруження в концентраторах контролюються за правилом Рунге, а межа витривалості визначається за побудованою діаграмою Сміта [9]. За отриманими напруженнями статичного і квазістатичного розрахунків визначається коефіцієнт асиметрії і будується крива втоми з ймовірністю відмови 5%. Для визначення втомної довговічності в просторі елементарних подій будується поле подій, за яким виконується розрахунок. Розраховані сили прикладаються до кінцевоелементної моделі. Кожній події відповідає реалізація навантажень, використовувана при розрахунку на втомну довговічність.

Метод оцінки надійності НК за результатами спостережень у процесі експлуатації полягає в тому, що зібрані в експлуатації дані про відмови підлягають статистичній обробці, яка зводиться до оцінки параметрів функції розподілу випадкових величин – напрацювань до відмови. Вид функції розподілу відмов спочатку невідомий, тому алгоритм розрахунку складається з побудови варіаційного ряду, прийняття гіпотези щодо виду функції розподілу, перевірки несуперечності експериментальних даних прийнятої гіпотези про вид функції розподілу графічним методом, оцінки параметрів розподілу і перевірки узгодженості досліджуваного розподілу і отриманого теоретично.

Оцінка показників надійності НК ТРС має проводитись лише при наявності достатнього обсягу даних для аналізу та формування вибірки. Як показники надійності НК ТРС повинні розглядатися показники безвідмовності: середній наробіток до відмови, середній наробіток між відмовами та інтенсивність (параметр потоку) відмов.

Для дослідження показників безвідмовності НК ТРС, необхідно формувати вибірку даних зі значень напрацювань до відмови або між відмовами, залежно від виду показника безвідмовності, що досліджується. Зазначені напрацювання є випадковими величинами, розподілення яких досліджується для оцінок показників безвідмовності.

Процедура статистичної обробки даних вибірки повинна базуватись на методах визначення оцінок при невідомому законі розподілення випадкових величин. За результатами проведеної обробки даних визначаються:

- закон ймовірного розподілення випадкових величин, з підтвердженням узгодженості розподілення спеціальними статистичними критеріями;
- розраховані оцінки параметрів розподілення зі встановленою довірчою ймовірністю.

Необхідно обов'язково перевіряти відповідність розподілення відмов законам Вейбулла та нормальному розподіленню, які описують поведінку втомних відмов, інтенсивність яких з часом збільшується. Залежно від визначеного закону розподілення випадкових величин обираються формули для розрахунку показників. Значення показників безвідмовності вказуються у вигляді довірчих інтервалів з заданою довірчою ймовірністю.

Як відомо, розподіл Вейбулла характеризується двома параметрами: параметром форми a й параметром масштабу b . Величина параметра b характеризує вид функції інтенсивності відмов. Оцінка параметрів виконується графічним і розрахунковим методами. Якщо у розрахунках $b > 1$, то з часом інтенсивність відмов буде збільшуватися.

Узгодження досліджуваного розподілу з обраним, тобто гіпотетичним, проводиться за критерієм χ^2 , шляхом порівняння емпіричної гістограми розподілу з її теоретичної щільністю. Після проведених розрахунків, з вірогідністю 0,95, гіпотеза про розподіл відмов НК за законом Вейбулла приймається. За оцінками параметрів a і b розраховується функція розподілу відмов НК електровозів $Q(t)$.

Проведений порівняльний аналіз функцій розподілу відмов НК візків, отриманих методом оцінки надійності за експериментальними даними і шляхом розрахунку на втомну довговічність показав зростання функцій $Q(t)$ зі збільшенням напруження (пробігів), а також продемонстрував збіжність закону розподілу випадкових величин двома методами [6]. Проведені розрахунки свідчать, що 95% дефектів НК виникають внаслідок накопичення пошкоджень в металі при тривалому напруженому стані, що призводить до утворення тріщин і руйнування. Згодом, внаслідок зниження втомної довговічності елементів НК, відбуватиметься зниження несучої здатності рам візків.

