

Климов А.А., Стручков А.В., Бондарик В.Б. Причины возникновения патологического износа бандажа в системе бандаж колеса локомотива-тормозная колодка и возможности его исключения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2018. – Т. 20, № 3. – С. 5–11. DOI: 10.15593/2224-9877/2018.3.01

Klimov A.A., Struchkov A.V., Bondarik V.B. The causes of pathological wear of the bandage in the bandage of the wheel of lokomotiva-tormoznaya kolodka system and the possibility of his exception. *Bulletin PNRPU. Mechanical engineering, materials science*, 2018, vol. 20, no. 3, pp. 5–11. DOI: 10.15593/2224-9877/2018.3.01

---

**ВЕСТНИК ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение**  
**Т. 20, № 3, 2018**  
**Bulletin PNRPU. Mechanical engineering, materials science**  
<http://vestnik.pstu.ru/mm/about/inf/>

---

DOI: 10.15593/2224-9877/2018.3.01  
УДК 629.4-592

**А.А. Климов<sup>1</sup>, А.В. Стручков<sup>2</sup>, В.Б. Бондарик<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Красноярский институт железнодорожного транспорта,  
филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, Красноярск, Россия  
<sup>2</sup> Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева,  
Красноярск, Россия

**ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПАТОЛОГИЧЕСКОГО ИЗНОСА БАНДАЖА  
В СИСТЕМЕ БАНДАЖ КОЛЕСА ЛОКОМОТИВА-ТОРМОЗНАЯ КОЛОДКА  
И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ИСКЛЮЧЕНИЯ**

На основе структурного анализа исследуемых стандартных тормозных локомотивных колодок авторами было установлено, что при наличии всех структурных составляющих, предусмотренных стандартом, их баланс может изменяться в широких пределах. Это подтверждается измерениями твердости на поверхностях новых и изношенных колодок. Твердость варьирует от 100 до 600 НВ, при этом она зависит от баланса графита и цементита в структуре, который сложно оптимизировать, так как любые технологические изменения процесса изготовления могут сильно изменять этот баланс. В результате этих исследований была предложена экспериментальная микроструктура тормозной локомотивной колодки, состоящая из феррита и графита, которую легко и без особых затрат можно получить как в условиях завода-изготовителя, так и в условиях ремонтных предприятий, и проведены сравнительные эксплуатационные испытания.

Изложен анализ результатов исследования возникновения патологических износов в трибологической паре бандаж колеса локомотива–тормозная колодка, полученных в результате эксплуатационных испытаний тормозных локомотивных колодок 3 групп – стандартных пониженной твердости, стандартных повышенной твердости и экспериментальных (со структурой феррито-графитовой) на трех тепловозах грузового движения на перегонах станции Ачинск Красноярской железной дороги. В ходе анализа материалов исследований были выделены 3 классификационные группы навара металла бандажей на тормозных колодках по толщине и строению, выявлено значительное количество тормозных колодок, имеющих следы патологического износа бандажей колес (навар), определено влияние структуры чугуна колодок на величину навара. Предложено направление снижения навара путем преобразования стандартной структуры чугуна в феррито-графитовую. Испытания показали актуальность данного направления – применение феррито-графитовой структуры тормозных колодок позволило полностью исключить патологический износ бандажей колесных пар тепловозов.

**Ключевые слова:** бандажи колесных пар, локомотивные тормозные колодки, поверхности износа структура чугуна, твердость, износ, графит, феррит, цементит, навар металла.

**A.A. Klimov<sup>1</sup>, A.V. Struchkov<sup>2</sup>, V.B. Bondarik<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, Branch of Irkutsk State University of Railway Transport,  
Krasnoyarsk, Russian Federation  
<sup>2</sup> Siberian State Aerospace University named after academician M.F. Reshetnev,  
Krasnoyarsk, Russian Federation

**THE CAUSES OF PATHOLOGICAL WEAR OF THE BANDAGE IN THE BANDAGE  
OF THE WHEEL OF LOKOMOTIVA-TORMOZNAYA KOLODKA SYSTEM  
AND THE POSSIBILITY OF HIS EXCEPTION**

