

УДК 531.374

**В. Леонець, докт. техн. наук; Б. Шульгінов, докт. техн. наук;
А. Лукашевич; Л. Чаус**

Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України, Київ

ОЦІНЮВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ РАМ ВІЗКІВ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ВЛ10

Резюме. Здійснено оцінювання залишкового ресурсу рам візків електровозів ВЛ10 за допомогою 3-го розрахункового методу С.В. Серенсена. На підставі літературних даних про результати випробувань електровозів ВЛ10 розробник визначив вихідні дані для розрахунку ймовірності виникнення втомних тріщин у найбільш напружених місцях рам візків. Розрахункові значення ймовірності виникнення втомної тріщини з достатньою для практичного використання точністю співпадає з реальним.

Ключові слова: електровоз ВЛ10, ресурс, рама візка, рухомий склад.

V.Leonets, B. Shulhinov, A. Lukashevych, L. Chau

ASSESSMENT OF RESIDUAL LIFE OF THE LOCOMOTIVE BOGIES FRAMES VL10

The summary. The estimation of residual life of bogies locomotives VL10 frames in a 3-second billing method S. Sørensen. Based on literature data on test results locomotives VL10 developer defined data source to calculate the probability of fatigue cracks in the most intense ground frame bogies. Estimated value of probability of fatigue crack growth with sufficient accuracy for practical use in real matches.

Key words: electric locomotive VL10, resource, frame cart, rolling stock.

Вступ. Під продовженням початково призначених показників тягового та моторвагонного залізничного рухомого складу (ТМВРС) розуміють комплекс заходів, які проводяться сумісно замовником, споживачем, розробником та виробником щодо зміни на конкретну величину їх початкових значень, а також забезпечення експлуатації в штатному режимі локомотивів, електро-дизель поїздів із продовженими початково призначеними показниками. Одним із фрагментів цієї копійки та відповідальної роботи є, зокрема, оцінювання залишкового ресурсу рам візків, рам кузовів та несучих кузовів ТМВРС. У цій статті описується оцінювання залишкового ресурсу рам візків електровозів постійного струму серії ВЛ10, які експлуатуються на Львівській залізниці.

Під час розроблення електровозів серії ВЛ конструктори оцінювали ресурс їх рам візків за критерієм ймовірності виникнення втомної тріщини. Ймовірність виникнення втомних тріщин у рамах візків цих електровозів розраховувалась за 3-м розрахунковим методом С.В. Серенсена [1]. Для елементів конструкції рам візків, у яких сумарне число циклів, напрацьованих за призначений термін служби велике ($N_{\text{сум}} > 10^7 \div 10^8$ циклов), можливо визначати ймовірність руйнування при нестационарному навантаженні за напруженнями. В цьому випадку частина амплітуд механічних напружень може перевищувати границю витривалості елемента конструкції. Ці перевантажуючі цикли призводять до втомного пошкодження металу, яке проявляється у зниженні границі витривалості зразків, що були попередньо перевантаженими.

Величину границі витривалості пошкоджених циклічним перевантаженням зразків $\sigma_{-1пов}$ можливо розрахувати за формулою:

$$\sigma_{-1пов} = \sigma_{-1исх} \cdot \left[1 - \frac{n_n}{N_n} \cdot K \cdot \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_{-1исх}} - 1 \right) \right], \quad (1)$$

де $K = 1,33$ – для маловуглецевої сталі; $K = 1,65$ – для середньовуглецевої і $K = 1,80$ – для легваної сталі; n_n / N_n – відносне число циклів початкового навантаження при напруженнях σ_a . При цьому нехтується ефект збільшення опору втомі матеріалу через попереднє його циклічне навантаження з напруженнями, меншими $\sigma_{-1исх}$ (границі витривалості матеріалу у початковому стані при циклічному симетричному навантаженні). Розподіл амплітуд напружень σ_a може змінюватися за будь-яким законом.

Результати випробовувань рам візків електровозів серій ВЛ80^к, ВЛ80^т [2,3], рами візків яких аналогічні рамам візків електровозів ВЛ10, показали, що найбільші розтягуючі напруження виникають у точці 7 (рис. 1).

