

С. Н. Коржов, П. А. Поляков

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОРМОЖЕНИЯ ПУТЕМ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ КЛЕЩЕВОГО МЕХАНИЗМА ТОРМОЗНОГО УСТРОЙСТВА

Аннотация. Проанализировано взаимодействие рабочих пар тормозного устройства с клещевым механизмом при движении тележки электропоезда на повороте. Возникающий крен колесной пары приводит к образованию локальных контактирующих зон колодки с поверхностями тормозного диска. В результате чего происходит неравномерное взаимодействие в рамках не только одной колесной пары, но и неравномерность в рамках одного тормозного блока. Для устранения данного недостатка была предложена усовершенствованная конструкция клещевого механизма, допускающая поворот колодки в трех плоскостях, что позволяет увеличить площадь контакта рабочих пар. Для корректировки взаимодействующих колодок с поверхностью диска использовался актуатор. Было проведено компьютерное моделирование процесса торможения силовыми устройствами с серийным и усовершенствованным клещевыми механизмами. Применение тормоза с усовершенствованным клещевым механизмом позволило снизить время торможения в 1,28 раза по сравнению с серийным тормозом. Нормальные силы в контакте были снижены в 57,5 раза, что показало увеличение эффективности торможения при прохождении криволинейных участков пути.

Ключевые слова: тормозное устройство, клещевой механизм, крен колесной пары, актуатор, колодка, тормозной диск.

Для цитирования: Коржов, С. Н. Повышение эффективности торможения путем усовершенствования конструкции клещевого механизма тормозного устройства / С. Н. Коржов, П. А. Поляков // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 4. – С. 111–119. – DOI 10.46973/1818-5509_2025_4_111.

Тормозные устройства, оснащенные клещевым механизмом, применяемые на современных электропоездах, должны обеспечивать требуемую эффективность на всех участках пути следования электропоезда, включая криволинейные участки [1-5]. В отличие от автомобильного транспорта клещевой механизм, обеспечивающий прижатие колодки к тормозному диску, закреплен на тележке, что приводит относительным линейным и угловым смещениям колодок относительно поверхности диска при прохождении криволинейных участков пути. В статьях [6, 7] приводится моделирование процесса схода с рельсов состава при движении на повороте. В исследованиях [8, 9] получена корреляция между тормозными характеристиками и износом обода колеса. В статьях [10, 11] проведено исследование распределения линейного износа в паре «колесо – рельс» между колесами тележки при движении по криволинейному участку пути. В диссертации [12] представлена разработка рациональной конструкции тормозного устройства с наличием параллелограммных контуров и перемещений осей рычагов относительно тормозного диска.

Аналитически рассчитать линейные и угловые перемещения тормозных блоков относительно тормозного диска возможно только при помощи определения линейных и угловых перемещений тележки, учитывая многомассовую колебательную систему (половина вагона – тележка – колесные пары) (рис. 1). Аналитически решение этой задачи является чрезвычайно сложным, потому как необходимо учитывать большое количество упругих и диссипативных связей и внешних источников возмущения.

После аналитического метода определения перемещений тележки электропоезда, необходимо определить силовые факторы в паре «тормозной диск – тормозная колодка».

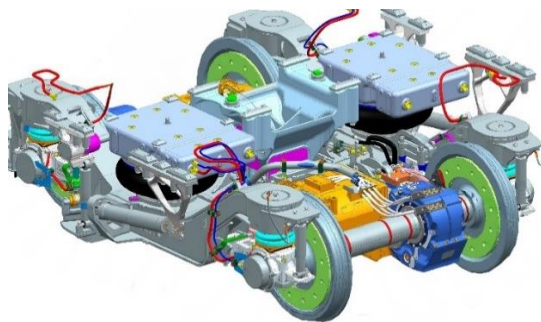


Рис. 1. Многомассовая система «половина вагона– тележка – колесные пары

При этом нормальные и тангенциальные силы для каждого тормозного блока на каждой колесной паре передней и задней тележек электропоезда будут различными по величине (рис. 2).

