

УДК 629.4

М. В. Ковтанец, к.т.н.*(старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт»
Восточнoукраинского национального университета им. В. Даля)***ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ НАУКОЕМКОГО МЕТОДА ДЛЯ
ПОВЫШЕНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ «КОЛЕСО-РЕЛЬС»**

В работе представлены теоретико-экспериментальные исследования обоснования эффективности использования струйно-абразивного воздействия на взаимодействующие поверхности колеса и рельса для повышения их коэффициента сцепления. Для проверки эффективности предлагаемого метода были разработаны методики проведения экспериментальных исследований, согласно которым определены величины коэффициента трения и изменения сопротивления движению колеса имитатора экипажа при различных фрикционных условиях контактирования его с рельсом. Экспериментальные исследования проводились на специальной стендовой установке, которая позволяет одновременно исследовать фрикционные свойства системы «колесо-рельс» как при качении со скольжением, так и без него. Определение сопротивления движению выполнялось методом выбега по длине пройденного пути и времени хода до полной остановки имитатора экипажа, предварительно разогнанного до установленной скорости. В основу обработки результатов эксперимента и получения численных значений сопротивления движению положена математическая модель движения имитатора экипажа по рельсовому пути, построенная, исходя из теоремы в теоретической механике: изменение кинетической энергии системы равняется сумме работ внутренних и внешних сил при некотором перемещении этой системы. Статистическая обработка полученных экспериментальных данных, свидетельствует, что песок незначительно повышает коэффициент сцепления и создает более неблагоприятные условия контактирования для взаимодействующих поверхностей. При струйно-абразивном воздействии происходит разрушение загрязнений на поверхности рельса, а так же их унос отраженным ударом, который уносит продукты очистки из зоны контакта. При этом на поверхности рельса практически не остается абразивного материала, который может вызвать сопротивление движению, как в случае с применением песка при исследуемой производительности подачи.

Ключевые слова: коэффициент сцепления, сопротивление движению, имитатор экипажа, струйно-абразивное воздействие, абразивный материал.

© Ковтанець М. В., 2016

У роботі представлені теоретико-експериментальні дослідження обґрунтування ефективності використання струминно-абразивного впливу на взаємодіючі поверхні колеса та рейки для підвищення їх коефіцієнта зчеплення. Для перевірки ефективності запропонованого методу були розроблені методики проведення експериментальних досліджень, згідно з якими визначено величини коефіцієнта тертя і зміни опору руху колеса імітатора екіпажу при різних фрикційних умовах контактування його з рейкою. Експериментальні дослідження проводилися на спеціальній стендовій установці, яка дозволяє одночасно досліджувати фрикційні властивості системи «колесо-рейка» як при коченні з ковзанням, так і без нього. Визначення опору руху виконувалося методом вибігу по довжині пройденого шляху і часу ходу до повної зупинки імітатора екіпажу, попередньо розігнаного до встановленої швидкості. В основу обробки результатів експерименту і отримання чисельних значень опору руху покладено математичну модель руху імітатора екіпажу по рейковому шляху, побудовану виходячи з теореми в теоретичній механіці: зміна кінетичної енергії системи дорівнює сумі робіт внутрішніх і зовнішніх сил при деякому переміщенні цієї системи. Статистична обробка отриманих експериментальних даних, свідчить, що пісок незначно підвищує коефіцієнт зчеплення і створює більш несприятливі умови контактування для взаємодіючих поверхонь. При струминно-абразивному впливі відбувається руйнування забруднень на поверхні рейки, а так само їх винесення відбитим ударом, який відносить продукти очищення із зони контакту. При цьому на поверхні рейки практично не залишається абразивного матеріалу, який може викликати опір руху, як у випадку із застосуванням піску при досліджуваній продуктивності подачі.

Ключові слова: коефіцієнт зчеплення, опір руху, імітатор екіпажу, струминно-абразивний вплив, абразивний матеріал.

Постановка проблеми. При работе локомотив тратит энергию, расходуя ее на преодоление сил сопротивления движению. Таким образом, в направлении движения поезда действует сила тяги локомотива, а против – сила сопротивления движению. Их разность и определяет характер движения поезда: ускоренное, если сила тяги больше суммарной силы сопротивления движению, замедленное – если меньше.

