

Полученные результаты при обработке представленной кривой МУ свидетельствуют о погрешности расчетных данных, не превышающей 10 % по сравнению с экспериментальными данными.

Выполненный в целом анализ (для пяти кривых МУ) показывает, что при получении σ_{-1} по ускоренной методике с использованием исходных для каждого образца данных дает погрешность от 3 до 15 %, а при обработке данных, получаемых по результатам построения кривой МУ, – от 2 до 13 %.

В результате можно констатировать, что ускоренное определение σ_{-1} для предварительной оценки характеристик СУ, а также в случае отсутствия возможности изготовления из материалов конструкции большого числа образцов позволяет получить достаточно точные значения. Эти значения, в свою очередь, могут быть также уточнены с использованием полностью эмпирических зависимостей

$$\sigma_{-1} = \frac{(\sigma_b - \sigma_t)}{075[\delta/\psi(7,5 - 4,167\delta/\psi) - 1]},$$

где σ_t – предел текучести, МПа; δ и ψ – относительное удлинение и сужение после разрыва, %.

Результаты апробации методов ускоренного определения характеристик СУ вагонных стелей позволяют определить наиболее эффективные методы ускорения испытаний, а также оценить их влияние на точность и достоверность получаемых результатов. Кроме того, апробация методов ускоренного определения характеристик СУ вагонных стелей позволяет сократить время и затраты на проведение испытаний, что является важным фактором для производителей несущих конструкций железнодорожного транспорта.

Список литературы

- 1 ГОСТ 25.502–79. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость. – Введ. 1981–01–01. – 1979. – 25 с.
- 2 Трощенко, В. Т. Прочность металлов при переменных нагрузках / В. Т. Трощенко. – Киев : Наук. думка, 1978. – 176 с.
- 3 Муратов, Л. В. Энергия разрушения при циклических и статических нагрузках / Л. В. Муратов // Прочность металлов при переменных нагрузках. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – С. 111–118.

УДК 629.4.027.2

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ РАМЫ ТЕЛЕЖЕК ВАГОНОВ МЕТРОПОЛИТЕНА МОДЕЛИ 81-717.5 (81-714.5)

*Е. Н. КОНОВАЛОВ, В. В. КОМИССАРОВ, М. И. ПАСТУХОВ, В. В. БЕЛОГУБ,
П. М. АФАНАСЬКОВ*

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В результате анализа технического состояния несущих конструкций рам тележек (модель 81-717.5 (81-714.5)) вагонов Минского метрополитена после истечения их нормативного срока службы (16 лет) было установлено, что рамы тележек находятся в удовлетворительном состоянии, однако необходимо выполнить оценку их остаточного ресурса. Для достижения поставленной цели была разработана процедура определения остаточного ресурса рам тележек, учитывающая условия эксплуатации и фактические значения физико-механических характеристик материала, что позволило более адекватно оценить остаточный ресурс [1].

Процедура оценки остаточного ресурса рам тележек включает следующие этапы:

- изучение особенностей конструкции рам тележек, а также условий эксплуатации;
- контроль технического состояния рам тележек после длительной эксплуатации;
- виртуальные испытания (расчеты), позволяющие определить наиболее нагруженные зоны;
- проведение ходовых прочностных испытаний;
- определение физико-механических характеристик материала рамы тележки после длительной эксплуатации (σ_t , σ_b , σ_{-1} , δ , ψ , HB , KCU);
- стендовые ресурсные испытания;
- численное определение ресурса несущей конструкции рамы тележки.

В качестве объекта исследования была отобрана рама тележки № 498-05, построенная в 2005 году, возраст которой на момент исследования составил 16 лет. Комплекс расчетов и натурных испытаний тележек выполнен специалистами ОНИЛ «ТТОРЕПС» и Испытательного центра железнодорожного транспорта.

При реализации вышеуказанной процедуры проведен анализ условий эксплуатации (скорости движения, среднесуточный пробег, количество циклов разгон-остановка). Разработана методика контроля технического состояния рам тележек, включающая проведение визуально-измерительного контроля, ультразвуковой толщинометрии и капиллярной дефектоскопии сварных швов и основного материала наиболее нагруженных зон рамы.

