

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ Направление «Электротехника»

УДК [UDC] 629.439.027.34:621.318.38
DOI 10.17816/transsyst2019525-15

© К. К. Ким¹, А. В. Колесова¹, С. Л. Колесов²

¹Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

²Тренинговый центр ООО «Сименс Мобильность»
(Санкт-Петербург, Россия)

УЛУЧШЕНИЕ ТОКОСЪЕМА В ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ ТИПА "HYPERLOOP"

Обоснование: Транспортное средство, перемещаемое в трубе с разреженным воздухом с высокой скоростью, обеспечивает высокую производительность, безопасность, экологическую чистоту, комфортность и независимость от атмосферных явлений.

Цель: улучшение токосъема в скоростном диапазоне 500-700 км/ч

Метод: Разработан метод уменьшения износа контактной вставки на основе использования дисульфидной твердой смазки.

Результаты: решение уравнений магнитогидродинамики для смазочного слоя позволило выявить оптимальное значение толщины смазочного слоя.

Заключение: использование данной смазки целесообразно на переменном токе при этом уменьшается износ контактной вставки, снижаются степень искрения и уровень электромагнитных помех.

Ключевые слова: разреженный воздух, труба, перфорирование, скользящий токосъем, износ, дисульфидная твердая смазка, магнитогидродинамика.

Rubric 2: SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS Field "Electrical Engineering"

© Konstantin K. Kim¹, Anna V. Kolesova¹, Sergey L. Kolesov²

¹ Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

² Training center "Siemens Mobility" LLC
(St. Petersburg, Russia)

IMPROVING CURRENT COLLECTION IN THE TRANSPORT SYSTEM OF THE TYPE "HYPERLOOP"

Background: The vehicle moved in the pipe with rarefied air with the high speed provides high labour productivity, safety, ecological cleanness, comfort and independence from the atmospheric phenomena.

Aim: improving the current collection in the speed range of 500-700 km/h.

Method: We develop the method of decreasing the wear of the contact insert by using disulfide solid lubricant.

Results: of the solution of magnetohydrodynamics equations for the lubricant layer

allowed to define the optimal value of the lubricant layer thickness.

Conclusion: The use of this lubricant is advisable on an alternating current. In this case the wear of the contact insert, the degree of sparking and the electromagnetic noise are decreased.

Keywords: rarefied air, pipe, perforation, sliding current collector, wear, disulfide solid lubricant, magnetohydrodynamics.

Введение

В настоящее время наблюдается возрождение интереса к транспортным системам, в которых пассажирские капсулы движутся в трубе с скоростями ~ 1000 км/ч [1]. Для уменьшения лобового сопротивления капсулы в трубе предполагается создать технический вакуум, что приводит к необходимости использования большого количества насосов и к проблемам, связанным с поддержанием вакуума в трубе. Как показали исследования, проведенные на кафедре «Электротехника и теплоэнергетика» ПГУПС, существует оригинальное техническое решение данной проблемы, заключающееся в создании в трубе среды с разреженным воздухом (давление в 2-3 раза меньше атмосферного). Для частичной компенсации появившегося лобового аэродинамического сопротивления предлагается использовать перфорированную обшивку лобовой части капсулы с принудительным отсосом набегающего воздушного потока через отверстия в обшивке и выводом последнего в пространство за задней частью капсулы [2].

Следует отметить, что данное решение предполагает более скромные значения скорости движения капсулы $\sim 600 - 700$ км/ч.

Уменьшение скорости движения позволяет использовать в данных транспортных системах традиционный скользящий токосъем, что благоприятно влияет на массогабаритные показатели капсулы.

В связи со сказанным возникает проблема обеспечения приемлемого качества системы токосъема, в частности уменьшения износа элементов контактных пар. В настоящее время известно много способов уменьшения износа. Один из них – за счет применения твердых смазок, например, на основе дисульфида молибдена MoS_2 [3].