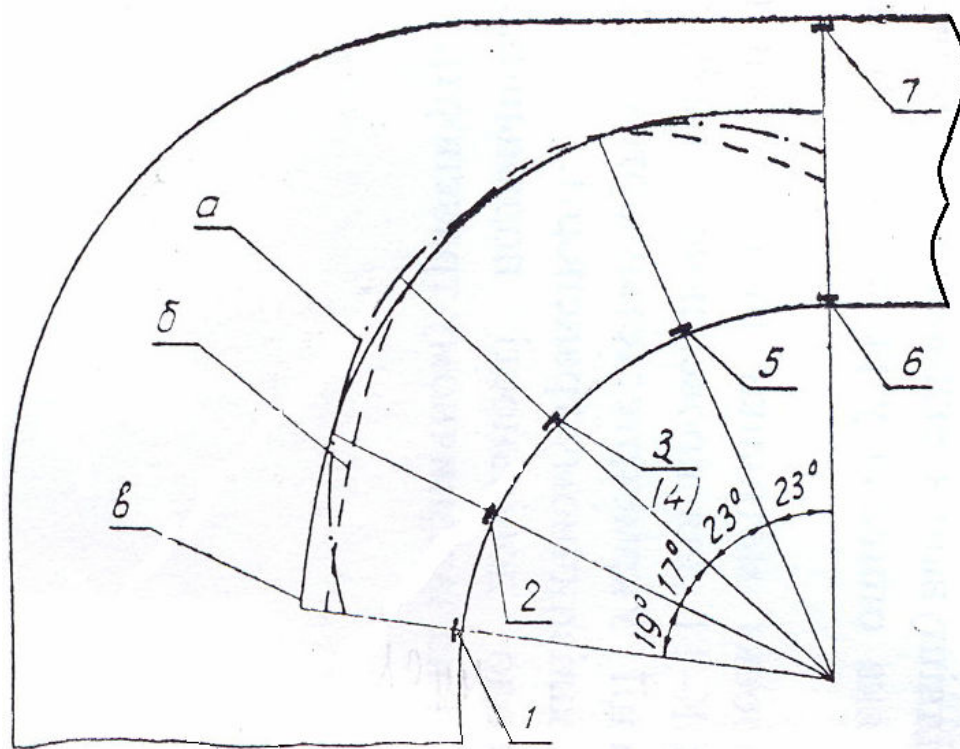


Рисунок 1. Порівняльні епюри напружень, що виникають:
а) – в експлуатації; б) – при дії статичних ударних навантажень; в) – при випробуваннях на втому

Тензорезистор 4 розміщений на нижньому горизонтальному листі; тензорезистори 6 та 7 – в перетинах переходу від кута до кінцевого бруса. За умови, що розподіл амплітуд розтягуючих напружень у точці 7 описується нормальним законом, їх середнє статистичне значення в цій точці $\bar{\sigma}_{-1D} = 63$ МПа; середнє квадратичне відхилення значень цих напружень $S_{-1D} = 20,41$ МПа; коефіцієнт варіації $\nu_{\sigma_{-1D}} = 0,32$.

Досвід ведення робіт щодо визначення границь витривалості зварних елементів конструкцій рам локомотивних візків після експлуатації протягом 30 років [4] показує, що σ_{-1D} зменшується на 6,7–10%. Ми прийняли, що $\sigma_{-1D} = 63 - 6,3 = 56,7$ [МПа].
 $\nu_{\sigma_{-1D}} = 0,34-0,32$.

Розподіл амплітуд напружень σ_a у точці №1 (див. рис. 1) [5] характеризується величинами: середнє статистичне значення $\bar{\sigma}_a = 12,08$ МПа; середнє квадратичне відхилення $S_{\sigma_a} = 5,438$ МПа; коефіцієнт варіації $\mathcal{G}_{\sigma_a} = 0,45$.

З метою уточнення режимів роботи цих локомотивів в Укрзалізниці ми провели ходові динаміко-міцнісні випробування електровоза ВЛ10 №1313 депо приписки Львів-Захід Львівської залізниці. Тензорезистори були встановлені на одному візку в місцях, показаних на рис. 2 точкою 3. Тензорезистори були встановлені на правій та лівій боковинах візка. Запис осцилограм здійснено за допомогою приладу БВК-6 [6].

