

## НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ (SCIENTIFIC PUBLICATIONS)

ISSN 2519-8742. Механика. Исследования и инновации. Вып. 11. Гомель, 2018

---

УДК 629.4.027.5

*В. В. БЕЛОГУБ, Е. Н. КОНОВАЛОВ, Л. В. ОГОРОДНИКОВ, А. В. ПУТЯТО*  
*Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь*

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КУЗОВОВ ВАГОНОВ МЕТРОПОЛИТЕНА ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Приведены результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния кузовов головного и промежуточного вагонов метрополитена после длительной эксплуатации. Получены массивы динамических напряжений в конструктивных элементах кузовов вагонов при различных режимах эксплуатации. Значения амплитудных напряжений не превышают допустимого уровня, установленного нормативной документацией. Полученные экспериментальные данные могут быть использованы для оценки остаточного ресурса несущих конструкций вагонов метрополитена после длительной эксплуатации.

**Ключевые слова:** вагон метрополитена, остаточный ресурс, напряженное состояние, экспериментальное исследование.

**Введение.** Перевозку пассажиров в Минском метрополитене выполняют вагоны моделей 81-717 (головной) и 81-714 (промежуточный), общий вид которых приведен на рисунке 1. Срок их службы, назначенный заводом-изготовителем, составляет 31 год и к настоящему времени истекает. Практика эксплуатации и ремонта вагонов показала отсутствие существенных отказов, связанных с неисправностями несущих конструкций. Оценка фактического технического состояния вагонов метрополитена показала, что коррозионный износ конструктивных элементов не превышает 7 % от номинальных значений. Вышесказанное позволило предположить, что несущие конструкции вагонов обладают существенным остаточным ресурсом.

Процедура оценки остаточного ресурса широко применяется для железнодорожного подвижного состава [1–3], в том числе с учетом фактических характеристик материала несущих конструкций [4, 5]. Она предполагает экспериментальную оценку напряженного состояния металлоконструкций вагонов после длительной эксплуатации, что и явилось целью настоящей работы.



Рисунок 1 – Общий вид головного и прицепного вагонов метрополитена

**Методика проведения экспериментальных исследований.** Выполненные ранее расчеты прочности кузовов вагонов для установления соответствия их конструкции актуальным требованиям прочности [6] легли в основу разработки схемы установки тензометрических датчиков в контрольных точках, которые показаны на рисунке 2.

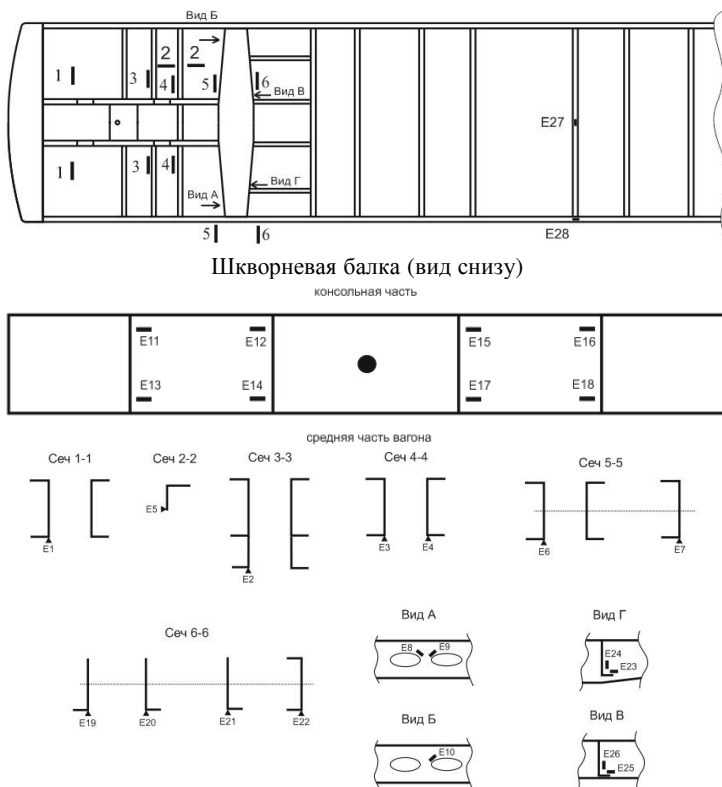


Рисунок 2 – Схема расположения тензометрических датчиков

Примеры расположения тензодатчиков на металлоконструкции вагона приведены на рисунке 3.