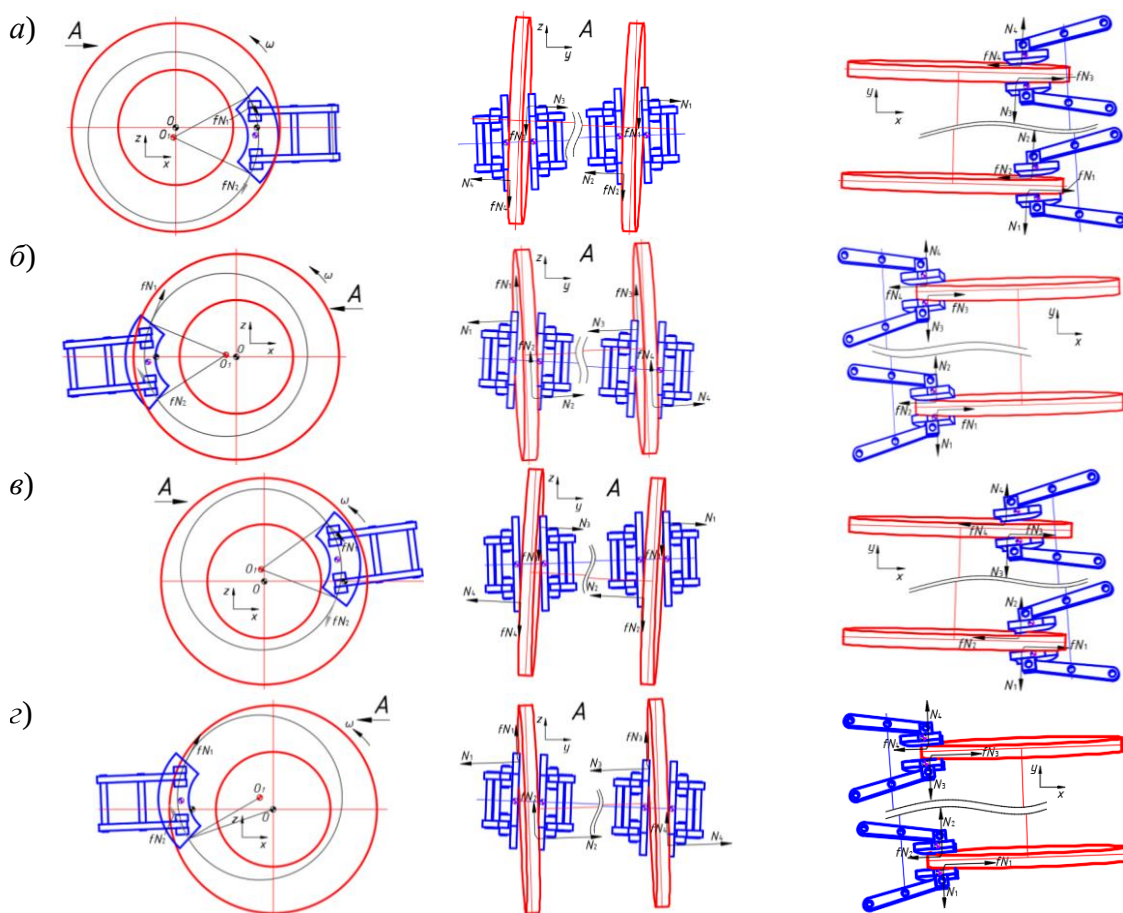


Рис. 2. Изменение нормальных и тангенциальных сил в паре «тормозной диск –тормозная колодка» в зависимости от расположения колесных пар тележек электропоезда: а – передняя колесная пара передней тележки; б – задняя колесная пара передней тележки; в – передняя колесная пара задней тележки; г – задняя колесная пара задней тележки

Если рассматривать тормозные колодки и поверхности тормозного диска как абсолютно твердые тела, то при движении электропоезда по криволинейному участку колодки контактируют с дисками по линии или точками, расположенными на краях колодок. Это

приводит к значительным динамическим нагрузкам, сосредоточенным локально на поверхностях пары трения, что ведет к значительному и неравномерному износу. Для выравнивания нагрузок по площади колодок необходимо усовершенствовать конструкцию тормозного блока с клещевым механизмом.

Усовершенствование конструкции тормозного устройства (рис. 3) заключается в замене вращательных шарниров, установленных между колодкой и рычагом тормозного блока на сферический шарнир, обеспечивающих наклон оси колодки в различных плоскостях. Для стабилизации положения колодки используются тяги актуатора, связывающие оси колодки и привода клещевого механизма.

