

УДК 629.4.021.2

DOI: 10.30987/1999-8775-2020-2020-1-34-39

Д.Я. Антипин, В.И. Воробьев, М.А. Маслов, В.О. Корчагин

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАР ТРЕНИЯ «КОЛЕСО - РЕЛЬС»

Выполнен анализ установок, приборов и устройств по признаку геометрии пары трения. Дано описание и обоснованы конструктивные особенности устройства для намагничивания зоны трения двухкатковой установки. Приведены режи-

мы работы устройства при намагничивании в продольном и поперечном направлениях.

Ключевые слова: сцепление колеса с рельсом, катковый стенд, магнитное поле, пара трения, магнитопровод, трение.

D.Ya. Antipin, V.I. Vorobiyov, M.A. Maslov, V.O. Korchagin

DEVICE FOR RESEARCHES OF MAGNETIC FIELD IMPACT UPON "WHEEL-RAIL" FRICTION PAIR CHARACTERISTICS

The paper is dedicated to the circuit diagram substantiation of the specialized roller bench for researches of the magnetic field impact upon wheel adhesion with a rail. On the basis of the analysis of the experimental plants available at present for the study of the contact interaction of wheels with rails it is defined that two-roller benches are the most efficient for the investigation of different outer factors impact upon wheel adhesion with a rail. Taking into account mentioned above there is offered an original design of the two-roller bench equipped with the device for friction area magnetization. Two cylinders with parallel axes are theoretically a friction pair. Taking into account the presence of a non-concurrency arisen at roller manufacturing and mounting a point contact is realized in the bench. A bench formation is carried out according to a modular approach with the installation of rotary magnetic conductors. For the support of the largest magnetization of a friction area in longitudinal and transverse directions and for the decrease of stray flux in the bench there is realized a series connection of

roller friction area with the sources of a magnetizing force. For the substantiation of rotary magnetic conductor position choice regarding a friction area of bench rollers there is carried out an analysis of magnetic field distribution in the friction area depending on the location of magnetic conductors. On the basis of the investigation results it is defined that a change of magnetic conductor position changes the orientation of a magnetic field vector, at that a roller friction area is magnetized in transverse and longitudinal directions.

In view of this the bench design offered allows investigating the impact of longitudinal and cross magnetic fields upon friction in the contact of a wheel with a rail. Furthermore, it is defined that at small values of an angle between the direction of a magnetic field vector and the plane of a roller friction area a possibility to exclude the effect of roller magnetic additional loading appears.

Key words: wheel adhesion with rail, roller bench, magnetic field, friction pair, magnetic conductor, friction.

Введение

Задача повышения сцепления колес тягового подвижного состава с рельсами не перестаёт быть актуальной как для отечественных, так и для зарубежных ученых. В то же время она является достаточно сложной и имеет значительное количество подходов к решению [1]. При этом в качестве перспективного для отечественного тягового подвижного состава может рассматриваться метод, основанный на повышении сцепления за счет воздействия магнитного поля. Исследования процессов, происходящих в зоне контакта колеса с рельсом, а также обоснование параметров устройств, повы-

шающих сцепление колес с рельсами, проводятся с использованием специализированных стендов, достоинством которых является возможность в лабораторных условиях обеспечить условия и режимы трения, характерные для исследуемой системы. Следует отметить, что катковые установки при относительно невысокой стоимости позволяют воссоздать наиболее близкие к эксплуатационным условия трения. В связи с этим актуальной задачей является разработка специализированного каткового стенда для исследования влияния магнитного поля на сцепление колеса с рельсом.

Теоретический анализ проблемы и методы исследования

Анализ исследований в области создания подобных установок показал следующее. В установке, описанной в [2], пара трения представлена цилиндром, взаимодействующим с плоскостью, что относит данную установку к разряду однокатковых. Ее авторами было показано соотношение составляющих силы трения для разных типов установок. В лабораторных установках прирост трения от увеличения коэффициента трения изменяется в пределах от 5 до 50 %. Столь широкий разброс значений потребовал проводить дальнейшие исследования с использованием более чувствительных к изменению коэффициента трения устройств и приборов [3]. Обоснование целесообразности исследования молекулярной составляющей коэффициента трения с использованием устройств из разряда инденторных было приведено в работе [4].

