

УДК 629.4.067.4:629.4.063.8

**Н. И. Горбунов, д.т.н., профессор**

*(заведующий кафедрой «Железнодорожный, автомобильный транспорт и подъемно-транспортные машины», Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля, г. Северодонецк)*

**М. В. Ковтанец, к.т.н.**

*(доцент кафедры «Железнодорожный, автомобильный транспорт и подъемно-транспортные машины», Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля, г. Северодонецк)*

**О. В. Просвинова**

*(младший научный сотрудник, Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля, г. Северодонецк)*

**Д. В. Соболев**

*(студент, кафедра «Эксплуатация и ремонт подвижного состава», Украинский государственный университет железнодорожного транспорта (УкрДУЗТ), г. Харьков)*

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРУЙНО-АБРАЗИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РЕЛЬСЫ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТРИБОКОНТАКТА «КОЛЕСО-РЕЛЬС»**

*Статья посвящена описанию результатов экспериментальной проверки эффективности струйно-абразивного воздействия на рельсы, как одного из возможных способов повышения эффективности использования песка, для улучшения фрикционных свойств контакта «колесо-рельс». Струйно-абразивное воздействие обеспечивает направленную подачу абразивного материала под действием сжатого воздуха на поверхность рельса, оказывая воздействие на фрикционное состояние контакта колесо-рельс, которое заключается в удалении поверхностных загрязнений, формировании шероховатости поверхности, собственно подаче песка в контакт колеса с рельсом. Под фрикционными свойствами понимается зависимость коэффициента трения скольжения при качении со скольжением от температуры в контакте. По данным зависимостям построены характеристики сцепления для выбранных фрикционных состояний. В качестве исходных фрикционных состояний поверхности рельса использовались: чистая и сухая поверхность; влажная поверхность; поверхность, покрытая дизельным топливом; поверхность, покрытая отработанным маслом.*

*Ключевые слова: абразивный материал, коэффициент сцепления, струйно-абразивное воздействие, КПД фрикционной передачи.*

*Стаття присвячена опису результатів експериментальної перевірки ефективності струменево-абразивного впливу на рейки, як одного з можливих способів підвищення ефективності використання піску, для поліпшення фрикційних властивостей контакту «колесо-рейка». Струменево-абразивна дія забезпечує пряму подачу абразивного матеріалу під дією стисненого повітря на поверхню рейки,*

© Горбунов Н. И., Ковтанец М. В., Просвинова О. В., Соболев Д. В., 2016

*оказуючи вплив на фрикційний стан контакту колесо-рейка, який полягає у видавленні поверхневих забруднень, формуванні шорсткості поверхні, та подачі піску в контакт колеса з рейкою. Під фрикційними властивостями мають на увазі залежність коефіцієнта тертя ковзання при коченні з ковзанням від температури в контактї. За даними залежностей побудовані характеристики зчеплення для обраних фрикційних станів. Як вихідні фрикційні станів поверхні рейки використовувалися: чиста і суха поверхня; волога поверхня; поверхня, покрита дизельним паливом; поверхня, покрита відпрацьованим мастилом. 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: абразивний матеріал, коефіцієнт зчеплення, струменево-абразивний вплив, ККД фрикційної передачі.*

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день проведено большой объем теоретических и экспериментальных исследований различных методов и устройств увеличения коэффициента сцепления [1-7]. Большинство из методов активного воздействия на фрикционный узел колесо-рельс обеспечивают значительное повышение коэффициента сцепления. Однако, по разным причинам, все они (за исключением подачи в зону контакта кварцевого песка) не получили широкого распространения.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Учитывая сказанное, можно утверждать, что, в реальных условиях эксплуатации, надежная работа железнодорожного транспорта достигнута исключительно за счет применения кварцевого песка. Этот метод широко используется во всем мире, но наряду с неоспоримыми преимуществами (высокая эффективность, удобство использования, относительная дешевизна) имеет и явные недостатки [2, 8]. Эти недостатки заставляют ученых и инженеров искать методы использования песка (электризация песка, подача песчаной пасты, использование брикетов и др.), которые бы уменьшали негативные последствия его использования.

