

УДК 629.4.067.4

## ВИКОРИСТАННЯ НОВОГО СПОСОБУ ПІДВЕДЕННЯ АБРАЗИВНОГО МАТЕРІАЛУ В КОНТАКТ «КОЛЕСО-РЕЙКА» ЯК МЕТОД ЗНИЖЕННЯ РИЗИКУ БОКСУВАННЯ ТА ЮЗУ ЛОКОМОТИВІВ

Горбунов М.І., Ковтанець М.В., Кравченко К.О., Просвірова О.В.

### THE USE OF NEW METHOD OF ABRASIVE MATERIAL SUPPLY INTO WHEEL-RAIL CONTACT AS METHOD OF REDUCING THE RISK OF LOCOMOTIVES SLIPPING AND SKIDDING

Gorbunov N., Kovtanets M., Kravchenko K., Prosvirova O.

*У статті наведені результати проведених теоретичних і експериментальних досліджень нового способу підведення абразивного матеріалу в контакт «колесо-рейка» при різних забрудненнях контактуючих поверхонь. Для теоретичного дослідження розробленого способу була створена імітаційна математична модель руху абразивного матеріалу, що дозволяє встановити ступінь впливу технологічних і конструктивних параметрів способу подачі на динаміку розподілу часток по поверхні рейки протягом визначеного часу з урахуванням швидкості руху локомотива. Проведено серію розрахунків з метою підбору параметрів подачі абразивного матеріалу, що забезпечують необхідні режими взаємодії частинок з поверхнею рейки. Експериментальна перевірка ефективності запропонованого способу струминно-абразивного впливу на контакт «колесо-рейка» проводилась на оригінальній машині тертя. На основі отриманих експериментальних даних, за допомогою програми VDEUNU CONTACT, для досліджуваних фрикційних станів побудовані характеристики зчеплення.*

**Ключові слова:** коефіцієнт зчеплення, імітаційна модель, струминно-абразивний вплив, абразивний матеріал, машина тертя.

**Вступ.** На даний час існує невирішена в достатній мірі проблема, пов'язана з виникненням боксування і юза колісних пар локомотивів. Боксування і юз виникають при перевищенні тягової або гальмівної сили, прикладеної до колеса з боку локомотива, над силою зчеплення колеса з рейкою і безпосередньо пов'язані з безпекою руху. Відповідно до цього, основним завданням при веденні локомотива є зниження можливості виникнення і розвитку процесу боксування або юза, шляхом реалізації стабільно-високої величини коефіцієнта зчеплення колеса з рейкою при будь-яких погодних та кліматичних умовах.

**Постановка проблеми.** Аналіз досліджень методів підвищення та стабілізації фрикційної взаємо-

дії коліс локомотивів з рейками показує, що багато з них дають можливість значно підвищити коефіцієнт зчеплення, який реалізується локомотивом. Наприклад, позитивний ефект дозволяють отримати хімічні методи очищення поверхні рейок, електродугове, плазмове та лазерне очищення, введення в зону контакту колеса з рейкою частинок твердих речовин тощо. Однак застосування більшості цих методів призводить до істотних труднощів при експлуатації, викликає небажаний побічний ефект та є неекономічними.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На стадії попереднього вивчення методів підвищення та стабілізації зчеплення коліс з рейками, проведено ретельний аналіз літературних, патентних джерел і звітів НДР, який дозволив визначити їх основні переваги та недоліки, розширити класифікацію існуючих методів та готових пристроїв.

**Мета статті.** Провести аналіз існуючих та перспективних методів покращення фрикційних властивостей контакту «колесо-рейка», визначити з них найбільш ефективний та провести теоретичні й експериментальні дослідження щодо визначення та обґрунтування його ефективності.