С учетом этого предложена оригинальная конструкция двухкаткового стенда, оборудованного устройством для намагничивания зоны трения. Теоретически парой трения установки являются два цилиндра с параллельными осями, что приближает ее к катковым с линейным контактом. Однако наличие непараллельности, возникшей при изготовлении и монтаже катков, способствует преобразованию пары трения в точечный контакт из линейного. В иерархии установок она может быть классифицирована как промежуточная между катковой и инденторной. Данная градация объясняется не только типом контакта (линейным или точечным), но и таким параметром, как приведённая кривизна поверхностей контакта. Если рассматривать катки и шар одного радиуса, то приведённая кривизна поверхностей

контакта двухкатковой установки будет больше приведённой кривизны катка с плоскостью, но меньше приведённой кривизны шара с плоскостью.

В работах [5-7] показано, что магнитное насыщение зоны контакта существенно зависит от распределения воздушного зазора между телами, следовательно, и от распределения кривизны поверхностей тел. Кривизна катков разного знака способствует улучшению условий намагничивания зоны трения, при этом повышается качество проводимого на двухкатковой установке эксперимента и достоверность получаемых данных. Основная особенность, позволяющая выделить самостоятельный разряд двухкатковых установок, заключается в том, что на данных установках проще контролировать величину скольжения (проскальзывания) при трении. Скольжение на установке оценивается по разнице числа оборотов катков.

В работе [8] представлен стенд с источниками магнитного поля, расположенными на ободе колеса и воздействующими на контакт пар трения. Отметим, что такое расположение источников магнитного поля относительно зоны трения не является рациональным с точки зрения организации магнитной цепи. Большая часть магнитного потока минует зону трения и замыкается на ободе колеса. Малая часть силовых линий магнитного поля замыкается через значительный воздушный зазор и пронизывает зону трения по касательной. Указанные недостатки влияют не только на энергетические показатели установки (удельная потребляемая энергия и КПД), но и на возможность качественного намагничивания зоны трения, что нивелирует преимущества катковых установок.

Обсуждение результатов исследования

Авторы данной работы пришли к выводу, что усложнять конструкцию катков не всегда целесообразно. В зависимости от задач исследования можно воспользоваться модульным принципом и оснащать су-

ществующую установку дополнительными устройствами. Устройство для намагничивания зоны трения катковой установки приведено на рис. 1.

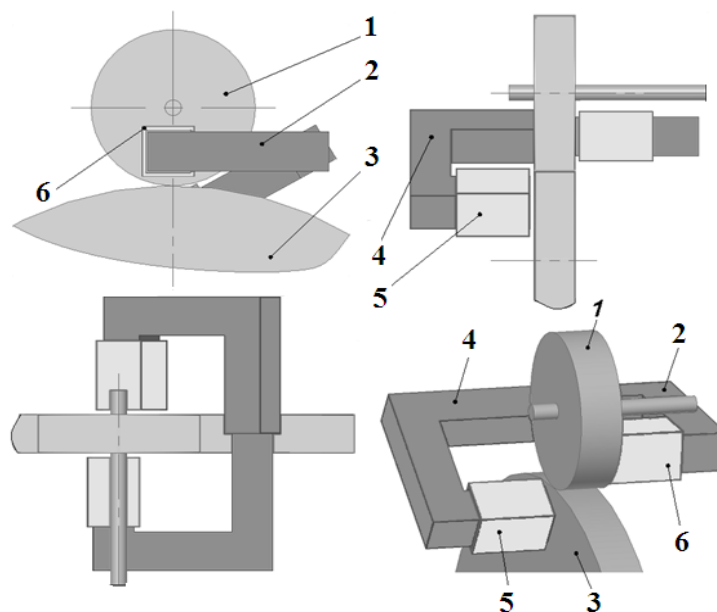


Рис. 1. Устройство для намагничивания зоны трения катковой установки:
 1 - ведущий каток; 2 - магнитопровод поворотный; 3 - ведомый каток;
 4 - магнитопровод поворотный; 5, 6 - обмотки индуктора