Одним из возможных способов повышения эффективности использования песка является струйно-абразивное воздействие (САВ) на поверхности рельса (или колеса и рельса) [1, 9-11]. В этом случае абразивный материал (песок) под действием сжатого воздуха направлено подается на поверхность рельса, оказывая воздействие на фрикционное состояние контакта колесо-рельс, которое заключается в:

- удалении поверхностных загрязнений;
- формировании шероховатости поверхности, которая в зависимости от режима воздействия может обеспечить значительное повышение коэффициента сцепления;
- собственно подаче песка в контакт колеса с рельсом. В работах [12, 13] показано, что, с точки зрения тяги, наилучший результат обеспечивается при подаче песка в один слой с некоторым расстоянием между песчинками ( $0,06 \text{ кг/м}^2$ ).

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

**Изложение основного материала исследования.** Данная статья посвящена описанию результатов экспериментальной проверки эффективности САВ на рельсы для улучшения фрикционных свойств контакта колесо-рельс. Проверка осуществлялась

путем исследования фрикционных свойств контакта колесо-рельс до и после использования САВ. Для сравнения исследовались так же фрикционные характеристики контакта при нанесении на поверхность рельса песка в количестве, соответствующем нормативной подаче песка песочной системой локомотива ( $\approx 0,1-0,2 \text{ кг/м}^2$ ).

Под фрикционными свойствами здесь понимается зависимость коэффициента трения скольжения при качении со скольжением от температуры в контакте.

Испытания проводились на оригинальной машине трения, созданной на кафедре железнодорожного транспорта ВНУ им. В. Даля [14] (рис. 1). Функционально машина трения состоит из тележки (рис. 1) с размещенными на ней разгонным устройством (I), ориентирующим (II) и измерительным узлом (III), а так же микропроцессорным измерительным блоком (IV).

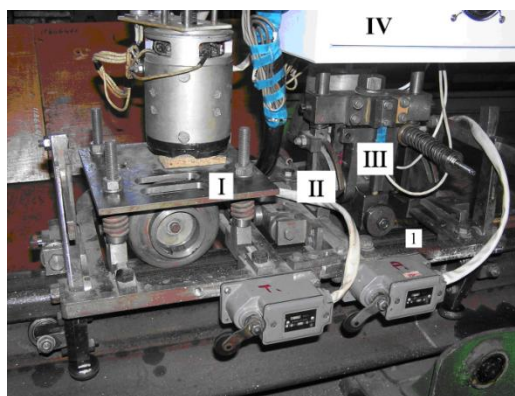


Рис. 1. Машина трения

В качестве исходных фрикционных состояний поверхности рельса использовались: чистая и сухая поверхность; влажная поверхность; поверхность, покрытая дизельным топливом; поверхность, покрытая отработанным маслом М8.

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

– рельс приводился в одно из перечисленных фрикционных состояний, после чего осуществлялась серия измерительных поездок машины трения;

– далее на рельс наносился кварцевый песок в количестве ( $\approx 0,1-0,2 \text{ кг/м}^2$ ), что соответствует нормативной подаче песка  $1 \text{ кг/мин}$  песочной системой при скорости движения локомотива  $5 \text{ км/ч}$  и определялись характеристики данного модифицированного фрикционного состояния;

– после этого рельс подвергался струйно-абразивному воздействию (рис. 2) с использованием наиболее эффективного режима, и вновь определялись фрикционные характеристики.

Результаты исследования представлены на рис. 3-6.

Используя результаты, представленные на рис. 3-6, с помощью программы VDEUNU CONTACT [15], разработанной по математической модели сцепления колес с рельсами [15, 16], для выбранных фрикционных состояний построены характеристики сцепления. Все расчеты проводились для случая контакта новых, неизношенных колес локомотива (ГОСТ 11018-2000) и рельсов Р65 (ГОСТ 51685-2000) при центральном расположении колесной пары относительно рельсовой колеи. Вертикальное усилие со стороны колесной пары принято  $P=230 \text{ кН}$ . Результаты расчетов представлены на рис. 7-10.

