

УДК 629.4.015:629.4.027.25

Влияние упругого элемента буксового узла на ресурс боковой рамы тележки с осевой нагрузкой 25 тс

В. А. Чернов¹, Л. В. Цыганская¹, Д. Г. Бейн²

¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

²АО «НВЦ «Вагоны», Российская Федерация, 190013, Санкт-Петербург, Московский пр-кт, 22, литера М,

Для цитирования: Чернов В. А., Цыганская Л. В., Бейн Д. Г. Влияние упругого элемента буксового узла на ресурс боковой рамы тележки с осевой нагрузкой 25 тс // Бюллетень результатов научных исследований. — 2025. — Вып. 2. — С. 57–68. DOI: 10.20295/2223-9987-2025-2-57-68

Аннотация

Цель: Оценка влияния упругих элементов в буксовых узлах тележки модели 18-9891 на ресурс боковой рамы на основании цифрового моделирования, экспериментально полученных пределов выносливости и результатов ходовых испытаний. **Методы:** Ходовые динамико-прочностные испытания, ускоренные стендовые испытания усталостной прочности боковых рам тележки, цифровое моделирование динамики с использованием программного продукта «Универсальный механизм». На основании теоретически полученных зависимостей коэффициента динамической добавки необрессоренных частей и экспериментально полученных значений предела выносливости определено влияние упругой связи в буксовом узле на эквивалентную амплитуду динамических напряжений. **Результаты:** По результатам динамического моделирования на цифровых моделях получены зависимости значений коэффициента динамической добавки необрессоренных частей тележки под груженным и порожним вагоном от статических прогибов упругой скобы в буксовом узле. Экспериментально получены значения предела выносливости и амплитуд динамических напряжений для боковых рам с упругими элементами в буксовом узле, на основании которых спрогнозирован ресурс боковых рам. Расхождение между экспериментальными данными по коэффициенту динамической добавки необрессоренных частей тележки и результатам цифрового моделирования показало сходимость результатов в пределах 5–8 %. На основании теоретических и экспериментальных исследований оценено влияние упругих скоб в буксовом узле тележки на ресурс боковых рам, на основании которого обоснована возможность снижения их металлоемкости. **Практическая значимость:** Подтвержден увеличенный ресурс боковой рамы тележки с упругими элементами, обоснована возможность увеличения срока службы и межремонтных пробегов для грузовой тележки модели 18-9891 по критерию запаса сопротивления усталости литых элементов. Показана возможность снижения металлоемкости боковой рамы.

Ключевые слова: Грузовая тележка, рама боковая, ресурс, срок службы, сопротивление усталости.

Введение

Основными критериями предельного состояния литых деталей трехэлементных тележек грузовых вагонов, ограничивающими их ресурс, являются износы и визуально обнаруживаемые трещины. По статистике, возникновение трещин в несущих конструкциях тележек — основная причина серьезных аварийных ситуаций: сходов и крушений поездов. При этом гарантированно исключить

возможность трещинообразования на всех этапах жизненного цикла тележки не представляется возможным.

Задача минимизации рисков, угрожающих безопасности движения, может быть решена путем комплексного подхода к проектированию и испытаниям ходовых частей. Подтверждение ресурса литых деталей тележек выполняется на основании комплекса расчетов, стендовых ускоренных испытаний и ходовых динамико-прочностных испытаний.

Уменьшение износов, улучшение динамических показателей и повышение ресурса ходовых частей — основные задачи, решение которых позволяет повысить конкурентоспособность грузовой тележки на рынке и безопасность ее эксплуатации. В 2022 году была поставлена на производство новая тележка модели 18-9891 компании «РМ Рейл» с осевой нагрузкой 25 тс [1]. При проектировании указанной тележки решались задачи не только обеспечения необходимых нормативных динамических и прочностных характеристик, но и улучшения целого ряда показателей в сравнении с серийно выпускаемыми тележками.

Тележка модели 18-9891 компании «РМ Рейл» разработана при участии специалистов ПГУПС [2–4].

Для уменьшения износов колесных пар и повышения трещиностойкости боковых рам в тележке были применены упругие скобы [5, 6], основной задачей которых было обеспечение центрирования колесной пары в буксовом проеме, и дополнительно рассматривался вопрос снижения динамической нагруженности боковой рамы тележки. Общий вид упругой скобы буксового узла тележки 18-9891 приведен на рис. 1.