Магнитопровод устройства комбинированной конструкции состоит из двух частей (2 и 4), на концах которых расположены обмотки индуктора (5 и 6). Обмотки прилегают с зазором к противоположным торцевым сторонам ведущего и ведомого катков (1 и 3), части магнитопровода (2 и 4) соединены и повернуты относительно друг друга на угол. Поворотные магнитопроводы (2 и 4) соединяют зону трения катков (1 и 3) с источниками намагничивающей силы (обмотки индуктора 5 и 6) последовательно. Это позволяет достичь наибольшего намагничивания зоны трения в продольном и поперечном направлениях и уменьшить рассеяние магнитного потока.

Для анализа влияния положения поворотных магнитопроводов относительно зоны трения катков устройства на распределение магнитного поля в зоне трения в работе рассмотрены три варианта:

- 1) магнитопроводы лежат в одной плоскости с зоной трения катков;
- 2) первый магнитопровод повернут ниже зоны трения, а второй находится на уровне зоны трения;
- 3) первый магнитопровод повернут ниже зоны трения, а второй - выше зоны трения.

На рис. 2 показана ориентация вектора магнитного поля Φ в зависимости от положения поворотных магнитопроводов A1-B1 и A2-B2 относительно зоны трения катков устройства.

На рис. 3 приведены картины распределения магнитного поля в зоне трения катков, полученные для трех вариантов расположения магнитопроводов (представлены виды с левой и правой сторон, магнитопроводы показаны в контурном исполнении).

Анализ представленных результатов показал, что:

- в первом варианте присутствует лишь поперечная составляющая вектора магнитного поля Φ , продольная составляющая в намагничивании зоны трения не участвует ($\beta = 0$), при этом зона трения намагничивается незначительно;
- во втором варианте за счёт поперечной составляющей вектора магнитного поля Φ намагничивается преимущественно правая часть зоны трения;
- в третьем варианте в векторе магнитного поля Φ преобладает продольная составляющая, а зона трения намагничивается равномерно.

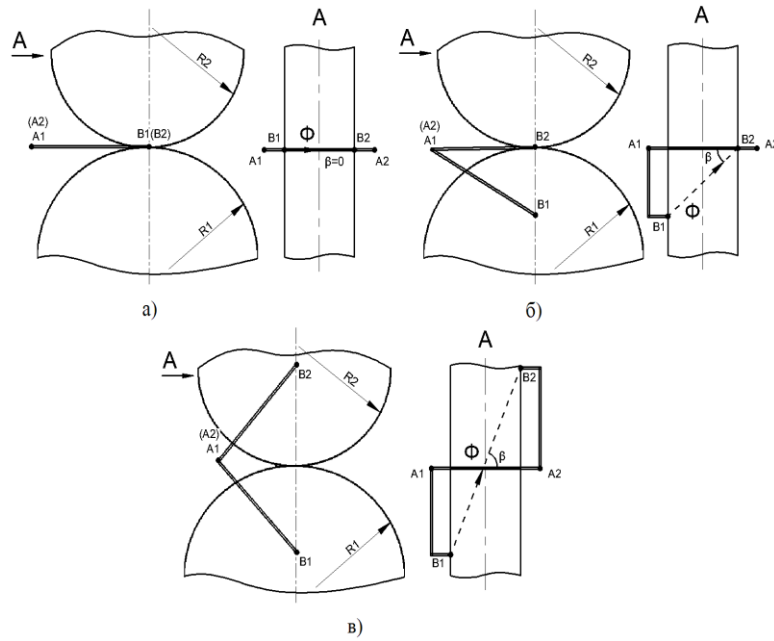


Рис. 2. Ориентация вектора магнитного поля Φ в зависимости от положения поворотных магнитопроводов: а - вариант расположения магнитопроводов № 1; б - вариант расположения магнитопроводов № 2; в - вариант расположения магнитопроводов № 3

