

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 629.4.027.2:629.4.018

doi: 10.30987/2782-5957-2025-8-55-65

УСТАЛОСТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ БОКОВЫХ РАМ И НАДРЕССОРНЫХ БАЛОК ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Никита Владимирович Комаровский¹, Александр Генрикович Отока^{2✉}, Марина Григорьевна Гегедеш³

¹ Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Республика Беларусь

² Гомельское вагонное депо РУП «Гомельское отделение Белорусской железной дороги», Гомель, Республика Беларусь

³ Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Республика Беларусь

¹ nikgenat67@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-9890-0025>

² otokaa@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-9926-9439>

³ maryna.g.kuzn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0776-9325>

Аннотация

В статье описаны процедура проведения и результаты усталостных испытаний надressорных балок и боковых рам тележек вагонов. Выполнено сравнение полученных результатов испытаний на усталость и контроля на соответствие механическим свойствам, качеству поверхности, микро- и макроструктуре со значениями, регламентированными государственными стандартами и нормативными документами. Произведена оценка причин появления и характера распространения трещин в надressорных балках и боковых рамках тележек

вагонов, выявленных магнитопорошковым методом неразрушающего контроля. На основе экспериментальных данных построены кривые усталости исследуемых объектов испытаний. Предложены варианты повышения прочности рассмотренных конструкций.

Ключевые слова: рама, балка, тележка вагона, испытание, вязкость, магнитопорошковый контроль, макроструктура, макроструктура, прочность, ресурс.

Ссылка для цитирования:

Комаровский Н.В. Усталостные испытания боковых рам и надressорных балок тележек грузовых вагонов / Н.В. Комаровский, А.Г. Отока. М.Г. Гегедеш // Транспортное машиностроение. – 2025. - № 8. – С.55-65. doi: 10.30987/2782-5957-2025-8-55-65.

Original article

Open Access Article

FATIGUE TESTS OF SOLEBARS AND BOLSTERS OF FREIGHT CAR BOGIES

Nikita Vladimirovich Komarov¹, Aleksandr Henrikovich Otoka^{2✉}, Marina Grigorievna Gegedesh³

¹ Belarusian State University of Transport, Gomel, Republic of Belarus

² Gomel Carriage Depot Gomel Branch of Belarusian Railways, Gomel, Republic of Belarus

³ Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Republic of Belarus

¹ nikgenat67@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-9890-0025>

² otokaa@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-9926-9439>

³ maryna.g.kuzn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0776-9325>

Abstract

The paper describes the procedure for carrying out and the results of fatigue tests of bolsters and solebars of car bogies. The results of fatigue testing and control for compliance with mechanical properties, surface quality, micro- and macrostructure are com-

pared with the values regulated by state standards and regulatory documents. The causes of occurring and propagating of cracks in the bolsters and solebars of car bogies, identified by the magnetic powder method of non-destructive testing are estimated. Fatigue curves of

the studied test objects are constructed on the basis of experimental data. Ways to increase the strength of the considered structures are proposed.

Reference for citing:

Komarovsky NV, Otoka, AG, Gegedesh MG. Fatigue tests of solebars and bolsters of freight car bogies. Transport Engineering. 2025;8:55-65. doi: 10.30987/2782-5957-2025-8-55-65.

Введение

Компоненты, входящие в конструкцию тележек вагонов, в процессе эксплуатации поездов находятся под воздействием многократных циклических нагрузок, обусловленных динамическим взаимодействием конструктивных элементов подвижного состава между собой и элементами верхнего строения пути, а также колебаниями в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Наиболее часто происходит разрушение надрессорных балок (НБ) и боковых рам (БР) тележек вагонов. В процессе эксплуатации подвижного состава НБ и БР испытывают сложное напряженное состояние под действием различных сил.

БР является составной частью несущей конструкции тележки и в процессе эксплуатации передает нагрузку от НБ на шейки двух осей колесных пар через боковые узлы. НБ передает нагрузки от кузова вагона на две БР через рессорное подвешивание. Таким образом, отказ любого из этих компонентов системы тележки вагона, например, излом БР (рис.1), приводит к невозможности эксплуатации вагона, и, следовательно, к возникновению ситуации, при которой не обеспечивается безопасность движения подвижного состава. Все это обуславливает предъявление особых требований к продолжительности эксплуатации перечисленных конструкций с заданной высокой надежностью до их перехода в предельное состояние, когда дальнейшая эксплуатация исключена.

