



УДК 629.4.027.114

## Модернизация буксы электровоза для радиальной установки колесной пары в кривой

И. А. Гайшинец, С. В. Доронин, И. И. Доронина

Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, 680021, Хабаровск, ул. Серышева, 47

**Для цитирования:** *Гайшинец И. А., Доронин С. В., Доронина И. И.* Модернизация буксы электровоза для радиальной установки колесной пары в кривой // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2022. — Т. 19. — Вып. 3. — С. 498–504. DOI: 10.20295/1815-588X-2022-3-498-504

### Аннотация

**Цель:** Модернизация буксового узла электровоза для устранения недостатков существующих схем радиальной установки колесных пар в кривой и проведение прочностного расчета на основе напряженно-деформированного состояния модели. **Методы:** Исследования проводились методом конечных элементов в современной машиностроительной системе автоматизированного проектирования. **Результаты:** Разработан первый вариант новой конструкции буксы. Проведенные исследования показали, что в нескольких местах напряжения превышают пределы текучести материала, которые ведут к разрушению модели, имеются недостатки в геометрических формах деталей и в передачи управляющих сил на корпус буксы, намечены пути улучшения конструкции. **Практическая значимость:** Модернизированная конструкция буксового узла локомотива позволит значительно уменьшить величину управляющего момента, сопротивление движению, интенсивность бокового износа гребней колесных пар и рельсов без больших изменений в раме тележки.

**Ключевые слова:** Вписывание в кривые, износ гребня, колесная пара, радиальная установка, буксовый узел, модернизация, прочностной расчет.

### Введение

При вписывании подвижного состава в кривые малого радиуса тележка на всем протяжении кривой занимает перекосное положение, появляется угол набегания колесной пары на наружную нить, который достигает больших значений. По этой причине возникают значительные силы давления гребней колес на

рельс, что ведет к повышению сопротивления движению и бокового износа контактирующих поверхностей [1–4].

Ранее основным параметром, по которому производилась обточка колес, был прокат по кругу катания, тогда как в настоящее время ее выполняют для восстановления профиля гребня, что резко снижет срок службы колеса [1].

Износ пытались снизить путем разработки нового профиля поверхности катания колес, смазыванием контактирующих поверхностей, поверхностным упрочнением и др. Эти способы хоть и повышают ресурс рельсов и гребней колес, но они борются со следствием, а не с причиной износа. Для радикального решения проблемы нужно для локомотивов, особенно работающих на участках с кривыми малого радиуса, предусматривать создание специальных устройств, обеспечивающих управляемую радиальную установку колесных пар (РУКП) локомотивных тележек [1, 2].

Различают три типа тележек с РУКП: с самопроизвольной; с полупринудительной и с принудительной установкой колесных пар. Самопроизвольная ориентация обеспечивается подбором горизонтальной жесткости буксового рессорного подвешивания. Полупринудительная выполняется за счет наличия пассивных связей между колесными парами в тележке. Принудительная осуществляется при помощи управляемых механизмов. Наилучшие показатели по снижению интенсивности износа гребней колес в кривых наблюдаются у тележек третьего типа [3, 4].

Существующие тележки с управляемыми механизмами имеют гидравлическую, пневматическую или механическую систему передачи управляющего усилия на две крайние колесные пары [5–10]. Наиболее перспективным вариантом является механическая система, так как в ней отсутствует трубопровод с рабочей жидкостью или газом, что уменьшает сложность конструкции тележки и увеличивает надежность системы. В данных тележках поводковая связь заменяется жесткими тягами, передающими управляющее усилие от привода на колесную пару. Использование такой передачи требует значительных конструктивных изменений в раме тележки, а высокая продольная жесткость на прямых участках пути вызывает прокат по кругу катания колес и

увеличивает необходимое управляющее усилие для разворота колесных пар в кривой.

В известных тележках разворачивающие устройства установлены на обеих колесных парах, но при этом расположении невозмущенное движение тележки в кривой малого радиуса является неустойчивым. Устойчивость движения сохранится, если разворачивающее устройство установлено только на одной передней колесной паре. Управление разворотом первой по ходу движения колесной парой позволяет многократно уменьшить величину угла набегания колеса на рельс и бокового давления при наименьшем управляющем моменте по сравнению со второй колесной парой и рамой тележки [4].

