

УДК 629.424.3:629.4.027.2

*Л. В. ОГОРОДНИКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь*

### **ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ РАМ ТЕЛЕЖЕК ДЛИТЕЛЬНО ЭКСПЛУАТИРОВАВШЕГОСЯ ВАГОНА ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДА ДРБ1**

Представлены результаты экспериментов по определению напряженно-деформированного состояния рамы тележки вагона дизель-поезда серии ДРБ1. Разработана индивидуальная схема наклейки датчиков деформаций на раму тележки и для различных вариантов нагружения конструкции получены массивы динамических напряжений. Установлено, что значения напряжений не превышают допустимого уровня и соответствуют нормативным требованиям. Полученный в ходе испытаний массив информации о прочности рамы тележки дизель-поезда ДРБ1 может быть использован при определении ее остаточного ресурса.

**Ключевые слова:** рама тележки, несущая конструкция, испытания, напряженно-деформированное состояние, остаточный ресурс.

Для обеспечения пассажирских перевозок в пригородном движении на Белорусской железной дороге широкое распространение получили дизель-поезда Рижского вагоностроительного завода серии ДРБ1. Срок службы таких электропоездов, эксплуатирующихся в настоящее время, в большей своей части существенно выше установленного заводом-изготовителем. Осуществляется поэтапная их замена на современные электропоезда PESA. Однако вывод из эксплуатации старого подвижного состава требует существенных затрат и поэтому растянут на определенный период. Поэтому обоснование дальнейшей безопасной эксплуатации дизель-поездов, срок службы которых уже истек либо подходит к концу, является актуальной задачей.

Сложившаяся ситуация требует определения технического состояния рам тележек после длительной эксплуатации для установления соответствия их прочностных характеристик требованиям современной нормативной документации и последующей численной оценки остаточного ресурса конструкции, что и стало целью настоящей работы.

Фундаментальной основой работ, посвященных прогнозированию ресурса элементов машин и конструкций, являются публикации, в основе которых лежат положения теории надежности. К ним относятся труды Болотина В. В. [1], Когаева В. П. [2], Колмогорова В. Л. [3], Серенсена С. В. [4], Гусева А. С. [5], Костенко Н. А. [6], Черепанова Г. П. [7], в которых представлена теория, позволяющая решать задачи по определению остаточного ресурса металлоконструкций для различных отраслей машиностроения.

Проблема продления срока службы с оценкой остаточного ресурса весьма актуальна для тягового подвижного состава, о чем свидетельствует достаточно

большое количество научных работ. Анализ исследований в этой области показал, что подходы, используемые при определении остаточного ресурса узлов и деталей конструкций, в целом аналогичны. Существенные отличия связаны с моделированием конкретного спектра эксплуатационных нагрузений [8, 9].

Так, в работах [10, 11] представлена методика расчетов напряженного состояния и экспериментальных испытаний по определению уровня напряжений, которые создаются в условиях эксплуатации в несущих конструкциях пригородного и маневрового подвижного состава на основе критерия многоциклового усталостной прочности.

Исследования [12] представляют результаты стендовых испытаний при вибрационном нагружении рам тележек электропоездов серии ЭР1, ЭР2, имеющих длительный срок эксплуатации. На их основе разработаны технические решения, при реализации которых появляется возможность дальнейшей эксплуатации ходовых частей (рам тележек) электропоездов серии ЭР1 и ЭР2, срок службы которых составляет более 50 лет.

В работах ученых АО «ВНИКТИ» [13–15] отмечается актуальность работ по выявлению безопасного ресурса дальнейшей эксплуатации локомотивов с истекшим сроком службы, который изначально назначен заводом-изготовителем, на основе установления фактического технического состояния базовых частей расчетно-экспериментальными методами. Рассматривается целесообразность проведения работ по усовершенствованию и модернизации локомотивов, предусматривающих установление нового назначенного срока службы по критериям его предельного состояния. В статье [16] приведены методы прогнозирования и расчета долговечности несущих конструкций локомотива, в частности рам тележек, при их случайной динамической нагруженности в эксплуатации. За основу принята гипотеза о линейном накоплении повреждений в материале конструкции при напряжениях ниже предела выносливости.