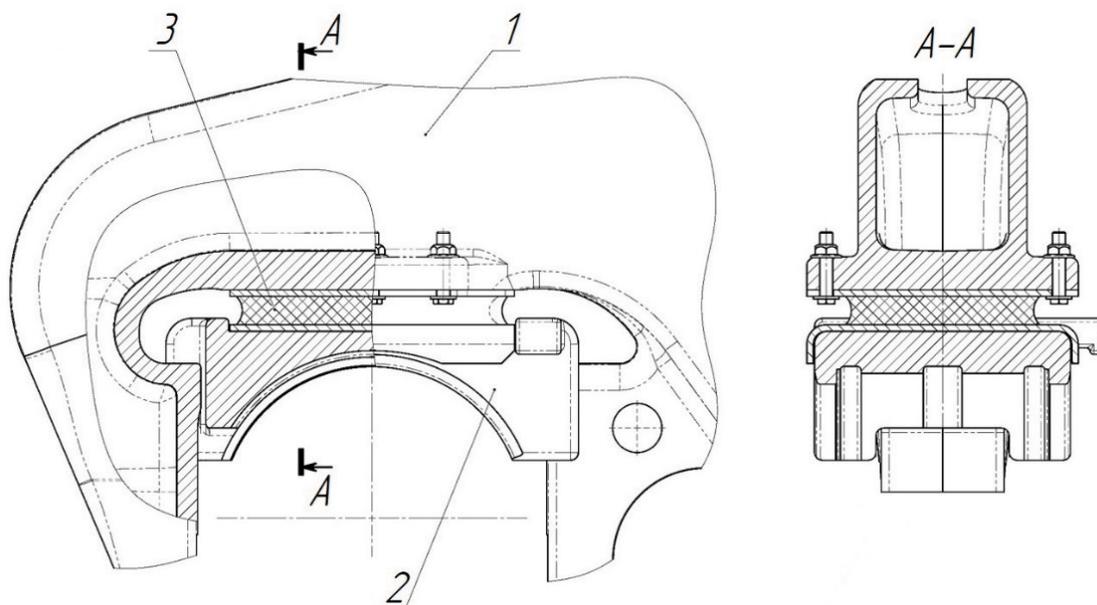


Рис. 1. Общий вид упругой скобы буксового узла тележки 18-9891:
1 — боковая рама тележки; 2 — адаптер; 3 — упругая скоба буксового узла

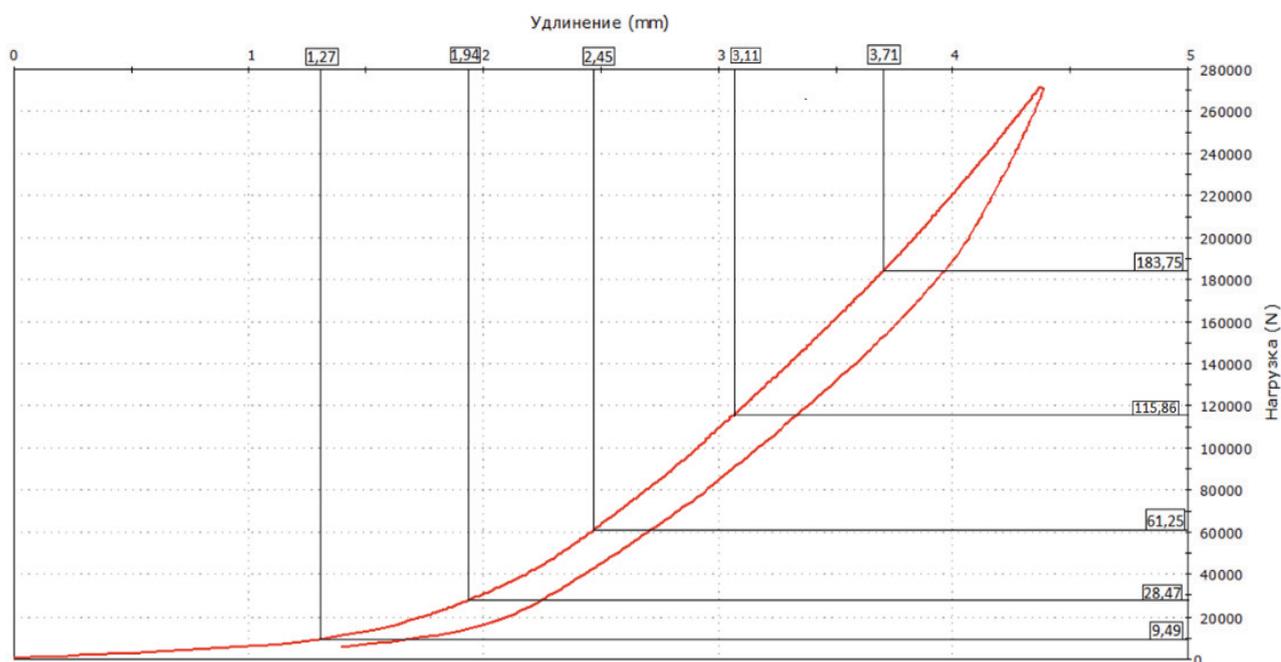


Рис. 2. Силовая характеристика материала упругой скобы

Силовая характеристика материала упругой скобы (поз. 3 на рис. 1) приведена на рис. 2. Указанная характеристика получена с помощью экспериментальных исследований при разработке и постановке на производство тележки 18-9891.