Для устранения недостатков существующих схем был разработан первый вариант конструкции буксового узла электровоза для механических систем РУКП, предложенной в [4]. Преимуществами новой буксы (рис. 1) являются:

1. Прямое управление разворотом первой по ходу движения колесной парой без промежуточных элементов.
2. Незначительные изменения в конструкции рамы тележки, уменьшение сложности монтажа и обслуживания системы РУКП.
3. Снижение упруго-продольных сил, препятствующих принудительному развороту колесной пары в традиционных тележках, позволяет устранить накопление повреждений в поводках и в корпусе буксы, снижает величину управляющего момента и обеспечивает равномерный износ бандажей на прямых участках пути.

### **Особенности конструкции модернизированного буксового узла**

Для оценки работоспособности предложенного варианта модернизации и выявления недостатков конструкции было выполнено построение трехмерной модели новой конструкции буксового узла электровоза 2ЭС5К «Ермак» в

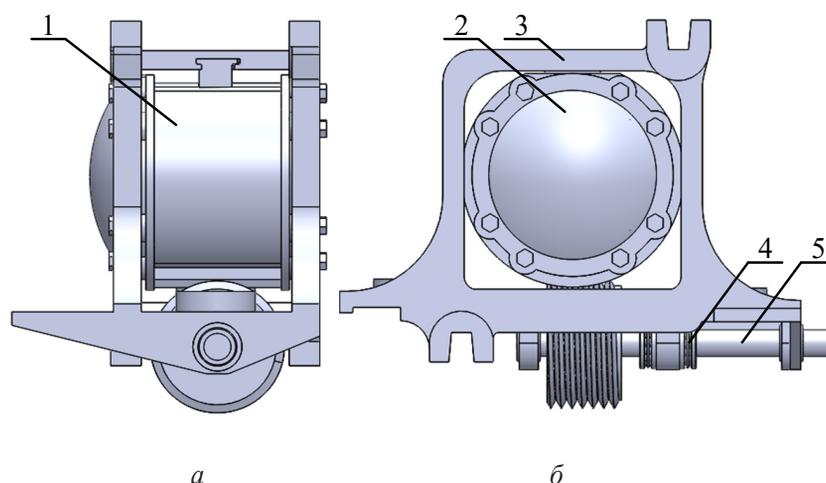


Рис. 1. Новая конструкция буксового узла электровоза для механических систем РУКП: *а* — вид сбоку, *б* — вид спереди; 1 — корпус буксы, 2 — передняя крышка, 3 — рама буксы, 4 — упорный подшипник, 5 — винт

современной машиностроительной системе автоматизированного проектирования.

Модернизированный буксовый узел (рис. 1) состоит из передней крышки, корпуса буксы, рамы буксы, винтового механизма и упорных подшипников. Буксовый узел электровоза был разделен на две основные части — это корпус и рама буксы. Корпус буксы представляет собой цилиндр, во внутренней части которого находятся лабиринтное кольцо, осевые подшипники, дистанционные кольца, корончатая шайба, стопорная планка. В верхней части расположен Т-образный ползун для направления движения корпуса и передачи вертикальных сил от рамы буксы. В нижней части располагается зубчатая рейка винтового механизма для передачи управляющего усилия на корпус буксы. Рама буксы состоит из двух приливов под пружины, воспринимающие нагрузку от рамы тележки, четырех кронштейнов для крепления буксовых поводков и трех кронштейнов для крепления винта в нижней части рамы буксы. Упорные подшипники необходимы для передачи тяговых и тормозных сил с корпуса на раму буксы. Передняя крышка не подвергалась изменениям.

Новая букса работает следующим образом. При движении подвижного состава в криволинейном участке пути на винт подается управляющий момент от привода системы РУКП. Под действием заданного момента вал начинает вращаться, поступательно перемещая зубчатую рейку вместе с корпусом буксы, устанавливая оси колесных пар по радиусу кривой. Таким образом, уменьшается угол набегания колеса на рельс и, как следствие, боковой износ контактирующих поверхностей.

#### Расчетная схема для прочностного расчета

Прочностной расчет модернизированной буксы выполнялся на основе напряженно-деформированного состояния модели с использованием метода конечных элементов.