При использовании дисульфидмолибденовых смазок в электрических скользящих контактах (СК) необходимо принимать во внимание не только физико-химические, но и электрические особенности скользящего контакта. Авторами разработан и исследован способ нанесения твердосмазочного покрытия на основе дисульфида молибдена – при помощи дополнительной вставки, которая устанавливается на токоприемнике перед токовой вставкой.

Рассмотрение ряда реологических моделей твердых смазок [4] позволило сделать заключение о том, что течение смазки на основе MoS_2 под токовой вставкой при прохождении электрического тока можно

описать уравнениями магнитной гидродинамики для вязкого течения. При нагреве MoS_2 до $70 - 90$ °С кристаллы дисульфида молибдена приобретают текучесть и вязкость в направлениях параллельных его слоям, а оптимальное расположение кристаллов на поверхности пар трения обеспечивается приложенным внешним электрическим полем [5].

При определенных зазорах между вставкой и контактным проводом возможно возникновение отталкивающей силы, которая стремится оторвать вставку от контактного провода и увеличить переходное сопротивление СК.

Уравнения магнитогидродинамики для смазочного слоя

Рассмотрим плоскую задачу течения вязкой жидкости (имитирует слой смазки) в поперечном электромагнитном поле в полубесконечном пространстве (Рис.1).

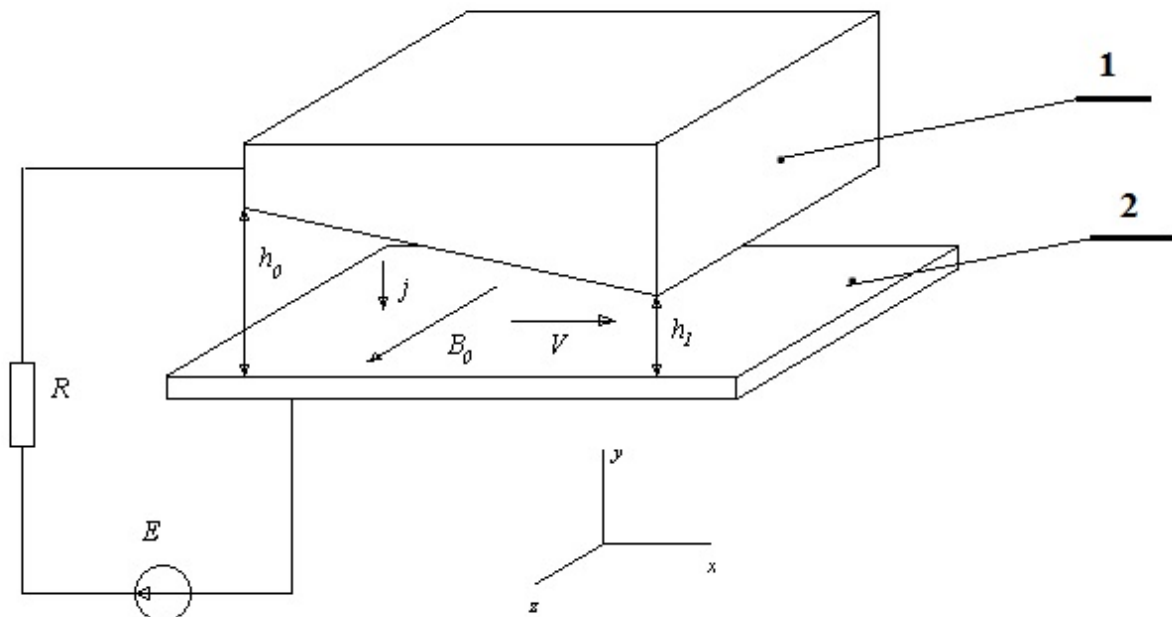


Рис. 1. К расчету магнитогидродинамической модели течения смазки:
1 – токовая вставка, 2 – контактный провод, E – источник ЭДС,
 R – сопротивление цепи питания.