As a result of these studies was an experimental locomotive brake pads microstructure consisting of ferrite and graphite, which easily and inexpensively can be obtained in the conditions of the manufacturer and conditions of repair facilities and comparative performance tests. The hardness varies from 100HV to 600HV. Hardness is dependent upon the balance of graphite and of cementite in the structure, which is difficult to optimize, because any technological changes in the manufacturing process can dramatically change that balance. Based on the structural analysis of the investigated standard locomotive brake pads, the authors determined that the presence of all structural components under standard, their balance may vary within wide limits. This is confirmed by the hardness measurements on the surfaces of new and worn pads

The work contains the analysis of the results of the study of pathologic wear in the tribological pair "wheel tread of the locomotive - brake pad" derived from performance tests, the locomotive brake pads three groups – standard of low hardness, standard increased hardness and experimental (with the structure of ferrite-graphite) at the three locomotives freight traffic on the stretch of station Achinsk Krasnoyarsk railway. Analysis of the research material allowed to distinguish three classification groups gain metal bands on the brake shoes for thickness and structure. A significant number of pads have traces of abnormal wear on the tires of the wheels (fat), the influence of the structure of the cast iron pads on the magnitude of a gain. The suggested direction of reducing the gain by transforming the standard structure of cast iron in ferrite-graphite.

**Keywords:** tyres, wheel sets, locomotive brake pads, the wear surface structure of iron, hardness, wear, graphite, ferrite, cementite, fat metal.

Трибологическая пара бандаж колеса локомотива–тормозная колодка работает в жестких условиях открытой внешней среды при больших усилиях давления приводного тормозного механизма. Большие усилия в зоне трения приводят к удалению поверхностных разделительных пленок, что обеспечивает непосредственный контакт металла бандажа и тормозной колодки и нередко приводит к патологическому износу бандажа, как более пластичного материала, чем чугун колодки [1, 6].

В работах [7–18] авторами был изучен состав стандартных тормозных колодок и его флуктуации. Было установлено, что при наличии всех структурных составляющих, предусмотренных стандартом, их баланс может изменяться в широких пределах. Это подтверждается измерением твердости на поверхностях новых и изношенных колодок. Твердость варьирует от 100 до 600 НВ. При этом она зависит от баланса графита и цементита в структуре, который сложно оптимизировать, так как любые технологические изменения процесса изготовления могут сильно его изменять.

В результате теоретических исследований была предложена экспериментальная структура тормозной локомотивной колодки, состоящая из феррита и графита, которую легко и без особых затрат можно получить как в условиях завода-изготовителя, так и в условиях ремонтных предприятий [19, 20]. При этом состав и технология литья остаются без изменений.

Комплект экспериментальных тормозных колодок, полученных в 2013 г. отжигом в локомотивном депо Красноярска, был испытан на электровозе-толкаче сравнительным методом, т.е. на 1 машине. Были вперемешку установлены 16 колодок трех групп: мягкой со стандартной структурой, твердой со стандартной структурой и экспериментальной с феррито-графитовой структурой. В результате было установлено, что в совершенно идентичных условиях эксплуатации применение экспериментальной структуры позволило уменьшить износ бандажей в 4 раза по сравнению с твердыми и в 2 раза по сравнению с мягкими колодками.

Для подтверждения полученных результатов [13–15, 17, 18] в 2017 г. были проведены расширенные исследования на 3 тепловозах грузового движения в условиях эксплуатации на перегонах

ст. Ачинск. На 1 тепловозе были установлены мягкие со стандартной структурой (48 шт.), на 2-м – твердые со стандартной структурой (48 шт.), на 3-м – экспериментальные колодки (48 шт.). Исследования проводились в течение срока между ТО-3 в период с июня по декабрь.

Анализ поверхностей износа тормозных колодок показал следующее:

– средняя твердость на поверхности износа составила:

- твердых колодок 287 НВ (изначальная 312 НВ) с коэффициентом вариации 21 %;
- мягких колодок – 213 НВ (изначальная 229 НВ) с коэффициентом вариации 10,2 %;
- экспериментальных – 243 НВ (изначальная 232 НВ) с коэффициентом вариации 6,2 %;

– весь срок испытаний (между ТО-3) выдержали 47 колодок твердой группы, 30 колодок экспериментальной группы, 18 колодок мягкой группы;

– без наваров на поверхности оказалось 8,5 % в группе твердых колодок, 0 % в группе мягких колодок и 100 % в группе экспериментальных колодок.