Несмотря на то, что в настоящее время разрабатываются новые и модернизируются имеющиеся конструкции подвижного состава [1–3], описанные компоненты тележек вагонов по-прежнему используются, а боковые рамы тележки подвержены повреждениям в виде усталостных трещин. Причем их ресурс, рассчи-

Keywords: frame, bolster, car bogie, testing, viscosity, magnetic powder control, microstructure, macrostructure, strength, resource.

танный в процессе проектирования, как правило, не учитывает погрешности качества современного литья, в первую очередь, отливки БР [4, 5], и является завышенным, что повышает вероятность возникновения аварийной ситуации в процессе эксплуатации подвижного состава. На практике подтверждается достаточно большое количество эксплуатационных трещин в НБ и БР, выработавших менее половины своего назначенного ресурса [7], поскольку не рассчитаны на действие больших значений амплитудных напряжений, возникающих в различных зонах литьих деталей в процессе эксплуатации.

Как правило, для изучения напряженного состояния используются традиционные натурные испытания [8, 9], а также расчеты на основе компьютерного моделирования [10]. Разные авторами предлагается новые методы проведения ресурсных испытаний БР и НБ тележек вагонов.

Например, в работе [11] в целях установления численных значений вертикальных, боковых и продольных сил устанавливались тензорезисторы в различные места БР на основе её анализа напряженного состояния. В процессе поездных испытаний на основе данных о количестве зарегистрированных размахов напряжений для датчика вычислялись приведенные амплитуды напряжений, эквивалентные по повреждающему действию распределению амплитуд напряжений за предназначенный ресурс, возникающих от действия эксплуатационных нагрузок. В соответствии с тензодатчиками наиболее нагруженными оказались зона нижнего радиуса рессорного проема, внутреннего радиуса бокового проема и верхнего радиуса рессорного проема.



Рис.1. Излом БР в зоне внутреннего угла бокового проема из наличия пор на глубине ≥ 2 мм
Fig. 1. Fracture of the side frame (SF) in the area of the inner corner of the axle box opening due to the presence of pores at a depth of ≥ 2 mm

Таким образом, целью представленной работы является анализ усталостной прочности надрессорных балок и боковых рам тележек вагонов с учетом их эксплуатационных режимов.

В системе оценки качества готовой продукции предприятий-изготовителей основным прочностным параметром деталей принято считать уровень сопротивления усталости. К основным маркам сталей,

применяемых при изготовлении НБ и БР, относят стали углеродистые 20Л и низколегированные 20ГЛ, 20ФЛ, 20ГТЛ и 20ХГНФТЛ.

Для оценки статической и усталостной прочности БР и НБ тележки вагона применена стандартная методика испытаний [13]. На рис. 2 приведен общий вид НБ и БР тележки, нагруженных в соответствии с нормативными требованиями.



Рис. 2. Статические испытания (а) БР (б) НБ
Fig. 2. Static tests (a) SF (b) SB

Испытания БР и НБ проведены методом отбора образцов в количестве 9 штук каждого наименования объекта испытаний на соответствие требованиям государственного стандарта [12]. Основные показатели для оценки их соответствия чертежам и требованиям ГОСТ:

– вертикальная статическая испытательная нагрузка, воспринимаемая без разрушения;

– величина коэффициента запаса сопротивления усталости, которая должна быть не менее 1,8 при вероятности неразрушения не менее 0,95 при нагрузках.

Испытательная нагрузка передается на нижний пояс рамы с помощью П-образного приспособления через систему сегментов, обеспечивающих проектное распределение нагрузки на посадочные места пружин рессорного комплекта. Испытание каждой детали произведено для случая симметричного цикла нагружения до разрушения или достижения базового числа циклов $N_0 = 10^7$. В зависимости от осевой нагрузки определена средняя нагрузка P . В качестве источников нагружения использовались различные актуаторы (нагружающие цилиндры).

Испытательная нагрузка к НБ прикладывалась через вкладыш, выполненный по форме пятника. В случае появления

трещины после прекращения испытаний на усталость деталь нагружалась квазистатической нагрузкой до раскрытия макротрещины для изучения особенностей зоны усталостного разрушения.

Как показали результаты проведенных испытаний, основные разрушения НБ наблюдаются в месте перехода наклонного пояса в опорную поверхность (зарождение усталостной трещины произошло в центре опорной поверхности), по границе (рис. 3) нижнего пояса (зарождение усталостной трещины произошло в центре нижнего пояса), что соответствует случаям разрушения, встречающимся в процессе эксплуатации тележки.