Общее уравнение движения жидкой смазки в электромагнитном поле имеет вид [6]:

$$\rho \left\{ \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) \cdot \mathbf{V} \right\} = -\nabla p + \eta \nabla^2 \mathbf{V} + \mu (\mathbf{j} \times \mathbf{H}),$$

где ρ – плотность смазки, V – скорость течения смазки (скорость движения контактной вставки), p – давление между контактной вставкой и контактным проводом, η – динамическая вязкость смазки, j – плотность тока в контакте, H – напряженность магнитного поля в зоне контакта.

Если рассматривать стационарную плоскопараллельную задачу, то уравнение данное уравнение движения жидкой смазки приведет к виду:

$$-\nabla p + \eta \nabla^2 \mathbf{V} + \mu(\mathbf{j} \times \mathbf{H}) = 0$$

Уравнения для плоского пограничного слоя уравнения магнитной гидродинамики будут иметь вид:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} = 0,$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{\sigma}{\rho} \mu^2 u H_0^2,$$

здесь u – продольная составляющая вектора скорости, ν – магнитная вязкость смазочного слоя, σ – удельная проводимость смазки, μ – абсолютная магнитная проницаемость смазки, H_0 – напряженность магнитного поля в зоне СК.

Последнее уравнение движения можно привести к виду:

$$0 = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - j_y B_0, \quad (1)$$

где j_y – плотность тока в контакте, B – магнитная индукция в СК.

Распределение слоя смазки выражается в виде функции от координаты x :

$$h(x) = h_0 - k_x x,$$

где $k_x = (h_0 - h_1) / b_{\text{вставки}}$, $b_{\text{вставки}}$ – ширина токовой вставки.

Если пренебречь второстепенными эффектами, то выражение для ВАХ СК можно записать как

$$j_y = \sigma(E_y + uB_0),$$

$$j_x = \sigma E_x,$$

$$j_z = \sigma(E_z - uB_y).$$

Теперь из равенства $\nabla \cdot \mathbf{j} = 0$ и $h \ll \langle k_x \text{ и } j_y \rangle \gg j_x$ следует, что $\frac{\partial j_y}{\partial y} \approx 0$ и j_y является по существу только функцией z и x . Величина B_0 не является постоянной, а является функцией тока и координаты x .

Уравнение (1) невозможно проинтегрировать аналитически, и приближенное решение можно получить только для очень больших или очень малых чисел Гартмана [7]

$$M^2 = \frac{B_0^2 h_1^2 \sigma}{\eta}. \quad (2)$$

Для рассматриваемого случая число Гартмана имеет порядок 10^{-9} [6], следовательно, приближенное решение можно получить в аналитическом виде. Кроме того, малое значение числа Гартмана предполагает существенное упрощение задачи: суммарное силовое поле определяется суперпозицией воздействий гидродинамического и электромагнитного поля.

Уравнение (1) можно проинтегрировать, используя граничные условия: $y=0$ при $u=V$ и $y=h$ при $u=0$.

$$u = \frac{1}{2\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} - j_y B_0 \right) (y^2 - hy) + \frac{V}{h} (h - y), \quad (4)$$

Величина удельной проводимости может быть определена из зависимости, представленной на Рис. 2 [8] для соответствующей температуры элементов скользящего контакта.

Расход смазки можно выразить через интеграл скорости по толщине смазки.

$$Q = \int_0^h u dy = -\frac{h^3}{12\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} - j_y B_0 \right) - \frac{Vh}{2}. \quad (5)$$