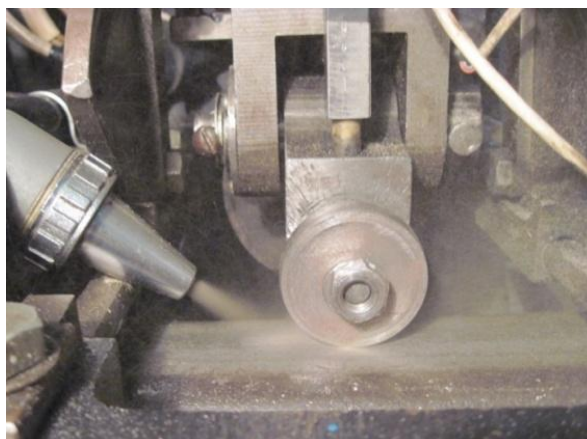


Рис. 2. Струйно-абразивное воздействие на стендовой установке

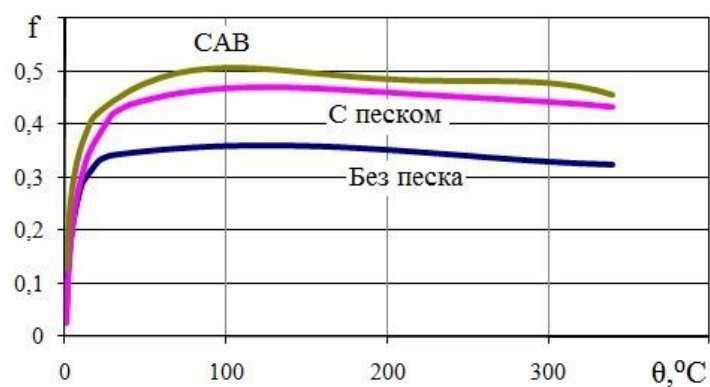


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения скольжения при качении со скольжением от температуры в контакте (рельс чистый, сухой)

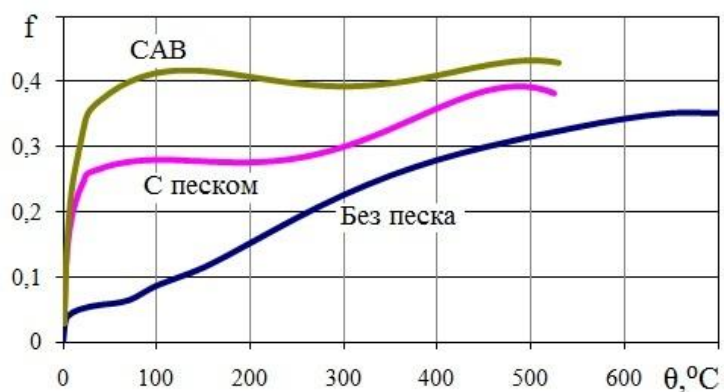


Рис. 4. Зависимость коэффициента трения при качении со скольжением от температуры в контакте (рельс, покрытый водой)

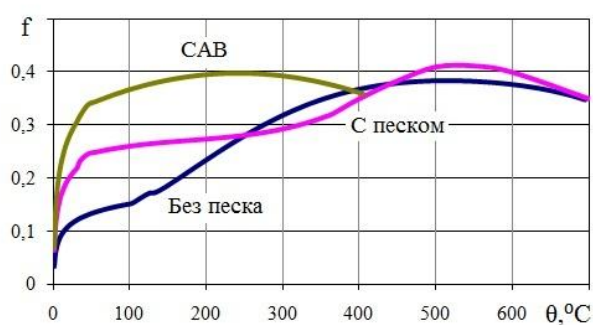


Рис. 5. Зависимость коэффициента трения при качении со скольжением от температуры в контакте (рельс, покрытый дизельным топливом)

