

ОБ ОЦЕНКАХ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ ЛОКОМОТИВНОЙ ТЯГИ

*В. В. ВАСИЛЕВСКИЙ, А. А. ЮХНЕВСКИЙ, С. Л. САМОШКИН
АО НО «Тверской институт вагоностроения», Российская Федерация*

В работе [1] обсуждаются вопросы теоретической и экспериментальной оценок усталостной прочности (УП) несущих конструкций пассажирских вагонов локомотивной тяги [1]. Состоит из двух самостоятельных частей. Первая из них посвящена описанию достоинств методов, применяемых при оценке УП объектов МВПС [2, 3] и критике соответствующих методов, используемых в пассажирском вагоностроении [4, 5]. Во второй части формулируются задачи теоретико-экспериментального и методологического характера, способные, по мнению авторов [1], улучшить качество оценок УП в пассажирском вагоностроении. В данной работе анализ из [1] дополняется, на наш взгляд, важными соображениями.

1 Нельзя не согласиться с утверждением [1] о том, что результаты усталостных испытаний (УИ) имеют значительное статистическое рассеяние. В связи с этим указания п. 5.2 и Г.1 из [3] об УИ всего одного образца являются менее предпочтительными, чем указания пп. 8.4.5, 8.4.6 и 9.5.2 из [5], устанавливающие правила назначения количества образцов для УИ в зависимости от требований к точности результатов. В то же время говорить о точности результатов и об их разбросе при УИ одного образца не имеет смысла.

2 Многократно повторяемое утверждение об отсутствии должного обоснования при назначении коэффициента $[n]$ запаса УП неправильно: в п. 14.1 из [4] перечислены интервалы $[n]$ в зависимости от количества информации об оцениваемой конструкции. Метод, указанный в [4] (называемый табличным), в отличие от дифференциального) является в настоящее время общепринятым и используется, например, при оценке УП специального подвижного состава [6]. Если обратиться к п. 8.2.3 из [2], где коэффициент концентрации K получается перемножением пяти частных коэффициентов, то окажется $K = [0,616; 1,68]$, что, на наш взгляд, является довольно широким диапазоном, требующим серьезного обоснования.

3 Назначение весьма высоких $[n]$ (2 и 2,2 в п. 5.5 из [2]) для конструкций тележек вообще, без всякого учёта индивидуальных характеристик конструкции, материалов, особенностей эксплуатации, является, на наш взгляд, неудачными и не имеющими должного обоснования (см. п. 4.6 в [4]).

4 Указания об обязательности испытаний пустых и гружённых вагонов как на полигонах, так и на действующих линиях, является избыточным и весьма затратным. Указания пп. 4.1.4 и 5.3 из [5] устанавливают гибкие требования, учитывающие конкретную ситуацию для конкретного испытуемого объекта.

5 Утверждение [1] о том, что в [2] для МВПС не допускается превышение $\sigma_{-1\partial}$, неверно. На самом деле формулы (8.6), (8.9) из [2] изначально предполагали наличие $\sigma_{ai} > \sigma_{-1\partial}$. Рассмотрим

$$\text{уравнение (8.6) из [2]: } N_{\text{сум}} / N_G = a_p \left(n_p^m \sum_{\eta_i \geq 1/n_p} \eta_i^m t_i \right)^{-1}; \quad \eta_i = \sigma_{ai} / \sigma_{a\text{max}}, \quad (1)$$

которое относится к случаю наличия правого горизонтального участка на кривой Велера [7, с. 12, 92]: $N_i \sigma_{ai}^m = N_G \sigma_{-1\partial}^m$, при $\sigma_{ai} \geq \sigma_{-1\partial}$; $N_i = \infty$, $\sigma_{ai} < \sigma_{-1\partial}$;

В этом случае согласно скорректированной гипотезе линейного суммирования повреждений (ГЛСП) [7, С. 94, С. 181]: $N_{\text{сум}} = a_p N_G \left[\sum_{\sigma_{ai} \geq \sigma_{-1\partial}} \sigma_{ai} / \sigma_{-1\partial}^m t_i \right]^{-1}$. (3)

В правую часть (3) входят случайные величины N_G , σ_{ai} , $\sigma_{-1\partial}$, t_i , m , характеризуемые своими функциями распределения. Чтобы найти функцию распределения $N_{\text{сум}}$, применяют метод Монте-Карло, моделируя на компьютере распределение аргументов правой части (3) и получая, таким образом, случайные значения $N_{\text{сум}}$ [8, стр. 182]. Эта процедура требует проведения большого количества дорогостоящих экспериментов и достаточно дорогого моделирования многомерного (по крайней мере пятимерного) случайного процесса. Поэтому чаще всего модернизируют (3) для «ручного» его использования, руководствуясь тем, что в случае многоциклового усталости $\sigma_{ai} < \sigma_{-1\partial}$. По этой