Рис. 3. Характер усталостного разрушения НБ при статических испытаниях
Fig. 3. The nature of fatigue failure of SB during static tests

На практике также разрушение происходит около ребер (рис. 4), ограничивающих перемещение рессорного комплекта, в опорной поверхности под рессорный комплект, в нижнем поясе. Из партии 9 штук не произошло разрушения только для двух НБ (балка достигла базового количества циклов, трещины отсутствуют).

Кроме явных трещин при испытаниях также образуются микротрещины, которые могут быть эффективно обнаружены с помощью неразрушающих методов контроля, в частности, магнитопорошкового. В соответствии с нормативным документом [6], зоны обязательного магнитопорошкового контроля зависят от модели те-

лежки. Например, у НБ зонами, в которых наиболее часто появляются трещины, являются опорная поверхность подпятника (рис. 5а), переход от наружного бурта подпятника к верхнему поясу (рис. 5б), нижний пояс, поверхность вокруг технологических окон и др. У БР это наружный и

внутренний угол бурового проема (рис. 6а), наклонный и верхний (рис. 6б) пояс, вертикальная стенка наружного и внутреннего угла бурового проема, вертикальная стенка наклонного пояса, кромка наружного угла бурового проема и др.



Рис. 4. Характер усталостного разрушения
БР при статических испытаниях
Fig. 4. The nature of fatigue failure of SF during static tests

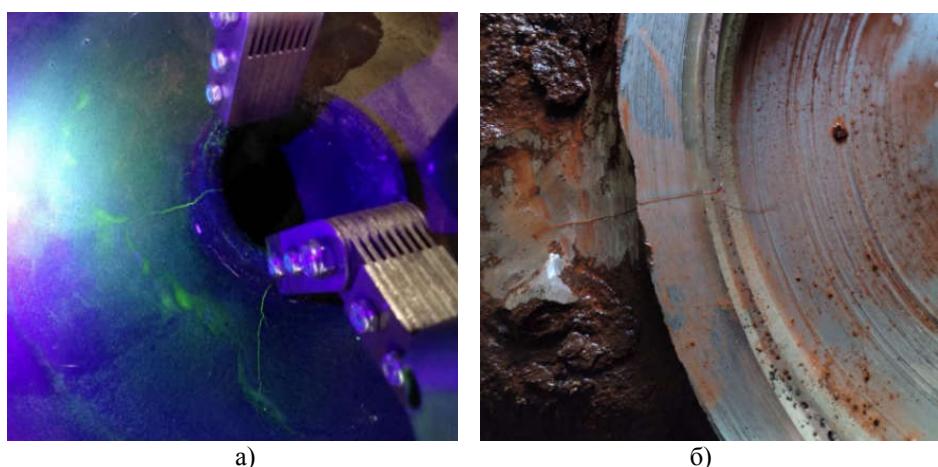


Рис. 5. Выявление трещин в НБ магнитопорошковым методом с использованием электромагнита (а) на опорной поверхности подпятника, переходящие на внутренний бурт (люминесцентный контроль) (б) на опорной поверхности подпятника, переходящая на наружный бурт и верхний пояс
Fig. 5. Detection of cracks in the superstructure beam (SB) by the magnetic powder method using an electromagnet (a) on the support surface of the pendulum, passing to the inner collar (luminescent control) (b) on the support surface of the pendulum, passing to the outer collar and upper belt



а)



б)

Рис. 6. Выявление трещин в БР магнитопорошковым методом с использованием электромагнита (а) на боковой стенке в зоне внутреннего угла боксового проема [2018 год изготовления, длина трещины 30 мм] (б) в верхнем поясе над технологическим проемом

Fig. 6. Detection of cracks in the SF by the magnetic powder method using an electromagnet (a) on the side walls in the area of the inner corner of the axle box opening [2018 year of manufacture, crack length 30 mm] (b) in the upper belt above the technological opening

На основе результатов испытаний, проведенных для образцов НБ и БР в количестве 9 штук, построены кривые усталости (рис. 7, 8). Вертикальная статическая испытательная нагрузка, воспринимаемая НБ без разрушения, составила 2443 кН, что на 6,2 % больше минимальных допускаемых значений (допускается не менее 2300 кН), а величина коэффициента запаса сопротивления усталости в 1,46 раза превысила минимальное допускаемое значение (допускается не менее 1,8) и составила 2,63 при вероятности неразрушения не менее 0,95.