Для обеспечения возможности трогания поезда с места и нормального движения его при разгоне должно быть соблюдено условие

$$F_{cy} < F_k > \Sigma W, \quad (1)$$

где F_{cy} – сила сцепления движущих колес с рельсами, равная сцепному весу локомотива Q_{cy} , умноженному на коэффициент сцепления Ψ ; F_k – суммарная касательная сила тяги локомотива; ΣW – сумма всех сил сопротивления движению, включая инерционные.

По мере дальнейшего роста скорости движения возрастает сила сопротивления движению, а сила тяги локомотива монотонно снижается и через некоторое время эти силы становятся равными. Начиная с этого момента, поезд на участке неизменного профиля будет двигаться с постоянной скоростью, потому что раз-

ность $F_m - \Sigma W$ равна нулю, а это значит, что ускорения поезда нет (происходит равномерное движение). Чтобы это не произошло необходимо поддерживать силу тяги F_m локомотива как можно выше силы сопротивления ΣW движению, но при этом, не превышая значение силы сцепления $F_{сц}$ ведущих колес с рельсами. Это возможно реализовать путем управления величиной коэффициента сцепления Ψ . Так как общее сопротивление движению ΣW локомотива и вагонов колеблется в весьма широких пределах в зависимости от состояния пути (геометрии рельсового пути и наличия различного рода поверхностных загрязнений), то его изучение при различных фрикционных условиях контактирования колес с рельсами является актуальной задачей [1-3]. В противном случае сопротивление может значительно возрасти, что в конечном итоге повлечет за собой перерасход топлива или электроэнергии на движение поезда.

Анализ последних исследований и публикаций. Из анализа исследований [4, 5] известно, что величина коэффициента сцепления Ψ имеет значительный разброс, в среднем – от 0,06 до 0,5. Это обусловлено действием множества случайно изменяющихся в процессе движения факторов: наличие на рельсах различного характера поверхностных загрязнений и влаги, погодные-климатические условия, температура колес и рельсов, нагрузка от колеса на рельс, скорость движения и т.д.

Для повышения коэффициента сцепления применяются различные устройства и методы [6]. Широко распространенным и весьма эффективным является подача песка в зоны контакта с рельсами поверхностей катания движущих колес локомотива. Однако при этом имеющая место чрезмерная и неравномерная подача песка вызывает:

- увеличение сопротивления движению проходящего состава, что особенно заметно при проходе кривых участков пути, где наличие остатков песка на рельсах затрудняет еще и поперечное перемещение вагонных колес и препятствует свободной установке тележек вагонов по направлению кривой;

- повышенный износ или повреждение рельсов и экипажной части (бандажей) локомотива в виде дефектов № 14 (пробоксовка рельсов колесами локомотивов) и № 40 (волнообразная деформация головки рельса – короткие волны);

- возможность возникновения (при повышенной толщине слоя песка) автоколебаний в тяговом приводе при боксовании, что неизбежно сопровождается значительными динамическими и ударными нагрузками в элементах привода и подвески;

- засорение упругих прокладок между подошвами рельсов и шпалами, что приводит к изменению жесткости рельсошпальной решетки.

К тому же, в случае подачи песка при прохождении локомотивом стрелочного перевода нарушается нормальное функционирование переводного механизма и плотное прилегание остряка к рамному рельсу, от чего зависит безопасность движения поезда [7].

Цель статьи. Проведение теоретико-экспериментальных исследований и их обработка для обоснования эффективности использования разработанного нового метода струйно-абразивного воздействия на взаимодействующие поверхности трибосистемы «колесо-рельс» для повышения их коэффициента сцепления.

Изложение основного материала исследования. На кафедре железнодорожного транспорта ВНУ им. В. Даля разработана система повышения сцепления [8, 9, 10] посредством струйно-абразивного воздействия (САВ) на поверхности рельса (или одновременно колеса и рельса), в которой абразивный материал под действием сжатого воздуха с высоким ускорением действует как очищающее средство, устраняет поверхностные загрязнения, производит (в зависимости от заданного режима работы системы) очистку, или микрорезание, или шаржирование поверхности.

Для проверки эффективности предлагаемого метода экспериментально определены величины коэффициента трения и изменения сопротивления движению колеса имитатора экипажа при различных фрикционных условиях контактирования его с рельсом. Испытания проводились на специальной стендовой установке (рис. 1), которая позволяет одновременно исследовать фрикционные свойства контакта «колесо-рельс» как при качении со скольжением, так и без него [11, 12]. Определение сопротивления движению выполнялось методом выбега по длине пройденного пути и времени хода до полной остановки имитатора экипажа, предварительно разогнанного до установленной скорости. Движение осуществлялось по прямому горизонтальному рельсу типа Р65, который разделялся на два участка: для разгона имитатора экипажа и для его выбега без тяги. На дорожку качения участка выбега наносились поверхностные загрязнения соответствующие реальным условиям контактирования колес и рельсов.



