

ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ АБРАЗИВНОГО СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ КОЛЕСА С РЕЛЬСОМ

В статье рассмотрен метод повышения сцепления колеса с рельсом за счет применения предварительной электризации абразивно-воздушной струи перед подачей её в контакт колеса с рельсом. Представлен экономический эффект от внедрения предлагаемых устройств трибо- и электростатической зарядки песка.

This article describes a method of improving adhesion to the rails by the use of pre-electrification abrasive air stream before feeding it into contact with the rail wheels. Presented by the economic effect of implementing the proposed device tribo- and the electrostatic charging of sand.

Ключевые слова: сцепление колеса с рельсом, электризация, абразивный сыпучий материал, электрический заряд, расход песка.

Важным процессом, определяющим достижение максимально возможных тяговых качеств, является фрикционное взаимодействие колес локомотива с рельсами, от которого зависят важнейшие технико-экономические показатели (масса поездов, скорость движения, расход песка, износ рельс и бандажей, реализуемая сила тяги по сцеплению), провозная способность участков железных дорог, безопасность движения, расход электроэнергии на тягу поездов [1, 2, 3]. Наиболее распространенным способом увеличения сцепления является применение кварцевого песка или аналогичных по твердости других минеральных материалов. Этот способ наряду с неоспоримыми преимуществами (высокая эффективность, удобство использования, относительная дешевизна) имеет и явные недостатки (засорение балласта, повышенный износ колес и рельсов, увеличение сопротивления движению). Учитывая указанные недостатки, актуальным является оптимизация использования песка.

В работах [1, 4, 5, 6] доказано, что, с точки зрения тяги, наилучший результат достигается при подаче песка в один слой с некоторым расстоянием между песчинками. Применяемые песочные системы не обеспечивают требуемого количества песка в контакте для достижения высоких сцепных качеств локомотива, что снижает их эффективность и ведет к избыточному расходу песка. При подаче песка эксплуатируемыми песочными системами на поверхности рельса образуется горка. При скоростях движения до 40 км/ч наблюдается избыточная подача песка в область контакта колес с рельсами, предопределяющая главные издержки его использования.

Для достижения требуемого распределения песка на поверхности рельса предлагается производить предварительную электризацию абразивно-воздушной струи перед непосредственной подачей ее в контакт. Согласно проведенному анализу научно-технической литературы [7, 8] существует ряд способов передачи заряда твердым мелкодисперсным частицам (рис. 1). Наиболее приемлемым для песочной системы локомотива является статическая электризация, к которой относится электростатическая и трибостатическая зарядка абразивных частиц.

На основе электростатической и трибостатической зарядки абразивного сыпучего материала разработаны устройства и способ для повышения сцепления колеса с рельсом, защищенные патентами [9, 10, 11].

Трибостатическая зарядка основывается на трении абразивных частиц о стенки трубопровода. При этом заряжающий материал должен быть гидрофобным с высокой диэлектрической проницаемостью. Передача заряда частицам не требует создания дополнительного оборудования для получения высокого напряжения, как при электростатической зарядке. Сложность метода заключается в оптимальном подборе и расположении диэлектрического материала. Однако оба рассматриваемые методы приемлемы для применения на локомотиве.