Вертикальная статическая испытательная нагрузка, воспринимаемая БР без разрушения, составила 2750 кН, то есть имеется резерв 5,7% от допускаемой величины (допускается не менее 2600 кН), а величина коэффициента запаса сопротивления усталости при вероятности неразрушения не менее 0,95 составила 1,83 (допускается не менее 1,8).

Как показали результаты проведенных испытаний, основные разрушения БР происходили по сливному отверстию (зарождение усталостной трещины произошло в месте перехода закругления рамы в площадку под пружины, в отдельных БР в изломе присутствовали небольшое количество флокенов) и по наклонному поясу (в

отдельных БР в изломе присутствовали небольшое количество флокенов). Из партии 9 штук не произошло разрушения только для одной боковой рамы (рама достигла базового количества циклов, трещины отсутствуют). На практике также разрушение происходит в нижнем углу рессорного проема, по нижнему поясу, по опорной площадке для пружин с выходом на сливное отверстие.

Величина воспринимаемой без разрушения вертикальной статической испытательной нагрузки НБ определена с помощью стенда статических испытаний YAW-5000A. Результаты испытаний НБ приведены в табл. 1.

Величина воспринимаемой без разрушения вертикальной статической испытательной нагрузки БР также определена с использованием стенда статических испытаний YAW-5000A. Результаты испытаний БР приведены в табл. 2.

На основании паспорта качества испытуемая партия БР и НБ соответствует предъявляемым к подобным конструктивным элементам требованиям, принята службой качества предприятия-изготовителя, прошла инспекторский контроль по государственному стандарту [14] и признана годной для эксплуатации. Химический состав и механические свойства стали

соответствуют требованиям государственного стандарта [12]. Величина гамма-процентного ресурса детали с вероятностью $\gamma = 95\%$ составляет 32 года.

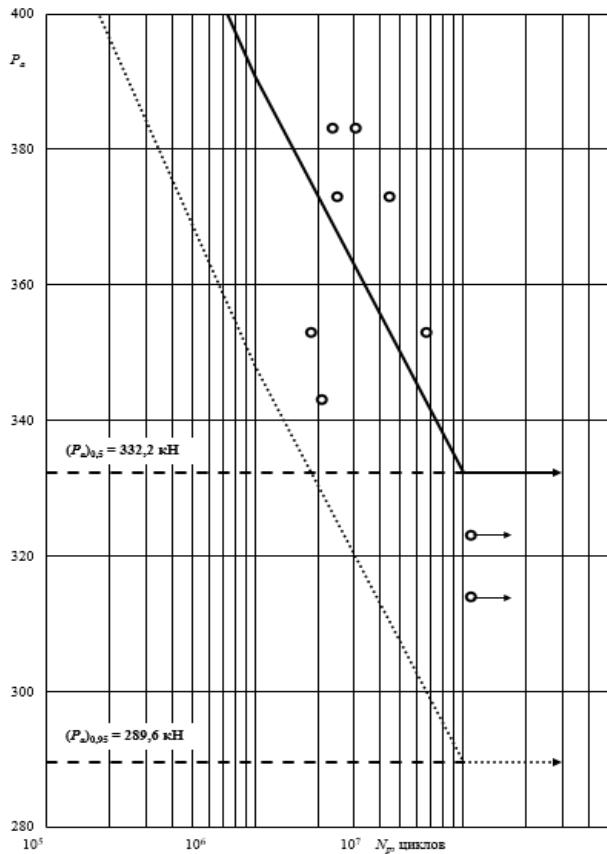


Рис. 7. Кривая усталости надрессорной балки
Fig. 7. Fatigue curve of the bolster

Кроме того, в процессе работы с объектами испытаний определены механические свойства материалов по темплетам – образцам, вырезанным из НБ и БР.