Здійснена поїздка у складі поїзда № 7 “Київ – Чоп – Братіслава – Відень”. Вага поїзда становила 460 тонн. Температура повітря становила: у м. Львові – 0 0С, біля підніжжя Карпат – -10 0С, а на перевалі – -20 0С. Спостерігалися опади у вигляді дощу, дощу зі снігом, снігової заметілі.

Характерна осцилограма вимірювань напружень правого тензорезистора, встановленого на рамі візка в місці зварення боковини з поперечним брусом, показана на рис. 5.7. По осі абсцис зверху показано бортовий час у секундах, а знизу – в годинах.

Вигляд осцилограм характерний для гірського профілю доріг з різними кліматичними умовами експлуатації локомотива: значні величини постійної складової напружень σ_m та невеликі амплітуди динамічних напружень σ_a .

Враховуючи те, що електровози ВЛ10 експлуатуються в гірській місцевості, для розрахунку їх залишкового ресурсу приймаємо коефіцієнт асиметрії циклу навантажень $R = 0,3$ [7].

На рис. 2 показана діаграма граничного стану рам візків за критерієм границі витривалості точки № 7 рис. 1.

Величина σ_{np} розрахована за умови, що $\sigma_b = 435$ МПа, $\sigma_{-ID} = 56,7$ МПа, коефіцієнт асиметрії циклу $\psi = 0,3$.

Рівняння графіка 1 на рисунку 2 має вигляд

$$\sigma_a = \sigma_m ; \quad (2)$$

графіка 2 –

$$\sigma_a = \sigma_{-ID} + \sigma_m \cdot \arctg \frac{\sigma_b - \sigma_{-ID}}{\sigma_b} \quad (3)$$

$$\arctg \frac{\sigma_b - \sigma_{-ID}}{\sigma_b} = \frac{435 - 56,7}{435} = 0,8697 \text{ [МПа]}. \quad (4)$$

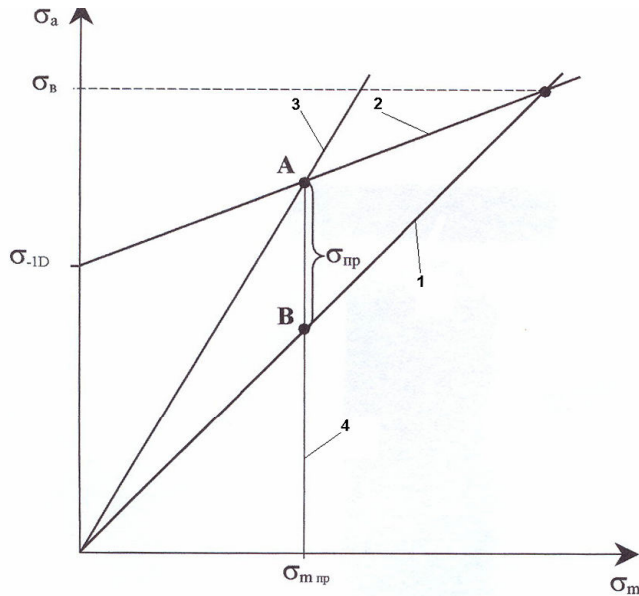
Таким чином, рівняння (3) можна записати у вигляді

$$\sigma_a = 56,7 + 0,8697 \sigma_m. \quad (5)$$

Рівняння графіка 3 можливо записати за умови, що

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}, \quad (6)$$

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = 0,3. \quad (7)$$



σ_a – амплітуда динамічних напружень;
 σ_m – середнє значення статичних напружень;
 σ_B – границя міцності;
 σ_{1D} – границя витривалості рам візків;
 $\sigma_{пр}$ – приведенє значення границі витривалості рам візків при асиметрії циклів $R=0,3$;
 $\sigma_{m пр}$ – значення напружень, відповідно до $\sigma_{пр}$.