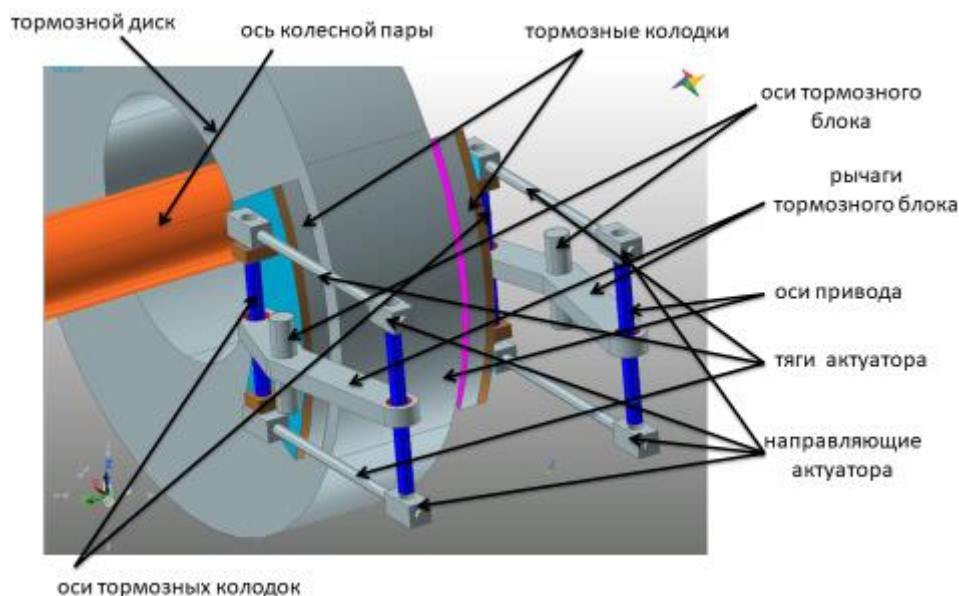


Рис. 3. Усовершенствованная конструкция тормозного блока с клещевым механизмом

Для сравнения замедления и изменения нормальных сил в паре «тормозная колодка – тормозной диск» были созданы твердотельные модели тормозных устройств со серийным и усовершенствованным клещевыми механизмами. Аналитически определить нормальные силы в парах трения тормоза с учетом перемещения диска является достаточно трудоемким процессом, поэтому исследование твердотельного взаимодействия рассматриваемых конструкций. Для имитации качения колесной пары по прямолинейному участку пути имитировалось колебание на 0,5 градуса в течении от 0 до 2,5с, после колесная пара въезжала на криволинейный участок с углом крена на 4 градуса с продолжающимися вертикальными колебаниями при движении по участку от 2,5 до 13с, после колесная пара катилась снова по прямолинейному участку с колебанием на величину 0,5 градуса на протяжении 5с.

В результате движения рабочие поверхности тормозного диска с серийным клещевым механизмом отклонялись от оси Oz и прижатие колодок осуществлялось краями. Тогда как тормозное устройство с усовершенствованным механизмом обеспечивало увеличение площади колодки после прижатия. Для сравнительного анализа процесса взаимодействия рабочих пар тормозных устройств сведем все данные в таблицу 1. При взаимодействии рабочих пар тормозного блока с усовершенствованным клещевым механизмом при постоянном изменении положения тормозного диска относительно колодок тормоза, небольшие участки колодок не задействованы в процессе торможения, что может привести к локальному износу фрикционных накладок. Для ликвидации незадействованных участков накладок при торможении необходимо корректировать положение колодки с помощью актуаторов в продольной плоскости тормозного диска, перемещая тяги актуаторов через направляющие, связывающие шарнирно оси привода и оси колодки. Результаты моделирования взаимодействия левой и правой колодок с поверхностью диска для сравнительного анализа сведем аналогично в таблицы 2 и 3.