Для определения кратчайшей траектории магнитного потока и направления вектора магнитного поля относительно зоны трения катков установки зададим плечи магнитопроводов $L1$ и $L2$ и углы пово-

рота магнитопроводов относительно горизонтальной оси $\alpha1$ и $\alpha2$. Тогда проекции магнитопроводов $X1, X2$ (на горизонтальную ось) и $Y1, Y2$ (на вертикальную ось) выразятся следующим образом:

$$\begin{aligned} X1(\alpha1) &:= A1B1 \cdot \cos(\alpha1), & Y1(\alpha1) &:= A1B1 \cdot \sin(\alpha1), \\ X2(\alpha2) &:= A2B2 \cdot \cos(\alpha2), & Y2(\alpha2) &:= A2B2 \cdot \sin(\alpha2). \end{aligned}$$

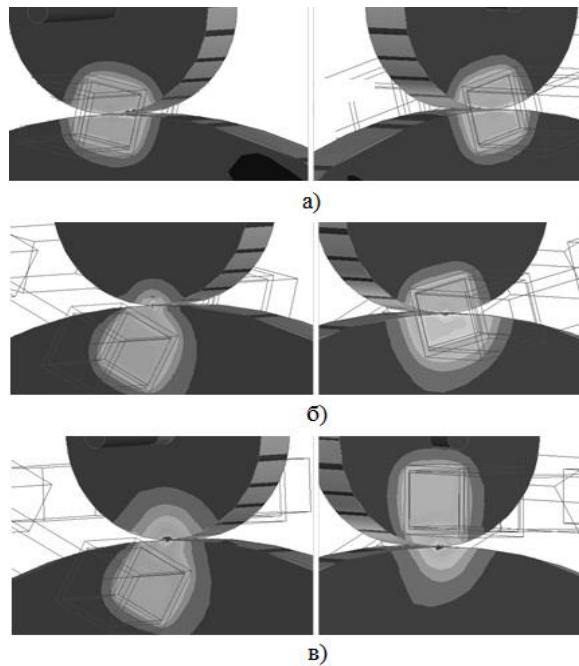


Рис. 3. Картины распределения магнитного поля в зоне трения катков: а - вариант расположения магнитопроводов № 1; б - вариант расположения магнитопроводов № 2; в - вариант расположения магнитопроводов № 3

Длина кратчайшей траектории магнитного потока $B1B2$ и направление вектора магнитного поля относительно зоны

$$B1B2(\alpha_1, \alpha_2) := \sqrt{h^2 + (X1(\alpha_1) - X2(\alpha_2))^2 + (Y1(\alpha_1) + Y2(\alpha_2))^2};$$

$$\beta(\alpha_1, \alpha_2) := \arccos \left[\frac{h}{\sqrt{h^2 + (X1(\alpha_1) - X2(\alpha_2))^2 + (Y1(\alpha_1) + Y2(\alpha_2))^2}} \right] \cdot \frac{180}{\pi}.$$

Как видно из полученных зависимостей, угол вектора магнитного поля относительно зоны трения увеличивается пропорционально углам поворота магнитопроводов.

Таким образом, при изменении положения поворотных магнитопроводов меняется ориентация вектора магнитного поля. При этом зона трения катков намаг-

трения катков β (в градусах) определяются следующими выражениями:

ничивается в поперечном и продольном направлениях. Абсолютная величина угла β может изменяться в пределах от 0 до 80 градусов. Рассмотренное устройство позволяет исследовать влияние продольных и поперечных магнитных полей на трение. Кроме того, при малых значениях угла β появляется возможность исключить эффект магнитного догружения катков.