При этом было установлено, что навар на поверхности трения колодок имеет различное строение, которое зависит от структуры металла и его твердости. В зависимости от толщины его можно разделить на 3 группы:

- многослойный общей толщиной 1,0–1,5 мм;
- поверхностный с чешуйками толщиной 0,2–0,5 мм;
- поверхностный с чешуйками толщиной 0,1–0,2 мм.

**На колодках повышенной твердости** со структурой, имеющей большое количество цементита и почти полное отсутствие графита (баланс углерода в сторону цементита), в процессе торможения твердые блоки изнашиваются медленнее, занятые ими площади зависят от количества цементита и тройной фосфидной эвтектики. Графитовая пленка удерживается только в углублениях между твердыми блоками, и перераспределение нагрузки на твердые выступы приводит к повышению температуры на них и схватыванию металла. Количество наваренного металла и его структура зависят от твердости (баланса графита и цементита).

На поверхности колодок повышенной твердости – около 300 НВ (с минимальным количеством графита в структуре) – образуется навар первого типа (рис. 1). При этом на поверхности этих

колодок видны отслоившиеся от поверхности края пластин толщиной до 1,5 мм.



Рис. 1. Наваар металла на поверхности тормозной колодки твердой группы (твердость около 300 НВ)

Поверхности колодок меньшей твердости – около 260 НВ, имеющих лучший баланс графита и цементита, менее подвержены образованию наваара. Это определяется тем, что поверхности твердых блоков значительно меньше, но их больше, значит, распределенная нагрузка, определяющая термическое напряжение на них, меньше, а площадь графитовой пленки больше. Эти обстоятельства определяют наваар в виде небольших пластинок или мелких чешуек толщиной до 0,5 мм (рис. 2).

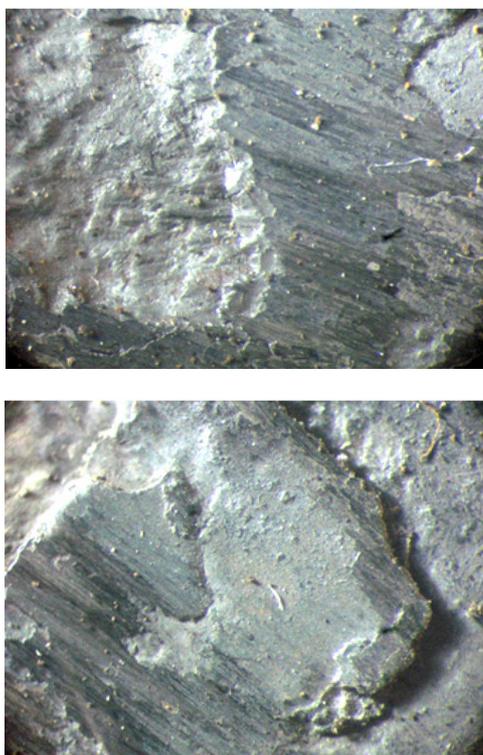
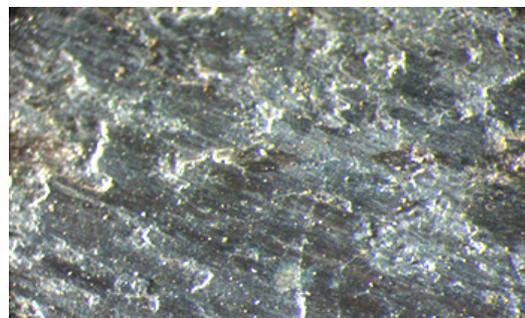


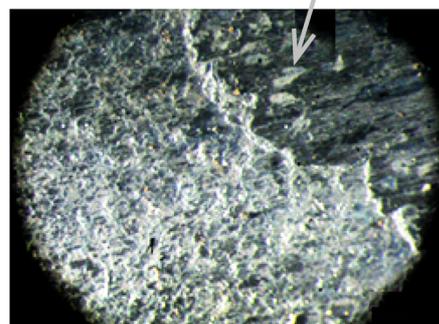
Рис. 2. Пластины наваара толщиной 0,2–0,5 мм на поверхности износа колодок с твердостью около 260 НВ,  $\times 100$

На колодках группы малой твердости (около 230 НВ), имеющих баланс графита и цементита в сторону графита, также образуется наваар, но в виде более мелких чешуек толщиной 0,1–0,2 мм (рис. 3).