Рис. 1. Стендовая установка

При испытаниях осуществлялся разгон имитатора экипажа до начала второго участка. Затем имитатор экипажа переводился в режим выбега (движение по инерции) путем выключения двигателя тягового ролика. Одновременно включался секундомер, фиксируя отсчет времени выбега.

При достижении полной остановки имитатора экипажа секундомер фиксирует полное время выбега, и производится замер длины пройденного пути. Для получения более точных данных опыты в каждой серии испытаний повторяются не менее пяти раз. Результаты замеров заносились в сводную таблицу для дальнейшей обработки.

В основу обработки результатов эксперимента и получения численных значений сопротивления движению положена математическая модель движения

имитатора экипажа по рельсовому пути [13], построенная, исходя из теоремы в теоретической механике: изменение кинетической энергии системы равняется сумме работ внутренних и внешних сил при некотором перемещении этой системы dS . Если пренебречь упругими деформациями в приводах имитатора экипажа, то работу внутренних сил можно считать равными нулю.

Тогда

$$dK = W \cdot dS, \quad (2)$$

где K – функция кинетической энергии системы.

Кинетическая энергия системы представляется суммой энергии поступательного движения и энергии вращающихся элементов приводов и ходовой части имитатора экипажа

$$K = \frac{1}{2} m_{mm} \cdot V^2 + \frac{1}{2} J_{pp} \cdot \omega_{pp}^2 + \frac{1}{2} J_{mp} \cdot \omega_{mp}^2 + \frac{1}{2} J_{я1} \cdot \omega_{я1}^2 + \frac{1}{2} J_{я2} \cdot \omega_{я2}^2, \quad (3)$$

где J_{pp} , ω_{pp} , J_{mp} , ω_{mp} , $J_{я1}$, $\omega_{я1}$, и $J_{я2}$, $\omega_{я2}$ – момент инерции и угловая скорость вращения относительно собственной оси соответственно рабочего ролика, тягового ролика, якоря двигателя рабочего ролика и якоря двигателя тягового ролика.

Угловые скорости вращения названных элементов непосредственно зависят от скорости поступательного движения имитатора экипажа

$$\omega_{pp} = V / r_{pp}; \quad \omega_{mp} = V / r_{mp}; \quad \omega_{я1} = (V / r_{pp}) \cdot \mu_1; \quad \omega_{я2} = (V / r_{mp}) \cdot \mu_2, \quad (4)$$

где r_{pp} , r_{mp} – радиус соответственно рабочего и тягового ролика; μ_1 , μ_2 – передаточное число соответственно тягового редуктора двигателя рабочего ролика и тягового ролика.

Подставив соотношения (4) в (3) и выполнив процедуры по алгоритму (2), получим

$$m_{mm}(1 + \gamma) \cdot V \cdot dV = W \cdot dS, \quad (5)$$

$$\text{где } \gamma = \frac{1}{m_{mm}} \cdot \left(\frac{J_{pp}}{r_{pp}^2} + \frac{J_{mp}}{r_{mp}^2} + \frac{J_{я1}}{r_{я1}^2} \cdot \mu_1^2 + \frac{J_{я2}}{r_{я2}^2} \cdot \mu_2^2 \right), \quad (6)$$

Коэффициент γ учитывает инерцию вращающихся элементов ходовой части имитатора экипажа.

Разделив правую и левую части равенства (5) на $m_{mm}(1 + \gamma) \cdot V \cdot dS$, получаем математическую модель движения имитатора экипажа в форме

$$\frac{dV}{dS} = \frac{W}{(1 + \gamma) \cdot V \cdot m_{mm}}, \quad (7)$$

Отношение $w_0 = W / m_{mm}$ обычно называют удельным сопротивлением движению. Тогда (7) можно представить в общепринятом в тяге поездов виде

$$\frac{dV}{dS} = \frac{I}{I + \gamma} \cdot \frac{w_o}{V} \quad (8)$$

Выражение (8) является дифференциальным уравнением первого порядка с разделяющимися переменными вида

$$dS = \frac{I + \gamma}{w_o} \cdot V \cdot dV ; \quad (9)$$

Откуда при условии $w_o = const$

$$\int_{S_H}^{S_K} dS = \frac{I + \gamma}{w_o} \cdot \int_{V_H}^{V_K} V \cdot dV \quad \text{и} \quad S_K - S_H = \frac{I + \gamma}{w_o} \cdot \frac{1}{2} (V_K^2 - V_H^2), \quad (10)$$

где S_H и S_K , V_H и V_K – соответственно отметки пути, пройденного имитатором экипажа, и его скорости в начале и в конце замеров.