В работе [17] предложена технология нахождения ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава, позволяющая учесть наряду с изменением значений физико-механических характеристик металла при длительной эксплуатации сезонность использования вагонов, что дало возможность спрогнозировать их срок службы.

Выполненный анализ публикаций, в которых освещается проблема определения остаточного ресурса подвижного состава, выработавшего нормативный срок службы, показывает, что решение данной задачи должно включать следующие этапы:

- проверку конструкторской документации, анализ условий эксплуатации, особенностей проведения технических освидетельствований и ремонтов вагонов;
- структуризацию результатов обследования технического состояния, при котором данные визуального контроля, информация об измерении остаточных толщин и контроле сварных швов и основного металла заносятся в разработанные диагностические карты;

- разработку конечно-элементных моделей и последующий анализ напряженно-деформированного состояния конструкций для определения соответствия актуальной нормативной документации;
- определение физико-механических характеристик металла несущих конструкций на момент оценки ресурса;
- осуществление динамико-прочностных испытаний вагонов в условиях характерных режимов нагружения;
- расчет на основе теоретических и экспериментальных данных обоснованного ресурса дальнейшей безопасной эксплуатации вагонов.

Рама тележки главным образом работает в условиях переменных циклических нагрузок, которые способствуют снижению сопротивления усталости конструкции в результате накопления повреждений и деградации свойств материала. Для определения характеристик усталости требуется экспериментальная оценка напряженного состояния металлоконструкции.

Экспериментальные исследования рамы тележки вагонов дизель-поезда серии ДРБ1 выполнялись на базе испытательного центра железнодорожного транспорта Белорусского государственного университета транспорта (БелГУТ), сотрудниками которого с учетом технического состояния и условий эксплуатации дизель-поездов было принято решение о проведении двух этапов испытаний: соударения вагонов (для имитации маневровой работы) и сброса с клиньев (моделирование движения в составе поезда).

Для проведения исследований были отобраны образцы тележек с наихудшим техническим состоянием. Затем был проведен анализ напряженно-деформированного состояния металлоконструкций их рам методом конечных элементов, при котором в качестве исходных данных приняты фактические значения толщин элементов, установленные по результатам технического диагностирования вагонов. Проведенный расчет на прочность продемонстрировал, что прочность рам тележек вагонов дизель-поездов при всех расчетных режимах удовлетворяет требованиям Норм, то есть критерий перехода к натурным испытаниям типовых представителей оказался выполненным.

На основе полученных результатов расчетов далее были выбраны контрольные точки, следуя рекомендациям [18], и разработаны схемы наклеек тензометрических датчиков (рисунок 1).

С целью проверки металлоконструкции вагона на прочность проведены ресурсные испытания в режиме многократных соударений, которые осуществляются на прямом участке пути в светлое время суток. Выполняется серия соударений вагона-бойка в вагон дизель-поезда, сцепленный с вагонами подпора (рисунок 2). Таким образом имитируются ударные нагрузки, которые возникают при осаживании состава или роспуске с сортировочных горок. В ходе экспериментов регистрировались сила удара в автосцепку, скорость набегания на испытуемый вагон вагона-бойка, количество ударов, а также возникающие повреждения. При испытаниях использовались средства измерений и оборудование, приведённые в таблице 1.

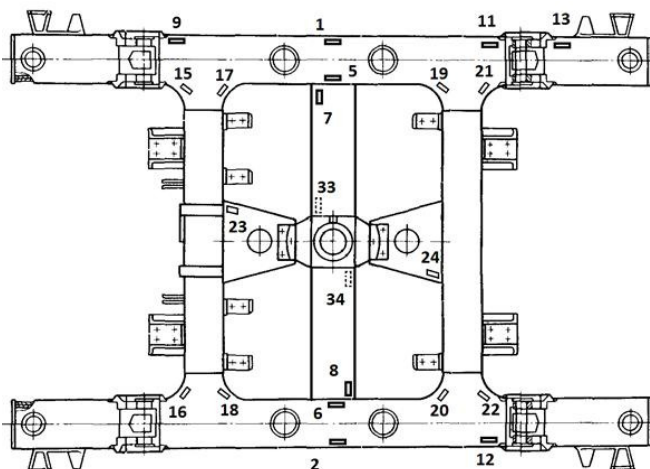
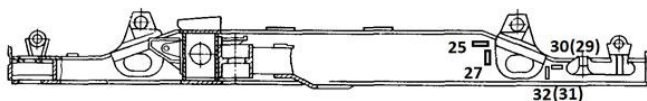