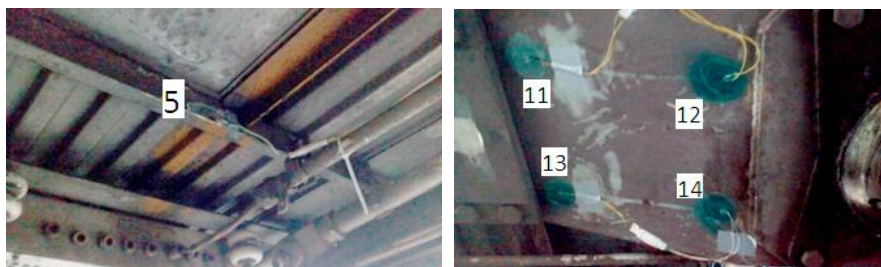


Рисунок 3 – Расположение тензодатчиков на металлоконструкции вагона

Испытания проводились в составе опытного поезда, составленного из головного вагона модели 81-717, промежуточного вагона модели 81-714 и хвостового вагона метрополитена модели 81-717. Вагоны загружались до полной грузоподъемности.

Измерения динамических напряжений в элементах металлоконструкции вагона метрополитена проводились:

- на прямых участках пути при движении со скоростями 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 км/ч;
- на кривых для скоростей 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 км/ч;
- при торможении до полной остановки со скоростей: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 км/ч.

Регистрация измеряемых процессов производилась кадрами различной длительности в зависимости от длины опытного участка пути и скорости движения опытного состава.

При обработке зарегистрированных процессов для каждого из них по каждому кадру выделялся характерный участок пути: прямая, кривая и торможение до полной остановки. Доля, приходящаяся на эксплуатацию в режиме «тяга», составила 0,325; в режиме «торможение» – 0,325; в режиме «движение в кривой» – 0,35.

Дополнительно проведены испытания по сбросу с клиньев, при которых регистрировался прогиб рессорного подвешивания, необходимый для определения коэффициента вертикальной динамики вагона и частоты колебания кузова.

**Результаты экспериментальных исследований.** Для каждой контрольной точки получены максимальные значения амплитуд динамических напряжений, возникающих при движении во всем диапазоне скоростей, силы в автосцепном устройстве, коэффициент вертикальной динамики, а также частоты колебаний кузовов вагонов метрополитена моделей 81-714 и 81-717.

Характерные экспериментальные зависимости напряжений от времени представлены на рисунке 4. На рисунке 5 приведена зависимость изменения во времени прогиба рессорного подвешивания вагона при сбросе его с клиньев.