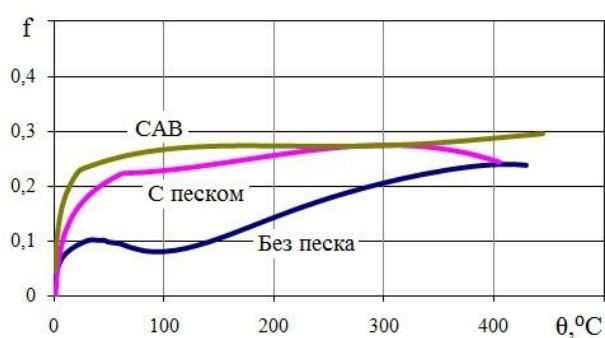


Рис. 6. Зависимость коэффициента трения при качении со скольжением от температуры в контакте (рельс, покрытый отработанным маслом)



Рис. 7. Характеристики сцепления (чистые, сухие поверхности)

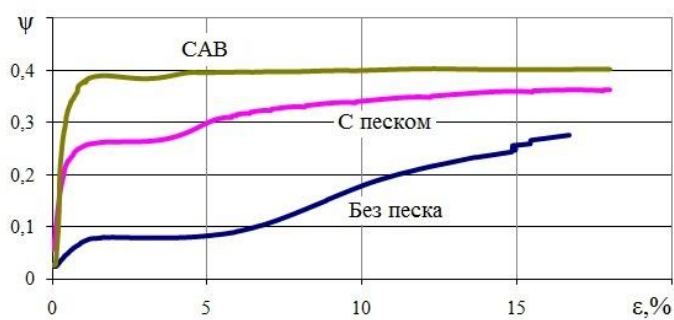


Рис. 8. Характеристики сцепления (влажные поверхности)

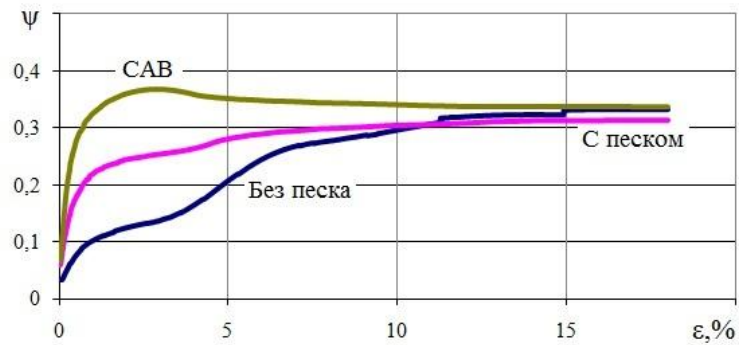


Рис. 9. Характеристики сцепления (поверхности покрыты дизельным топливом)

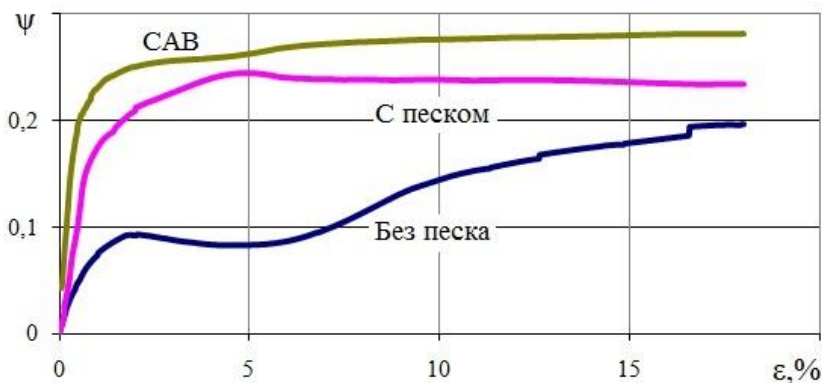


Рис. 10. Характеристики сцепления (поверхности покрыты отработанным маслом)

В работе [13] рассмотрено понятие КПД фрикционной передачи «колесо-рельс». Для расчета КПД предложено использовать следующую формулу,

$$\eta = \frac{W_n}{W_{об}} = \frac{F_{сц} \cdot V_l}{F_{сц} \cdot V_l + F_{сц} \cdot V_{ск}} = \frac{1}{1 + \frac{V_{ск}}{V_l}}, \quad (1)$$

где  $\eta$  – КПД передачи;  $W_n$  – полезная мощность;  $W_{об}$  – общая мощность;  $F_{сц}$  – сила сцепления колеса с рельсом;  $V_l$  – скорость движения локомотива;  $V_{ск}$  – скорость скольжения колеса относительно рельса.