Рисунок 1 – Схема наклейки тензодатчиков на немоторной тележке поезда ДРБ1

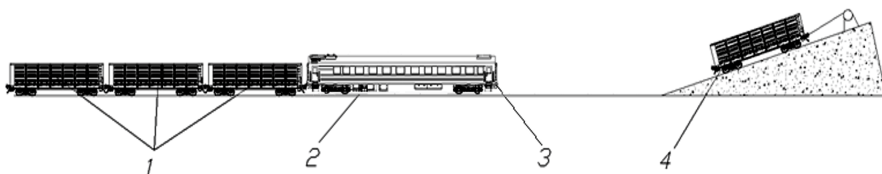


Рисунок 2 – Схема расположения вагонов при испытаниях путем соударения:  
1 – подпоры; 2 – вагон дизель-поезда; 3 – автосцепка-динамометр; 4 – вагон-боек

Таблица 1 – Средства измерения и оборудование

Измеряемый параметр	Наименование средства испытаний (оборудования)
Сила, действующая на испытуемый вагон; напряжения в объекте испытаний	Автосцепка-динамометр СА-3
	Вагон-боек (полувагон)
Скорость движения вагона-бойка	Усилитель измерительный MGCplus RU
Скорость движения вагона-бойка	Секундомер механический СОС пр. 26-2-000
Температура окружающей среды	Комбинированный прибор Testo 610

Для нахождения значений сил соударения вагонов использовалась динамометрическая автосцепка, а скорости соударений вычислялись через время прохождения вагоном-бойком известного расстояния.

Перед началом испытаний выполнялась наклейка тензорезисторов согласно представленной схеме (см. рисунок 1). Они размещались на расстоянии 25–30 мм от сварного шва и 15–20 мм от кромки сопрягаемых деталей (рисунок 3). Также осуществлялась проверка кабелей измерительных схем и разъемов аппаратуры, работы приборов, а также тарировка динамометрической автосцепки. Результаты отражались в журнале испытаний.



Рисунок 3 – Установленные на раме тележки датчики деформаций

В результате проведенных экспериментов, которые выполнялись путем соударения вагона-бойка с испытываемым вагоном дизель-поезда, удерживаемым тремя вагонами подпора, с применением тензодатчиков получены амплитуды напряжений в элементах рамы тележки. От высоты, на которой расположен изначально вагон-боек на горке, зависит скорость соударения и, как следствие, сила удара и амплитудные напряжения в раме тележки. Таким образом испытания проводились, начиная с минимальных значений силы удара и заканчивая ее максимально-допустимой величиной. На рисунке 4 представлены графики, демонстрирующие изменение амплитудных значений напряжений в зависимости от силы удара для точек рамы тележки, которые соответствуют номерам датчиков, указанным на рисунке 1. Максимальные значения напряжений при действии ударной нагрузки 2000 кН приведены на рисунке 5.

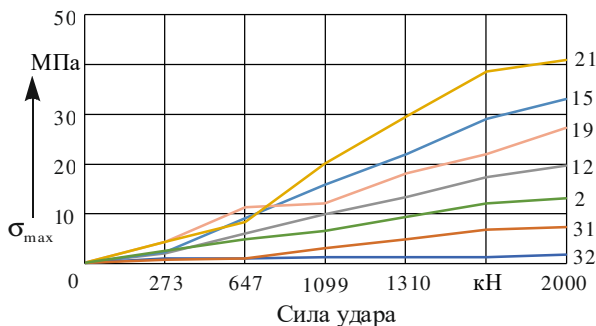


Рисунок 4 – Зависимости максимальных напряжений от силы удара для контрольных точек рамы тележки