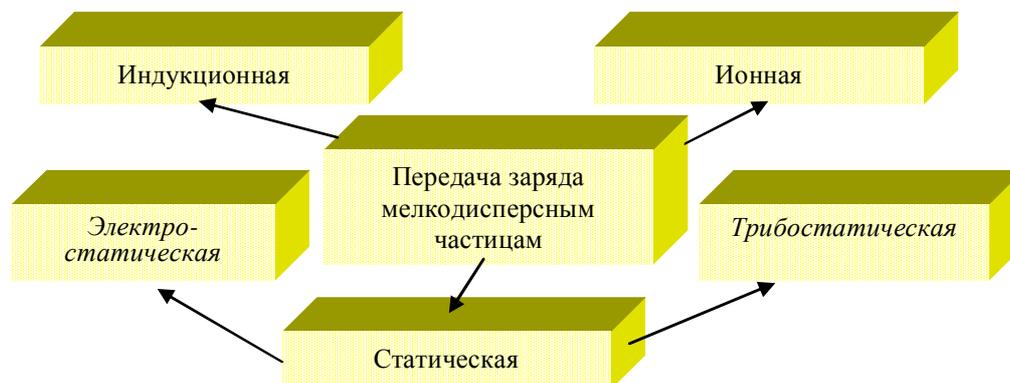


Рис. 1. Способы передачи заряда мелкодисперсным частицам

Способ повышения сцепления колеса с рельсом за счет электризации частиц *трибостатическим* способом [9, 10], заключается в подаче через трубопровод и сопло абразивного материала (песка) в струе сжатого воздуха под колесные пары локомотива. При этом, трибостатическим способом осуществляется целенаправленная зарядка смеси сыпучего абразивного материала с воздухом, которую в зависимости от угла наклона сопла песочницы локомотива подают на рабочую поверхность колеса (рельса) или в контакт взаимодействующих поверхностей колеса и рельса. Зарядка абразивного материала осуществляется за счет применения разработанной триботрубки 1 (рис. 2), размещенной перед соплом.

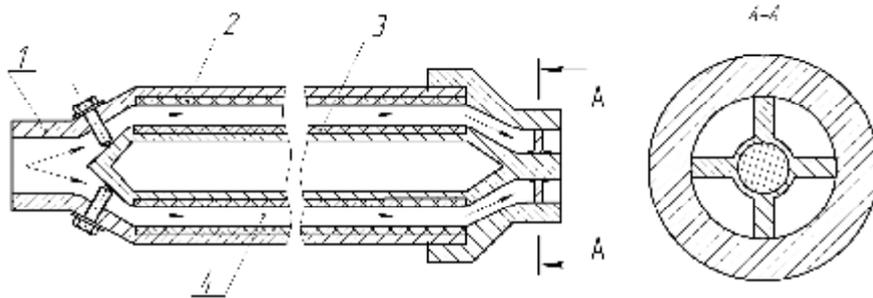


Рис. 2. Схема триботрубки устройства для повышения сцепления колеса с рельсом

Конструкция триботрубки 1 представляет собой сборочную единицу, основными деталями которой являются наружная 2 и внутренняя 3 трубки из гидрофобного материала с высокой диэлектрической проницаемостью. В качестве материала может быть использован политетрафторэтилен - один из лучших акцепторов в трибозлектрическом ряде. Сыпучая абразивно-воздушная смесь, попадая в триботрубку, распределяется по кольцевому каналу 4. Для увеличения количества частиц, взаимодействующих со стенками кольцевого канала 4, на внутренней трубке 2 выполняется, по меньшей мере, одна винтовая проточка, образующая с наружной диэлектрической трубкой 3 винтовой воздушный канал. С помощью винтовой проточки на смесь действует центробежная сила, которая способствует увеличению количества частиц, контактирующих с заряжающими поверхностями. Абразивно-воздушная смесь в триботрубку 1 подается под давлением, при этом увеличивается число и сила столкновений между частицами и заряжающим материалом трубок 2, 3. В результате многочисленных столкновений частиц смеси с поверхностями трубок 2, 3 осуществляется передача электрического заряда. Получив заряд, частицы абразивного материала под действием силы отталкивания одноименно заряженных частиц (силы Кулоновского или электростатического взаимодействия), располагаются в один слой на поверхности дорожки качения с некоторым расстоянием между частицами абразивного материала, что эффективно влияет на сцепление колеса с рельсом. В условиях движения локомотива дорожка качения рабочих поверхностей колеса и рельса является наиболее очищенной, в связи с чем, ее адгезионные свойства повышены, что способствует размещению наэлектризованного сыпучего материала именно на ней.

Основными преимуществами предлагаемого способа является:

- эффективное использование сыпучего материала;
- повышение коэффициента сцепления на 20–30 %, за счет расположения песка в один слой с некоторым расстоянием между частицами на дорожке качения колеса и рельса [1];
- экологическая эффективность, которая достигается снижением объема размолотых частиц песка;
- уменьшение интенсивности износа системы «колесо-рельс»;
- уменьшение сопротивления движения железнодорожного состава.