Рисунок 2. Діаграма граничного стану рам візків

Тому

$$\sigma_{\min} = 0,3 \sigma_{\max} \quad (8)$$

Підставляючи (5.12) в (5.10), отримаємо

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + 0,3 \sigma_{\max}}{2} = 0,65 \sigma_{\max} \quad (9)$$

Тоді

$$\sigma_a = \sigma_{\max} = \frac{1}{0,65} \sigma_m = 1,538 \sigma_m \quad (10)$$

Для знаходження координат точки А запишемо систему рівнянь графіків 2 та 3

$$\begin{cases} \sigma_a = 56,7 + 0,87 \sigma_m \\ \sigma_a = 1,5386 \sigma_m \end{cases} \quad (11)$$

Розв'яжемо систему (5.15) методом підстановки:

$$1,5386 \sigma_m = 56,7 + 0,87 \sigma_m,$$

$$\sigma_m (1,538 - 0,87) = 56,7,$$

$$\sigma_m = \frac{56,7}{0,668} = 84,9, [\text{МПа}] \quad (12)$$

$$\sigma_a = 1,538 \sigma_m = 1,538 \cdot 84,9 = 150. [\text{МПа}] \quad (13)$$

Отже, координати точки А становлять

$$\sigma_{mA} = 84,9 \text{ МПа}; \sigma_{aA} = 130 \text{ МПа.}$$

Координати точки В –

$$\sigma_{mB} = 84,9 \text{ МПа}; \sigma_{aB} = 130 \text{ МПа.}$$

$$\text{Тоді: } \sigma_{np} = AB = \sigma_{aA} - \sigma_{aB} = 130 - 84,9 = 45,65. \quad [\text{МПа}]$$

Розрахунок імовірності руйнування рам візків електровозів ВЛ10 здійснено за допомогою 3-го розрахункового методу С.В. Серенсена [1], який передбачає розрахунок коефіцієнта перевантаження np . Значення граничного коефіцієнта навантаження np розраховано методом послідовних наближень за допомогою програми, створеної інженером О.П. Коломійцем. $np=1,3693$.

Вихідні дані для розрахунку імовірності виникнення втомної тріщини в рамі візка P рам наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Вихідні дані для розрахунку ймовірності руйнування P рам візків електровозів ВЛ10

σ_{np} , МПа	$\nu\sigma_{-ID}$	$\sigma_{a \max}$, МПа	$\nu\sigma_a$	N_{Σ} , ц	m
52,98	0,32	31,232	0,45	$2,72 \cdot 10^8$	8

Граничний коефіцієнт навантажуваності n обчислено за формулою

$$n = \frac{\bar{\sigma}_{a \max}}{\sigma_{np}}, \quad (14)$$

де

$$\bar{\sigma}_{a \max} = \bar{\sigma}_a (1 + u_{p \max} \nu_{\sigma_a}). \quad (15)$$

Приймаємо, що максимальний квантіль нормального розподілу напружень $u_{p \max} = 4,5$.

Тоді

$$\bar{\sigma}_{a \max} = 12,8(1 + 4,5 \cdot 0,32) = 31,232 \text{ [МПа]}.$$

Підставляємо значення $\bar{\sigma}_{a \max}$ в (14).

$$n = \frac{31,232}{45,65} = 0,68.$$

Відносний коефіцієнт запасу \bar{n} міцності обчислюємо за формулою

$$\bar{n} = \frac{np}{n} = \frac{1,3693}{0,68} = 2,0. \quad (16)$$

Квантіль нормального розподілу u_p обчислюємо за формулою

$$u_p = \frac{1 - \bar{n}}{\sqrt{\bar{n}^2 \nu_{\sigma_{-ID}}^2 + \nu_{\sigma_a}^2}} = -2,1956. \quad (17)$$

$$u_p = -2,19.$$

За таблицею нормального розподілу для отриманого u_p знайдено ймовірність руйнування P [8]

$$P = 1 - 0,98574 = 0,01426. \quad P = 1,43\% \quad (18)$$

За 30 років експлуатації електровозів ВЛ10 трапилося два випадки появи тріщин у точці 7 (рис. 1).