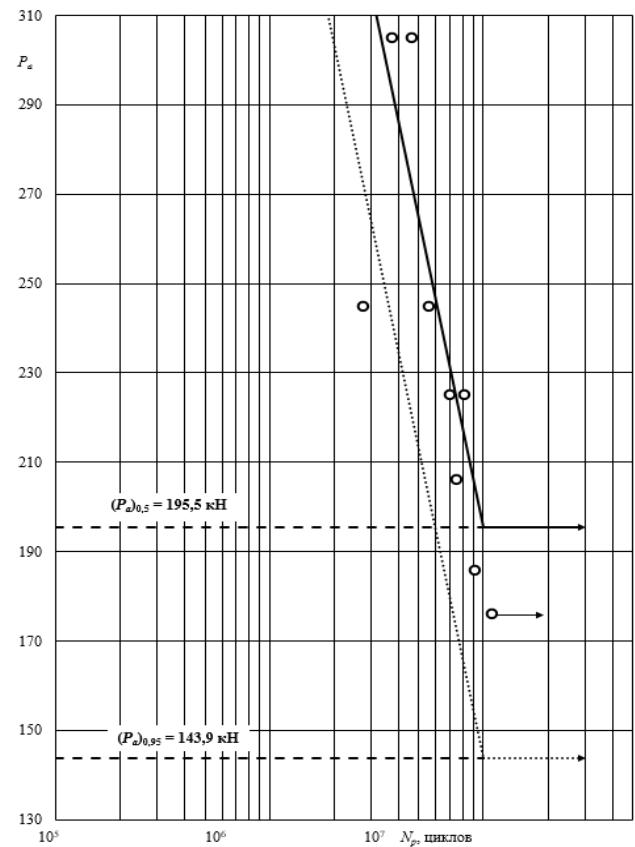


Рис. 8. Кривая усталости боковой рамы
Fig. 8. Side frame fatigue curve

Результаты испытаний надрессорной балки

Test results of the bolster

Таблица 1

Table 1

Скорость возрастания силы, кН/с	Величина вертикальной статической испытательной нагрузки, кН			Сведения о разрушении или потере несущей способности (да/нет)
	по НД	по НД + 5 %	фактическое значение	
10	2300	2415	2443,7	Нет

Результаты испытаний боковой рамы

Test results of the side frame

Таблица 2

Table 2

Скорость возрастания силы, кН/с	Величина вертикальной статической испытательной нагрузки, кН			Сведения о разрушении или потере несущей способности (да/нет)
	по НД	по НД + 5 %	фактическое значение	
10	2600	2730	2750,0	Нет

По результатам испытаний на статическое растяжение определены предел текучести σ_t , временное сопротивление на разрыв σ_b , относительное удлинение δ , относительное сужение ψ и ударная вязкость K_{CV-60} материалов изготовления изделий. Результаты сведены в табл. 3.

Таким образом, механические характеристики образцов, выполненных из материалов БР и НБ, соответствуют предъявляемым к ним требованиям: фактический предел текучести БР и НБ превысил допускаемое минимальное значение соответ-

ственно на 7,0 % и 2,6 %; временное сопротивление на разрыв соответственно выше в 1,12 раза и 1,06 раза; относительные удлинение и сужение более, чем 1,6 раза больше минимальных значений; ударная вязкость фактическая БР и НБ в 1,45 и 2,1 раза больше минимально допускаемой.

Микроструктура НБ и БР стали контролировалась визуально на шлифе под оптическим микроскопом при увеличениях кратностью $\times 100$ (рис. 9) и $\times 500$ (рис. 10).

Таблица 3

Результаты испытаний образцов боковой рамы и надрессорной балки на статическое растяжение

Table 3

Test results of samples of the side frame and the bolster for static tension

Деталь	σ_t , МПа		σ_b , МПа		δ , %		ψ , %		K_{CV-60} , кДж/м ²	
	допуск. знач.	факт. знач.	допуск. знач.	факт. знач.	допуск. знач.	факт. знач.	допуск. знач.	факт. знач.	допуск. знач.	факт. знач.
БР	≥ 343	367	≥ 510	570	≥ 18	30	≥ 30	66	≥ 200	290
НБ		352		540		29,8		67		420

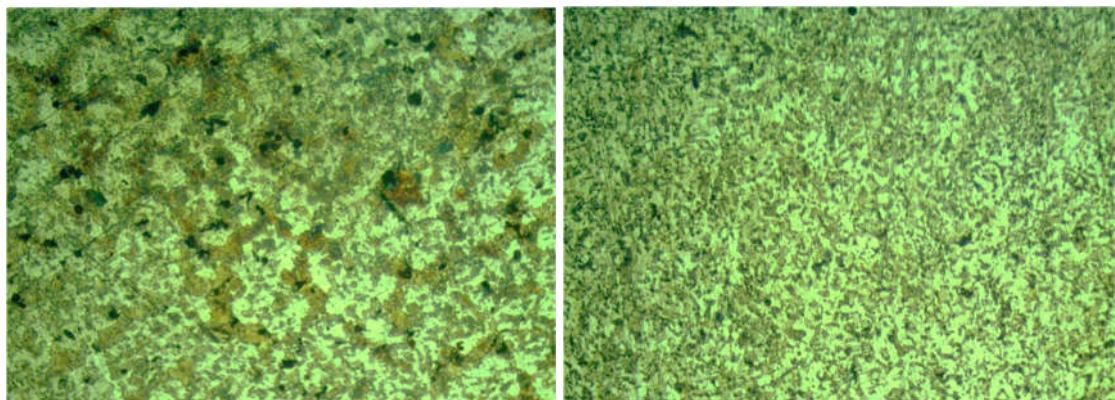


Рис. 9. Микроструктура при увеличении $\times 100$ (а) НБ (б) БР
Fig. 9. Microstructure at $\times 100$ magnification (a) SB (b) SF