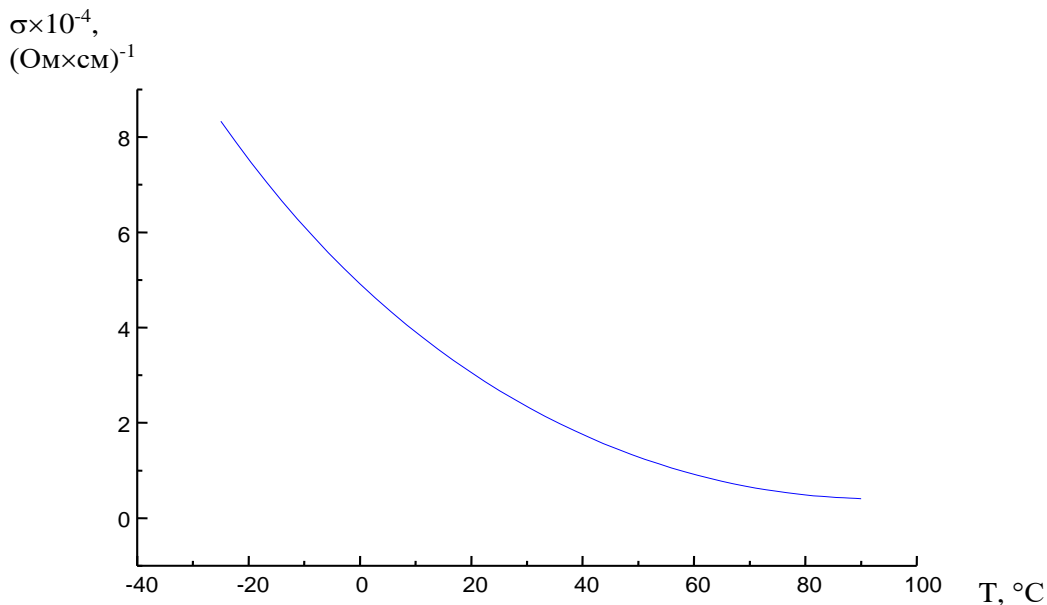


Рис. 2. Зависимость удельной проводимости MoS_2 от температуры

Используя граничные условия [9] можно найти распределение давления:

$$p = -12\mu \int_0^x \left(\frac{Q}{h^3} - \frac{V}{2h^2} \right) dx + B_0 \int_0^x j_y dx. \quad (6)$$

Из закона Ома можно определить распределение плотности тока, она выразится через напряженность электрического поля и скорость течения.

Переходное падение напряжения в слое смазки определяется следующим соотношением:

$$\Delta U = -\int_0^h E_y dy \quad (7)$$

Переходное падение напряжения в точке $y=0$ должно равняться 0. Интегрируя выражение для плотности тока (3):

$$j_y h = \sigma \int_0^h E_y dy - \sigma B_0 \int_0^h u dy \quad (8)$$

и, используя выражение для расхода смазки, можно определить плотность тока:

$$j_y = -\frac{\sigma}{h} (B_0 Q + \Delta U). \quad (9)$$

Используя второе граничное условие $p=0$ при $x=b_{\text{вставки}}$.

$$0 = -12\mu \int_0^{b_{\text{вставки}}} \left(\frac{Q}{h^3} - \frac{V}{2h^2} \right) dx + B_0 \int_0^{b_{\text{вставки}}} j_y dx \quad (10)$$

Полный ток определяется соотношением:

$$I = \int_0^{b_{\text{вставки}}} j_y dx. \quad (11)$$

Из выражения (10) можно определить расход смазки:

$$Q = \frac{h_0 \frac{h_0}{h_1} - 1}{\left(\frac{h_0}{h_1} \right)^2 - 1} \left[V + \frac{k \cdot B_0 \cdot I \cdot h_0}{6\mu \left(\frac{h_0}{h_1} - 1 \right)} \right]. \quad (12)$$

Тогда переходное падение напряжения равно

$$\Delta U = - \left(\frac{kI}{\sigma \ln \frac{h_0}{h_1}} + B_0 Q \right). \quad (13)$$

Распределение плотности тока по поверхности вставки имеет вид:

$$j_y = \frac{kI}{\ln \frac{h_0}{h_1}} \cdot \frac{1}{h}. \quad (14)$$

Для удобства записи вводится коэффициент β :

$$\beta = \frac{kh_0 B_0 I}{6\eta V}. \quad (15)$$

Распределение относительного давления между вставкой и контактным проводом имеет вид:

$$\bar{p}(x) = \left\{ \left[\frac{\left(\frac{h_0}{h(x)} - 1\right) - \left(\frac{h_0}{h_1} - 1\right) \frac{\left(\frac{h_0}{h(x)}\right)^2 - 1}{\left(\frac{h_0}{h_1}\right)^2 - 1} \right] + \beta \left[\frac{\ln \frac{h_0}{h(x)} - \frac{\left(\frac{h_0}{h(x)}\right)^2 - 1}{\left(\frac{h_0}{h_1}\right)^2 - 1} \right] \right\}. \quad (16)$$