Выводы

На основании изложенного выделим следующие основные преимущества устройства для намагничивания зоны трения двухкатковой установки:

- устройство дополняет конструкцию двухкатковой установки, повышает её функциональность и энергетические показатели по сравнению с аналогичными установками;

- устройство расширяет круг исследуемых процессов - появляется возможность выделить влияние продольных и поперечных магнитных полей на трение;

- устройство позволяет намагнитить зону трения при минимизации силового действия магнитного поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипин Д.Я., Воробьев В.И., Воробьев Д.В., Корчагин В.О., Космодамианский А.С., Пугачев А.А. Улучшение тяговых качеств локомотивов с помощью магнитных усилений сцепления: монография. Брянск: БГТУ, 2018. 232 с.
2. Космодамианский А.С., Воробьев В.И., Корчагин В.О. Увеличение сцепления колес локомотива с рельсами воздействием постоянных магнитных полей на зону контакта // Наука и техника транспорта. 2017. № 2. С. 8-15.
3. Прибор для определения коэффициента трения: пат. 153781 Рос. Федерация: МПК G01N19/02 / Воробьев В.И., Новиков В.Г., Пугачев А.А., Бондаренко Д.А., Волохов С.Г., Козловский В.Н., Корчагин В.О., Авдащенко В.С.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «БГТУ». № 2014148400/28; заявл. 01.12.14 ; опубл. 27.07.15, Бюл. № 21.
4. Воробьев В.И., Тихомиров В.П., Корчагин В.О., Волохов С.Г. Индикаторное устройство для определения молекулярной составляющей коэффициента трения // Совершенствование транспортных машин: сб. науч. тр. / под ред. В.В. Роголёва. Брянск: БГТУ, 2017. С. 125-129.
5. Корчагин В.О. Особенности распределения магнитного поля в зоне контакта колеса с рельсом // Повышение эффективности транспортных машин: сб. науч. тр. / под ред. В.И. Воробьева, В.В. Роголёва. Брянск: БГТУ, 2017. С. 155-160.
6. Устройство для предотвращения буксования локомотива: пат. 156444 Рос. Федерация: МПК B61C15/08 / Воробьев В.И., Антипин Д.Я., Пугачев А.А., Измеров О.В., Бондаренко Д.А., Корчагин В.О.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «БГТУ». № 2015109505/11; заявл. 18.03.15; опубл. 10.11.15, Бюл. № 31.
7. Antipin D.Y., Vorobyov V.I., Korchagin V.O., Kobishchanov V.V., Shorokhov S.G. Increasing coupling properties of locomotive by magnetizing contact area of wheel with rail // IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science. Innovations and Prospects of Development of Mining Machinery and Electrical Engineering - Mechanical Engineering. 2017. P. 082003. DOI: 10.1088/1755-1315/87/8/082003.
8. Wang W.J., Zhang H.F., Liu Q.Y., Zhu M., Jin X. Investigation on adhesion characteristic of wheel/rail under the magnetic field condition //

Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part J. Journal of Engineering Tribology.