В качестве материала предлагаемой конструкции была выбрана сталь 25Л, из которой изготовлен корпус серийного буксового узла 2ЭС5К «Ермак» [2].

Граничные условия расчета полностью имитируют нагрузки и крепления, которые определяют поведение буксового узла в эксплуата-

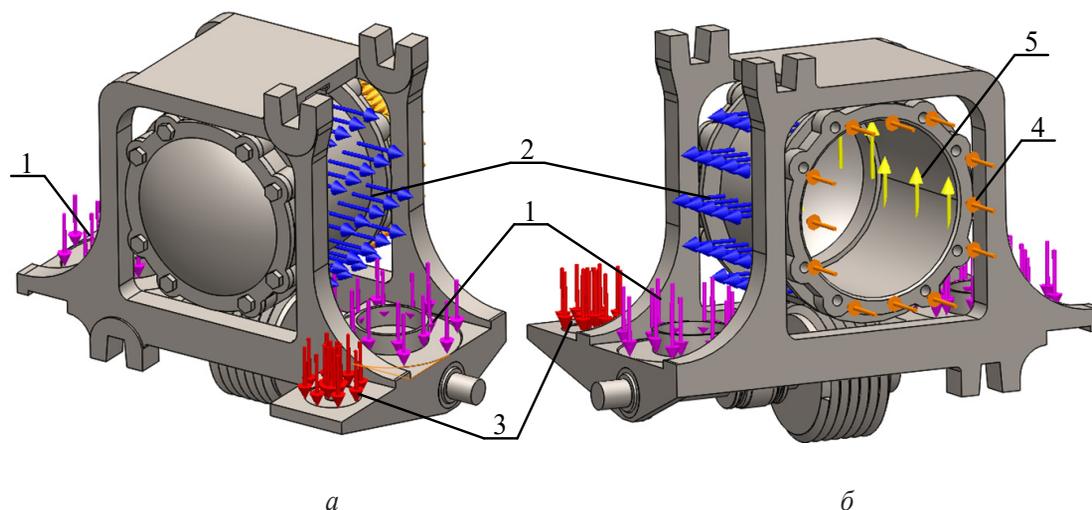


Рис. 2. Расчетная схема приложения сил: *а* — вид спереди, *б* — вид сзади; 1 — нагрузка от веса подрессоренной части электровоза, 2 — сила тяги, 3 — сила диссипации, 4 — центробежная сила, 5 — сила от неровности пути

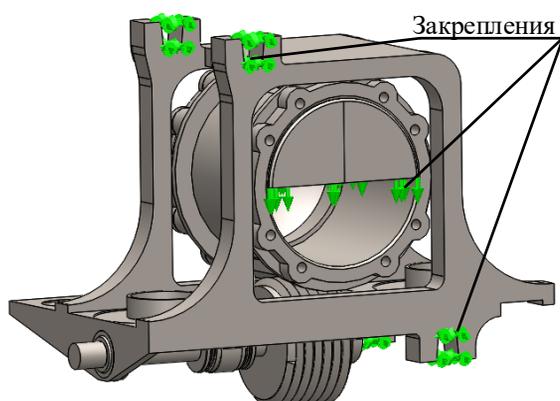


Рис. 3. Расчетная схема приложения ограничений

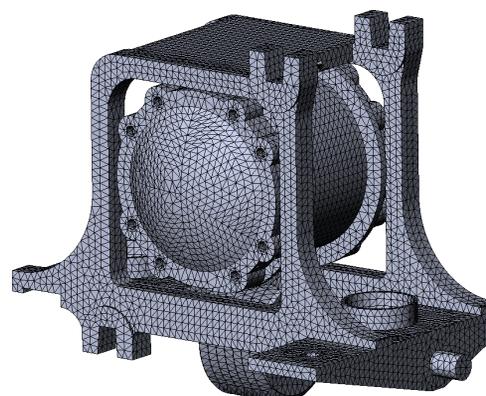


Рис. 4. Конечно-элементная сетка модернизированного буксового узла

ции. На рис. 2 и 3 представлена расчетная схема модели буксового узла.