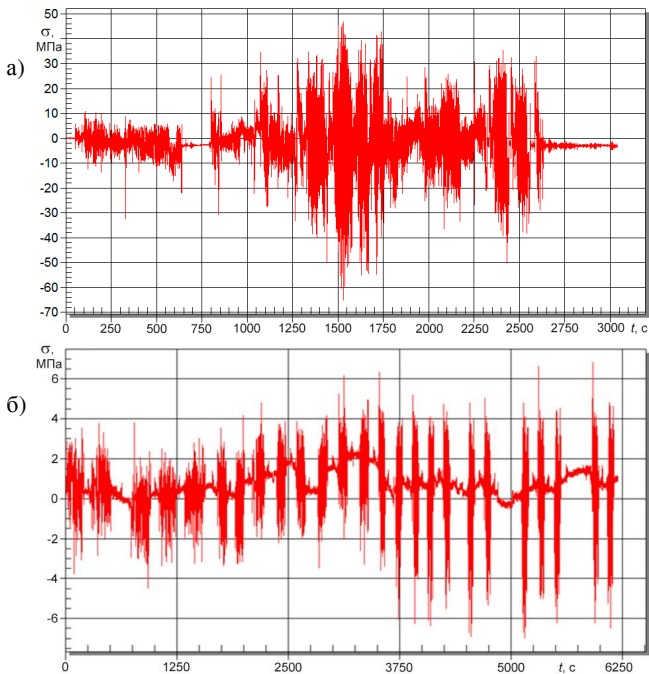


Рисунок 4 – Осциллограммы напряжений  $\sigma$ : *a* – для тензодатчика E5 вагона метрополитена модели 81-714; *б* – для тензодатчика E11 вагона модели 81-717

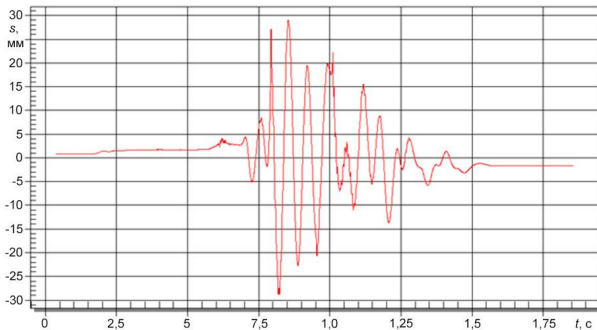


Рисунок 5 – Линейные перемещения  $s$  при сбросе с клиньев вагона модели 81-714

В результате обработки экспериментальных данных получены массивы амплитудных значений напряжений для каждой контрольной точки при различных режимах эксплуатации и диапазонов скоростей движения. Некоторые результаты на примере датчика E5 приведены в таблице 1. В ней  $\sigma_{\max}$ ,  $\sigma_{\min}$  – значения максимальных и минимальных динамических напряжений в

контрольной точке;  $\sigma_a^{\text{исп}}$  и  $\sigma_m^{\text{исп}}$  – амплитуда и среднее напряжение при несимметричном цикле нагружения;  $\sigma_a$  – амплитуда динамического напряжения, приведенная к эквивалентному симметричному циклу.

Таблица 1 – Результаты определения напряжений (вагон модели 81-717)

$E_i$	$\sigma_i$ , МПа	$V_i$ , км/ч							
		10	20	30	40	50	60	70	80
5	Режим «тяга»								
	$\sigma_{\max}$	-28	-23,4	-20,7	-23,2	-19,3	-7,8	6,3	-5,9
	$\sigma_{\min}$	-30	-35,7	-47,4	-47	-45,7	-64,4	-58,6	-74,7
	$\sigma_a^{\text{исп}}$	1	6,15	13,35	11,9	13,2	28,3	32,45	34,4
	$\sigma_m^{\text{исп}}$	-29	-29,55	-34,05	-35,1	-32,5	-36,1	-26,15	-40,3
	$\sigma_a$	1	6,15	13,35	11,9	13,2	28,3	32,45	34,4
	Режим «кривая»								
	$\sigma_{\max}$	-20,7	-22,4	-30,3	-14,1	-1,6	-5,8	-18,5	-11,8
	$\sigma_{\min}$	-34,7	-34,3	-39,5	-31,4	-51,8	-47,4	-45	-54,9
	$\sigma_a^{\text{исп}}$	7	5,95	4,6	8,65	25,1	20,8	13,25	21,55
	$\sigma_m^{\text{исп}}$	-27,7	-28,35	-34,9	-22,75	-26,7	-26,6	-31,75	-33,35
	$\sigma_a$	7	5,95	4,6	8,65	25,1	20,8	13,25	21,55
	Режим «торможение»								
	$\sigma_{\max}$	-21,5	-21,9	-29,9	-4,7	2,6	-21,9	-18,9	-26,2
	$\sigma_{\min}$	-43,5	-28	-44,4	-35,5	-46,9	-54,1	-64	-64,5
	$\sigma_a^{\text{исп}}$	11	3,05	7,25	15,4	24,75	16,1	22,55	19,15
	$\sigma_m^{\text{исп}}$	11	3,05	7,25	15,4	24,75	16,1	22,55	19,15
	$\sigma_a$	11	3,052	7,25	15,4	24,75	16,1	22,55	19,15