Таблица 1

Положение колодок относительно тормозного диска

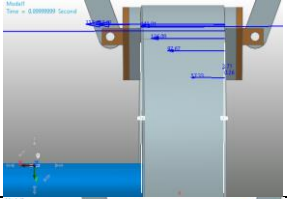
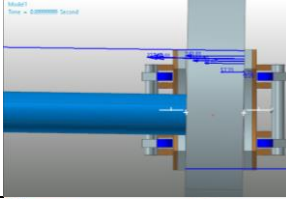
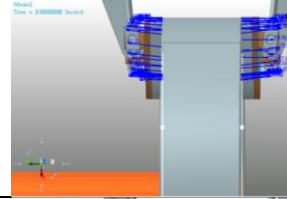
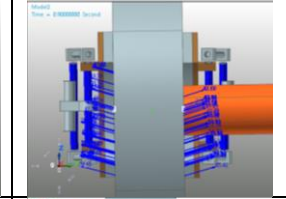
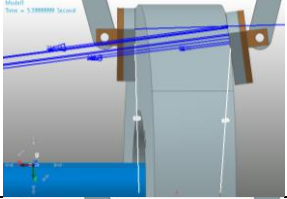
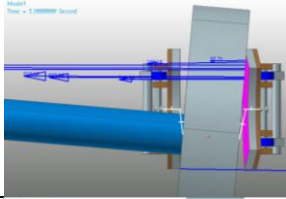
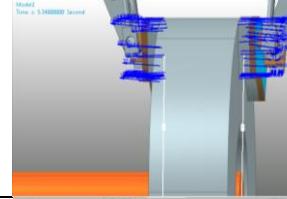
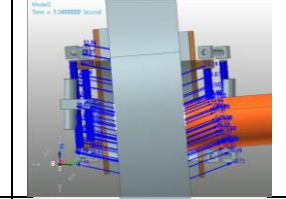
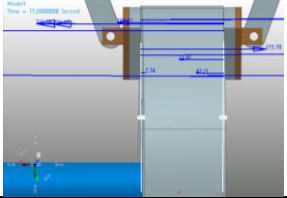
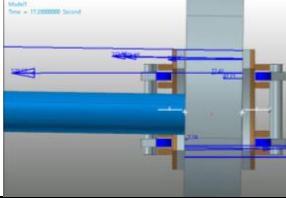
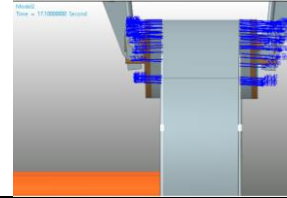
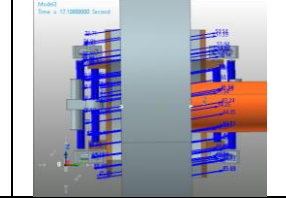
Крен, град.	Тормоз с серийным клевцевым механизмом		Тормоз с усовершенствованным клевцевым механизмом	
	Вид сверху	Вид спереди	Вид сверху	Вид спереди
от 0 до 0,5				
от 4 до 4,5				
от 0 до 0,5				