Теоретическая оценка динамических показателей

Оценка динамических показателей тележки модели 18-9891 с упругими вставками в буксовом узле выполнялась на этапе проектирования по результатам моделирования с использованием известного программного продукта «Универсальный механизм». Расчет динамических качеств производился для диапазона вертикальных статических прогибов упругого элемента в буксовом узле тележки, установленной под вагон-хоппер модели 19-1299.

Результаты моделирования показали, что статический прогиб упругого элемента в буксовом узле в пределах 1–3 мм позволяет снизить значение коэффициента динамической добавки K_d необрессоренных частей грузовой тележки на 25–30 % для порожнего вагона и 8–10 % для груженого вагона.

Зависимость коэффициента динамической добавки K_d необрессоренных частей от статического прогиба f упругого элемента представлена на рис. 3 (для порожнего вагона) и на рис. 4 (для груженого вагона).

Снижение коэффициента динамической добавки необрессоренных частей тележки свидетельствует о снижении их нагруженности с эксплуатации при наличии упругого элемента в буксовом узле тележки.

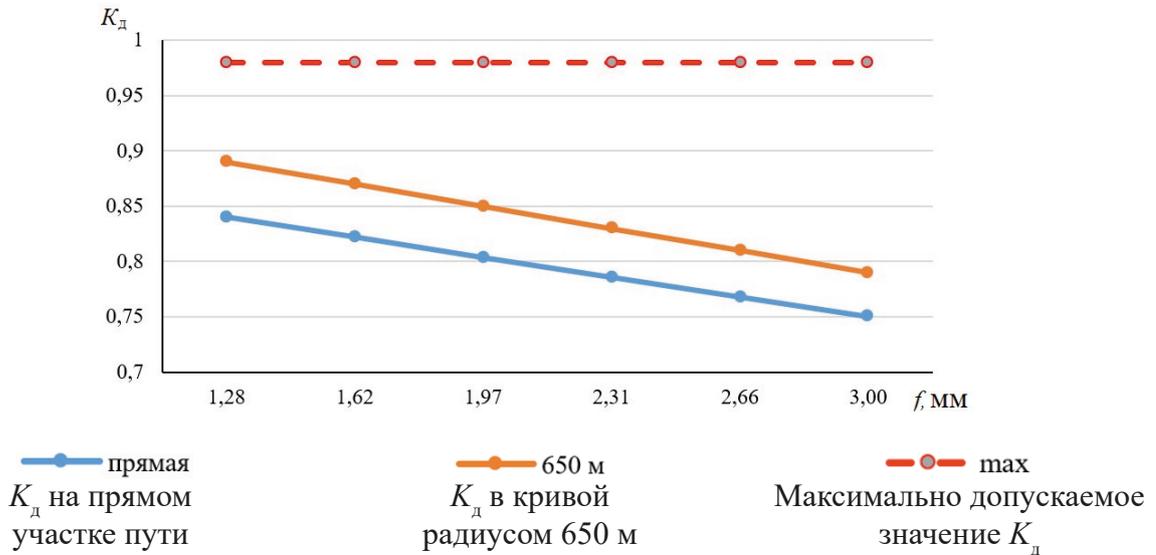


Рис. 3. Зависимость коэффициента динамической добавки K_d необрессоренных частей от статического прогиба f упругого элемента для порожнего вагона