У процесі експлуатації електровозів ВЛ10 протягом 30 років трапилося 2 випадки появи тріщин у зварних швах місць переходу боковин рам візків до поперечних брусів. Імовірність руйнування рам візків парку ВЛ10 депо Львів-Захід становить

$$P_{\text{реальн.}} = \frac{2}{N_{\text{ВЛ10}} \cdot 4} = 0,022, \quad (19)$$

де $N_{\text{ВЛ10}}$ – загальна кількість електровозів. $N_{\text{ВЛ10}}=22$. $\text{Реальн.} = 2,2\%$. Величина P відрізняється від Реальн. на $0,77\%$, що, на нашу думку, свідчить про достатню точність розрахунку P .

Протягом 30 років експлуатації електровозів ВЛ10 їх рами візків були навантажені $2,72 \cdot 10^8$ циклами знакоперемінних механічних напружень. При продовженні призначеного терміну служби на 15 років загальне навантаження становитиме N_{45}

$$N_{45} = N_{\Sigma} + \frac{15}{30} \cdot N_{\Sigma} \quad (\text{ц}), \quad (20)$$

де 30 – початково призначений термін служби в роках.

$$N_{45} = 4,07 \cdot 10^8 \quad (\text{ц}).$$

При $m = 8$; $v_{\sigma_a} = 0,45$ $N'_{\text{сум}} = 4,07 \cdot 10^8$ отримано $u_p = -1,58$, що відповідає ймовірності руйнування $P=0,057$. Це означає, що при продовженні призначеного терміну служби на 15 років розрахункова ймовірність руйнування рам візків становила $5,7\%$. В 22 електровозах серії ВЛ10 очікується поява тріщин у зварних з'єднаннях; 2 – у п'яти рамах візків.

Висновки. Вважаємо, що не потрібно здійснювати зміцнення рам візків електровозів ВЛ10, оскільки не очікується суттєвого зменшення надійності їх експлуатації. Уточнення реальної надійності експлуатації рам візків електровозів із продовженим початково призначеним терміном служби можливо встановити приладом АВК-Т2, який ми створили. Також було збільшено ресурс електровозів ВЛ10 на 15 років.

Література

1. Серенсен, С.В. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. Руководство и справочное пособие [Текст] / С.В. Серенсен, В.П. Когаев, Р.М. Шнейдерович. – М.: Машиностроение, 1975. – 488 с.
2. Сергиенко, П.Е. Повышение прочности рамы тележки электровоза ВЛ80^К [Текст] / П.Е. Сергиенко, Ф.П. Удодов // Сб. научн. трудов “Электровозостроение”. – 1972. – Т.14. – С. 144–152.
3. Журавлев, Е.Н. Натурные испытания электровозов на удар [Текст] / Е.Н. Журавлев, В.П. Кротов, П.Е. Сергиенко // Сб. научн. трудов “Электровозостроение”. – 1968. – Т. 10. – С. 307–316.
4. Оценка долговечности и остаточного ресурса несущих конструкций экипажных частей локомотивов [Текст] / Э.С. Оганян, Б.Б. Бунин, В.Г. Шевченко, Т.М. Пономарева // Вестник машиностроения. – 2004. – № 12. – С. 23–26.
5. Журавлев, Е.Н. Оценка динамической прочности деталей ходовой части электровозов с применением статистических методов [Текст] / Е.Н. Журавлев // Сб. научн. трудов “Электровозостроение”. – 1967. – Т.9. – С. 348–359.
6. Леоненц, В.А. Система динамико-прочностных испытаний несущих конструкций подвижного состава и верхнего строения пути при повышенных скоростях движения [Текст] / В.А. Леоненц, О.Д. Токарев, А.А. Леоненц // Железные дороги мира. – 2002. – №9. – С. 73–76.
7. Нормы для расчета и оценки прочности несущих элементов, динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм. М.: ВНИИЖТ, 1998. – 145 с.
8. Шор, Я.Б. Таблицы для анализа и контроля надежности [Текст] / Я.Б. Шор, Ф.И. Кузьмин. – М.: Изд-во “Советское радио”, 1968. – 288с.