Несущая способность МГД-слоя в относительных единицах определяется интегралом от давления по длине вставки:

$$\bar{W} = \int_0^{b_{\text{вставки}}} \bar{p} dx = \left\{ \left[\frac{h_0}{h_1} \ln \frac{h_0}{h_1} - \left(\frac{h_0}{h_1} - 1\right) \frac{\left(\frac{h_0}{h_1} - 1\right)^3}{\left(\frac{h_0}{h_1}\right)^2 - 1} \right] + \beta \left[\frac{\left(\frac{h_0}{h_1} - 1\right) - \frac{\left(\frac{h_0}{h_1} - 1\right)^2}{\left(\frac{h_0}{h_1}\right)^2 - 1} \right] \right\}. \quad (17)$$

Из анализа выражения (17) можно предложить оптимальный способ уменьшения избыточного давления под вставкой, который заключается в соблюдении равенства:

$$\frac{h_0}{h_1} = 1. \quad (18)$$

При таком сочетании не возникает избыточного давления между вставкой и контактным проводом. При отклонении от соотношения (18) в большую сторону наблюдается увеличение переходного падения напряжения, и, следовательно электрических потерь в контакте. При отклонении в область низких значений возникает процесс кавитации и увеличиваются механические потери в СК.

Практически указанное соотношение достигается либо подбором давления на дисульфидную вставку, либо вариацией ее контактной поверхности.

Правомерность выдвинутой гипотезы можно косвенно проверить, исследуя такую характеристику СК, как износ вставки или исследуя переходное падение напряжения в контакте.

Для проведения эксперимента по нахождению оптимальных условий работы дисульфида молибдена был создан стенд на базе асинхронной машине с фазным ротором АК-52 (АД) мощностью 4,5 кВт. Здесь контактный провод имитировался контактным кольцом, токовая вставка – токоведущими щетками марки МГ-4 (контактная площадь щетки $S_{\text{щ}}=1,6 \text{ см}^2$, давление на щетку $p_{\text{щ}}=400 \text{ г/см}^2$), дисульфидная вставка – дополнительной щеткой из дисульфида молибдена. Давление на дополнительную щетку варьировалось по следующим уровням: $p_{(Д)}=100 \text{ г/см}^2$, 250 г/см^2 , 400 г/см^2 . Площадь контактирования дополнительной щетки составляла $S_{(Д)}=0,4 \text{ см}^2$, $0,8 \text{ см}^2$, $1,2 \text{ см}^2$. Это составляло 25 %, 50 %

и 75 % контактной поверхности токоведущей щетки. Эксперимент трижды дублировался. Величины износа определялись стрелочным индикатором с уточнением при помощи взвешивания на аналитических весах. При реализации данного эксперимента в течение двадцати часов получена математическая модель износа в относительных единицах:

$$I_h = 0.026 + 0.0086 \cdot \underline{S}_{(Д)} + 0.0114 \cdot \underline{p}_{(Д)}^2 + 0.015 \cdot \underline{S}_{(Д)}^2. \quad (19)$$

Графическая интерпретация полученного полинома представлена на Рис. 3.