а

Пластина наваара на поверхности колодки



б

Рис. 3. Пластины наваара толщиной 0,1–0,2 мм на поверхности колодки пониженной твердости при разном увеличении: а –  $\times 100$ ; б –  $\times 50$

На колодках этой же группы, но с пониженной твердостью (около 200 НВ) не имеется наваара на поверхности катания, но редкие частички твердых блоков, выламываясь из поверхности колодки, вдавливаются в более пластичный металл бандажа и по мере вращения колеса образуют на поверхности колодки параллельные борозды (рис. 4).

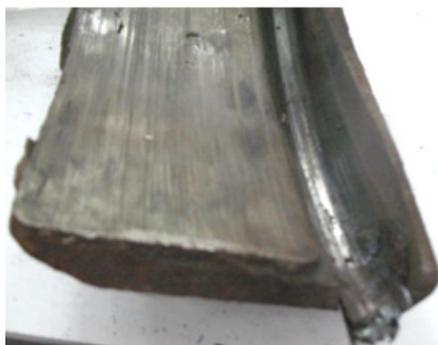


Рис. 4. Износ колодки мягкой группы (хорошо видны продольные борозды)

Такие колодки имеют повышенный износ. При этом износ на поверхности катания значительно больше, чем на внутренней поверхности гребня, и развивается с большей скоростью. В результате неравномерного износа колодка «садится» на гребень колеса и за счет перераспределения удельных нагрузок на эту зону происходит ее патологический износ (рис. 5).



а



б

Рис. 5. Результат патологического износа гребня бандажа мягкой колодкой: а – металл бандажа выдавлен на поверхность катания; б – металл бандажа выдавлен по внутренней поверхности гребня колодки в сторону вращения колеса

Экспериментальные колодки, которые не имеют цементита, а их структура состоит из 2 фаз – феррита и графита крупнопластинчатого, мелкопластинчатого и дисперсного строения, образуют качественную разделительную графитовую пленку по всей площади контакта, которая, постоянно возобновляясь в процессе торможения, препятствует образованию наvara. Небольшие следы блестящего металла на поверхности являются следами от пластичных ферритных блоков (рис. 6, 7). Такие колодки при нормальном остаточном износе прошли до 12 000 км без следов наvara.

Статистический анализ показывает, что из 47 колодок твердой группы 8,5 % не имели наvara, 63,5 % колодок имели навар чешуйчатого типа, а 18 % имели навар пластинчатого типа (рис. 8).



Рис. 6. Поверхность износа экспериментальной колодки

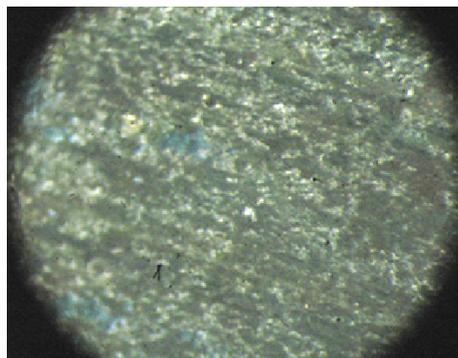


Рис. 7. Поверхность износа экспериментальной колодки, где видны блестящие частички феррита,  $\times 50$

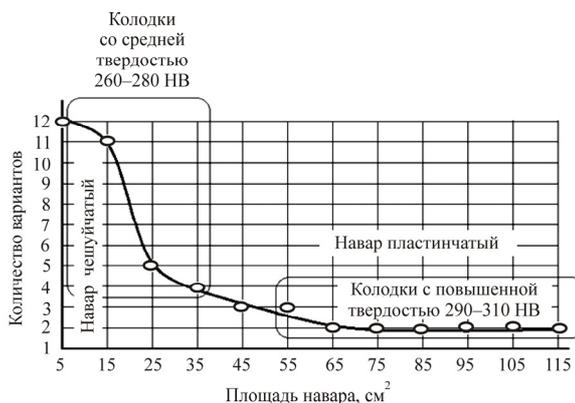


Рис. 8. Гистограмма распределения значений площади наvara на поверхности износа колодок твердой группы

Средняя площадь наvara на поверхности износа колодок твердой группы составила  $29,5 \text{ см}^2$ , среднеквадратическое отклонение  $\sigma = 30 \text{ см}^2$ , а коэффициент вариации  $\gamma = 102 \%$ .