На следующем этапе были проведены виртуальные испытания. Расчет несущей конструкции рам тележек выполнен методом конечных элементов с использованием программного комплекса САПР SOLID WORKS Premium 2019 Research. Для расчета была создана конечно-элементная модель несущей конструкции рамы тележки вагонов метрополитена серий 81-717.5, 81-714.5. Элементы рамы имитировались объемными параболическими конечными элементами с тремя степенями свободы в каждом узле.

Проведенный комплекс расчетов на прочность позволил определить следующие области с повышенным уровнем напряжений: зоны сочленения второго шпинтона с боковой балкой рамы (снизу и сверху относительно рамы тележки); зоны сочленения второго кронштейна тормозной рычажной передачи (изнутри относительно рамы тележки). На рисунке 1 представлены распределения эквивалентных напряжений, Па, при режиме нагружения Пб в тележке модели 81-717.5 (81-714.5).

По результатам проведенных ходовых испытаний и выполненной расчетно-экспериментальной оценки установлено, что рама исследуемой тележки удовлетворяет действующим требованиям в части соответствия прочности по коэффициенту запаса сопротивления усталости (минимальное значение $n = 3,9$).

Экспериментально показано, что предел выносливости материала рамы тележки составляет 235 МПа, а показатель наклона левой ветви кривой усталости – 15,4.

В процессе стендовых ресурсных испытаний не было обнаружено трещин в раме тележки при достижении расчетного числа количества циклов испытаний (от $5 \cdot 10^5$ до 10^7), при этом величины амплитуд динамических напряжений в исследуемых зонах рамы в 1,2–2,0 раза превышали расчетный предел выносливости по амплитуде при базовом числе циклов.

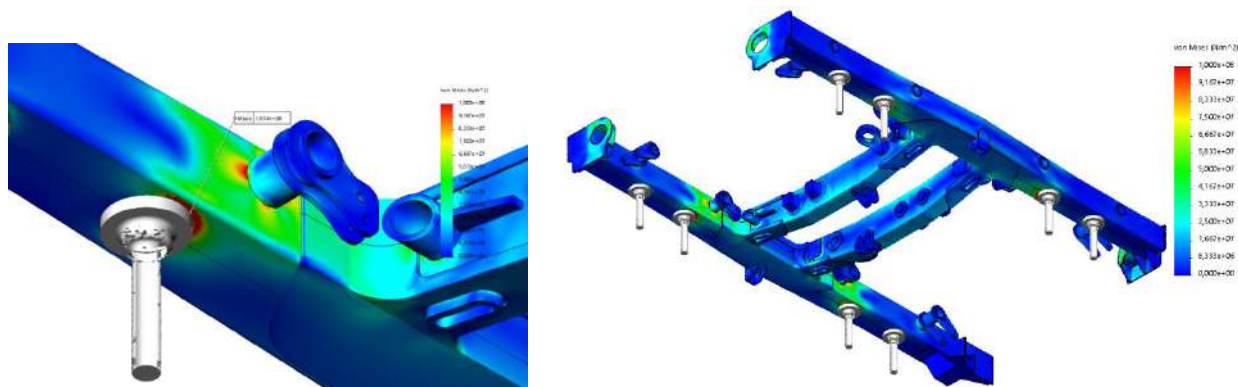


Рисунок 1 – Распределение эквивалентных напряжений в раме тележки

На основании полученных экспериментальных данных выполнено численное определение долговечности по критерию усталостной прочности для выбранной зоны T_p по формуле [2]

$$T_p = N_0 \frac{\left(\frac{\sigma_{a,N}}{[n]} \right)^m}{\sum_k \left[K^k \sum_i (\sigma_{ai}^k)^m \cdot P_i^k \right]}$$

где N_0 – базовое число циклов; $\sigma_{a,N}$ – предел выносливости контрольной зоны несущей конструкции;