Таблица 2

Положение левой колодки относительно тормозного диска при его наклоне

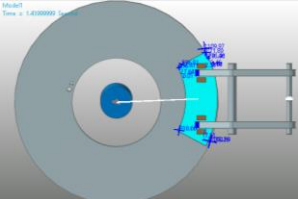
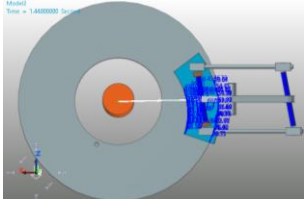
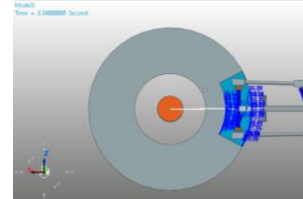
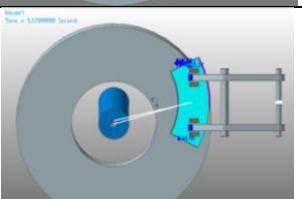
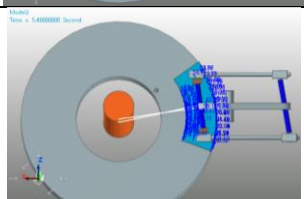
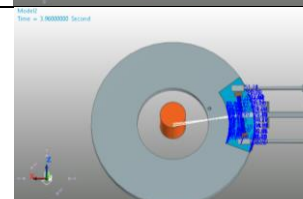
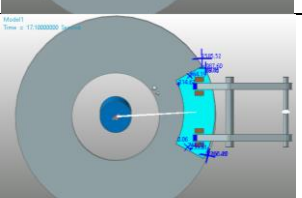
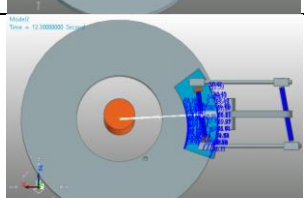
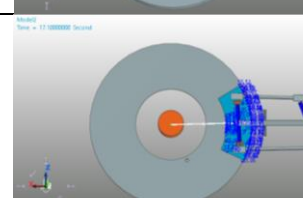
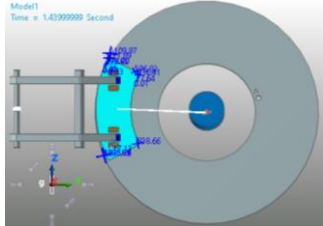
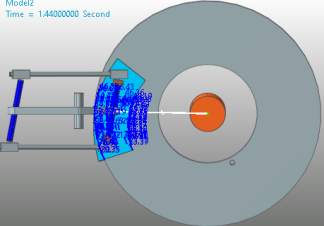
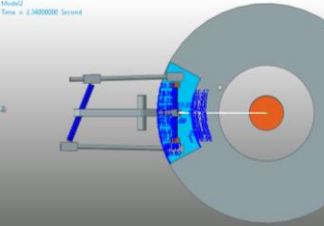
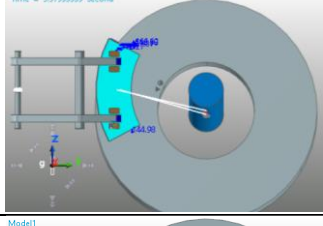
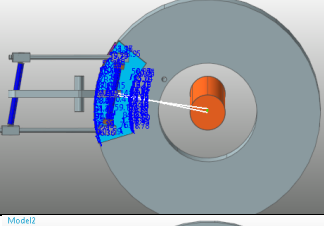
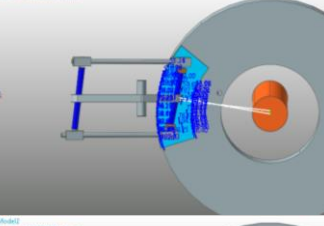
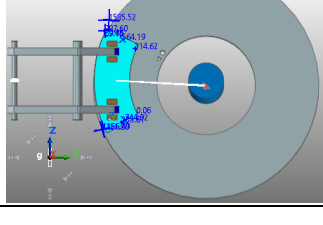
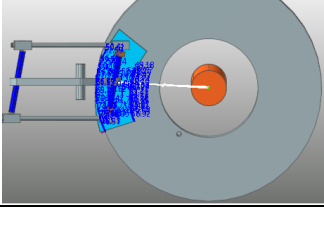
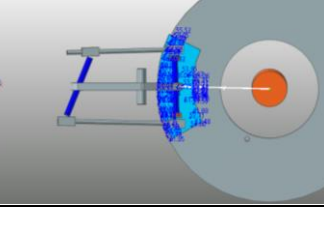
Крен, град.	Тормоз с серийным клевцевым механизмом	Тормоз с серийным усовершенствованным механизмом без актуатора	Тормоз с серийным усовершенствованным механизмом с актуатором
от 0 до 0,5			
от 4 до 4,5			
от 0 до 0,5			

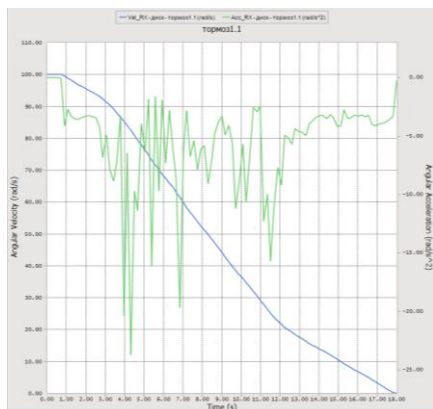
Таблица 3

Положение правой колодки относительно тормозного диска при его наклоне

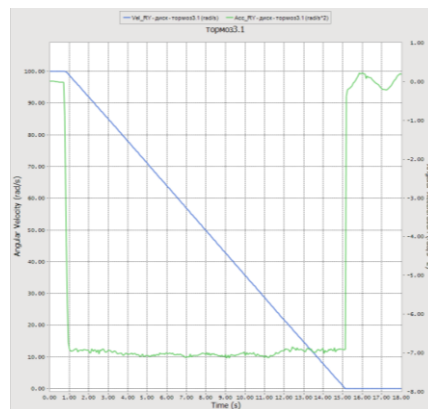
Крен, град.	Тормоз с серийным клещевым механизмом	Тормоз с серийным усовершенствованным механизмом без актуатора	Тормоз с серийным усовершенствованным механизмом с актуатором
от 0 до 0,5			
от 4 до 4,5			
от 0 до 0,5			

На основании результатов моделирования были построены кривые угловой скорости и углового замедления тормозного диска за время торможения (рис. 4).