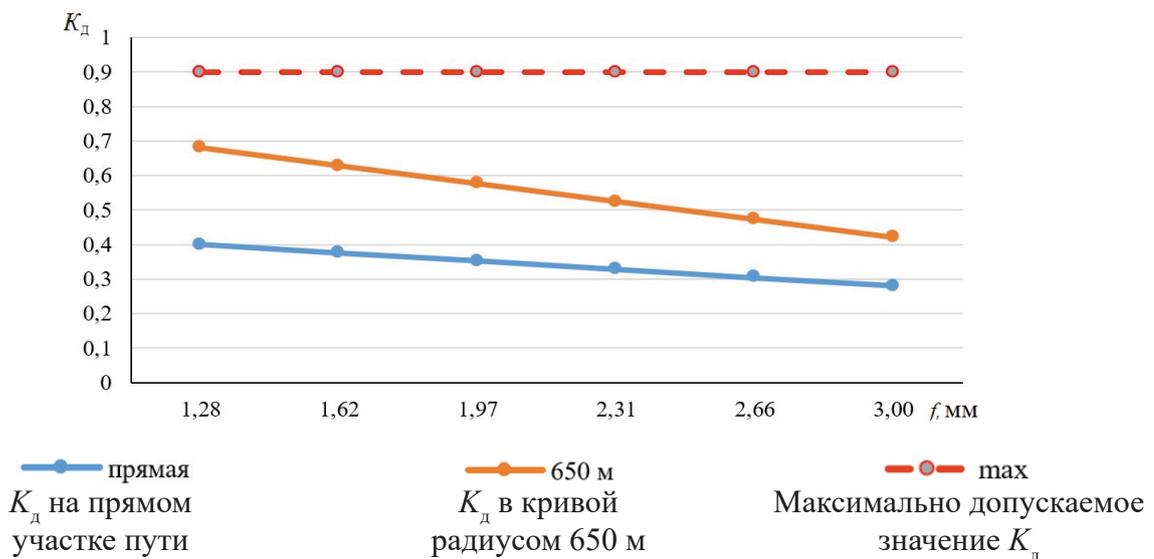


Рис. 4. Зависимость коэффициента динамической добавки K_d необрессоренных частей от статического прогиба f упругого элемента для груженого вагона

Экспериментальное определение предела выносливости

Экспериментальное определение пределов выносливости литых боковых рам тележки модели 18-9891 изготовления ООО «ВКМ-Сталь» выполнялось в рамках проведения приемочных и квалификационных испытаний. Перед каждым видом испытаний производился отбор девяти боковых рам методом «вслепую» по ГОСТ 18321 [7], после их приемки отделом технического контроля предприятия-изготовителя на соответствие требованиям конструкторской документации и ГОСТ 32400 [8].

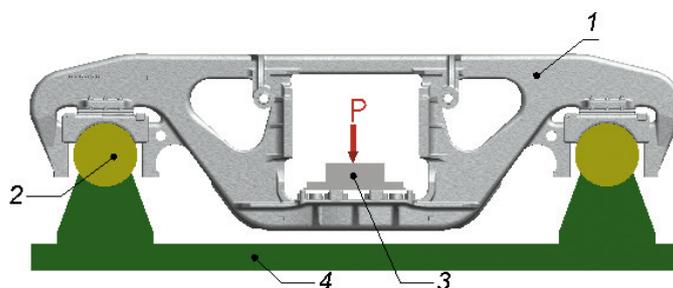


Рис. 5. Схема нагружения боковой рамы:
 1 — рама боковая; 2 — катковая опора; 3 — силовой стол с опорными тумбами;
 4 — приспособление для приложения нагрузки с сегментами

Схема нагружения боковой рамы при проведении усталостных испытаний приведена на рис. 5. Усталостные испытания боковых рам проведены по разработанной программе — методике испытаний, с учетом требований методики [9].

Испытания были проведены в лабораторном корпусе при нормальных климатических условиях. Каждую деталь испытывали при асимметричном цикле до разрушения или достижения базового числа циклов нагружения $N_0 = 10^7$. Режимы испытаний: $P_m = 42$ тс — средняя нагрузка цикла; P_{ai} — амплитуда переменной силы изменялась в пределах от 26 до 34 тс. Средняя нагрузка цикла (P_m) принималась одинаковой в процессе проведения полных усталостных испытаний всех деталей партии боковых рам. Испытания проведены на 4 уровнях амплитуд переменных нагрузок. Частота действия переменных нагрузок находилась в пределах 5–6 Гц [10].

Испытания проводились в непрерывном режиме с визуальным контролем усталостных трещин на испытательной машине ЦДМ — 200 ПУ. После обнаружения трещины длиной 15–25 мм испытания продолжались до разрушения детали или до потери несущей способности. Под потерей несущей способности понималось такое повреждение детали циклической нагрузкой, при котором дальнейшее нагружение детали становилось невозможным из-за значительного уменьшения жесткости.

Результаты усталостных испытаний первой и второй партии боковых рам приведены в табл. 1.

По полученным статистическим характеристикам построена кривая усталости в логарифмических координатах $\lg P_a - \lg N$, описываемая уравнением линии регрессии пределов выносливости детали и отражающая средневероятное положение кривой усталости для испытанных деталей:

$$\lg P_a, N = (\lg P_a)_{cp} + \frac{1}{m} \left[\lg N - (\lg P_a)_{cp} \right].$$

ТАБЛИЦА 1. Результаты усталостных испытаний первой и второй партии боковых рам тележки 18-9891