Учитывая, что  $V_{ск}/V_l$  представляет собой относительное скольжение  $\varepsilon$ , преобразуем формулу (1) к виду:

$$\eta = \frac{1}{1 + \varepsilon}. \quad (2)$$

Используя формулу (2) по результатам, представленным на рис. 7-10 определены величины скольжения (Ск.) и рассчитан КПД фрикционной передачи «колесо-рельс» при реализации силы тяги, соответствующей коэффициенту сцепления 0,2. Результаты расчетов сведены в табл.1.

Таблиця 1. КПД фрикционной передачи «колесо-рельс»

№	Фрикционное состояние рельса	Без песка		С песком		САВ	
		Ск., %	КПД, %	Ск., %	КПД, %	Ск., %	КПД, %
1.	Чистый, сухой	0,2	0,999	0,17	0,999	0,08	0,999
2.	Покрыт водою	11,1	0,900	0,39	0,999	0,26	0,999
3.	Покрыт ДТ	4,8	0,954	0,75	0,999	0,25	0,999
4.	Покрыт ОМ	17	0,854	1,7	0,983	0,53	0,999

**Выводы и перспективы дальнейшего использования.** Анализируя результаты, представленные на рис. 7-10 и в табл.1, можно сделать следующие выводы:

- вне зависимости от исходного фрикционного состояния САВ обеспечивает величину коэффициента сцепления не хуже 0,25;
- использование САВ при всех исследованных фрикционных состояниях оказывается более эффективным, по сравнению с подачей песка;
- при реализации силы тяги, соответствующей коэффициенту сцепления 0,2 КПД фрикционной передачи «колесо-рельс» при САВ превышает 0,999, за счет уменьшения критического скольжения на характеристике сцепления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів / О.В. Фомін // Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського». – Кременчук: КДПУ, 2013. – Вип. 6(83). – С. 87-91.
2. Фомін О.В. Концепція ідеальних кузовів напіввагонів / О.В. Фомін // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2013. – № 4(193). – С. 267–271.
3. Фомін, О.В. Впровадження круглих труб в несучі системи напіввагонів з забезпеченням раціональних показників міцності [Текст]/ О.В Фомін // Науковий журнал «Технологический аудит и резервы производства». – Харків, 2015. – № 4/1(24) – С. 83-89.
4. 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).
5. Лужнов Ю.М. Сцепление колёс с рельсами (природа и закономерности) / Ю.М. Лужнов. – М.: Ин-текст, 2003. – 144 с.
6. Осенін Ю.І. Фрикційна взаємодія колеса з рейкою / Ю.І. Осенін, Д.М. Марченко, І.О. Шведчікова. – Луганськ: Вид-во СУДУ, 1997. – 227 с.
7. 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.
8. 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 Дніпровського університету. Технічні науки. Електронне наукове фахове видання. – №3. – 2011. – [http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nvdu/2011\\_3/Tehno/11gnipsl.pdf](http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nvdu/2011_3/Tehno/11gnipsl.pdf) – Дата доступу: 22.12.2011.
9. 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.

10. 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.

11. 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; ВХУ ім. В. Даля. – Северодонецк, 2015. – 206 с.

12. Патент на корисну модель №65999, кл. G01N 3/40 Машина тертя для вивчення фрикційних властивостей контакту «колесо-рейка» / Костюкевич О.І., Горбунов М.І., Ковтанець 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.

13. 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.

14. Слащов В.А. Тягові та гальмові розрахунки на рейковому транспорті / В.А. Слащов. – Луганськ: Вид-во СХУ ім. В. Даля, 2005. – 182 с.