Из колодок мягкой группы все анализируемые колодки (18 шт.) имели навар, 67 % из них имели навар чешуйчатого типа, а 33 % – многослойный навар с толщиной до 2 мм в зоне гребней колодок (рис. 9). Средняя площадь наvara составила  $58,5 \text{ см}^2$ , среднеквадратическое отклонение –  $73,2 \text{ см}^2$ , а коэффициент вариации  $\gamma = 125 \%$ .

Таким образом, на основе анализа результатов эксплуатационных испытаний тормозных локомотивных колодок можно сделать следующие выводы:

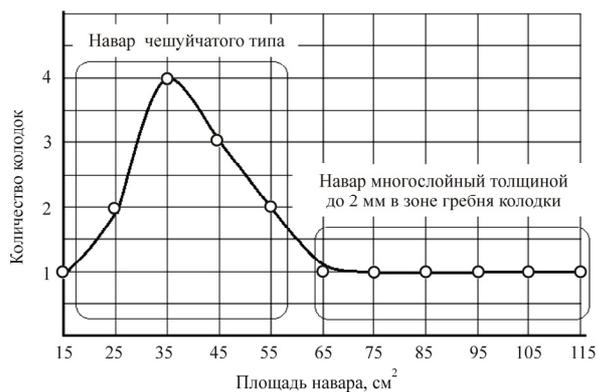


Рис. 9. Гистограмма распределения значений площади наvara на поверхности износа колодок мягкой группы

1. Микроструктура тормозных колодок твердой группы с повышенным содержанием цемента приводит к усилению недостатков стандартной микроструктуры и, как следствие, к повышенному износу материала бандажей колес за счет схватывания металла бандажа и колодки.

2. Толщина наvara и его характер на поверхности износа тормозной локомотивной колодки зависят от твердости (графито-цементитного баланса углерода в структуре). Навар подразделяют на следующие характерные типы:

- многослойный общей толщиной 1,0–1,5 мм;
- поверхностный с чешуйками толщиной 0,2–0,5 мм;
- поверхностный с чешуйками толщиной 0,1–0,2 мм.

3. Слишком мягкая тормозная колодка (ниже стандарта) обеспечивает повышенный износ гребней бандажей за счет просадки колодок и повышения значений удельного давления в этой зоне.

4. Износ бандажей экспериментальными колодками не сопровождается наваром, так как их структура состоит из 2 фаз – феррита и графита крупнопластинчатого, мелкопластинчатого и дисперсного строения, что обеспечивает равномерную (без выступов) поверхность контакта и качественную разделительную графитовую пленку по всей площади этого контакта, которая, постоянно возобновляясь в процессе торможения, препятствует образованию наvara.

### Список литературы

1. Афонин Д.Г. Исследование и разработка технологии изготовления отливки тормозной локомотивной колодки для железнодорожного транспорта из износостойкого графитизированного чугуна с повышенной эксплуатационной стойкостью: автореферат дис. ... канд. техн. наук. – М., 2001. – 19 с.

2. Исследования структуры, свойств чугуна и эксплуатационной стойкости тормозных колодок производ-

ства ОАО «Сантехлит» / И.К. Кульбовский, Д.Г. Афонин, И.И. Добровольский, Ю.В. Игнатенко // Материаловедческие проблемы в машиностроении: тез. докл. обл. науч.-техн. конф. – Брянск, 1997. – С. 7–8.

3. Сухов А.В., Брюнчуков Г.И., Тимофеев В.В. Локомотивные бандажи марки 4 // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 2. – С. 58–61.

4. Буйнов А.П. Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: дис. ... д-ра техн. наук. – Екатеринбург, 2011. – 456 с.

5. Худояров Д.Л. Повышение долговечности бандажей колесных пар электровозов в условиях депо: дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург, 2010. – 162 с.

6. Тепляков А.Н. Пути снижения интенсивности износа гребней колесных пар локомотивов: дис. ... канд. техн. наук. – Хабаровск, 2004. – 183 с.