$[n]$ – допускаемый коэффициент запаса сопротивления усталости, $[n] = 2,0$ [2]; m – показатель степени в уравнении кривой усталости; K – число циклов за 1 год эксплуатации; σ_{ai}^k – амплитуды динамических напряжений, приведённые к симметричному циклу, эквивалентные экспериментально полученным несимметричным для различных эксплуатационных нагрузок и их диапазонов; P_i^k – частота возникновения амплитуд при соответствующих напряжениях;

На основании расчетно-экспериментальной оценки долговечности по критерию усталостной прочности образца рамы тележки № 498-05 вагона метрополитена можно сделать заключение, что наиболее нагруженные зоны тележки, определенные по результатам расчетной оценки и ходовых испытаний, обеспечивают остаточную долговечность не менее 4 лет.

Список литературы

1 Прогнозирование остаточного ресурса тележек пассажирского вагона после длительной эксплуатации / П. М. Афанасьев [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения. – 2019. – Вып. 8. – С. 220–226.

2 **Пуято, А. В.** Расчетно-экспериментальная методика оценки остаточного ресурса металлоконструкции вагона дизель-электростанции после длительной эксплуатации / А. В. Пуято, Е. Н. Коновалов // Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки. – 2014. – Вып. 8. – С. 173–178.

3 Нормы для проектирования, расчета и оценки прочности и динамики механической части вагонов метрополитена колеи 1520 мм / СТО СДС ОПЖТ. – М., 2010. – 120 с.

УДК 629.45

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ВАГОНОВ ЭЛЕКТРОПОЕЗДА ЭГЭ2Тв «ИВОЛГА-4.0» ПРИ СОУДАРЕНИЯХ

С. Д. КОРШУНОВ, А. А. СМИРНОВ, Д. И. ГОНЧАРОВ, Д. И. РОМАШОВ
АО НО «Тверской институт вагоностроения» (АО НО «ТИВ»), Российская Федерация

ОАО «Тверской вагоностроительный завод» (ОАО «ТВЗ») изготовил электропоезд типа ЭГЭ2Тв (Электропоезд городской экспресс, 2-й тип, Тверской) постоянного тока напряжения 3 кВ, с коммерческим названием «Иволга-4.0». Поезд предназначен для перевозки пассажиров со скоростями до 160 км/ч и эксплуатации на путях Московского железнодорожного узла. Проект по разработке и постановке на производство нового электропоезда выполнен совместно с обособленным подразделением ООО «ТМХ Инжиниринг» г. Санкт-Петербург.

Создание нового железнодорожного подвижного состава продиктовано необходимостью повышения экономической эффективности пассажирских перевозок внутригородским электрифицированным рельсовым транспортом, а также обеспечения современного уровня комфорта перевозки пассажиров.

Электропоезд состоит из следующих моделей вагонов: головного модели 62-4557, моторного модели 62-4560, немоторного с оборудованием модели 62-4558 и немоторного без оборудования модели 62-4559. В зависимости от участка эксплуатации составность электропоезда может варьироваться. Отличительными особенностями новой модели в сравнении с рядом аналогов является установка дополнительных дверей для пассажиров (три уширенных дверных проема с каждой стороны вагона), с учетом результатов расчетов, испытаний и опыта эксплуатации подобных электропоездов; использование пневмоподвешивания, способствующего как более высокой плавности хода, так и стабильному уровню сцепления вагонов.

Кузова вагонов имеют существенные конструктивные отличия от серийных пассажирских вагонов: не имеют хребтовой балки в средней части, в боковых стенах в каждом вагоне предусмотрены по три уширенных дверных проема с каждой стороны, ширина кузова – 3,5 м вместо 3,105 м, как у пассажирских вагонов локомотивной тяги. Вагоны имеют повышенную вместимость и большое количество дополняющего комфорт пассажиров оборудования. С учетом требований активного образа жизни вагоны оборудованы устройствами велопарковки. В связи с изложенным требования к габаритно-весовым параметрам кузовов и их несущей способности приобретают первостепенное значение [1–4].