В условиях эксперимента $S_H = 0$ и $S_K = S_T$, где S_T – путь, пройденный имитатором экипажа от начала выбега до полной остановки, т. е. до $V_K = 0$.

Отсюда вытекает выражение для определения удельного сопротивления движению имитатора экипажа

$$w_o = -\frac{I + \gamma}{2S_T} \cdot V_H^2 ; \quad (11)$$

Для решения, поставленной в данной работе цели, выбраны такие фрикционные состояния поверхности рельса: чистый и сухой, покрытый водой, покрытый дизельным топливом (ДТ) и покрытый отработанным маслом (ОМ) дизеля локомотива.

Методика проведения экспериментов предусматривала три серии поездок со следующей последовательностью действий:

1. рельс приводился в одно из перечисленных фрикционных состояний, после чего осуществлялась серия измерительных поездок машины трения и определялись фрикционные характеристики контактирующих поверхностей;
2. далее на рельс наносился кварцевый песок в количестве ($\approx 0,1-0,2$ кг/м²), что соответствует нормативной подаче песка 1 кг/мин песочной системой при скорости движения локомотива 5 км/ч и определялись характеристики данного модифицированного фрикционного состояния;
3. после этого рельс подвергался струйно-абразивному воздействию (рис. 2) с использованием наиболее эффективного режима очистки, и вновь определялись фрикционные характеристики.

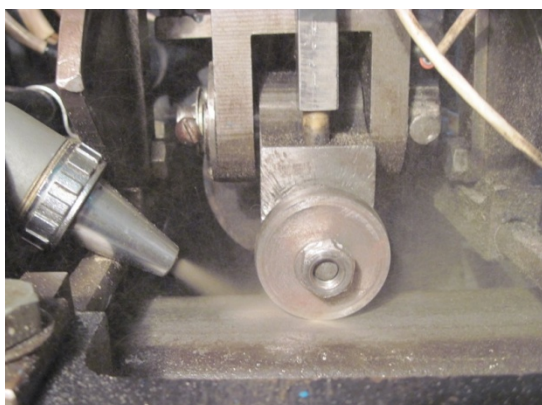


Рис. 2. Струйно-абразивное воздействие на стендовой установке

В процессе проведения экспериментов после каждой поездки проводилось измерение сопротивления движению, только менялось состояние поверхности рельса (пункт 1).

По результатам проведенных экспериментальных исследований, перед измерением сопротивления движению, на стендовой установке определены зависимости коэффициента трения от температуры в контакте для всех видов фрикционных состояний поверхностей (рис. 3-6).

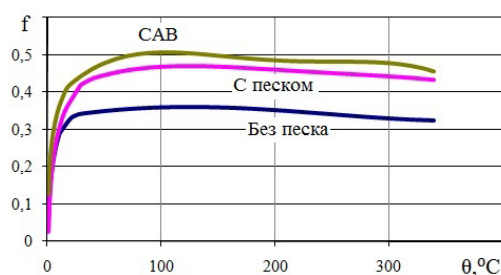


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения скольжения при качении со скольжением от температуры в контакте (рельс чистый, сухой)

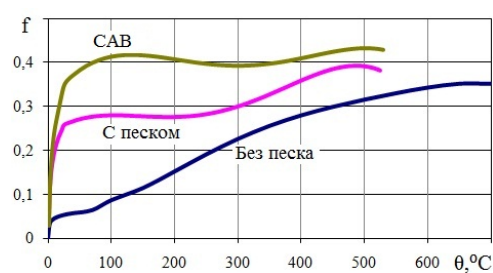


Рис. 4. Зависимость коэффициента трения при качении со скольжением от температуры в контакте (рельс, покрытый водой)

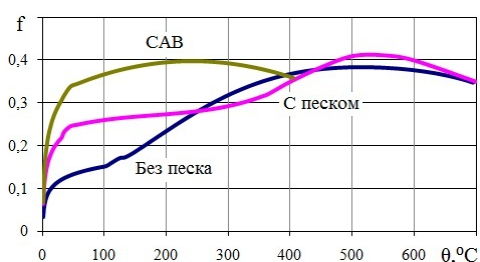


Рис. 5. Зависимость коэффициента трения при качении со скольжением от температуры в контакте (рельс, покрытый ДТ)