Физические явления, протекающие при электризации частиц, свидетельствуют о том, что абразивный материал на контактирующих поверхностях располагается в один слой на некотором расстоянии между частицами (рис. 3) за счет сил отталкивания одноименно заряженных частиц по закону Кулона:

$$F = |F'| = k \frac{q_1 \cdot q_2}{\epsilon \cdot L^2}, \quad (1)$$

где F – сила, действующая на заряд q_1 , находящийся в электрическом поле заряда q_2 , Н;

F' – сила, действующая на заряд q_2 , находящийся в электрическом поле заряда q_1 , Н;

$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ – коэффициент пропорциональности;

ϵ_0 – электрическая постоянная;

q_1, q_2 – величина зарядов абразивных частиц, Кл;

ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость среды;

L – расстояние между заряженными частицами, м.

Согласно проведенным исследованиям для достижения максимальных сил сцепления составлена целевая функция, которая определяет расстояние между частицами:

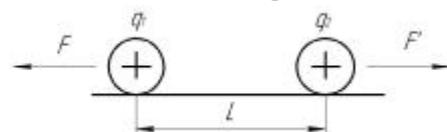


Рис. 3. Схема расположения абразивных частиц на контактирующей поверхности

$$L(N, K, P, Q, D, \bar{m}, t, S) = \left[k \frac{q_1(N, K, P, Q, D, \bar{m}, t, S) \cdot q_2(N, K, P, Q, D, \bar{m}, t, S)}{F(q) \cdot \epsilon} \right]^{1/2} \rightarrow 3r_{cp}, \quad (2)$$

где N – коэффициент формы заряжающего материала;
 K – вид диэлектрического материала;
 P – коэффициент формы абразивных частиц;
 Q – вид сыпучего материала;
 D – диаметр зарядной трубки;
 \bar{m} – средняя масса частиц абразивного материала;
 t – вероятностная величина времени взаимодействия абразивной частицы с диэлектрической поверхностью;
 S – вероятностная величина пути взаимодействия абразивной частицы с диэлектрической поверхностью;
 $q_1(N, K, P, Q, D, \bar{m}, t, S)$, $q_2(N, K, P, Q, D, \bar{m}, t, S)$ – величина электрического заряда, который передается частицам сыпучего материала;
 $F = |F'| = F(q)$ – сила Кулоновского (электростатического) взаимодействия заряженных частиц;
 ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость среды;
 r_{cp} – средний радиус заряжающихся частиц.

Конструкция песочной системы, основанная на *электростатической* зарядке песка, предполагает зарядку песка в два этапа. На первом этапе производится зарядка песка для определения производительности песочницы, на втором – для электризации песка, подаваемого в контакт [11, 12].

Скорость и количества песка, подаваемого в контакт, зависит от скорости движения локомотива. Контроль производительности песочницы осуществляется измерительно-регистрирующим блоком, установленным перед форсункой песочницы. При пропускании электрического тока от источника питания 6 (ИП) по центральному проводнику 4 создается концентрическое магнитное поле между центральным проводником 4 и электродом 5, расположенным в патрубке 3 перед форсункой 1 (рис. 4). Песок затягивается потоком воздуха из патрубка 2 в патрубок 3, при движении по которому он приобретает статический заряд, пролетает приемник 10, изготовленный с меди в форме кольца. Измерительный вольтметр 11, соединенный с приемником 10, реагирует на статический заряд песчинки, которая перемещается внутри приемника 10. Система управления 9, соединенная с измерительным вольтметром 11, регулирует положение электропневматического многопозиционного вентиля 7 с учетом скоростемера 8 (чем выше скорость движения локомотива, тем больше внутренний диаметр патрубка 3 для подведения песка и выше производительность песочницы).