а)



б)



в)

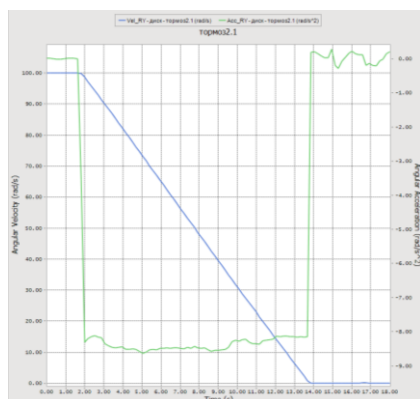
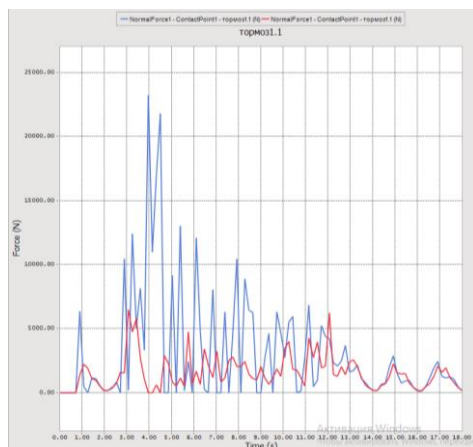


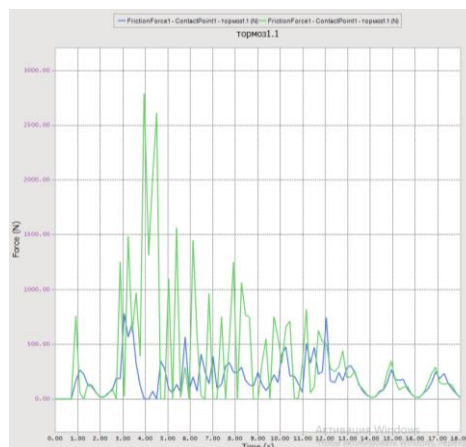
Рис. 4. Изменение угловой скорости вращения и углового замедления тормозного диска за время взаимодействия рабочих пар тормозных устройств: а – с серийным клещевым механизмом; б – с усовершенствованным клещевым механизмом без активного актуатора; в – с усовершенствованным клещевым механизмом с включенным актуатором

Помимо макропараметров тормозного процесса необходимо исследовать критерии взаимодействия рабочих пар тормозных устройств (рис. 5).

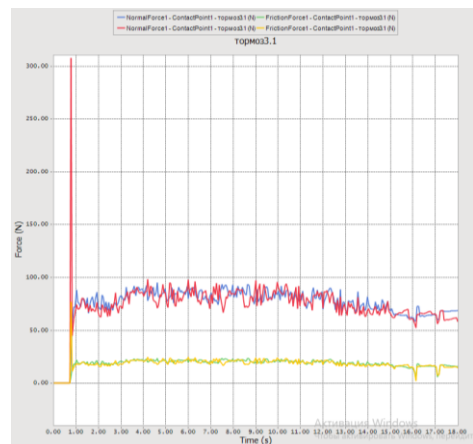
а)



б)



в)



г)

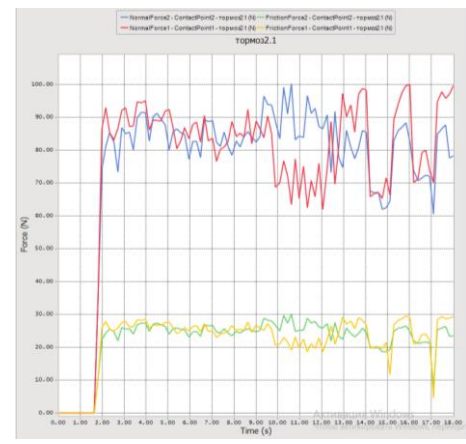


Рис. 5. Изменение нормальных и тангенциальных сил в паре «тормозная колодка – тормозной диск» за время торможения: а – с серийным клещевым механизмом для левой колодки; б – с серийным клещевым механизмом для правой колодки; в – с усовершенствованным клещевым механизмом без активного актуатора для обеих колодок; г – с усовершенствованным клещевым механизмом с включенным актуатором для обеих колодок

Полученные результаты моделирования позволяют утверждать, что применение актуатора позволяют распределить прижимающие силы, действующие со стороны клещевого механизма тормоза по всей площади колодок. Время торможения при использовании тормозного устройства с усовершенствованным клещевым механизмом снизилось в 1,28 раз, по сравнению с серийным клещевым механизмом. Нормальные и тангенциальные силы выровнялись по всей площади рабочих пар тормозного устройства с усовершенствованным клещевым механизмом, при этом применение актуатора позволило снизить величины силовых факторов в 57,5 раз, в сравнении с серийным тормозом.