7. Взаимодействие экспериментальных тормозных колодок, разработанных КриЖТ ИрГУПС, и бандажей колесных пар локомотивов: отчет о госбюджет. науч.-исслед. раб. (промежуточ.) / под рук. А.А. Климова; исполн.: С.В. Домнин, В.П. Кирпиченко, В.Б. Бондарик; Краснояр. ин-т ж.-д. транспорта Иркут. гос. ун-т путей сообщения. – Красноярск, 2016. – 25 с.

8. Исследование возможности использования феррито-графитной микроструктуры для чугуна тормозной локомотивной колодки. / А.А. Климов, С.В. Домнин, А.В. Стручков [и др.] // Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф., Новосибирск, 13–14 марта 2015 г. Ч. 2. Технические науки. – Новосибирск, 2015. – № 2(9). – С. 161–165.

9. Взаимодействие экспериментальных тормозных колодок, разработанных КриЖТ ИрГУПС, и бандажей колесных пар локомотивов / под рук. А.А. Климова; исполн. С.В. Домнин. – Красноярск, 2013. – 58 с.

10. Исследование графитных включений в микроструктурах чугуна тормозных локомотивных колодок / А.А. Климов, А.В. Стручков, В.Б. Бондарик [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2017. – Т. 19, № 3. – С. 19–33.

11. Способ улучшения трибологических характеристик пары «Колесо-тормозная колодка» локомотивов / А.А. Климов, С.В. Домнин, А.В. Стручков [и др.] // Технические науки – от теории к практике: материалы VIII Междунар. конф. – СПб., 2016. – С. 47–53.

12. Исследование влияния структуры и твердости тормозных колодок на износ бандажей колес локомотивов / А.А. Климов, С.В. Домнин, А.В. Стручков [и др.] // Современные технологии, системный анализ, моделирование. – 2017. – № 1(53). – С. 215–218.

13. Климов А.А., Домнин С.В., Хацкевич Д.С. Способ повышения износостойкости тормозных локомотивных колодок из серого чугуна / // Современные концепции научных исследований: IX Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2014. – Ч. 1. – С. 82–85.

14. Влияние состава и микроструктуры тормозных локомотивных колодок на их трибологические свойства / А.А. Климов, С.В. Домнин, А.В. Стручков [и др.] // Вестник ИрГТУ. – 2017. – Т. 21, № 11. – С. 179–190.

15. Исследование металлической основы микро-структуры тормозных локомотивных колодок // А.А. Климов, А.В. Стручков, В.Б. Бондарик [и др.] // Вестник института проблем естественных монополий. Техника железных дорог. – 2017. – № 4(40). – С. 26–30.

16. Влияние микроструктуры и твердости тормозной локомотивной колодки на трещинообразование чугуна / А.А. Климов, С.В. Домнин, А.В. Стручков [и др.] // Системы. Методы. Технологии: науч. периодич. журн. / Братск. гос. ун-т. – 2016. – № 2(30). – С. 64–68.

17. Металлографическое исследование процесса трещинообразования в чугуне тормозных локомотивных колодок / А.А. Климов, А.В. Стручков, В.Б. Бондарик [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Транспорт, транспортные сооружения, экология. – 2017. – № 3. – С. 94–106.

18. Анализ состава и микроструктуры тормозных колодок и влияние их на трибологические свойства / А.А. Климов, А.В. Стручков, В.Б. Бондарик [и др.] // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – № 11. – С. 179–190.

19. Способ повышения износостойкости тормозных локомотивных колодок: пат. № 2575505 Рос. Федерация, МПК С21D 5/02 / Климов А.А., Стручков А.В. [и др.]. № 2014119180; Заявл. 13.05.2014; Опубл. 20.02.2016. Бюл. № 5.

20. Фрикционный чугун для тормозных локомотивных колодок и способ его получения: пат. № 2573848 Рос. Федерация, МПК С22С37/10, С21D 5/02 / Климов А.А., Стручков А.В. [и др.]. № 2014119182/02; Заявл. 24.07.2014; Опубл. 27.01.2016. Бюл. № 3.

## References

1. Afonin D.G. Issledovanie i razrabotka tekhnologii izgotovleniia otlivki tormoznoi lokomotivnoi kolodki dlia zheleznodorozhnogo transporta iz iznosostoikogo grafitizirovannogo chuguna s povyshennoi eks-pluatatsionnoi stoikost'iu [Research and development of manufacturing techniques of casting of a brake locomotive shoe for railway transport from wearproof graphitized cast iron with the increased operational firmness]. Ph.D. thesis. Moscow, 2001, 19 p.