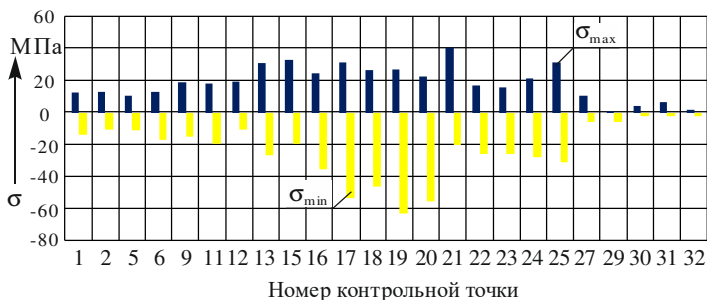


Рисунок 5 – Максимальные напряжения в контрольных точках рамы тележки при силе удара 2000 кН

Отметим, что полученные результаты представляют собой превышение напряжениями значений, которые возникают от загрузки вагона. Фактически возникающие напряжения могут быть получены путем суммирования двух названных видов напряжений.

В результате ударных испытаний в раме тележки было выявлено слабое место. Установлено, что при различных силах соударения до максимального значения, равного 2000 кН, наибольшие напряжения наблюдаются в области сочленения продольной и поперечной балок, где располагается контрольная точка номер 19. Максимальное значение таких напряжений составило 62,9 МПа, что не превышает величину, допускаемую по Нормам.

Заключительный осмотр тележки, который был проведен после окончания испытаний, неисправностей и повреждений не выявил.

Кроме испытаний вагонов при их соударениях для оценки напряжений, которые возникают при режиме движения в составе поезда, также были проведены эксперименты по сбросу вагонов с клиньев. Такие испытания проводились для установленного значения коэффициента вертикальной динамики поддрессоренных частей вагонов  $K_{дв} = 0,3$ . На рисунке 6 представлена диаграмма амплитудных динамических напряжений для режима «сброс с клиньев» для контрольных точек рамы тележки.

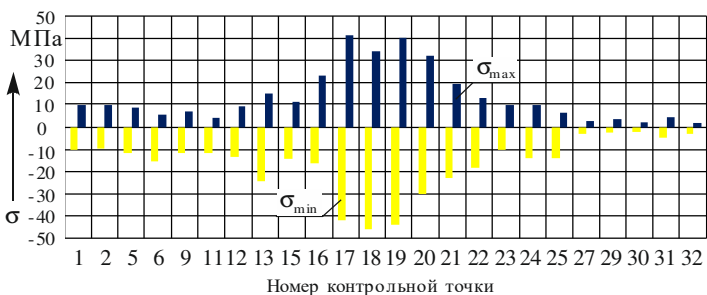


Рисунок 6 – Напряжения, полученные при испытаниях по сбросу вагона с клиньев

Проведенные испытания, в которых исследовался сброс вагонов с клиньев, показали, что наибольшие амплитудные значения напряжений в раме тележки составляют 46,3 МПа (контрольная точка 18, область соединения продольной и поперечной балок).

Как и при испытаниях на соударения после цикла натуральных испытаний был произведен заключительный осмотр рам тележек, который не выявил неисправностей или повреждений.

**Заключение.** В ходе выполнения работ по проведению испытаний тележек вагона дизель-поезда получены следующие результаты:

1 Предложена последовательность действий, позволяющая оценить остаточный ресурс рам тележек вагонов дизель-поезда ДРБ1, которая включает шесть этапов.

2 Разработаны схемы установки тензометрических датчиков, которые основывались на результатах технического обследования и расчетного анализа напряженно-деформированного состояния.

3 Для выбранного образца вагона дизель-поезда выполнен комплекс испытаний по соударению с исследуемым вагоном и сбросу его с клиньев для определения прочности рамы тележки.

4 Установлено, что значения напряжений, возникающих при двух рассмотренных видах испытаний, соответствуют действующим нормативным требованиям и не превышают допускаемого уровня.

5 Полученный в ходе испытаний массив информации о характеристиках прочности рамы тележки дизель-поезда ДРБ1 является основой для проведения расчетов по определению остаточного ресурса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Болотин, В. В.** Ресурс машин и конструкций / В. В. Болотин. – М. : Машиностроение, 1990. – 448 с.