причине в знаменателе (3) не остается слагаемых и вероятность разрушения для конечных выборок определяют по случайным вариациям σ_{ai} и $\sigma_{-1\partial}$ [8, С. 182]. Простой, чисто вычислительный прием обойти это ограничение – сменить правило суммирования в правой части (3), например, принять $\sigma_{ai} > \sigma_{-1\partial}$ [6, п. 8.3.3]. Однако формула (8.6) из [2] получается с помощью другого, также чисто вычислительного приема [8, С. 182]. Разделив числитель и знаменатель (3) на σ_{amax}^m и обозначив

$$n_p = \frac{\sigma_{amax}}{\sigma_{-1\partial}}, \quad (4)$$

получим (3) в виде (1), что совпадает с (8.6) из [2]. Таким образом, (8.6) из [2] предполагает существование $\sigma_{ai} \geq \sigma_{-1\partial}$, вопреки утверждениям [1]. Следует также отметить, что методика [2] с точностью до обозначений используется при расчёте УП СПС в [6], причем там приведена как исходная формула (3), так и преобразованная формула (1) с указанием, что она получена из (3) путем введения коэффициента предельного нагружения (4). Помимо этого условия $\sigma_{ai} > \sigma_{-1\partial}$ используется также п. 8.3.3 из [2], где в примечании 1 записана откорректированная ГЛСП:

$$\sum_{\sigma_c \geq \sigma_{-1\partial}} \frac{n_i}{N_i} = a_p.$$

6 Согласно п. 6 приложения 2 из [9] оценка среднего ресурса N_{cp} с доверительной вероятностью β приводит к ошибке ε : $(1 - \varepsilon)\bar{N} \leq N_{cp} \leq (1 + \varepsilon)\bar{N}$, $\bar{N} = \frac{1}{n} \sum_i N_i$. По номограмме п. 4 в [9] можно установить, что при испытании одной детали, зависимость (ε, β) приблизительно прямая, проходящая через точки $(\varepsilon_1, \beta_1); (\varepsilon_2, \beta_2) = (0,5, 78 \%)$, т. е. минимальная ошибка для N_{cp} не может быть менее 27,5 %. Согласно п. 2 приложения 2 из [9] высшая группа точности соответствует $\varepsilon = [10; 20] \%$. В то же время, согласно п. 8.3.7 из [2], вероятность разрушения при оценке долговечности рамы тележки принимается равной 0,01 %, что совершенно нереально из-за необходимости оценивать значения a_p из формул (8.6) и (8.9), а также коэффициентов вариации ϑ_e и ϑ_c в формуле (8.7) из [2]. Кроме того, определение $a_p, \vartheta_e, \vartheta_c$ требует огромных объемов испытаний, на порядки превышающих объем для получения кривой Велера по п. 9.5.2 из [5].

Список литературы

- 1 Пути повышения прочности несущих конструкций экипажей несамоходных пассажирских вагонов / В. В. Кочергин [и др.] // Техника железных дорог. – 2020. – № 1(49). – С. 44–49.
- 2 ГОСТ 33796-2016 Моторвагонный подвижной состав. Требования к прочности и динамическим качествам. – Введен впервые 2017–01–04. – М. : Стандартиформ, 2016. – 44 с.
- 3 ГОСТ Р 55496–2013 Моторвагонный подвижной состав. Методика динамико-прочностных испытаний. – Введен впервые 2014–01–03. – М. : Стандартиформ, 2014. – 48 с.
- 4 ГОСТ 34093–2017 Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Требования к прочности и динамическим качествам. – Введен впервые 2018–01–01. – М. : Стандартиформ, 2017. – 42 с.
- 5 ГОСТ 33788–2016 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и динамические качества. – Введен впервые 2017–01–05. – М. : Стандартиформ, 2016. – 41 с.
- 6 ГОСТ 31846–2012 Специальный подвижной состав. Требования к прочности несущих конструкций и динамическим качествам. – Введен впервые 2014–01–01. – М. : Стандартиформ, 2013. – 67 с.
- 7 **Когаев, В. П.** Прочность и износостойкость деталей машин / В. П. Когаев, Ю. Н. Дроздов. – М. : Высш. шк. – 1991. – 319 с.
- 8 **Когаев, В. П.** Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность / В. П. Когаев, Н. А. Махутов, А. П. Гусенков. – М. : Машиностроение. – 1985. – 224 с.
- 9 ГОСТ 25.50785 Расчеты и испытания на прочность при эксплуатационных режимах нагружения. Общие требования. – М. : Стандартиформ, 2005.

УДК 629.4.027.3

ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕСТКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШАРНИРОВ ШАРОВЫХ ЛЕМНИСКАТНОГО МЕХАНИЗМА СВЯЗИ ТЕЛЕЖКИ С КУЗОВОМ ЭЛЕКТРОПОЕЗДА

А. О. ВОРОБЬЕВ, А. А. ХОМЕНКО

АО НО «Тверской институт вагоностроения», Российская Федерация

Исследована возможность применения резинометаллических шарниров в конструкции лемнискатного механизма тележки электропоезда.