1. Antipin D.Ya., Vorobiyov V.I., Vorobiyov D.V., Korchagin V.O., Kosmodamiansky A.S., Pugachyov A.A. *Traction Properties Improvements in Locomotives Using Magnetic Amplification of Adhesion*: monograph. Bryansk: BSTI, 2018. pp. 232.
2. Kosmodamiansky A.S., Vorobiyov V.I., Korchagin V.O. Adhesion increase in locomotive wheels with rails through impact of constant magnetic fields upon contact area // *Science and Transport Engineering*. 2017. No.2. pp. 8-15.
3. *Device for Definition of Friction Factor*: Pat. 153781 the Russian Federation: IPC G01N19/02 / Vorobiyov V.I., Novikov V.G., Pugachyov A.A., Bondarenko D.A., Volokhov S.G., Kozlovsky V.N., Korchagin V.O., Avdashchenko V.S.; FSBEI HVE "BSTU" - applicant and patent holder. No. 2014148400/28; claimed: 01.12.14; published: 27.07.15, Bull. No.21.
4. Vorobiyov V.I., Tikhomirov V.P., Korchagin V.O., Volokhov S.G. Indicator device for definition of molecular component of friction factor // *Improvement of Transport Machinery: Proceedings / under the editorship of V.V. Rogalyov*. Bryansk: BSTU, 2017. pp. 125-129.
5. Korchagin V.O. Peculiarities of magnetic field distribution in contact area of wheel and rail // *Effectiveness Increase of Transport Machinery: Proceedings / under the editorship of V.I. Vorobiyov, V.V. Rogalyov*. Bryansk: BSTU, 2017. pp. 155-160.

2015. Vol. 230. DOI: 10.1177/1350650115606480.

6. *Device for Locomotive Boxing Prevention*: Pat. 156444 the Russian Federation: IPC B61C15/08 / Vorobiyov V.I., Antipin D.Ya., Pugachov A.A., Izmerov O.V., Bondarenko D.A., Korchagin V.O.; applicant and patent holder: FSBEI HVE "BSTU". No. 2015109505/11; claimed: 18.03.15; published: 10.11.15, Bull. No. 31.
7. Antipin D.Y., Vorobyov V.I., Korchagin V.O., Kobishchanov V.V., Shorokhov S.G. Increasing coupling properties of locomotive by magnetizing contact area of wheel with rail // IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science. Innovations and Prospects of Development of Mining Machinery and Electrical Engineering - Mechanical Engineering. 2017. P. 082003. DOI: 10.1088/1755-1315/87/8/082003.
8. Wang W.J., Zhang H.F., Liu Q.Y., Zhu M., Jin X. Investigation on adhesion characteristic of wheel/rail under the magnetic field condition // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part J. Journal of Engineering Tribology*. 2015. Vol. 230. DOI: 10.1177/1350650115606480.

Ссылка для цитирования:

Антипин Д.Я., Воробьев В.И., Маслов М.А., Корчагин В.О. Устройство для исследования влияния магнитного поля на характеристики пар трения «колесо - рельс» // *Вестник Брянского государственного технического университета*. 2020. № 1. С. 34–39. DOI: 10.30987/1999-8775-2020-2020-1-34-39.

Статья поступила в редакцию 26.11.19.
Рецензент: д.т.н., профессор Российского университета транспорта
Космодамианский А.С.
Статья принята к публикации 09. 01. 20.

Сведения об авторах:

Антипин Дмитрий Яковлевич, к.т.н., доцент, директор Учебно-научного института транспорта Брянского государственного технического университета, e-mail: adya24@rambler.ru.

Воробьев Владимир Иванович, к.т.н., доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета, e-mail: vladimvorobiev@yandex.ru.

Antipin Dmitry Yakovlevich, Can. Sc. Tech., Assistant Prof., Director of Educational Scientific Institute of Transport of Bryansk State Technical University, e-mail: adya24@rambler.ru.

Vorobiyov Vladimir Ivanovich, Can. Sc. Tech, Assistant Prof. of the Dep. "Rolling-Stock", Bryansk State Technical University, e-mail: vladimvorobiev@yandex.ru.

Маслов Максим Александрович, аспирант кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета, e-mail: maslovmaksim32@mail.ru.

Корчагин Вадим Олегович, к.т.н., доцент кафедры «Тяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта РУТ (МИИТ), e-mail: vadim1688@yandex.ru.

Maslov Maxim Alexandrovich, Post graduate student of the Dep. "Rolling-Stock", Bryansk State Technical University, e-mail: maslovmaksim32@mail.ru.

Korchagin Vadim Olegovich, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. "Traction Rolling-Stock", Russian Open Academy of Transport of RUT (MIET), e-mail: vadim1688@yandex.ru.