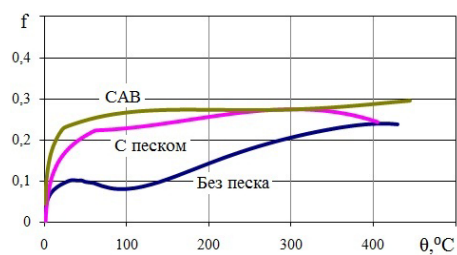


Рис. 6. Зависимость коэффициента трения при качении со скольжением от температуры в контакте (рельс, покрытый ОМ)

За эталонний случай, для каждого опыта, было принято качение имитатора экипажа по чистому и сухому рельсу ($w_o = 0$). Статистическая обработка данных, полученных при экспериментальных испытаниях на стендовой установке методом выбега, показывает (рис. 7), что подача песка на поверхность головки рельса при любом ее состоянии (чистая и сухая, покрытая водой, ДТ или ОМ) вызывает увеличение сопротивления движению (знак «-» означает уменьшение сопротивления движению от эталонного случая), что связано с повышением коэффициента трения рабочего ролика о рельс (см. рис. 3-6).

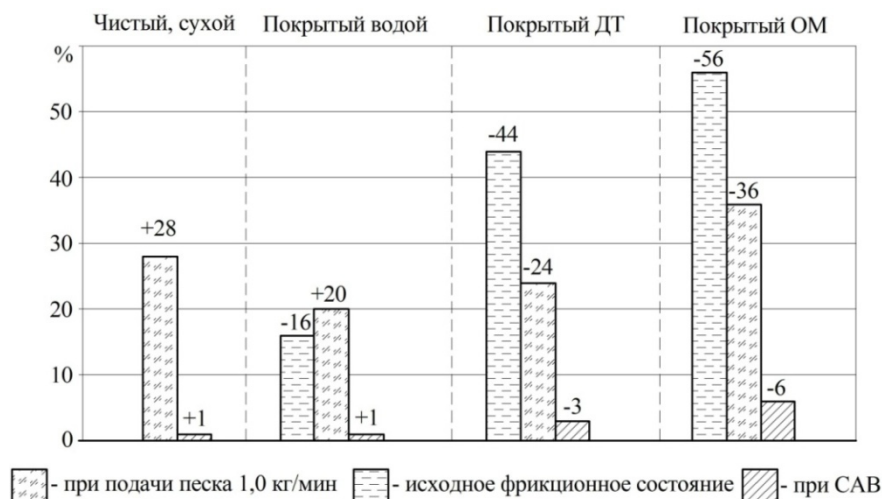
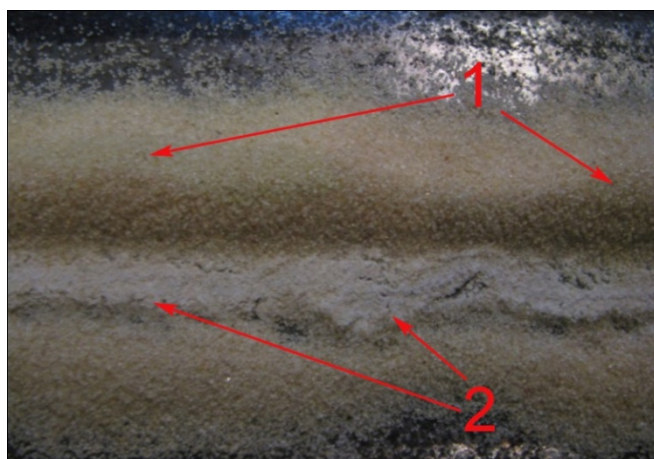


Рис. 7. Изменение сопротивления движению в сравнении с эталонным случаем

Подача песка с производительностью $\approx 1,0$ кг/мин требует предварительной затраты больших усилий на раздавливание частиц песка (рис. 8), которые имея большую прочность, вызывают повышение на 20-36% (в сравнении с исходным фрикционным состоянием) сопротивление движению. Разрушение частиц вызывает интенсивный абразивный износ поверхности ролика и головки рельса.