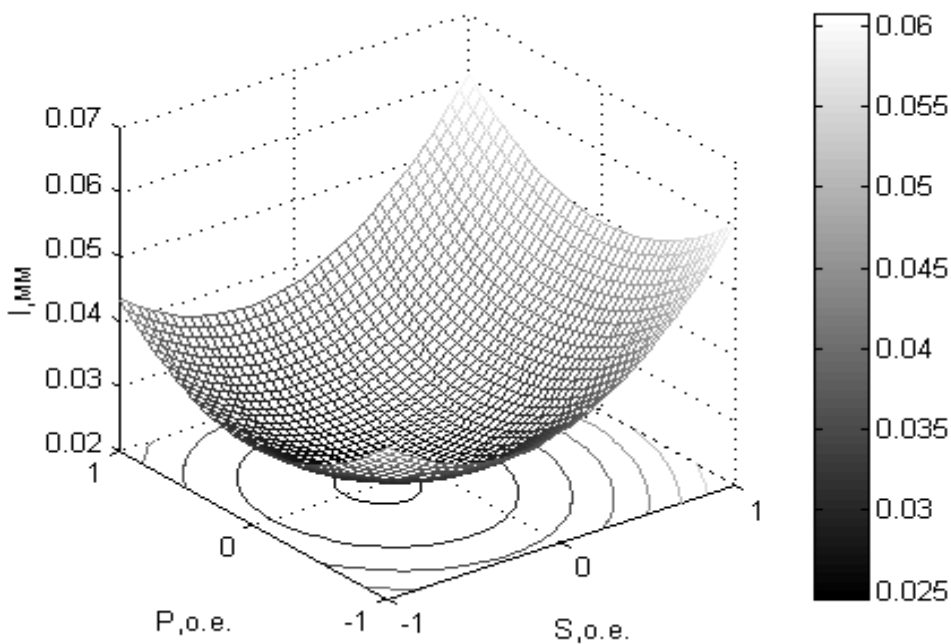


Рис. 3. Графическая интерпретация полинома износа щетки МГ-4

Минимум износа щетки наблюдался в точке, в которой МГД-сила равнялась 0. Для рассматриваемой системы это составляет $S_{(Д)}(min)=0,9 \text{ см}^2$, $p_{(Д)}(min)=150 \text{ г/см}^2$.

В заключение следует сказать, что применение дисульфида молибдена на указанной ССТ АД при оптимальных сочетаниях давления на дополнительную щетку и ее контактной площади позволяет уменьшить износ рабочих щеток в 1,7–2 раза [10–15].

Выводы

При использовании твердых смазок на основе дисульфида молибдена значительно уменьшается износ токовых вставок, значительный вклад в наблюдаемый эффект делает электрическое поле, ориентирующее кристаллы в таком направлении, что трение становится магнитогидродинамическим.

Решение уравнений магнитогидродинамики для смазочного слоя позволяет выявить оптимальное значение толщины смазочного слоя. Теоретическое решение задачи хорошо совпадает с экспериментальными данными. Для конкретной контактной пары определены сочетания давления и площади контактирования дополнительной щетки, имитирующей дисульфидную вставку, обеспечивающие оптимальную величину смазочного слоя.

Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей или животных в качестве объектов исследований.