В расчете были приложены силы: от веса подрессоренной части электровоза, тяги, от неровности пути, диссипации и центробежная сила. Центробежная сила появляется при движении подвижного состава в кривых участках пути и направлена горизонтально наружу кривой. Сила диссипации передается на раму буксы от гасителя колебаний при прохождении стыков и неровностей пути.

Закрепления в местах крепления поводков моделируют их взаимодействие с рамой буксы, ограничивающие продольные и поперечные перемещения. Движение рамы и корпуса буксы вертикально вниз ограничивает модель половины оси колесной пары, но допускает перемещение вверх, моделируя поведение буксового узла при прохождении неровностей пути [2, 4].

На рис. 4 показана конечно-элементная сетка модернизированного буксового узла.

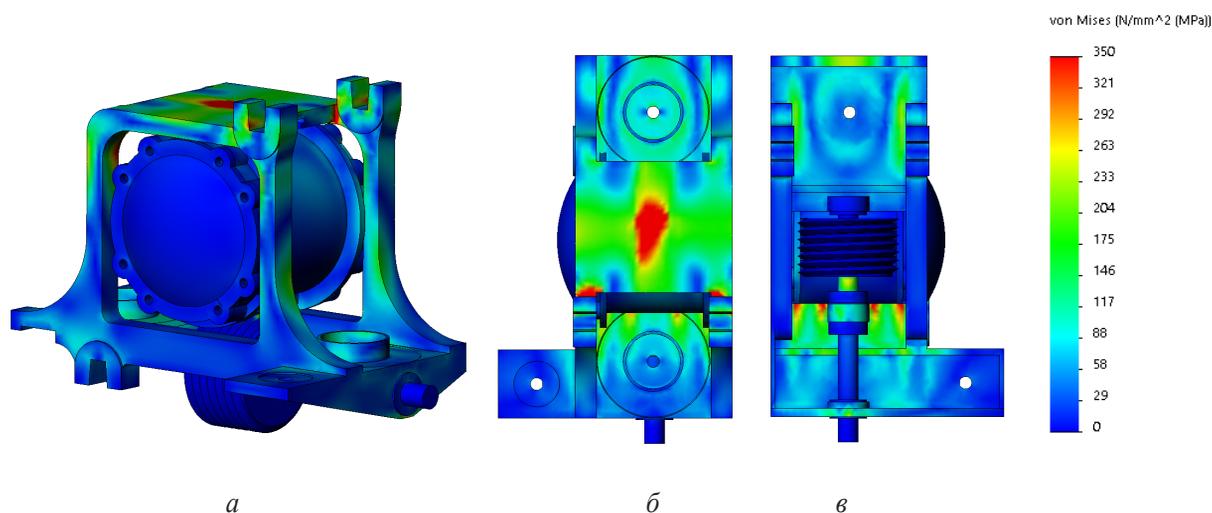


Рис. 5. Эпюра напряжений конструкции буксового узла:  
*а* — вид сбоку, *б* — вид сверху, *в* — вид снизу

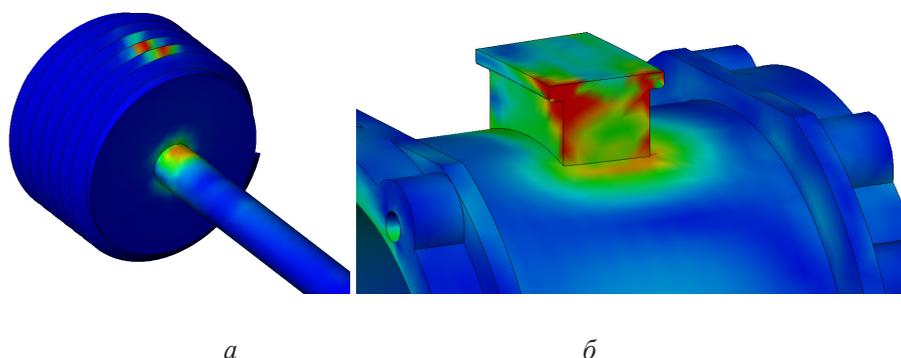


Рис. 6. Эпюра напряжений конструкции буксового узла:  
*а* — в области винта, *б* — в области ползуна