На рисунке 6 приведены частоты появления различных диапазонов значений напряжений в контрольной точке E5 вагона модели 81-714. Отметим, что значения экспериментально определенных напряжений не превысили допусковых, установленных в нормативной документации [6].

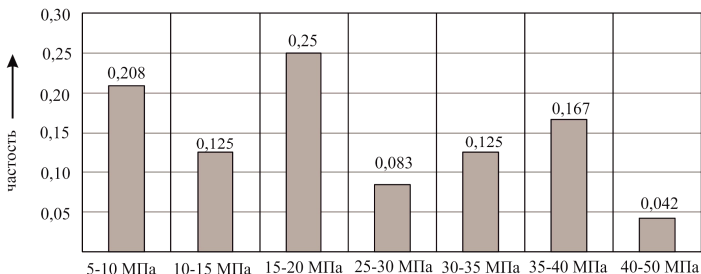


Рисунок 6 – Обобщенная эксплуатационная нагруженность для контрольной точки E5 (вагон модели 81-714)

**Заключение.** В работе получены следующие основные результаты:

1 Выполнены экспериментальные исследования напряженного состояния кузовов головного и промежуточного вагонов метрополитена после длительной эксплуатации.

2 Получены массивы динамических напряжений в конструктивных элементах кузовов при различных режимах эксплуатации. Результаты измерений показали, что амплитудные значения напряжений не превышают допускаемого уровня, установленного нормативной документацией.

3 Полученные результаты оценки напряженного состояния могут быть использованы для определения остаточного ресурса металлоконструкций вагонов метрополитена моделей 81-714/717 после длительной эксплуатации.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 **Борисов, С. В.** Прогнозирование остаточного ресурса и продление срока службы вагонов метрополитена: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / С. В. Борисов; ПГУПС. – СПб., 2006. – 168 с.

2 **Григорьев, П. С.** Прогнозирование остаточного ресурса рам промышленных тепловозов: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / П. С. Григорьев; МГУПС. – М., 2016. – 150 с.

3 **Boiko, A.** Assessment of remaining resource of tank wagons with expired life time: Summary of Doctoral Dissertation: Engineering sciences / A. Boiko; Riga Technical University. – Riga, 2013. – 39 p.

4 **Kanavalau, Ya.** Evaluation Techniques for Residual in-Use Utility of the Railway Car Hopper-Batcher Bearing Structure with a Long-term Service / Ya. Kanavalau, A. Putsiata // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 134. – P. 57–63.

5 **Putsiata, A.** Prediction of a Resource of Flat Wagon's Frame for Transportation of Packages of Rail and Ties after Long Term Operation / A. Putsiata, Ya. Kanavalau // *Mechanika 2017: Proceedings of 22<sup>nd</sup> International Conference, 19 May 2017, Kaunas University of Technology, Lithuania.* – 2017. – P. 312–317.

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

*V. V. BELAHUB, Ya. N. KANAVALAU, L. V. AGARODNIKAU, A. U. PUTSIATA*  
*Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

### **THE EXPERIMENTAL ESTIMATION OF STRESSED STATE OF THE SUBWAY CAR BODIES AFTER LONG-TERM OPERATION**

The results of the car bodies' stress-strained condition experimental determination for the head and intermediate subway cars after a long-term operation are presented. There are obtained the arrays of dynamic stresses in the car structural elements for different operating conditions. The stresses values do not exceed the allowable level established by normative documentation. The obtained experimental data can be used to estimate the residual resource of the subway cars constructions after the long-term operation.

Получено 09.10.2018