1 – частицы, не попавшие в контакт; 2 – продукты разрушения частиц

Рис. 8. Слой песка на поверхности рельса после прохождения колеса

Важным недостатком подачи песка на рельс, покрытый жидкими (вода, ДТ или ОМ) загрязнениями, является его аккумулялирование (налипание) вместе с загрязнениями на поверхность роликов стеновой установки и последующий разнос их по поверхности рельса (рис. 9, а). Так же на рис. 9 представлены виды тягового (б) и рабочего (в) ролика после проезда по рельсу покрытого жидкими загрязнениями с подачей песка.

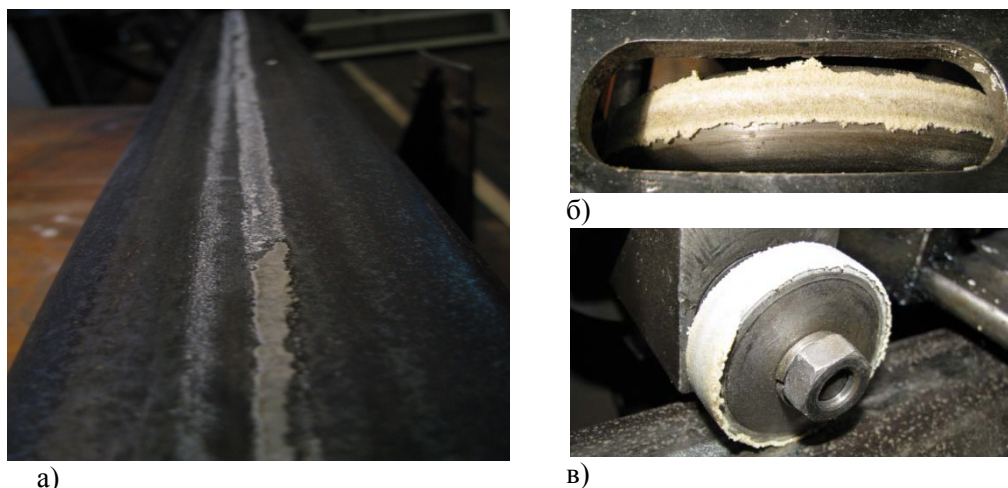


Рис. 9. Аккумулялирование на роликах загрязненного песка и его разнос по рельсу

Таким образом, проведенные исследования показывают, что песок незначительно повышает коэффициент сцепления и создает более неблагоприятные условия контактирования для взаимодействующих поверхностей. При САВ происходит разрушение загрязнений на поверхности рельса, а так же их унос отраженным ударом, который уносит продукты очистки из зоны контакта. При этом на поверхности рельса практически не остается абразивного материала, который может вызвать сопротивление движению, как в случае с применением песка при исследуемой производительности подачи.

При САВ наблюдается увеличение коэффициента сцепления при всех видах поверхностных загрязнений, которые использовались в эксперименте (от 6% до 32%), а незначительное повышение сопротивления движения объясняется случайно попавшими на поверхность частиц (увеличение на 1% или уменьшение на 6%), в отличие от подачи песка (рис. 7).