### Анализ результатов прочностного расчета

На рис. 5 и 6 представлены эпюры напряжений буксового узла. Как видно из данных рисунков, основные концентрации напряжений находятся в области ползуна, винта, центрального винтового кронштейна и в местах крепления буксовых поводков. В указанных узлах напряжения превышают предел текучести материала (235 МПа), что ведет к разрушению деталей. Форма Т-образного ползуна и винта является нежелательной. При перемещении ползуна по направляющему вырезу в раме буксы может произойти его заклинивание. Большая разница в сечениях винта приводит к

высоким напряжениям в зоне перехода. Самым существенным недостатком в данной конструкции является то, что корпус буксы не закреплен. При передаче управляющего усилия на зубчатую рейку вместо поступательного движения корпус буксы будет вращаться вокруг оси колесной пары.

По результатам анализа прочностного расчета модель буксового узла необходимо доработать. Ползун следует выполнить прямоугольной формы и увеличить на всю поверхность корпуса буксы, что позволит уменьшить нагрузку со стороны рамы буксы и устранить заклинивание. Для увеличения площади контакта между зубчатой

рейкой и винтом предлагается заменить данную передачу на передачу «винт — гайка» и переместить ее на боковую поверхность корпуса, соединяющую раму буксы с передней крышкой, исключая вращение корпуса буксы. Вместе с этим переднюю крышку, корпус и раму буксы следует видоизменить.

### Заключение

В данной работе представлена модернизированная конструкция буксового узла локомотива, предназначенная для обеспечения радиальной установки осей колесных пар по радиусу кривой. Она позволит уменьшить интенсивность бокового износа гребней колесных пар и рельсов без значительных изменений в раме тележки. Проведенные исследования первого варианта конструкции буксового узла показали, что в нескольких местах напряжения превышают предел текучести материала, имеются недостатки в геометрических формах деталей и в передачи управляющих сил на корпус буксы. На основе полученных результатов исследований намечены пути улучшения конструкции модернизированного буксового узла.

### Библиографический список

1. Боковой износ рельсов и гребней колесных пар подвижного состава в кривых / Под ред. В. Г. Григоренко. — Хабаровск, 1991. — 143 с.
2. Бирюков И. В. Механическая часть тягового подвижного состава: учебник для вузов ж.-д. трансп. / И. В. Бирюков, А. Н. Савоськин, Г. П. Бурчак и др.; под ред. И. В. Бирюкова. — М.: Транспорт, 1992. — 440 с.
3. Горбунов Н. И. Обоснование рациональных характеристик мехатронных систем управления положением колесных пар / Н. И. Горбунов и др. // Транспортні системи і технології. — 2020. — № 35. — С. 69–79.

4. Доронин С. В. Движение многосекционных локомотивов в кривых малого радиуса: монография / С. В. Доронин. — Хабаровск: ДВГУПС, 2009. — 220 с.

5. Hur H. Analysis on steering performance of active steering bogie according to steering angle control on curved section / H. Hur et al. // Applied Sciences. — 2020. — Vol. 10. — № 12. — P. 4407.

6. Umehara Y. Development of electro-hydraulic actuator with fail-safe function for steering system / Y. Umehara et al. // Quarterly Report of RTRI. — 2014. — Vol. 55. — № 3. — Pp. 131–137.

7. Kamoshita S. Total performance evaluation of the assist steering system for bolsterless bogie / S. Kamoshita et al. // Quarterly Report of RTRI. — 2018. — Vol. 59. — № 4. — Pp. 243–248.

8. Himmelstein G. The Mechatronic Bogie-A Novel Design / G. Himmelstein // EUROPEAN RAILWAY REVIEW. — 2005. — № 4.

9. Miyajima N. Multibody Dynamics Simulation and Bogie Structure Evaluation for Active-Bogie Steering Truck / N. Miyajima et al. // ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition. — 2007. — Vol. 43106. — Pp. 459–465.

10. Park J. H. Design and analysis of an active steering bogie for urban trains / J. H. Park et al. // Journal of Mechanical Science and Technology. — 2010. — Vol. 24. — № 6. — Pp. 1353–1362.