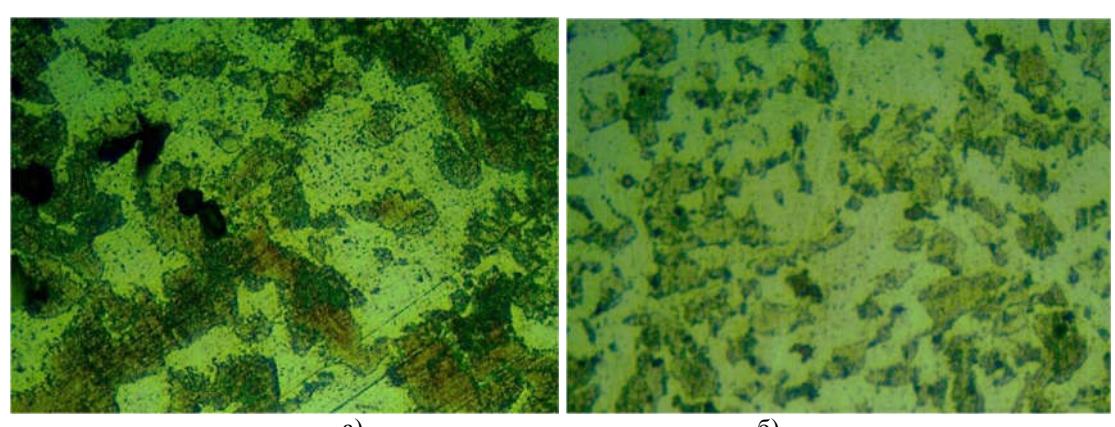


Рис. 10. Микроструктура при увеличении $\times 500$ (а) НБ (б) БР
Fig. 10. Microstructure at $\times 500$ magnification (a) SB (b) SF

Шлиф для контроля микроструктуры вырезался из зоны нижнего пояса балки надрессорной (площадь сечения шлифа более 1 см²). Оценка микроструктуры проводилась по шкале микроструктур в соответствии с государственным стандартом [12].

Величина зерна определена методом сравнения с эталонными шкалами по государственному стандарту [15].

Заключение

Партия испытуемых образцов БР и НБ тележки грузовых вагонов выдержали испытания и соответствуют требованиям государственного стандарта [12] и таможенного регламента [16]. Заключение о соответствии вынесено на основании бинарного правила принятия решений (правила простой приемки) путем сравнения значений результатов испытаний, принятых по фактически полученным значениям без учета расширенной неопределенности, с нормативными значениями, установленными НД.

Вертикальная статическая испытательная нагрузка, воспринимаемая НБ без разрушения, на 6,2 % больше минимальных допускаемых значений, а величина коэффициента запаса сопротивления усталости в 1,46 раза превысила минимальное допускаемое значение при вероятности неразрушения не менее 0,95. Фактический предел текучести БР и НБ составил соответственно 107,0 % и 102,6 % от минимально допускаемого; временное сопротивление на разрыв соответственно выше в 1,12 раза и 1,06 раза; относительные удлинение и сужение более, чем 1,6 раза больше минимальных значений; фактическая ударная вязкость БР и НБ на 45 % и 110 %

Описание микроструктуры: микроструктура феррито-перлитная, мелкозернистая, с отдельными выделениями неравноосных зерен феррита (B1, B5). Номер зерна 8 по государственному стандарту [15]. Проверка на наличие трещин проведена на основе магнитопорошкового метода контроля способом приложенного поля с применением электромагнита. Трещины не обнаружены.

соответственно больше минимально допускаемой.