Розрахунок втомної довговічності несучих конструкцій. При розрахунку втомної довговічності в небезпечних зонах НК для побудови спектрів щільності потужності напружень приймають той динамічний аналіз з діапазону швидкостей, в якому середньоквадратичне відхилення в небезпечній зоні найбільше. Такий аналіз дає найменшу оцінку довговічності. Для більш точної оцінки втомної довговічності використовують весь діапазон швидкостей.

У кожній небезпечній зоні з точки зору динамічного навантаження обирають точку (вузол кінцево-елементної сітки) в якій будують спектр щільності потужності (СЩП) напружень. Обрані точки називають розрахунковими точками НК. За СЩП напружень визначається основна частота ν_R , якій відповідає найбільша потужність напружень. Якщо за СЩП напружень є декілька частот, в яких потужність напружень є істотною, частоти позначають ν_{Ri} .

Побудова кривих втоми виконується за допомогою схематизованої діаграми границь витривалості в кожній розрахунковій точці. Побудови схематизованої діаграми границь витривалості, зазвичай, виконується за двома або трьома точками. Рекомендовано як першу точку обирати звичайний симетричний цикл σ_{-1} , як другу точку обирають асиметричний цикл $\sigma_0 = 1,4 \dots 1,6 \cdot \sigma_{-1}$, як третю точку обирають простий статичний розтяг σ_B . Отримані точки з'єднуються прямими лініями та обмежуються горизонтальною прямою лінією, що відповідає границі текучості.

За результатами статичного та динамічного аналізу в розрахункових точках визначають статичну σ_m та динамічну σ_v складові напружень. За схематизованою діаграмою границь витривалості, використовуючи розрахункові дані середнього напруження циклу, визначають нормативне значення границі витривалості σ_R та коефіцієнт асиметрії циклу R (рис. 2).

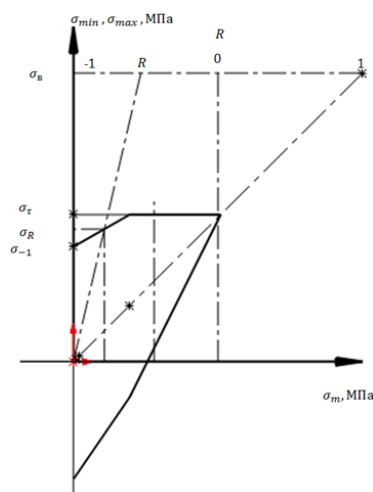


Рис. 2. Схематизована діаграма границь витривалості

Використовуючи побудовану діаграму криву втоми будують за нормативною методикою [9]. Крива втоми за параметром імовірності відмови виражається формулою:

$$\sigma(P; N) = \sigma_R(P) \cdot e^{\frac{A_R}{N(P) + B_R}}, \quad (1)$$

де σ_R , A_R , B_R – параметри кривої втоми при відповідній імовірності відмови P .

Враховуючи, що концентрація напружень в розрахункових точках обчислена методами кінцевих елементів з довірчим інтервалом розрахункових значень напружень не менше 95%, параметр нормативного значення середньоквадратичного відхилення $S_{\sigma_{-1}}$ границі витривалості приймають за першою групою $S_{\sigma_{-1}} = 35$ МПа.

Для коефіцієнтів асиметрії циклу R_σ нормативне значення S_{σ_R} визначається залежно від значення $S_{\sigma_{-1}}$ і R_σ за формулою:

$$S_{\sigma_R} = \frac{\sigma_R}{\sigma_{-1}} \cdot S_{\sigma_{-1}}. \quad (2)$$

Розрахункова границя витривалості $R_R = \sigma_R(R)$ визначається залежно від допустимої імовірності відмови P (імовірності виникнення втомної тріщини глибиною 2 – 3 мм) за виразом:

$$R_R = \bar{\sigma}_R - Z_P \cdot S_{\sigma_R}, \quad (3)$$

де Z_P – квантиль нормального розподілу для імовірності P (квантиль нормального розподілу для імовірності неруйнування $P = 0,95$ рівний $Z_P = 1,645$, а для $P = 0,975$ – $Z_P = 1,96$).