Лаб. № образца	Амплитуда переменной силы уровня i , P_{ai} , кН (тс)	Число циклов нагружения	
		до трещины, $N_{тр}$	до потери несущей способности, N_i
Первая партия			
01	333 (34)	1 821 000	2 622 000
02	333 (34)	1 205 000	1 512 000
03	314 (32)	5 491 000	5 493 000
04	314 (32)	2 883 000	3 611 000
05	294 (30)	3 692 000	4 905 000
06	294 (30)	5 208 000	5 421 000
07	274 (28)	6 025 000	6 130 000
08	274 (28)	4 474 000	5 624 000
09	264 (27)	Более 10 000 000 (трещины отсутствуют)	Более 10 000 000 (без потери несущей способности)
Вторая партия			
01	334 (34)	1 594 000	1 821 000
02	334 (34)	985 000	1 205 000
03	314 (32)	5 236 000	5 491 000
04	314 (32)	2 652 000	2 883 000
05	294 (30)	3 437 000	3 692 000
06	294 (30)	5 026 000	5 208 000
07	275 (28)	5 781 000	6 025 000
08	275 (28)	4 252 000	4 474 000
09	264 (27)	Более 10 000 000 (трещины отсутствуют)	Более 10 000 000 (без потери несущей способности)

Кривые выносливости боковых рам при вероятности неразрушения ($\alpha = 50\%$) и ($\alpha = 95\%$) показаны на рис. 6. Влияние на предел выносливости упругих элементов, показанное в работе [11], в настоящей работе не учитывалось ввиду малых статических прогибов упругой связи буксового узла тележки 18-9891 (порядка 2 мм).

Ходовые динамико-прочностные испытания проводились на скоростном испытательном полигоне АО «ВНИИЖТ» (СИП), направление Белореченская — Майкоп, по методикам, разработанным в соответствии с ГОСТ 33788 [12]. Фактический статический прогиб упругого элемента буксового узла тележки 18-9891, замеренный перед проведением испытаний, составил 2 мм.

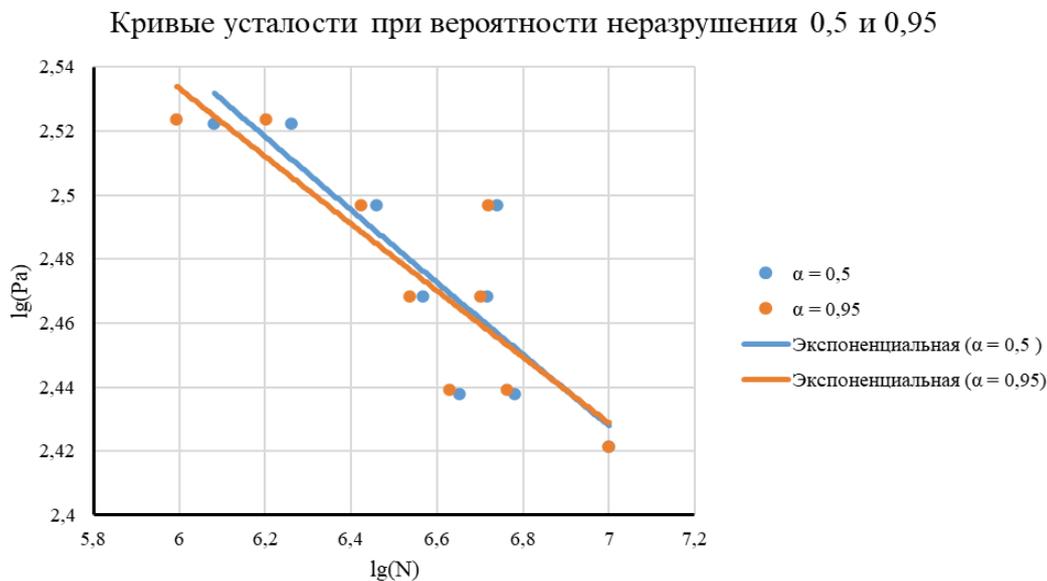


Рис. 6. Кривые усталости боковых рам тележки модели 18-9891 по результатам полных усталостных испытаний (9 деталей): вероятность неразрушения $\alpha = 0,5$

По результатам ходовых динамико-прочностных испытаний получены экспериментальные показатели динамики и прочности, по которым определены амплитуды динамических напряжений, эквивалентные по повреждающему действию за расчетный ресурс 32 года и 40 лет, и коэффициенты запаса сопротивления усталости в соответствии с ГОСТ 33211 [13].

Минимальный коэффициент запаса сопротивления усталости боковой рамы тележки 18-9891 составил 4,4, при расчетном ресурсе 3,1 млн км и 4,1 при 4,0 млн км, что подтверждает значительный запас прочности боковых рам с упругим элементом.

Расхождение между экспериментальными данными по коэффициенту динамической добавки необрессоренных частей тележки и результатам цифрового моделирования показало сходимость результатов в пределах 5–8 %. При этом эквивалентные амплитуды напряжений в зоне внутреннего радиуса буксового проема ниже, чем показанные в работе [14] для тележки-аналога, с назначенным сроком службы 40 лет.

На основании теоретически полученных зависимостей коэффициента динамической добавки необрессоренных частей и экспериментально полученных значений предела выносливости определено влияние упругой связи в буксовом узле на эквивалентную амплитуду динамических напряжений. Зависимость амплитуды динамических напряжений в зоне внутреннего радиуса буксового проема, эквивалентная по повреждающему действию за расчетный ресурс 40 лет, от прогиба упругого элемента показана на рис. 7.