При этом нормативных рекомендаций для оценки всех действующих динамических эксплуатационных нагрузок в развернутом виде нет. Существующая методика стендовых испытаний на усталость позволяет оценить предел выносливости литых деталей на этапе изготовления, однако учитывает нагружение деталей только вертикальной нагрузкой. В результате могут быть с высокой точностью оценены сопротивление усталости наклонного пояса, угла бокового проема и нижнего угла рессорного проема, поскольку, как показывает практика, по этим зонам происходит разрушение боковой рамы при нормативных испытаниях. В то же время, как показывает опыт, по остальным зонам суммарное количество усталостных трещин в эксплуатации может достигать значительно больших величин, что требует проведения дополнительных видов испытаний, одним из методов проведения, которых может являться компьютерное моделирование на основе полученных в ходе проведения стандартных испытаний усталостных кривых.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сенько В.И. О несущей способности надрессорных балок тележек грузовых вагонов / В.И. Сенько, И.Ф. Пастухов и [др.] // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. №1. 2009. С. 16-20.
2. Сенько В.И. Способ оценки остаточного ресурса литых деталей тележек грузовых вагонов / В.И. Сенько, И.Ф. Пастухов и [др.] // Вестник БелГУТа: наука и транспорт. №1-2 (14-15). 2007. С. 104-108.
3. Юнусов С.З. Исследование прочностных характеристик надрессорной балки тележки грузового вагона на циклическую нагрузку / С.З. Юнусов, Д.Ш. Валиева и [др.] // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2023. 5(110). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/15556>.
4. Смирнова Т.А. О причинах низкого качества боковых рам и надрессорных балок тележек /

- Т.А. Смирнова, А.В. Сухов и [др.] // Вагоны и вагонное хозяйство №1(25). 2011. С. 22-24.
5. Шостак Р. Легенды и мифы литейного производства // Литейщик России. №11. 2011. С. 32-34.
 6. ПР НК В.3-2013 Правила неразрушающего контроля литых деталей тележек грузовых вагонов при ремонте. Специальные требования (утверждены Советом по железнодорожному транспорту государств – участников Содружества, протокол от 19-20 ноября 2013 г. №59). – М. : АО «Кодекс». 2013. 27 с.
 7. Пастухов М.И. Оценка несущей способности литых деталей тележек грузовых вагонов после длительной эксплуатации // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. №12. 2005. С. 160-163.
 8. Сухов А.В. К оценке сопротивления усталости литых деталей тележек грузовых вагонов / А.В. Сухов, В.А. Рейхарт // Вестник ВНИИЖТ. №1. 2015. С. 43-48.
 9. Баранов А.Н. Усталостные испытания литых несущих деталей трехосной тележки модели 18-522А / А.Н. Баранов, В.П. Ефимов // Известия ПГУПС. №1.2018. С. 5-16.
 10. Адильханов Е.Г. Оценка напряженного состояния надрессорных балок с боковыми опорами постоянного контакта / Е.Г. Адильханов К.Б. Жакупов и [др.] // Вестник КазАТК. №2 (109). 2019. С.66-75.
 11. Дмитриев С.В. Метод испытаний боковых рам тележек грузовых вагонов с нагруженностью, адекватной эксплуатационной / С.В. Дмитриев, А.И. Коновалов // Транспортное машиностроение. №4(95). 2021. С. 44-46.
 12. ГОСТ 32400-2013 Рама боковая и балка надрессорная литые тележек железнодорожных грузовых вагонов. Технические условия, Москва, 2014. 61 с.
 13. Надрессорные балки и боковые рамы литые двухосных тележек грузовых вагонов колеи 1520 мм. Методика испытаний на усталость (утверждено ОАО «ВНИИЖТ», ОАО «НИИ вагоностроения»), 2010. 15 с.
 14. ГОСТ 32894-2014 Продукция железнодорожного назначения. Инспекторский контроль. Общие положения, Москва, 2015. 28 с.
 15. ГОСТ 5639 Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна, Москва. 21 с.
 16. ТР ТС 001/2011 Технический регламент таможенного союза «О безопасности железнодорожного подвижного состава» (утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 15.07.2011 №710), 2011. 55 с.