Якщо на етапі розрахунку втомної довговічності в розрахунковій точці значення максимальних напружень не перевищують розрахункової границі витривалості, при цьому їх різниця не перевищує 5% від розрахункової границі витривалості, дозволяється приймати квантиль нормального розподілу $Z_P = 3$.

Максимальне розрахункове значення динамічних напружень в розрахунковій точці визначається таким чином: $\sigma_{\max} = 3 \sigma_v + \sigma_m$.

Кількість циклів N_{R_R} , необхідних для руйнування, визначається за кривою втоми при максимальному розрахунковому напруженні. Якщо максимальне розрахункове значення динамічних напружень перевищує розрахункову границю витривалості більше ніж на 20 МПа, рекомендовано перевищення границі витривалості розбивати на блоки по 10 МПа та для кожного блоку визначати кількість циклів N_{iR_R} .

Процент імовірних напружень P_{R_R} , які будуть накопичувати пошкодження, визначаються з умови, що динамічні напруження відповідають закону нормального розподілення. Значення P_{R_R} відповідає кількості циклів N_{R_R} необхідних для руйнування. Загальна кількість циклів напружень N_σ визначається за формулою:

$$N_\sigma = \frac{N_{R_R} \cdot 100}{P_{R_R}}. \quad (4)$$

За необхідності розрахунок ведеться за блоками N_{iR_R} . Час T_σ , за який виникає загальна кількість циклів напружень N_σ , дорівнює: $T_\sigma = N_\sigma / v_R$.

За необхідності розрахунок ведеться за групою частот v_{Ri} . Основна частота v_R або група частот v_{Ri} мають свою масову частку η або η_i , що визначається за модальним аналізом. Загальний час коливань НК визначається і становить: $T_\Sigma = T_\sigma / \eta$.

Ресурс НК визначається як добуток T_Σ на швидкість обраного діапазону динамічного аналізу: $L = T_\Sigma \cdot v_i$. Якщо для розрахунку втомної довговічності використовується весь діапазон швидкостей, тоді ресурс НК визначається за виразом:

$$L = \sum_{i=1}^n \rho_i T_{\Sigma i} \cdot v_i.$$

де ρ_i – вагова частка руху ТРС в діапазоні швидкості v_i .

Строк служби в роках визначається діленням ресурсу L на річний пробіг ТРС.