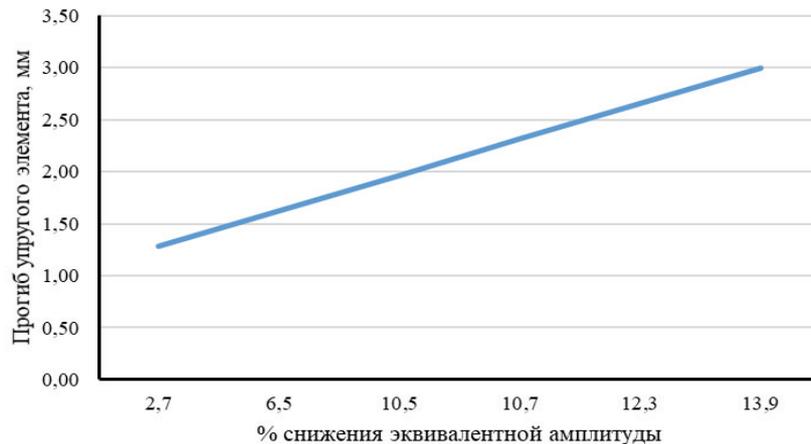


Рис. 7. Зависимость эквивалентной амплитуды от статического прогиба упругой скобы буксового узла

Заключение

По результатам динамического моделирования на цифровых моделях получены зависимости значений коэффициента динамической добавки необрессоренных частей трехэлементной тележки под грузенным и порожним вагоном от статических прогибов упругой скобы в буксовом узле.

Экспериментально получены значения предела выносливости и амплитуд динамических напряжений для боковых рам с упругими элементами в буксовом узле, на основании которых спрогнозирован ресурс боковых рам.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований оценено влияние упругих скоб в буксовом узле трехэлементной тележки на ресурс боковых рам, на основании которого обоснована возможность снижения их металлоемкости.

Список источников

1. Цыганская Л. В. Тележка с осевой нагрузкой 25 тс. Концепция уменьшения воздействия на рельсы и износ колес / Л. В. Цыганская, А. Л. Ставский, И. О. Морозова, В. С. Коршунов // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. — 2022. — № 4(60). — С. 44–50.
2. Титова Т. С. «От идеи — до внедрения»: 25 лет работы над инновациями в подвижной состав / Т. С. Титова, Ю. П. Бороненко, Л. В. Цыганская // Транспорт Российской Федерации. — 2021. — № 4(95). — С. 31–35.
3. Ученые ПГУПС разработали новую модель тележки грузовых вагонов // Вагоны и вагонное хозяйство. — 2023. — № 1(73). — С. 15.
4. Зимакова М. В. Тележка для грузового подвижного состава с осевой нагрузкой 25 ТС / М. В. Зимакова, А. В. Третьяков, В. С. Коршунов // Железнодорожный подвижной состав: проблемы, решения, перспективы: материалы Второй Международной научно-технической кон-

ференции, Ташкент, 19–22 апреля 2023 года. — Ташкент: Ташкентский государственный транспортный университет, 2023. — С. 176–182.

5. Патент на полезную модель № 215663 U1 Российская Федерация, МПК В61F 5/26, В61F 5/52. Тележка грузового вагона: № 2022131002. — Заявл. 29.11.2022: опубл. 21.12.2022 / А. Л. Ставский, А. А. Шмыгин, Ю. П. Бороненко и др.; заявитель акционерное общество «Рузаевский завод химического машиностроения».

6. Патент № 2781500 С1 Российская Федерация, МПК В61F 5/26. Тележка грузового вагона: № 2022110913: заявл. 21.04.2022: опубл. 12.10.2022 / А. Л. Ставский, А. А. Шмыгин, Ю. П. Бороненко и др.; заявитель акционерное общество «Рузаевский завод химического машиностроения».

7. ГОСТ 18321—73. Статистический контроль качества. Методы случайного отбора выборок штучной продукции. — М.: Стандартинформ, 2008.

8. ГОСТ 32400—2013. Рама боковая и балка надрессорная литые тележек железнодорожных грузовых вагонов. Технические условия. — М.: Изд-во стандартов, 2013.

9. Надрессорные балки и боковые рамы литые двухосных тележек грузовых вагонов колеи 1520 мм. Методики испытаний на усталость. — М.: ОАО «ВНИИЖТ»; ОАО «НИИ вагоностроения», 2010. — 14 с.

10. Даниленко Д. В. Методика и результаты ресурсных (на усталость) испытаний боковых рам тележки модели 18-9891 / Д. В. Даниленко, В. А. Чернов, В. П. Ефимов, Т. М. Чернова // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: материалы XVII Международной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 21–24 августа 2023 года. — СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2024. — С. 146–151.