Выводы и перспективы дальнейшего использования. На основе проведенных экспериментальных и теоретических исследований обоснована целесообразность использования разработанной системы струйно-абразивной очистки поверхности рельса от различных поверхностных загрязнений, как более прогрессивной, которая позволяет создать эффективные условия контактирования колеса с рельсом для повышения тягово-сцепных качеств локомотива, не вызывая при этом дополнительного сопротивления движению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fomin, O. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars [Текст]/ O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43. [<http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/9-Fomin.pdf>]
2. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building [Text]/ A. V. Fomin// East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. –№ 3/7(57), 2012. – 32-35 p. – access Mode: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3\(7\)_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)_9.pdf).
3. Фомін, О.В. Підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів та прогнозування стадій їх еволюції [Текст]/ О.В. Фомін, // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – №3. – С.68-76 – Режим доступу: <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnichka-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennya-stupenya-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>
4. Лужнов Ю.М. Сцепление колёс с рельсами (природа и закономерности) / Ю.М. Лужнов. – М.: Интекст, 2003. – 144 с.
5. Осенін Ю.І. Фрикційна взаємодія колеса з рейкою / Ю.І. Осенін, Д.М. Марченко, І.О. Шведчикова. – Луганськ: Вид-во СУДУ, 1997. – 227 с.
6. Gorbunov N. Clutch control in the system of «wheel-rail»/ N. Gorbunov, M. Kovtanets, O. Prosvirova, E. Garkushin // Silesian University of Technology Faculty of Transport(Poland). – Transport Problems 2011, p. 432-440
7. Горбунов Н.И. Обеспечение безопасности эксплуатации железнодорожных транспортных средств созданием инновационных решений песочной системы локомотива / Н.И. Горбунов, М.В. Ковтанец, Н.Н. Горбунов, В.С. Ноженко, Е.А. Кравченко // Наукові вісті Давіського університету. Технічні науки. Електронне наукове фахове видання. №3, 2011. – http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nvdu/2011_3/Tehno/11gnipsl.pdf – Дата доступу: 22.12.2011.
8. Голубенко А.Л. Повышение сцепных качеств локомотивов управлением фрикционным взаимодействием «колесо-рельс» / А.Л. Голубенко, Н.И. Горбунов, М.В. Ковтанец, В.С. Ноженко, И.А. Цыгановский, В.В. Чмелёв // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2010. – Ч.1, № 5 (147). – С. 7-14.
9. Горбунов Н.И. Математическая модель процесса взаимодействия единичной абразивной частицы с очищаемой поверхностью рельса / Н.И. Горбунов, М.В. Ковтанец, И.А. Цыгановский, М.Н. Коршко, В.А. Левандовский // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2011. – Ч.2, № 4 (158). – С. 38-45.
10. Ковтанец М.В. Улучшение сцепных характеристик локомотива струйно-абразивным воздействием на зону контакта движущего колеса с рельсом [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / М.В. Ковтанец; ВНУ им. В. Даля. – Северодонецк, 2015. – 206 с.
11. Патент на корисну модель №65999, кл. G01N 3/40 Машина тертя для вивчення фрикційних властивостей контакту «колесо-рейка» / Костюкевич О.І., Горбунов М.І., Ковтанец М.В., Ноженко В.С., Черніков В.Д., Цигановський І.О.; заявник і власник СХУ ім. В.Даля. – u201105040; заявл. 20.04.2011; опубл. 26.12.2011, Бюл. № 24. – 4 с.
12. Голубенко А.Л. Экспериментальные исследования фрикционных свойств контакта «колесо-рельс» / А.Л. Голубенко, А.И. Костюкевич, Е.А. Кравченко, С.В. Попов, В.С. Ноженко, М.В. Ковтанец // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2010. – Ч.1, № 5 (147). – С. 14-20.
13. Слащов В.А. Тягові та гальмові розрахунки на рейковому транспорті / В.А. Слащов. – Луганськ: Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2005. – 182 с.

Maksim Kovtanets, PhD (Technical Sciences)
(Senior Lecturer of Railway Transport Chair, East-Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl)

THE RATIONALE FOR THE USE OF HIGH-TECHNOLOGY METHOD FOR IMPROVING THE COHESION IN THE «WHEEL-RAIL» SYSTEM

The paper presents theoretical and experimental studies that justify the efficiency of jet-abrasive effect on the interacting surfaces of wheel and rail to increase their

coefficient of friction. To check the effectiveness of the proposed method the methods of experimental research were developed, according to which the values of the coefficient of friction and the change of resistance to movement of the wheel simulator of the carriage under various conditions of frictional contact with the rail. Experimental studies were carried out on a special bench setup that allows to investigate the frictional properties of the «wheel-rail» system as rolling with sliding or without it. The definition of resistance was carried out by coasting along the traversed path length and operating time until complete stop of the simulator crew, pre-accelerated to the set speed. The basis of processing of experimental results and obtaining the numerical values of the running resistance based on a mathematical model of the motion simulator of the carriage along the track, built on the basis of a theorem in theoretical mechanics: the change in kinetic energy of the system is equal to the sum of works of internal and external forces with movement of this system. Statistical processing of obtained experimental data shows that the sand slightly increases the coefficient of friction and creates more adverse conditions of contacting for interactive surfaces. In jet-abrasive impact is the destruction of contaminants on the surface of the rail, as well as their carryover reflected shock, which carries refined products from the zone of contact. Thus on the surface of the rail is virtually no abrasive material that can cause a resistance to movement, as in the case of the use of sand in the studied feeding performance.

Keywords: friction coefficient, resistance to movement, the carriage simulator, jet-abrasive impact, abrasive material.