Висновки і перспективи подальшого використання. Запропоновані удосконалені підходи до оцінки надійності та залишкового ресурсу несучих конструкцій екіпажних частин тягового рухомого складу з вичерпаним строком служби. Одержані результати мають сприяти прийняттю науково обґрунтованих технічних рішень щодо заходів з подовження терміну служби тягового рухомого складу з гарантованою безпекою його функціонування в умовах експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лашко А.Д. Об оптимальных сроках эксплуатации тягового подвижного состава / А.Д. Лашко, В.П. Кулешов, В. И. Дворецкий // *Залізничний транспорт України*. – 2001. – № 5. – С. 2-5.
2. Горобець В.Л. Визначення залишкового ресурсу тягового рухомого складу / В.Л. Горобець, О.І. Паламаренко, В.П. Кулешов // *Залізничний транспорт України*. – 2001. – №1. – С.14-16.
3. Боднар' Б.Е. Методы сравнительной оценки ресурса несущих конструкций подвижного состава / Б.Е. Боднар', В.Л. Горобец, И.М. Грушак // *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля*. – №8 (78). – 2004. – С. 118-126.
4. Довганюк С.С. Применение методов математического моделирования к оценке выносливости рам тележек тягового подвижного состава / С.С. Довганюк, В.Л. Горобец, И.М. Грушак // *Збірник наук. пр. Київського університету економіки і технологій транспорту: Серія «Транспортні системи і технології»*. – Вип. 8. – К.: КУЕТТ, 2005. – С.27-35.
5. Дворецкий В.І. Технічний стан і ресурс несучих конструкцій тягового рухомого складу / В.І. Дворецкий, Р.Ю. Дьомін // *Залізничний транспорт України*. – 2009. – №2/1. – С. 34-37.
6. Дворецкий В.І. Повышение долговечности конструкций железнодорожного подвижного состава с длительной наработкой / В.І. Дворецкий, Е.Ф. Явдошина, Р.Ю. Демин, А.Ю. Черняк // *Залізничний транспорт України*. – 2010. – № 5. – С. 50-54.
7. Вучетич І.І. ВТС – опыт, проблемы / И.И. Вучетич // *Вісник ДНУЗТ*. – Дніпропетровськ, 2006. – 75 с.
8. Диллон Б. Инженерные методы обеспечения надежности систем: Пер. с англ. / Б.Диллон, Ч. Сингх. – М.: Мир, 1984. – 318 с.
9. *РД 50 – 694 – 90*. Надежность в технике. Вероятностный метод расчета на усталость сварных конструкций.
10. *EUROPEAN STANDARD 13749*. Railway applications – Methods of specifying structural requirements of bogie frames.
11. *EUROPEAN STANDARD 12663-1*. Railway applications – Structural requirements of railway vehicle bodies – Part 1: Railway vehicles other than freight wagons.
12. *UIC 615-4*. Motive power units – Bogies and running gear – Bogie frame structure strength tests.
13. Серенсен С.В. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. Руководство и справочное пособие / Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. /– М.: «Машиностроение», 1975. – 488 с.

REFERENCES

1. Lashko A.D. Ob optymal'nykh sroках éksploatatsyy tyahovoho podvyzhnoho sostava / A.D. Lashko, V.P. Kuleshov, V.Y. Dvoret'sky // *Zaliznychnyy transport Ukrayiny*. – 2001. – № 5. – S. 2-5.
2. Horobets' V.L. Vyznachennya zalyshkovoho resursu tyahovoho rukhomoho skladu / V.L. Horobets', O.I. Palamarenko, V.P. Kulyeshov // *Zaliznychnyy transport Ukrayiny*. – 2001. – №1. – S.14-16.
3. Bodnar' B.E. Metody sravnytel'noy otsenky resursa nesushchykh konstrukt'syy podvyzhnoho sostava / B.E. Bodnar', V.L. Horobets, Y.M. Hrushchak // *Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu im. Volodymyra Dalya*. – №8 (78). – 2004. – S. 118-126.
4. Dovhanyuk S.S. Prymenenye metodov matematycheskoho modelyrovannya k otsenke vynoslyvosti ram telezhek tyahovoho podvyzhnoho sostava / S.S. Dovhanyuk, V.L. Horobets, Y.M. Hrushchak // *Zbirnyk nauk. pr. Kyivs'koho universytetu ekonomiky i tekhnolohiy transportu: Seriya «Transportni systemy i tekhnolohiyi»*. – Vyp. 8. – K.: KUETT, 2005. – S.27-35.
5. Dvoret's'ky V.I. Tekhnichnyy stan i resurs nesivnykh konstrukt'siy tyahovoho rukhomoho skladu / V.I. Dvoret's'ky, R.Yu. D'omin // *Zaliznychnyy transport Ukrayiny*. – 2009. – №2/1. – S. 34-37.
6. Dvoret'sky V.Y. Povyshenye dolhovechnosti konstrukt'syy zheleznodorozhnoho podvyzhnoho sostava s dlytel'noy narabotkoy / V.Y. Dvoret'sky, E.F. Yavdoshchyna, R.YU. Demyan, A.YU. Chernyak // *Zaliznychnyy transport Ukrayiny*. – 2010. – № 5. – S. 50-54.
7. Vuchetych Y.Y. VTS – opyt, problemy / Y.Y. Vuchetych // *Visnyk DNUZT*. – Dnipropetrovs'k, 2006. – 75 s.
8. Dyllon B. Ynzhenernye metody obespecheniya nadezhnosti system: Per. s anhl. / B.Dyllon, CH. Synkhkh // М: Myr, 1984. – 318 s.
9. *RD 50 – 694 – 90*. Nadezhnost' v tekhnike. Veroyatnostnyy metod rascheta na ustalost' svarnykh konstrukt'syy.
10. *EUROPEAN STANDARD 13749*. Railway applications – Methods of specifying structural requirements of bogie frames.