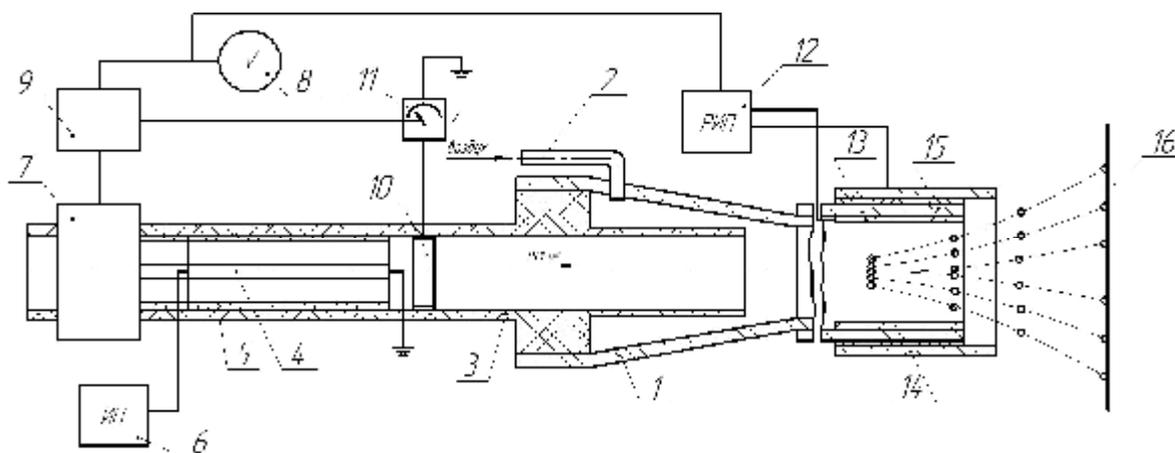


Рис. 4. Схема песочной системы локомотива, основанная на электростатической зарядке песка

За форсункой 1 необходимое количество песка перемещается по трубопроводу 15, где между электродами 13 и 14 создается электрическое поле, которое регулируется источником питания 12 (РИП) в зависимости от скорости движения локомотива и повторно заряжает песок. Под действием электрических сил абразивный сыпучий материал (песок), рассыпается в один слой. После этого песок закрепляется на рельс за счет адгезионных сил. При взаимодействии частичек песка с рельсом происходит электроэрозионное разрушение поверхностного пласта загрязнений на рельсе 16 [13]. В связи с этим повышаются адгезионные качества рельса 16 и улучшаются сцепные характеристики локомотива.

Величина необходимого напряжения, подаваемого на электроды 13 и 14 в зависимости от скорости движения локомотива для распределения песка с расстоянием между частицами равным трем их радиусам, определена на основе имитационного моделирования в системе «форсунка песочницы – рельс» [1, 4].

По данным эксплуатации тепловозов в депо Кондрашевская-Новая расход песка K_p за один год парком локомотивов составляет 389 т, стоимость одной тонны песка – $P = 51$ грн. Стоимость песка с учетом расходов связанных с очисткой балласта верхнего строения колеи от загрязнений песком учитывается коэффициентом $\mu = \left(1 + \frac{32}{26}\right) = 2,23$ согласно данных эксплуатации тепловозов на сети железных дорог [14]. Соответственно полная стоимость песка расходуемого за один год локомотивным парком депо Кондрашевская-Новая составит:

$$P_{01} = K_p \cdot P \cdot \mu = 389 \cdot 51 \cdot 2,23 = 44241 \text{ грн.}$$

Согласно [1] расход песка модернизированной песочной системы уменьшится в 25 раз. При этом стоимость песка расходуемого за один год локомотивным парком составит $P_{02} = K_p \cdot P \cdot \mu = 16 \cdot 51 \cdot 2,23 = 1770$ грн. Следовательно, экономия песка за счет его электризации и поляризации, на парк локомотивов за один год составит:

$$\Delta \mathcal{E} = P_{01} - P_{02} = 44241 - 1770 = 42471 \text{ грн.}$$

Вывод. Применение электризации абразивно-воздушной смеси, подаваемой в контакт колеса с рельсом, позволяет достигнуть требуемого, с точки зрения обеспечения высоких сцепных качеств локомотива, распределения песка по поверхности рельса. При этом повышается коэффициент сцепления и снижается расход абразивного материала, подаваемого в контакт «колесо-рельс».