REFERENCES

1. Fomin, O. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars [Текст]/ O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43. [<http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/9-Fomin.pdf>]
2. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building [Text]/ A. V. Fomin// East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. –№ 3/7(57), 2012. – 32-35 p. – access Mode: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3\(7\)_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)_9.pdf).
3. Fomin, A. V. Increasing the degree of ideality of freight wagons and forecasting stages of their evolution [Text]/ A. V. Fomin, // Scientific Bulletin of National mining University. – Dnepropetrovsk: NMU, 2015. – No. 3. – P. 68-76 – Mode of access: <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukreat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnicha-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennya-stupenya-idealnosti-vantaznikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>.
4. Luzhnov Ju.M. *Sceplenie koljos s rel'sami (priroda i zakonomernosti)* [Clutch wheel rails (nature and regularity)]. Moscow, Intekst Publ., 2003. 144 p.
5. Osenin Ju.I., Marchenko D.M., Shvedchikova I.O. *Frikcijna vzaemodija koleasa z rejkiju* [Friction interaction with rail wheels]. Lugansk, EUSU Publ., 1997. 227 p.
6. Gorbunov N. *Clutch control in the system of «wheel-rail»*/ N. Gorbunov // Silesian University of Technology Faculty of Transport (Poland). – Transport Problems 2011, p. 432-440.
7. Gorbunov N.I., Kovtanec M.V., Gorbunov N.N., Nozhenko V.S., Kravchenko E.A. Obespechenie bezopasnosti jekspluatacii zheleznodorozhnyh transportnyh sredstv sozdaniem innovacionnyh reshenij pesochnoj sistemy lokomotiva [Ensuring the safety of operation of rail vehicles provide innovative solutions to the sand of the locomotive system]. *Naukovi visti Dalivskogo universitetu – Science news Dahl University*. 2011. issue 3. Available at: http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nvdu/2011_3/Tehno/11gnipsl.pdf
8. Golubenko A.L., Gorbunov N.I., Kovtanec M.V., Nozhenko V.S., Cyganovskij I.A., Chmeljov V.V. Povyshenie scepnyh kachestv lokomotivov upravleniem frikcionnym vzaimodejstviem «koleso-rel's» [Increasing the quality of coupling locomotives operated frictional interaction «wheel-rail»]. Visnik

Shidnoukraïns'kogo nacional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalja [Bulletin of East Ukrainian National University named after Vladimir Dahl]. Lugansk, Vladimir Dahl EUNU Publ, 2010, issue 1, № 5 (147), pp. 7-14.

9. Gorbunov N.I., Kovtanec M.V., Cyganovskij I.A., Korshko M.N., Levandovskij V.A. Matematicheskaja model' processa vzaimodejstvija edinichnoj abrazivnoj chasticy s ochishhaemoj poverhnost'ju rel'sa [A mathematical model of the interaction of a single abrasive particles from the cleaning surface of the rail]. *Visnik Shidnoukraïns'kogo nacional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalja* [Bulletin of East Ukrainian National University named after Vladimir Dahl]. Lugansk, Vladimir Dahl EUNU Publ, 2011, issue 2, № 4 (158), pp. 38-45.

10. Kovtanets M.V. *Uluchshenie scepnyh karakteristik lokomotiva strujno-abrazivnym vozdejstviem na zonu kontakta dvizhushhego koleasa s rel'som* PhD Diss. [Improving the cohesion characteristics of the locomotive with the jet-abrasive impact on the contact zone of the driving wheel and rail PhD Diss.]. Severodonetsk, 2015. 206 p.

11. Kostjukevich O.I., Gorbunov M.I., Kovtanec' M.V., Nozhenko V.S., Chernikov V.D., Ciganovs'kij I.O. *Mashina tertja dlja vivchennja frikciynih vlastivostej kontaktu «koleso-rejka»* [Machine to study friction frictional contact properties «wheel-rail»]. Patent UA, no. u201105040, 2011.

12. Golubenko A.L., Kostjukevich A.I., Kravchenko E.A., Popov S.V., Nozhenko V.S., Kovtanec M.V. Jeksperimental'nye issledovanija frikcionnyh svojstv kontakta «koleso-rel's» [Experimental studies of frictional contact properties «wheel-rail»]. *Visnik Shidnoukraïns'kogo nacional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalja* [Bulletin of East Ukrainian National University named after Vladimir Dahl]. Lugansk, Vladimir Dahl EUNU Publ, 2010, issue 1, № 5 (147), pp. 14-20.

13. Slashov V.A. *Tjagovi ta gal'movi rozrahunki na rejkovomu transporti* [Traction and braking calculations rail transport]. Lugansk, Vladimir Dahl EUNU Publ, 2005, 182 p.