2. Kul'bovskii I.K., Afonin D.G., Dobrovol'skii I.I., Ignatenko Iu.V. Issledovaniia struktury, svoistv chuguna i ekspluatatsionnoi stoikosti tormoznykh kolodok proizvodstva OAO «Santekhilit» [Researches of structure, properties of cast iron and operational firmness of brake shoes of production of JSC Santekhilit]. *Materialovedche-skie problemy v mashinostroenii: tezisy dokladov oblastnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*. Briansk, 1997, pp. 7–8.

3. Sukhov A.V., Briunchukov G.I., Timofeev V.V. Lokomotivnye bandazhi marki 4 [Locomotive bandages of brand 4]. *Zheleznodorozhnyi transport*. 2012, no. 2, pp. 58–61.

4. Buinosov A.P. Metody povysheniia resursa bandazhei kolesnykh par tiagovogo podvizhnogo sostava [Methods of increase in a resource of bandages of wheel couples of traction rolling stock]. Ph.D. thesis. Ekaterinburg, 2011, 456 p.

5. Khudoiarov D.L. Povysenie dolgovechnosti bandazhei kolesnykh par elektrovozov v usloviakh depo [Increase in durability of bandages of wheel couples of

electric locomotives in the conditions of depot]. Ph.D. thesis. Ekaterinburg, 2010, 162 p.

6. Tepliakov A.N. Puti snizheniia intensivnosti iznosa grebnei kolesnykh par lokomotivov [Ways of decrease in intensity of wear of crests of wheel couples of locomotives]. Ph.D. thesis. Khabarovsk, 2004, 183 p.

7. Vzaimodeistvie eksperimental'nykh tormoznykh kolodok, razrabotannykh KrIzhT IrGUPS, i bandazhei kolesnykh par lokomotivov [Interaction of experimental brake shoes, developed KrIzhT IRGUPS, and bandages of wheel couples of locomotives]. Ed. A.A. Klimova; ispolniteli S.V. Domnin, V.P. Kirpichenko, V.B. Bondarik. Krasnoarskii institut zheleznodorozhnogo transporta Irkutskii gosudarstvennyi universitet putei soobshcheniia, 2016, 25 p.

8. Klimov A.A., Domnin S.V., Struchkov A.V. Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovaniia ferrito-grafitnoi mikrostruktury dlia chuguna tormoznoi lokomotivnoi kolodki [Research of a possibility of use of a fer-rito-graphitic microstructure for cast iron of a brake locomotive shoe]. *Nauchnye perspektivy XXI veka. Dostizheniia i perspektivy novogo stoletii: materialy IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Novosibirsk, 13–14 marta. Tekhnicheskie nauki*. Novosibirsk, 2015, no. 2(9), pp. 161–165.

9. Vzaimodeistvie eksperimental'nykh tormoznykh kolodok, razrabotannykh KrIzhT IrGUPS, i bandazhei kolesnykh par lokomotivov [Interaction of experimental brake shoes, developed KrIzhT IRGUPS, and bandages of wheel couples of locomotive]. Ed. A.A. Klimova; ispolniteli S.V. Domnin. Krasnoarsk, 2013, 58 p.

10. Klimov A.A., Struchkov A.V., Bondarik V.B. Issledovanie grafitnykh vkluchenii v mikrostrukturakh chuguna tormoznykh lokomotivnykh kolodok [A research of graphitic inclusions in microstructures of cast iron of brake locomotive shoes]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politeknicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie*, 2017, vol. 19, no. 3, pp. 19–33.

11. Klimov A.A., Domnin S.V., Struchkov A.V. Sposob uluchsheniia tribologicheskikh kharakteristik pary «Koleso-tormoznaia kolodka» lokomotivov [A way of improvement of tribological characteristics of couple "A wheel - a brake shoe" locomotives]. *Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike: materialy VIII Mezhdunarodnoi konferentsii*. Saint-Petersburg, 2016, pp. 47–53.

12. Klimov A.A., Domnin S.V., Struchkov A.V. Issledovanie vliianiia struktury i tverdosti tormoznykh kolodok na iznos bandazhei koles lokomotivov [A research of influence of structure and hardness of brake shoes on wear of bandages of wheels of locomotives]. *Sovremennye tekhnologii, sistemnyi analiz, modelirovanie*, 2017, no. 1(53), pp. 215–218.