11. Ефимов В. П. Исследование влияния упругой вставки адаптера на усталостную прочность боковой рамы тележки модели 18-194-1 / В. П. Ефимов, А. Н. Баранов, С. М. Буторин // Транспорт Российской Федерации. — 2015. — № 3(58). — С. 75–77.

12. ГОСТ 33788—2016. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и динамические качества. — М.: Изд-во стандартов, 2016.

13. ГОСТ 33211—2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. — М.: Изд-во стандартов, 2014.

14. Орлова А. М. Результаты поездных испытаний тележки 18-9855 / А. М. Орлова, Д. В. Шевченко, Т. С. Куклин, С. В. Дмитриев // Вагоны и вагонное хозяйство. — 2015. — № 1(41). — С. 44–45.

Дата поступления: 23.03.2025

Решение о публикации: 12.04.2025

Контактная информация:

ЧЕРНОВ Владимир Александрович — доц. кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство»;
chernov-nt@mail.ru

ЦЫГАНСКАЯ Людмила Валериевна — канд. техн. наук, доц. кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство»;
tsyganskaya@gmail.com

БЕЙН Дмитрий Григорьевич — канд. техн. наук, заместитель главного конструктора;
dgbain@mail.ru

Influence of the Axle Box Elastic Element on the Life of the Bogie Side Frame at 25 Tonnes Axial Load

V. A. Chernov¹, L. V. Tsyganskaya¹, D. G. Bein²

¹Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

²“Scientific Research Center “Vagony” JSC, 22, Litera M, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Tsyganskaya L. V., Chernov V. A., Bein D. G. Influence of the Axle Box Elastic Element on the Life of the Bogie Side Frame at 25 Tonnes Axial Load. *Bulletin of scientific research results*, 2025, iss. 2, Pp. 57–68. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2025-2-57-68

Summary

Purpose: To assess the influence of the elastic elements of the axle box unit in the 18-9891 model bogie on the service life of the side frame based on the digital modelling, experimentally determined fatigue limits and the results of running tests. **Methods:** Running-dynamic-strength tests, accelerated bench tests of the fatigue strength of the bogie side frames, dynamic digital modelling using the Universal Mechanism software product. Theoretically obtained dependencies of the dynamic coefficient of the unsprung parts and the experimentally obtained values of the fatigue limit allowed determining the influence of the elastic connection in the axle box unit on the dynamic stress equivalent amplitude. **Results:** Based on the results of the digital dynamic modelling, the dependencies of the vertical dynamics coefficient of the bogie unsprung parts, both in a loaded and in an empty car, on the elastic bracket deflections in the axle box unit were obtained. The fatigue limit and the amplitudes of the dynamic stresses for the side frames with elastic elements in the axle box unit were determined experimentally, from which the service life of the side frames was predicted. The discrepancy between the experimental data on the dynamic stress coefficient of the unsprung parts of the bogie and that of the digital modelling showed that the results converged within 5-8%. Based on theoretical and experimental studies, the influence of the elastic brackets in the bogie axle box unit on the service life of the side frames has been estimated and the possibility of reducing their metal consumption has been demonstrated. **Practical significance:** The increased service life of the bogie side frame with elastic elements has been confirmed, and the possibility of increasing the service life and inter-repair runs for the 18-9891 freight bogie according to the criterion of the fatigue limit of cast elements has been demonstrated. The possibility of reducing the metal consumption of the side frame has been demonstrated.

Keywords: Cargo bogie, side frame of the car bogie, resource, service life, fatigue resistance.

References

1. Tsyganskaya L. V., Stavskiy A. L., Morozova I. O., Korshunov V. S. Telezhka s osevoy nagruzkoy 25 ts. Kontseptsiya umen'sheniya vozdeystviya na rel'sy i iznos [Bogie with an axle load of 25 tf. Concept of reducing the impact on rails and wheel wear]. *Vestnik Instituta problem estestvennykh monopoliy: Tekhnika zheleznnykh dorog* [Bulletin of the Institute for Natural Monopoly Problems: Railway Engineering]. 2022, Iss. 4(60), Pp. 44–50. (In Russian)
2. Titova T. S., Boronenko Yu. P., Tsyganskaya L. V. “Ot idei — do vnedreniya”: 25 let raboty nad innovatsiyami v podvizhnoy sostav [“From idea to implementation”: 25 years of work on

innovations in rolling stock]. *Transport Rossiyskoy Federatsii* [Transport of the Russian Federation]. 2021, Iss. 4(95), Pp. 31–35. (In Russian)

3. Uchenye PGUPS razrabotali novuyu model' telezhki gruzovykh vagonov [Scientists from PGUPS have developed a new model of a freight car bogie]. *Vagony i vagonnoe khozyaystvo* [Cars and wagon fleet]. 2023, Iss. 1(73), Pp. 15. (In Russian)