*Nikolay Gorbunov, Doctor of Science (Technical Sciences), Professor  
(Professor, Railway Transport Chair, East Ukrainian National University named after V. Dahl)*

*Maksim Kovtanets, PhD (Technical Sciences)  
(Associate Professor of Railway Transport Chair, East-Ukrainian National University named after V. Dahl)*

*Olga Prosvirova  
(Junior Researcher, East-Ukrainian National University named after V. Dahl)*

*Dmitry Sobol  
(student of Rolling Stock Maintenance and Repair Chair, Ukrainian State University of Railway Transport (UkrSURT))*

**EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE EFFECTIVENESS OF JET  
ABRASIVE IMPACT ON THE RAILS TO IMPROVE THE FRICTION  
PROPERTIES OF «WHEEL-RAIL» TRIBOCONTACT**

*The article describes the results of experimental verification of the effectiveness of jet abrasive impact on rails as one of the possible ways of increase of efficiency of use of sand to improve frictional contact properties of «wheel-rail» system. Jet-abrasive impact ensures a directed flow of abrasive material under the action of compressed air on the surface of the rail, affecting the friction condition of the wheel-rail contact, which consists in the removal of surface contamination, the formation of surface roughness, the actual supply of sand in the contact of the wheel with the rail. Under frictional properties means the dependence of coefficient of sliding friction rolling sliding temperature in contact. According to the dependencies characteristics of the clutch for the selected friction conditions were built. As the initial frictional state of the surface of the rail were used: clean and dry surface; moist surface; surface covered with diesel fuel; surface covered with used oil. 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:** *abrasives, friction coefficient, abrasive jet impact, frictional transmission efficiency.*

REFERENCES

1. Fomin O.V. Teoretychni osnovy prohramnoho kompleksu vyznachennya ta vykorystannya matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vahoniv / O.V. Fomin // Naukovyy zhurnal «Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho». – Kremenchuk: KDPU, 2013. – Vyp. 6(83). – S. 87-91.
2. Fomin, O.V. Koncepcija ideal'nih kuzoviv napivvagoniv [The concept of ideal bodies gondola] [Text] / O.V. Fomin // Journal of East Ukrainian National University named after Vladimir Dal, a scientific journal. – Lugansk: EUNU. Dal, 2013. – № 4 (193). – S. 267-271.
3. Fomin, O. V. Vprovadzheniya of cruglic pipes in NESC systems napowan W zabezpecheny razvalyny pokaznykiv mcnet [Text]/ O. In Fomn // [ the journal «Technology audit and production reserves». – Kharkiv, 2015. – № 4/1(24) – S. 83-89.
4. 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).
5. Luzhnov Ju.M. *Sceplenie koljos s rel'sami (pryroda i zakonomernosti)* [Clutch wheel rails (nature and regularity)]. Moscow, Intekst Publ., 2003. 144 p.
6. Osenin Ju.I., Marchenko D.M., Shvedchikova I.O. *Frikcijsna vzaemodija koleasa z rejkoju* [Friction interaction with rail wheels]. Lugansk, EUSU Publ., 1997. 227 p.
7. 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.
8. Gorbunov N.I., Kovtanec M.V., Gorbunov N.N., Nozhenko V.S., Kravchenko E.A. Obespechenie bezopasnosti jekspluatatsii 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](http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nvdu/2011_3/Tehno/11gnipsl.pdf)
9. 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 Shidnoukrajins'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.
10. 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 Shidnoukrajins'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.
11. Kovtanets M.V. *Uluchshenie scepnyh harakteristik 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.
12. Kostjukevich O.I., Gorbunov M.I., Kovtanec' M.V., Nozhenko V.S., Chernikov V.D., Ciganovskij I.O. *Mashina tertja dlja vivchennja frikcijsnih vlastivostej kontaktu «koleso-rejka»* [Machine to study friction frictional contact properties «wheel-rail»]. Patent UA, no. u201105040, 2011.
13. 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 Shidnoukrajins'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.
14. Slashhov V.A. *Tjagovi ta gal'movi rozrahunki na rejkovomu transporti* [Traction and braking calculations rail transport]. Lugansk, Vladimir Dahl EUNU Publ, 2005, 182 p.