2 **Когаев, В. М.** Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени / В. М. Когаев. – М. : Машиностроение, 1977. – 231 с.

3 **Колмогоров, В. Л.** Напряжения, деформации, разрушение / В. Л. Колмогоров. – М. : Metallurgy, 1970. – 229 с.

4 **Серенсен, С. В.** Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность / С. В. Серенсен, В. П. Когаев, Р. М. Шнейдерович. – М. : Машиностроение, 1975. – 488 с.

5 **Гусев, А. С.** Сопротивление усталости и живучесть конструкций при случайных нагрузках / А. С. Гусев. – М. : Машиностроение, 1989. – 248 с.

6 **Костенко, Н. А.** Прогнозирование надежности транспортных машин : производственно-практическое издание / Н. А. Костенко. – М. : Машиностроение, 1989. – 240 с.

7 **Черепанов, Г. П.** Механика хрупкого разрушения / Г. П. Черепанов. – М. : Наука, 1974. – 640 с.

8 **Antipin, D.Y.** Forecasting of life service of hopper car body load-bearing structure on basis of mathematical modeling methods / D. Y. Antipin, V. V. Kobishanov, A. S. Mitrakov // Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019) : Serie Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham : Springer, 2020. – P. 677–685.

9 Evaluation of railway vehicle car body fatigue life and durability using a multi-disciplinary analysis method / B. Miao [et al.] // International Journal of Vehicle Structures and Systems. – 2009. – Vol. 1, is. 4. – P. 85–92.

10 **Бондарев, О. М.** Методи та дослідження з подовження терміну служби несучих конструкцій тягового рухомого складу для промислового транспорту / О. М. Бондарев, В. Л. Горобець, С. В. Мямлін // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 2 (50). – С. 130–151.

11 **Горобец, В. Л.** Анализ эксплуатационной наработки несущих конструкций подвижного состава в задачах продления сроков его эксплуатации / В. Л. Горобец, А. М. Бондарев, В. М. Скобленко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 35. – С. 10–16.

12 Оценка ресурса несущих конструкций подвижного состава и разработка мероприятий по продлению его срока службы / А. М. Бондарев [и др.] // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 30. – С. 92–102.

13 Безопасная эксплуатация локомотивов по ресурсу их базовых частей / Э. С. Оганьян [и др.] // Безопасность труда в промышленности. – 2017. – № 6. – С. 54–58.

14 Модернизация маневровых тепловозов с продлением срока службы / Г. М. Волохов [и др.] // Локомотив. – 2019. – № 4 (748). – С. 32–34.

15 **Оганьян, Э. С.** О порядке обновления парка и продления сроков службы локомотивов и их основного оборудования / Э. С. Оганьян, Г. М. Волохов, Г. И. Гаджиметов // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 3. – С. 69–71.

16 Методы определения ресурса нерезервируемых несущих элементов подвижного состава и пути / Н. А. Махутов [и др.] // Бюллетень объединенного ученого совета ОАО РЖД. – 2017. – № 3. – С. 19–39.

17 **Коновалов, Е. Н.** Прогнозирование ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава при длительной эксплуатации: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е. Н. Коновалов. – Гомель : БелГУТ, 2020 – 28 с.

18 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества: РД 24.050.37-95. – Введ. 02.02.1995. – М. : ГосНИИВ, 1995. – 101 с.

*L. V. OGORODNIKOV*

*Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

## **DYNAMIC TESTING OF CARS BOGIE FRAMES OF LONG-OPERATED DRB1 DIESEL TRAIN**

The results of experiments on the DRB1 series diesel train cars bogie frame stress-strain state determination are presented. These is developed the individual scheme for sticking deformation sensors onto the bogie frame, and the arrays of dynamic stresses are obtained for various loading options of the structure. It is established that the stress values do not exceed the permissible level and comply with the regulatory requirements. The array of information obtained during the tests on the strength of the DRB1 diesel train bogie frame can be used to determine its residual life.

**Keywords:** bogie frame, load-bearing structure, stress-strain state, tests, residual life.

Получено 11.11.2022