Список литературы

1. Яицков, И. А. Моделирование динамики рычажной передачи тормозной системы в процессе торможения на участке пути, имеющему неровности (на примере пассажирского вагона) / И. А. Яицков, В. В. Косаревский // Вестник Донского

References

1. Yaitskov, I. A. Modeling the dynamics of the lever transmission of the brake system during braking on a section of the track with unevenness (using a passenger car as an example) / I. A. Yaitskov, V. V. Kosarevsky // Bulletin of the Don State Technical University.

государственного технического университета. – 2020. – Т. 20, № 1. – С. 36-41. – DOI 10.23947/1992-5980-2020-20-1-36-41. – EDN XZXASI.

2. **Яицков, И. А.** Эффективность теплоотвода поверхностей тормозного диска тормозной системы подвижного состава при различных режимах работы вентиляционного аппарата / И. А. Яицков, Е. С. Федотов, А. А. Назаретов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 1(97). – С. 219-224. – DOI 10.46973/0201-727X_2025_1_219. – EDN BKEGWH.

3. **Яицков, И. А.** Методика определения аэродинамических характеристик диффузорных вентиляционных каналов тормозных дисков транспортных средств / И. А. Яицков, Е. С. Федотов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 1(89). – С. 257-263. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_1_257. – EDN RCETKE.

4. Влияние направление воздушного потока воздуха на эффективность работы вентиляционного аппарата тормозного диска / И. А. Яицков, Е. С. Федотов, М. В. Стародуб [и др.] // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2022. – № 15. – С. 99-103. – DOI 10.26160/2658-3305-2022-15-99-103. – EDN BJEISP.

5. **Яицков, И. А.** Повышение эффективности торможения локомотивов: специальность 05.22.07 "Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Яицков Иван Анатольевич. – Ростов-на-Дону, 2003. – 233 с. – EDN NMKGOJ.

6. **Sun, Y.Q.** Mitigating train derailments due to sharp curve and overspeed (2018) *Frontiers in Mechanical Engineering*. – 2018. – vol. 4. – 12p. DOI: 10.3389/fmech.2018.00008.

7. **Paetsch C.R., Perlman A.B., Jeong D.Y.** Dynamic simulation of train derailments (2006) *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition (Chicago, USA)* 10p. DOI:10.1115/IMECE2006-14607.

- 2020. – Vol. 20, No. 1. – P. 36-41. – DOI 10.23947/1992-5980-2020-20-1-36-41. – EDN XZXASI.

2. **Yaitskov, I. A.** Efficiency of heat removal of brake disc surfaces of the rolling stock braking system under various operating modes of the ventilation apparatus / I. A. Yaitskov, E. S. Fedotov, A. A. Nazaretov // *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya*. – 2025. – No. 1 (97). – P. 219-224. – DOI 10.46973/0201-727X_2025_1_219. – EDN BKEGWH.

3. **Yaitskov, I. A.** Methodology for determining the aerodynamic characteristics of diffuser ventilation ducts of brake discs of vehicles / I. A. Yaitskov, E. S. Fedotov // *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya*. – 2023. – No. 1 (89). – P. 257-263. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_1_257. – EDN RCETKE.

4. The influence of air flow direction on the efficiency of the brake disc ventilation apparatus / I. A. Yaitskov, E. S. Fedotov, M. V. Starodub [et al.] // *Transport, mining and construction engineering: science and production*. – 2022. – No. 15. – P. 99-103. – DOI 10.26160/2658-3305-2022-15-99-103. – EDN BJEISP.

5. **Yaitskov, I. A.** Increasing the efficiency of locomotive braking: specialty 05.22.07 "Rolling stock of railways, train traction and electrification": dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Yaitskov Ivan Anatolyevich. – Rostov-on-Don, 2003. – 233 p. – EDN NMKGOJ.

6. **Sun, Y.Q.** Mitigating train derailments due to sharp curve and overspeed (2018) *Frontiers in Mechanical Engineering*. – 2018. – vol. 4. – 12p. DOI: 10.3389/fmech.2018.00008.

7. **Paetsch C.R., Perlman A.B., Jeong D.Y.** Dynamic simulation of train derailments (2006) *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition (Chicago, USA)* 10p. DOI:10.1115/IMECE2006-14607.