Литература

1. Кравченко К.О. Обґрунтування резервів підвищення тягових якостей локомотива та їх реалізація керуванням ковзання в системі колеса з рейкою : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня к. т. н. : 05.22.07 / К.О. Кравченко. – Луганск : – 2010. – 23 с.
2. Самме Г.В. Рациональная организация взаимодействия колес локомотива с рельсами / Г.В. Самме, В.А. Яковлев // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта: Межвузовский сборник научных трудов. – М. : РГОТУПС, 2007. – Т. 1. – С. 90–94.
3. Марков Д.П. Взаимосвязь коэффициента трения с проскальзыванием в условиях взаимодействия колеса с рельсом / Д.П. Марков // Вестник ВНИИЖТ. – 2003. – № 3. – С. 31–33.
4. Осенін Ю.І. Фрикційна взаємодія колеса з рейкою / Ю.І. Осенін, Д.М. Марченко, І.О. Шведчікова. – Луганськ : Вид-во СУДУ, 1997. – 227 с.
5. Haas S. Verbesserung des Haftwerts zwischen Rad und Schiene durch fahrzeugseitige Maß durch fahrzeugseitige Maßnahmen / S. Haas // Schienenfahrzeugtagung, Graz 2005. – 24 p.
6. Каменев Н.Н. Эффективное использование песка для тяги поездов / Каменев Н.Н. – М. : Изд-во Транспорт, 1968. – 87 с.
7. Высоковольтные электротехнологии : [учебное пособие]. – М. : из-во МЭИ, 1999. – 204 с.
8. Дмитриев В.Е. Заряженное состояние адсорбентов и их применение в энергетике при экстремальных условиях : автореферат дис. на здобуття наук. ступеня к.т.н. : 05.14.02, 01.04.13 / В.Е. Дмитриев. – Новосибирск, НГАВТ, 2000. – 18 с.
9. Деклараційний патент на корисну модель № 52361, кл В61С 15/00. Пристрій для запобігання буксуванню коліс локомотива / Горбунов М.І., Кравченко К.О., Ковтанець М.В., Попов С.В., Ноженко О.С. ; заявник та власник СНУ ім. В. Даля – № u201001732 ; заявл. 18.02.2010 ; опубл. 25.08.2010, Бюл. № 16.
10. Деклараційний патент на корисну модель № 48520, кл. В61С 15/00. Спосіб підвищення зчеплення колеса з рейкою / Горбунов М.І., Кравченко К.О., Попов С.В., Ковтанець М.В., Осенін Ю.Ю. ; заявник та власник СНУ ім. В. Даля – № u200908751 ; заявл. 20.08.2009 ; опубл. 25.03.2010, Бюл. № 6.
11. Деклараційний патент на корисну модель № 56033, кл. В61С 15/00. Пісочниця локомотива / Горбунов М.І., Костюкевич О.І., Кравченко К.О., Ноженко В.С., Крутов Ю.М., Ковтанець М.В., Осенін Ю.І. ; заявник та власник СНУ ім. В. Даля – № u201006105 ; заявл. 20.05.2010 ; опубл. 27.12.2010, Бюл. № 24.
12. Горбунов Н.И. Моделирование движения песка в системе «форсунка песочницы – рельс» / Н.И. Горбунов, А.И. Костюкевич, А.Л. Кашура та ін. // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля : в 2-х ч.– Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2010. – № 5(147). – Ч. 1. – С. 20–27.
13. Проволоцкий А.Е. Развитие технологий струйной обработки [Электронный ресурс] / А.Е. Проволоцкий, А.Н. Нарбутович-Кашенко // Збірник наукових праць. Сучасні технології в машинобудуванні, 2008. – № 1. – Режим доступу : http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Stvm/2008_1/articles\13.htm.
14. Самме Г.В. Микроконтроллерная система повышения сцепления (МСПС) для электровозов постоянного тока, работающих по системе многих единиц [Электронный ресурс] / Самме Г.В. – М. : – Режим доступу : http://www.rgotups.ru/ru/nauka/nauka_kafedr.html.

Рецензент: д.т.н., проф. Горбунов Н.И.
Надійшла: 9.2.2012 р.