Библиографический список / References

1. Форгач Р.Л. Скоростной вакуумный трубопроводный транспорт – конкурент реактивной авиации // Наземный транспорт 80-х годов. Под ред. Р. Торнтон. – 1974. – С. 121–137. [Forgach RL. Skorostnoj vakuumnyj truboprovodnyj transport – konkurent reaktivnoj aviacii. *Nazemnyj transport 80-h godov*. In: Tornton R., editor. 1974:121-137. (In Russ.)].
2. Патент РФ на полезную модель № 24670/20.08.02. Бюл. № 23. Ким К.К. Кузов головного вагона высокоскоростного поезда. Режим доступа: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet. Дата обращения: 04.07.2018. [Patent RUS №24670/20.08.02. Byul. №23. Kim KK. Body of the head car of the high-speed train. Available from: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet (In Russ.)].
3. Ким К.К. Вариант вакуумной транспортной системы // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 12. – С. 67 – 68. [Kim KK. Variant of vacuum transport system. *Railway transport*. 2016;(12):67-68. (In Russ.)].
4. Ким К.К., Барбарович В.Ю., Литвинов Б.Я. Метрология и техническое регулирование. Учебное пособие. – Москва, 2006. – 255 с. [Kim KK, Barbarovich VY, Litvinov BY. Metrologiya i tekhnicheskoe regulirovanie. Schoolbook. Moscow, 2006. 255 p. (In Russ.)].
5. Пат. РФ на изобретение № 2677216/15.01.2019 Бюл. № 2. Ким К.К., Крон И.Р., Ватулин Я.С. Система электродинамического подвеса. Режим доступа: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet. [Pat. RUS № 2677216/15.01.2019. Byul. № 2. Kim KK, Kron IR, Vatulin YS. Electrodynamic suspension sistem. http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet (In Russ.)].
6. Pai S-I. Magnetogasdynamics and Electromagnetogasdynamics. *Magnetogasdynamics and Plasma Dynamics*. Springer Vienna; 1962;27-40. doi: 10.1007/978-3-7091-8083-9_4
7. Сентюрихина Л.Н., Опарина Е.М. Твердые дисульфидмолибденовые смазки. – М: Химия, 1966. – 152 с. [Sentyurikhina LN, Oparina EM. *Tverdye disulfidmolibdenovye smazki*. Moscow: Himiya, 1966. 152 p. (In Russ.)].
8. Ким К.К., Изотов А.И., Колесов С.Л. К вопросу применения твердых смазок в системах скользящего токосъема электрических машин // Электротехника. – 2001. – № 3. – С. 30–33. [Kim KK, Izotov AI, Kolesov SL. Application of hard lubricants (HL) in the sliding current pick-off (SCPO) systems. *Elektrotehnika*. 2001;3:30-33. (In Russ.)].
9. Rittenhouse JB, Jaffe LD, Nageler RG, Martens HE. Friction measurements on a low Earth satellite. *ASLE Transact.* 1963;6(3):161-177. doi: 10.1080/05698196308972010
10. Elco RA, Hughes WF. Magnetogydrodynamic pressurization of liquid metal bearings.