8. Rui S., Chenxu L., Lixia S., Zhongkai Z., Dilai C., Gang S. Analysis of wheel wear and wheel-rail dynamic characteristics of high-speed trains under braking conditions (2024) Shock and Vibration, 16p. <https://doi.org/10.1155/2024/9618500>.
9. Hamdaoui A., Jaddi El H. Effects of the brake shoe friction material on the railway wheel damage (2018) MATEC Web of Conferences, 149 4p. DOI:10.1051/mateconf/201714901090.
10. Xuesong J., Xinbiao X., Zefeng W., Jun G., Minhao Z. An investigation into the effect of train curving on wear and contact stresses of wheel and rail (2009) Tribology International, 42, pp. 475-490, DOI:10.1016/j.triboint.2008.08.004.
11. Воробев, А. А. Контактное взаимодействие колеса и рельса (2009) Вестник ИрГТУ №3(39) С. 42-47.
12. Разработка рациональной конструкции блока дискового тормоза для скоростных грузовых и высокоскоростных пассажирских вагонов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.22.07 / Мошков Алексей Александрович. - Москва, 2014. - 217 с.

8. Rui S., Chenxu L., Lixia S., Zhongkai Z., Dilai C., Gang S. Analysis of wheel wear and wheel-rail dynamic characteristics of high-speed trains under braking conditions (2024) Shock and Vibration, 16p. <https://doi.org/10.1155/2024/9618500>.
9. Hamdaoui A., Jaddi El H. Effects of the brake shoe friction material on the railway wheel damage (2018) MATEC Web of Conferences, 149 4p. DOI:10.1051/mateconf/201714901090.
10. Xuesong J., Xinbiao X., Zefeng W., Jun G., Minhao Z. An investigation into the effect of train curving on wear and contact stresses of wheel and rail (2009) Tribology International, 42, pp. 475-490, DOI:10.1016/j.triboint.2008.08.004.
11. Vorobev, A. A. Contact interaction of wheel and rail (2009) IrSTU Bulletin No. 3 (39) P. 42-47.
12. Development of a rational design of a disc brake block for high-speed freight and high-speed passenger cars: dissertation ... candidate of technical sciences: 05.22.07 / Moshkov Aleksey Aleksandrovich. - Moscow, 2014. - 217 p.

S. N. Korzhov, P. A. Polyakov

IMPROVING BRAKING PERFORMANCE BY UPGRADING THE DESIGN OF THE CLAMPING MECHANISM OF THE BRAKING DEVICE

Abstract. The interaction of the working pairs of the braking device with the clamping mechanism during the movement of the electric train trolley on a turn is analyzed. The resulting roll of the wheelset leads to the formation of local contact areas of the pad with the surfaces of the brake disc. As a result, there is uneven interaction within not only one wheelset, but also unevenness within one brake unit. To eliminate this drawback, an improved design of the clamping mechanism has been proposed, allowing the pads to rotate in three planes, which increases the contact area of the working pairs. An actuator was used to adjust the interacting pads with the disc surface. Computer simulation of the braking process by power devices with serial and improved clamping mechanisms was carried out. The use of a brake with an improved clamping mechanism has reduced braking time by 1.28 times compared to the standard brake. The normal forces in contact were reduced by 57.5 times, which showed an increase in braking efficiency when passing curved sections of the track.

Keywords: brake device, clamping mechanism, wheelset roll, actuator, pad, brake disc.

For citation: Korzhov, S. N. Improving Braking Efficiency by Upgrading the Design of the Clamping Mechanism of the Braking Device / S. N. Korzhov,

P. A. Polyakov // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya.
– 2025. – № 4. – P. 111–119. – DOI 10.46973/1818-5509_2025_4_111.

Сведения об авторах**Коржов Сергей Николаевич**

Ростовский государственный университет
путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Безопасность жизнедеятельности»,
аспирант,
e-mail: ksn@engcenter.ru

Поляков Павел Александрович

Набережночелнинский институт Казанского
федерального университета,
кафедра «Механики и конструирования»,
заведующий кафедрой,
доктор технических наук, доцент,
e-mail: polyakov.pavel88@mail.ru

Information about the authors**Korzhov Sergey Nikolaevich**

Rostov State Transport University (RSTU),
Chair «Life Safety»,
Postgraduate Student,
e-mail: ksn@engcenter.ru

Polyakov Pavel Alexandrovich

Naberezhnye Chelny Institute of Kazan
Federal University,
Chair «Mechanics and Engineering»,
Head of the Chair,
Doctor of Technical Sciences, Associate
Professor,
e-mail: polyakov.pavel88@mail.ru