REFERENCES

1. Senko VI, Pastuhov IF, Makeev SV, Pastuhov MI. On the load-carrying capacity of beams above the springs of freight bogies. Vestnik of Sukhoi State Technical Technical University. 2009;1:16-20.
2. Senko VI, Pastuhov IF. Method for estimating the residual life of cast parts of freight car bogies. Bulletin of BSUT: Science and Transport. 2007; 1-2 (14-15):104-108.
3. Yunusov SZ, Valieva DSh, Tursunov NK. Investigation of the strength characteristics of the over-spring beam of a freight car trolley for cyclic loading. Universum: Technical Sciences [Internet]. 2023 May 28;5(110). Available from: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/15556>
4. Smirnova TA, Sukhov AV. On the causes of poor quality of bolsters and solebars of bogies. Vagoni I Vagonnoe Khozyastvo (Cars and Car Facilities). 2011;1(25):22-24.
5. Shostak R. Legends and myths of foundry production. Foundrymen of Russia. 2011;11:32-34.
6. PR NK V.3-2013 Rules for non-destructive testing of cast parts of freight car bogies during repair. Special requirements. Moscow: Codex; 2013 November 19-20.
7. Pastukhov MI. Assessment of the bearing capacity of cast parts of freight car bogies after long-term operation. Vestnik of Polotsk State University. 2005;12:160-163.
8. Sukhov AV, Reykhart VA. More on the fatigue resistance assessment of the freight car bogies'cast parts. Russian Railway Science Journal. 2015;1:43-48.
9. Baranov AN, Efimov VP. Fatigue testings of molded carrierpieces of three-axle bogie model 18-522A. Proceedings of Petersburg Transport University. 2018;1:5-16.
10. Adilkhanov EG, Zhakupov KB, Sekero ShA. Stress state evaluation of bolsters with constant contact lateral support. Bulletin of KazATC. 2019;2(109):66-75.
11. Dmitriev SV, Konovalov AI. Testing method of bogie solibars of freight cars with adequate operational load. Transport Engineering. 2021;4(95):44-46.
12. GOST 32400-2013 Molded side frame and bolster beam of bogies for railway freight wagons. Specifications. Moscow: Standartinform; 2014.
13. Bolsters and cast side frames of bogie trucks of 1520 mm gauge railway freight cars. The technique of static strength tests. Moscow: Russian Railways; 2010.
14. GOST 32894-2014 Railway application. Inspection control. General provisions. Moscow: Standartinform; 2015.
15. GOST 5639 Steels and alloys. Methods for detection and determination of grain size. Moscow: Izdatelstvo Standartov; 2003.
16. TR TS 001/2011 Technical Regulations of the Customs Union "On the safety of railway rolling stock". 2011 Jul 15.

Информация об авторах:

Комаровский Никита Владимирович – инженер испытательного центра железнодорожного транспорта Белорусского государственного университета транспорта (БелГУТа), аспирант кафедры «Техническая физика и теоретическая механика», тел. +375333113062, AuthorID: 1191312.

Отока Александр Генрикович – начальник ПТО Гомель-пассажирский Гомельского вагонного депо РУП «Гомельское отделение Белорусской железной дороги»; инженер испытательного центра железнодорожного транспорта Белорусского государствен-

ного университета транспорта (БелГУТа), аспирант кафедры «Вагоны», тел. +375336163548, AuthorID: 1220168.

Гегедеш Марина Григорьевна – кандидат технических наук, декан машиностроительного факультета Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого; доцент кафедры «Техническая физика и теоретическая механика» Белорусского государственного университета транспорта; тел. +375232 50 96 89, AuthorID: 708868.

Komarovsky Nikita Vladimirovich - Engineer of the Test Centre of Railway Transport at Belarusian State University of Transport, Postgraduate Student of the Department of Applied Physics and Theoretical Mechanics, phone: +375333113062, AuthorID: 1191312.

Otoka Aleksandr Henrikovich – Head of Gomel Passenger Railway Depot of Gomel Railway Company Gomel Branch of Belarusian Railways; Engineer of the Test Centre of Railway Transport at Belarusian State University of Transport, Postgraduate student of the

Department of Cars, phone: +375336163548, AuthorID: 1220168.

Gegedesh Marina Grigorievna – Candidate of Technical Sciences, Dean of the Mechanical Engineering Faculty of Sukhoi State Technical University of Gomel; Associate Professor of the Department of Applied Physics and Theoretical Mechanics at Belarusian State University of Transport; phone: +375232 50 96 89, AuthorID: 708868.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.

Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 07.04.2025; одобрена после рецензирования 24.06.2025; принята к публикации 28.07.2025. Рецензент – Волохов Г.М., доктор технических наук, главный научный эксперт динамики и прочности подвижного состава и инфраструктуры Акционерного общества «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 07.04.2025; approved after review on 24.06.2025; accepted for publication on 28.07.2025. The reviewer is Volokhov G.M., Doctor of Technical Sciences, Chief scientific expert of Rolling Stock and Infrastructure Dynamics and Strength of "Research and Development and Technological Institute of Rolling Stock", member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.