Дата поступления: 26.04.2022

Решение о публикации: 13.05.2022

### Контактная информация:

ГАЙШИНЕЦ Илья Александрович — аспирант;  
ilya.ghs@yandex.ru

ДОРОНИН Сергей Владимирович — канд. техн. наук,  
доц.; sd@festu.khv.ru

ДОРОНИНА Ирина Ивановна — канд. техн. наук, доц.;  
iidoronina@festu.khv.ru

## Modernization of Electric Locomotive Axle Box for Radial Installation of a Wheelset in a Curve

I. A. Gaishinets, S. V. Doronin, I. I. Doronina

Far Eastern State Transport University, 47, Serysheva Street, Khabarovsk, 680021, Russian Federation

**For citation:** Gaishinets I. A., Doronin S. V., Doronina I. I. Modernization of Electric Locomotive Axle Box for Radial Installation of a Wheelset in a Curve // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2022, vol. 19, iss. 3, pp. 498–504. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2022-3-498-504

### Summary

**Purpose:** Modernization of electric locomotive axle box for to eliminate the shortcomings of existing schemes for wheelset radial installation in a curve and to perform strength calculation based on stress-strain state of a model. **Methods:** The research was carried out by finite element method in modern machine-building computer-aided design system. **Results:** The first version of axle box new design has been developed. The performed studies have shown that in several locations, stresses exceed material yield strength, leading to destruction of the model. There are shortcomings in geometric shapes of parts and in the transfer of control forces to the box body. Ways to improve the design are outlined. **Practical significance:** The modernized design of locomotive axle box assembly will allow to reduce significantly control moment quantity, movement resistance, the intensity of lateral wear of wheel set and rail flanges without big changes in a bogie frame.

**Keywords:** Fitting into curves, flange wear, wheelset, radial installation, axle box assembly, modernization, strength calculation.

### References

1. *Bokovoy iznos rel'sov i grebney kolesnykh par podvizhnogo sostava v krivykh* [Lateral Wear of Rails and Flanges of Rolling Stock Wheel Sets in Curves]. Khabarovsk, 1991, 143 p. (In Russian)
2. *Mekhanicheskaya chast' tyagovogo podvizhnogo sostava* [The mechanical part of the traction rolling stock]. Moscow: Transport Publ., 1992. 440 p. (In Russian)
3. Gorbunov N. I. Obosnovanie ratsional'nykh kharakteristik mekhatronnykh sistem upravleniya polozheniem kolesnykh par [Substantiation of rational characteristics of mechatronic systems for controlling the position of wheel pairs]. *Transportni sistemi i tekhnologii* [Transport systems and technologies]. 2020, I. 35, pp. 69–79. (In Russian)
4. Doronin S. V. *Dvizhenie mnogosektsionnykh lokomotivov v krivykh malogo radiusa* [Movement of multi-section locomotives in curves of small radius]. Khabarovsk: DVGUPS Publ., 2009. 220 p. (In Russian)
5. Hur H. Analysis on steering performance of active steering bogie according to steering angle control on curved section. *Applied Sciences*. 2020, vol. 10, I. 12, p. 4407.
6. Umehara Y. Development of electro-hydraulic actuator with fail-safe function for steering system. *Quarterly Report of RTRI*. 2014, vol. 55, I. 3, pp. 131–137.
7. Kamoshita S. Total performance evaluation of the assist steering system for bolsterless bogie. *Quarterly Report of RTRI*. 2018, vol. 59, I. 4, pp. 243–248.
8. Himmelstein G. The Mechatronic Bogie-A Novel Design. *EUROPEAN RAILWAY REVIEW*. 2005, I. 4.
9. Miyajima N. Multibody Dynamics Simulation and Bogie Structure Evaluation for Active-Bogie Steering Truck. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. 2007, vol. 43106, pp. 459–465.
10. Park J. H. Design and analysis of an active steering bogie for urban trains. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2010, vol. 24, I. 6, pp. 1353–1362.

Received: April 26, 2022

Accepted: May 13, 2022

### Author's information:

Ilya A. GAISHINETS — Postgraduate Student; ilya.ghs@yandex.ru

Sergei V. DORONIN — PhD in Engineering, Associate Professor; sd@festu.khv.ru

Irina I. DORONINA — PhD in Engineering, Associate Professor; iidoronina@festu.khv.ru