13. Klimov A.A., Domnin S.V., Khatskevich D.S. Sposob povysheniia iznosostoikosti tormoznykh lokomotivnykh kolodok iz serogo chuguna [Way of increase in wear resistance of brake locomotive shoes from gray cast iron]. *Sovremennye kontseptsii nauchnykh issledovani: IX Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaiia konferentsiia*. Moscow, 2014, pp. 82–85.

14. Klimov A.A., Domnin S.V., Struchkov A.V. Vliianie sostava i mikrostruktury tormoznykh lokomotivnykh kolodok na ikh tribologicheskie svoistva [Influence of

structure and microstructure of brake locomotive shoes on their tribological properties]. *Vestnik IrGTU*, 2017, vol. 21, no. 11, pp. 179–190.

15. Klimov A.A., Struchkov A.V., Bondarik V.B. Issledovanie metallicheskoj osnovy mikrostruktury tormoznykh lokomotivnykh kolodok [Research of a metal base of a microstructure of brake locomotive shoes]. *Vestnik instituta problem estestvennykh monopolii. Tekhnika zheleznykh dorog*, 2017, no. 4(40), pp. 26–30.

16. Klimov A.A., Domnin S.V., Struchkov A.V. Vliianie mikrostruktury i tverdosti tormoznoi lokomotivnoi kolodki na treshchinoobrazovanie chuguna [Influence of a microstructure and hardness of a brake locomotive shoe on a cast iron treshchinoobrazovaniye]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii: nauchnyi periodicheskii zhurnal. Bratskii gosudarstvennyi universitet*, 2016, no. 2(30), pp. 64–68.

17. Klimov A.A., Struchkov A.V., Bondarik V.B. Metallograficheskoe issledovanie protsessa treshchinoobrazovaniia v chugune tormoznykh lokomotivnykh kolodok [A metalgraphic research of process of a treshchinoobrazovaniye in cast iron of brake locomotive shoes]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Transport, transportnye sooruzheniia, ekologiia*, 2017, no. 3, pp. 94–106.

18. Klimov A.A., Struchkov A.V., Bondarik V.B. Analiz sostava i mikrostruktury tormoznykh kolodok i vliianie ikh na tribologicheskie svoistva [18. Analysis of structure and microstructure of brake shoes and their influence on tribological properties]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, no. 11, pp. 179–190.

19. Klimov A.A., Struchkov A.V. Sposob povysheniia iznosostoikosti tormoznykh lokomotivnykh kolodok [Way of increase in wear resistance of brake locomotive shoes]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2575505 (2016).

20. Klimov A.A., Struchkov A.V. Friksionnyi chugun dlia tormoznykh lokomotivnykh kolodok i sposob ego polucheniia [Frictional cast iron for brake locomotive shoes and a way of his receiving]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2573848 (2014).

Получено 28.06.2018

## Об авторах

**Стручков Алексей Валентинович** (Красноярск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры основ конструирования машин Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева; e-mail: str-alex-v@mail.ru.

**Климов Анатолий Александрович** (Красноярск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации железных дорог Красноярского института железнодорожного транспорта, филиала Иркутского государственного университета путей сообщения; e-mail: anatoly.klimoff2013@yandex.ru.

**Бондарик Владимир Борисович** (Красноярск, Россия) – аспирант Красноярского института железнодорожного транспорта, филиала Иркутского государственного университета путей сообщения, начальник службы технической политики Красноярской железной дороги; e-mail: bondarikVB@krw.rzd.

## About the authors

**Alexei V. Struchkov** (Krasnoyarsk, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Machine Design Basics, Siberian State Aerospace University named after academician M.F. Reshetnev; e-mail: str-alex-v@mail.ru.

**Anatolii A. Klimov** (Krasnoyarsk, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Operation of Railways, Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, Branch of Irkutsk State University of Railway Transport; e-mail: anatoly.klimoff2013@yandex.ru.

**Vladimir B. Bondarik** (Krasnoyarsk, Russian Federation) – Postgraduate Student, Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, Branch of Irkutsk State University of Railway Transport, Chief of the Technical Policy of the Krasnoyarsk Railway; e-mail: bondarikVB@krw.rzd.