- Wear*. 1962;5(3):198-212. doi:10.1016/0043-1648(62)90004-2
11. Hughes WF. Magnetohydrodynamic bearings. *Wear*. 1963;6:315-324. doi: 10.1016/0043-1648(63)90164-9
 12. Никитин В.В., Стрепетов В.М., Волювач А.С. Варианты схем электроснабжения транспортного средства с комбинированной системой левитации и тяги на переменном токе // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2010. – № 3-4. – С. 54-62. [Nikitin VV, Strepetov VM, Voluvach AS. Varianty schem electrosnabzhenia transportnogo sredstva s kombinirovannoy sistemoy levitazii i tyagi na peremennom toke. *Izvestia vysshikh uchebnykh zavedenii. Problemy energetiki*. 2010;(3-4):54-62. (In Russ.)].
 13. Стрепетов В.М., Никитин В.В. Оценка энергетической эффективности пусковых режимов работы комбинированной системы левитации и тяги на однофазном переменном токе // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2006. – № 2. – С.145–159. [Strepetov VM, Nikitin VV. Ocenka energeticheskoy effektivnosti puskovykh rezhimov raboty kombinirovannoy sistemy levitacii i tyagi na odnofaznom peremennom toke. *Proceeding of Petersburg Transport University*. 2006;(2):145-159. (In Russ.)].
 14. Байко А.В., Никитин В.В., Стрепетов В.М. Определение параметров схемы замещения комбинированной системы левитации и тяги на переменном токе / Материалы III международного симпозиума «Электрификация и развитие энергосберегающей инфраструктуры и электроподвижного состава на железнодорожном транспорте – ЭЛТРАНС-2005» Санкт-Петербург, 17–19 ноября 2005 г. СПб, ПГУПС, 2007, – С. 119–123. [Bajko AV, Nikitin VV, Strepetov VM. Opredelenie parametrov skhemy zameshcheniya kombinirovannoy sistemy levitacii i tyagi na peremennom toke. *Proceedings of the III International Symposium "Elektrifikaciya i razvitie energosberegayushchej infrastruktury i elektropodvizhnogo sostava na zheleznodorozhnom transporte – ELTRANS-2005"* St. Petersburg, 2005, Nov. 17–19; St. Petersburg: PGUPS; 2007. pp. 119-123. (In Russ.)].
 15. Никитин В.В., Стрепетов В.М. Энергообеспечение бортовых электромагнитов комбинированной системы левитации и тяги на переменном токе // Транспортные системы и технологии. – 2017. – Т. 3. – № 3. – С. 25–38. [Nikitin VV, Strepetov VM. Vehicle electromagnets energy supply of A.C. combined levitation and traction system. *Transportation Systems and Technology*. 2017;3(3):25-38. (In Engl., In Russ.)]. doi: 10.17816/transsyst20173325-38
 16. Хожайнов А.И., Никитин В.В., Серeda Е.Г. Энергосберегающие преобразователи электроприводов магнитолевитационных транспортных систем / Труды 2-й международной научной конференции «Магнитолевитационные транспортные системы и технологии МТСТ-14», Санкт-Петербург, 17-20 июня 2014 г. – Киров: МЦНИП, 2014. – С. 313–322. [Hozhainov AI, Nikitin VV, Sereda EG. Energosberegayushchie preobrazovateli elektroprivodov magnitolevitacionnykh transportnykh sistem. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Magnitolevitacionnye transportnye sistemy i tekhnologii MTST-14"* 2014, Jun 17-20; St. Petersburg. Kirov: MCNIP LLC; 2014. pp. 313-322. (In Russ.)].
 17. Антонов Ю.Ф., Зайцев А.А, Серeda А.Г., и др. Магнитолевитационная технология как транспортная стратегия высокоскоростного движения / Материалы IV международной научно-технической конференции «Интеллектуальные системы на транспорте». СПб, ПГУПС, 2014. – С. 183–184. [Antonov YuF, Zajcev AA, Sereda AG, et al. Magnitolevitacionnaya tekhnologiya kak transportnaya strategiya vysokoskorostnogo dvizheniya. *Proceedings of the IV international scientific and technical conference "Intellektual'nye sistemy na transporte"* St. Petersburg: PGUPS; 2014. pp. 183-184. (In Russ.)].

Сведения об авторах:

Ким Константин Константинович, доктор технических наук, профессор;
eLibrary SPIN: 3278-4938; ORCID: 0000-0001-7282-4429;
E-mail: kimkk@mail.ru

Колесова Анна Владимировна;
eLibrary SPIN: 2392-9750; ORCID: 0000-0002-2744-7932;
E-mail: kolesoff76@mail.ru

Колесов Сергей Львович, кандидат технических наук, доцент;
eLibrary SPIN: 4356-0993; ORCID: 0000-0002-4252-1854;
E-mail: kolesoff_s_1@mail.ru

Information about the authors:

Konstantin K. Kim, doctor of technical Sciences, professor; phone: +7(812)4578142;
eLibrary SPIN: 3278-4938; ORCID: 0000-0001-7282-4429;
E-mail: kimkk@mail.ru

Anna V. Kolesova;
eLibrary SPIN: 2392-9750; ORCID: 0000-0002-2744-7932;
E-mail: kolesoff76@mail.ru

Sergey L. Kolesov, candidate of technical Sciences, associate Professor;
eLibrary SPIN: 4356-0993; ORCID: 0000-0002-4252-1854;
E-mail: kolesoff_s_1@mail.ru

Цитировать:

Ким К.К., Колесова А.В., Колесов С.Л. Улучшение токосъёма в транспортной системе типа "HYPERLOOP" // Транспортные системы и технологии. – 2019. – Т. 5. – № 2. – С. 5–15. doi: 10.17816/transsyst2019525-15

To cite this article:

Kim KK, Kolesova AV, Kolesov SL. Improve Current Collection in the Transport System of the Type "HYPERLOOP". *Transportation Systems and Technology*. 2019;5(2):5-15. doi: 10.17816/transsyst2019525-15