4. Zimakova M. V., Tret'yakov A. V., Korshunov V. S. Telezhka dlya gruzovogo podvizhnogo sostava s osevoy nagruzkoy 25 TS [Bogie for freight rolling stock with an axle load of 25 TS]. *Zheleznodorozhnyy podvizhnyy sostav: problemy, resheniya, perspektivy: materialy Vtoroy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Tashkent, 19–22 aprelya 2023 goda* [Railway rolling stock: problems, solutions, prospects: materials of the Second International Scientific and Technical Conference, Tashkent, April 19–22, 2023]. Tashkent: Tashkentskiy gosudarstvennyy transportnyy universitet Publ., 2023, Pp. 176–182. (In Russian)

5. Stavskiy A. L., Shmygin A. A., Boronenko Yu. P. et al. *Telezhka gruzovogo vagona* [Freight car bogie]. Patent RF, no. 215663, 2022. (In Russian)

6. Stavskiy A. L., Shmygin A. A., Boronenko Yu. P. et al. *Telezhka gruzovogo vagona* [Freight car bogie]. Patent RF, no. 2781500, 2022. (In Russian)

7. *GOST 18321—73. Statisticheskiy kontrol' kachestva. Metody sluchaynogo otbora vyborok shtuchnoy produktsii* [GOST 18321—73. Statistical quality control. Methods of random sampling of individual products]. Moscow: Standartinform Publ., 2008. (In Russian)

8. *GOST 32400—2013. Rama bokovaya i balka nadressornaya litye telezhok zheleznodorozhnykh gruzovykh vagonov. Tekhnicheskie usloviya* [GOST 32400—2013. Side frame and cast bolster beam of freight car bogies. Technical conditions]. Moscow: Izd-vo standartov Publ., 2013. (In Russian)

9. *Nadressornye balki i bokovye ramy litye dvukhosnykh telezhok gruzovykh vagonov kolei 1520 mm. Metodiki ispytaniy na ustalost'* [Cast bolster beams and side frames of two-axle freight car bogies with a gauge of 1520 mm. Fatigue test methods]. Moscow: OAO "VNIIZhT"; OAO "NII vagonostroeniya", 2010, 14 p. (In Russian)

10. Danilenko D. V., Chernov V. A., Efimov V. P., Chernova T. M. Metodika i rezul'taty resursnykh (na ustalost') ispytaniy bokovykh ram telezhki modeli 18-9891 [Methodology and results of resource (fatigue) tests of side frames of bogie model 18-9891]. *Podvizhnyy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proekty: materialy KhVII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Sankt-Peterburg, 21–24 avgusta 2023 goda* [Rolling stock of the XXI century: ideas, requirements, projects: materials of the XVII International scientific and technical conference, St. Petersburg, August 21–24, 2023]. St. Petersburg: Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya Imperatora Aleksandra I Publ., 2024, Pp. 146–151. (In Russian)

11. Efimov V. P., Baranov A. N., Butorin S. M. Issledovanie vliyaniya uprugoy vstavki adaptera na ustalostnuyu prochnost' bokovoy ramy telezhki modeli 18-194-1 [Study of the influence of the elastic insert of the adapter on the fatigue strength of the side frame of the bogie model 18-194-1]. *Transport Rossiyskoy Federatsii* [Transport of the Russian Federation]. 2015, Iss. 3(58), Pp. 75–77. (In Russian)

12. *GOST 33788—2016. Vagony gruzovye i passazhirskie. Metody ispytaniy na prochnost' i dinamicheskie kachestva* [GOST 33788—2016. Freight and passenger cars. Strength and dynamic quality test methods]. Moscow: Izd-vo standartov Publ., 2016. (In Russian)

13. *GOST 33211—2014. Vagony gruzovye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam* [GOST 33211—2014. Freight cars. Strength and dynamic quality requirements]. Moscow: Izd-vo standartov Publ., 2014. (In Russian)

14. Orlova A. M., Shevchenko D. V., Kuklin T. S., Dmitriev S. V. Rezul'taty poezdnykh ispytaniy telezhki 18-9855 [Results of train tests of bogie 18-9855]. *Vagony i vagonnoe khozyaystvo* [Cars and car fleet]. 2015, Iss. 1(41), Pp. 44–45. (In Russian)

Received: March 23, 2025

Accepted: April 12, 2025

Author's information:

Vladimir A. CHERNOV — Associate Professor, Department of Wagons and Wagon Industries; chernov-nt@mail.ru

Lyudmila V. TSYGANSKAYA — PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Wagons and Wagon Industries; tcyganskaya@gmail.com

Dmitry G. BEIN — PhD in Engineering, Deputy Chief Designer; dgbain@mail.ru