11. EUROPEAN STANDARD 12663-1. Railway applications – Structural requirements of railway vehicle bodies – Part 1: Railway vehicles other than freight wagons.

12. UIC 615-4. Motive power units – Bogies and running gear – Bogie frame structure strength tests.

13. Serensen S.V. Nesushchaya sposobnost' i raschet detaley mashin na prochnost'. Rukovodstvo i spravochnoye posobiye / Serensen S.V., Kogayev V.P., Shneyderovich R.M. // М.: «Mashinostroyeniye», 1975. – 488 s.

Р. Ю. Дёмин

(докторант кафедры железнодорожного, автомобильного транспорта и подъемно-транспортных машин, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля)

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПОСЛЕ ИСТЕЧЕНИЯ НАЗНАЧЕННОГО СРОКА СЛУЖБЫ

В статье приведены методические положения и результаты исследования надежности несущих конструкций локомотивных тележек методом оценки надежности по экспериментальным данным и методом расчета на усталостную долговечность. На основании выполненного анализа отказов рам тележек, возникающих в эксплуатации, установлены возможные причины возникновения отказов несущих конструкций, а также определен характер их возникновения. На основании проведенного сравнительного анализа двумя методами установлено, что для несущих конструкций экипажной части характерны процессы усталостного разрушения, происходящие в материалах. Проведенные расчеты показывают, что 95% дефектов несущих конструкций возникают вследствие накопления повреждений в металле при длительном напряженном состоянии, что приводит к образованию трещин и разрушению. Впоследствии, в результате снижения усталостной долговечности элементов несущих конструкций, будет происходить снижение несущей способности рам тележек. Кроме того, представлена методика расчета усталостной долговечности рамных конструкций относительно экипажной части. Приведен порядок расчетной оценки остаточного ресурса несущих конструкций тягового подвижного состава с истекающим сроком службы.

Ключевые слова: тяговый подвижной состав, несущие конструкции, надежность, долговечность, вероятность отказа, ресурс.

Rostyslav Domin

(Doctoral student of the Department of Railway, Road Transport and Hoisting-and-Transport Machines, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University)

RESEARCH ON THE SAFE OPERATION OF TRACTIVE ROLLING STOCK OUTSIDE OF THE APPOINTED TERMS OF SERVICE

In the article the methodical positions and results of the investigation of the reliability of load-bearing structures of locomotive bogies are given by the method of reliability evaluation by experimental data and the method of calculation for fatigue life. Based on the performed analysis of the failures of bogie frames arising in operation, the possible

causes of failure of load-bearing structures are determined, and the nature of their occurrence is determined. On the basis of the comparative analysis carried out by two methods, it is established that the bearing structures of the crew part are characterized by fatigue failure processes occurring in materials. The performed calculations show that 95% of the defects in load-bearing structures arise from the accumulation of damages in the metal under a prolonged stressed state, which leads to the formation of cracks and destruction. Subsequently, as a result of reducing the fatigue life of the structural elements, there will be a decrease in the carrying capacity of the trolley frames. In addition, a methodology is presented for calculating the fatigue life of frame structures with respect to the crew part. The order of estimated estimation of residual life of load-bearing structures of traction rolling stock with expired service life is given.

Keywords: traction rolling stock, bearing structures, reliability, durability, probability of failure, resource.

Стаття надійшла до редакції 22.11.2017 р.