**Основний зміст.** У роботі визначення найбільш ефективного методу підвищення та стабілізації зчеплення коліс з рейками в експлуатації виконувалось за допомогою методу експертних оцінок [1, 2]. Аналіз отриманих результатів експертного опитування показав, що найбільш ефективним методом підвищення коефіцієнта зчеплення колеса з рейкою є вплив на їх поверхні двофазного струминно-абразивного потоку [3]. У цьому випадку абразивний матеріал (пісок) під дією стисненого повітря направлено подається на поверхню рейки, надаючи вплив на фрикційний стан контакту «колесо-рейка», який полягає у: видаленні поверхневих забруднень;

формуванні шорсткості поверхні, яка в залежності від режиму впливу може забезпечити значне підвищення коефіцієнта зчеплення; власне подачі піску в контакт колеса з рейкою.

Дослідження процесу руху абразивних частинок з сопла з урахуванням різних факторів, обумовлено високою складністю отримання та аналізу результатів при проведенні стендових і натурних експериментів. Для вирішення цієї задачі була розроблена імітаційна математична модель руху абразивного матеріалу, яка реалізована з використанням методу частинок (дискретно-елементний метод) та описує механізм впливу параметрів потоку частинок, їх траєкторію руху, сили, що діють на них, і координати місць взаємодії, що дозволяє визначити механічні, топографічні, фізичні параметри поверхонь після взаємодії та встановити ступінь впливу технологічних і конструктивних параметрів способу подачі на динаміку розподілу часток по поверхні рейки протягом визначеного часу з урахуванням швидкості руху локомотива. Моделювання досліджуваної системи виконується в середовищі Borland C++ Builder 6.0. Введення вхідних параметрів виконується у вікні інтерфейсу спеціально розробленої комп'ютерної програми (рис. 1) [4].



Рис. 1. Інтерфейс програми імітаційної моделі руху абразивних часток

В основі розробленої імітаційної моделі лежить метод частинок (дискретно-елементний), що передбачає обчислення положення і відповідних параметрів кожної частинки, яка моделюється в різні моменти часу, а також важливою особливістю даного методу є можливість врахувати вплив значної кількості різноманітних за природою факторів на досліджуваний процес [5]. Це дозволяє одержати детальну просторово-часову картину розподілу потоку частинок по поверхні рейки. Модель руху двофазного потоку описує рух частинок, враховуючи зіткнення частинок в потоці та їх відбиття від поверхні рейки або колеса. Розрахункова схема моделі руху частинки при виході з сопла представлена на рис. 2.

В результаті моделювання визначаються прискорення, швидкості та координати частинок. Використовуючи координати частинок, здійснюється перевірка взаємодії частинок з поверхнею рейки або колеса.

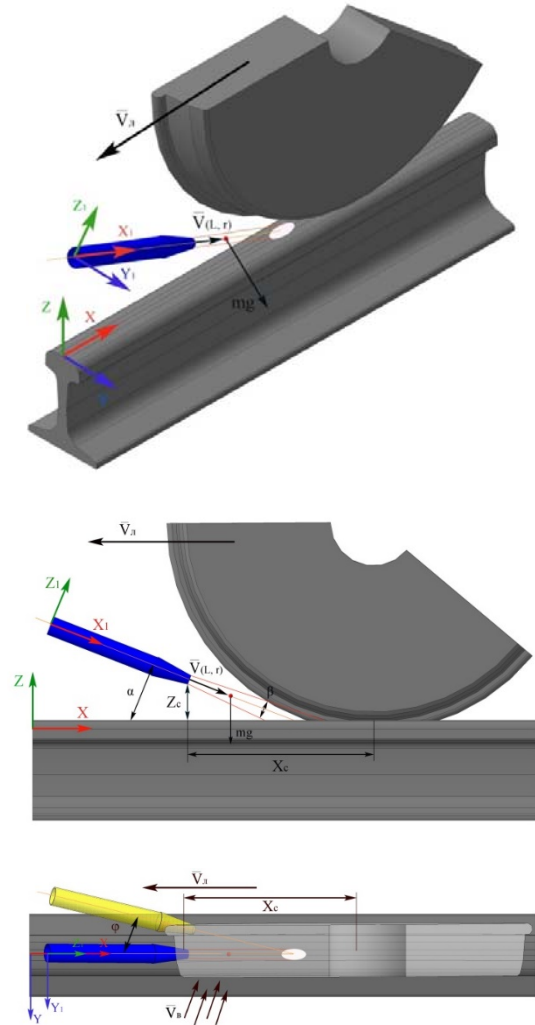


Рис. 2. Розрахункова схема моделі руху абразивних часток

Можливі кілька варіантів взаємодії:

- частинка рухається в напрямку поверхні рейки → не робиться жодних додаткових дій;
- частинка досягла поверхні → визначаються параметри взаємодії частинки з поверхнею (швидкість частинки в момент удару, кут атаки, координати точки поверхні, швидкість, з якою частка відбилася від поверхні). Інформація про взаємодію вноситься в блок статистики взаємодії частинок з поверхнею;
- частинка потрапила в зону контакту колеса з рейкою → інформація про це вноситься в блок статистики частинок, які потрапили в контакт, і частинка виключається з подальшого розгляду;
- частинка перетнула межі простору, в якому можливе зіткнення з поверхнею рейки чи колеса → частинка виключається з подальшого розгляду.

За допомогою розробленої програми проведено серію розрахунків з метою підбору параметрів подачі абразивного матеріалу, що забезпечують необхідні режими взаємодії частинок з поверхнею рейки. Експериментальна перевірка ефективності запропонованого способу струминно-абразивного впливу (САВ) на контакт «колесо-рейка» проводилась на

оригінальній машині тертя, створеної на кафедрі залізничного транспорту СХУ ім. В. Даля (рис. 3 і 4) [6].

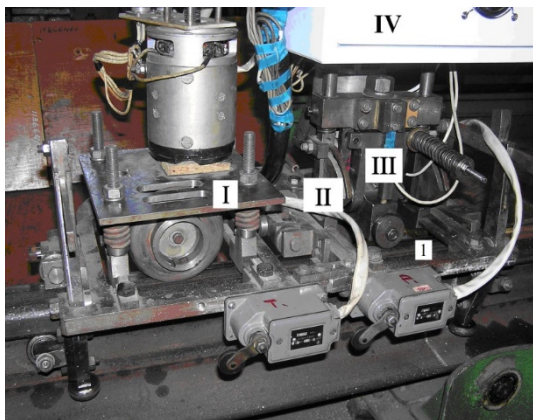


Рис. 3. Загальний вид Машини тертя

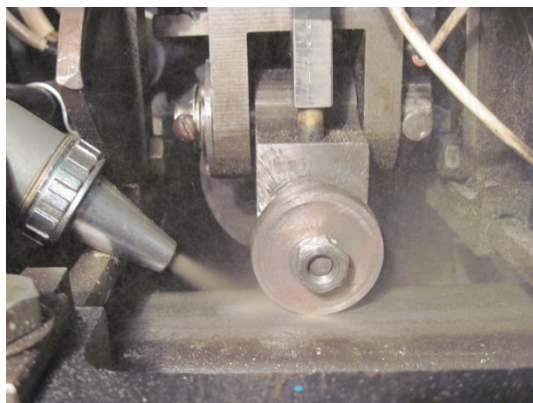


Рис. 4. Струминно-абразивний вплив на контакт робочих поверхонь

Функціонально машина тертя містить візок (рис. 3), з розміщеним на ньому розгінним пристроєм (I), орієнтуючим (II) і вимірювальними вузлами (III), а також мікропроцесорним вимірювальним блоком (IV).

При проведенні експериментів досліджувалися наступні фрикційні стани поверхні рейки: чиста суха поверхня (рис. 5, а); волога поверхня (рис. 5, б); поверхня покрита дизельним паливом (рис. 5, в); поверхня покрита відпрацьованим маслом М8 (рис. 5, г) [7].

Методика проведення експериментів передбачала чотири серії поїздок з наступною послідовністю дій:

- рейка приводилася в один з перерахованих фрикційних станів, після чого здійснювалася серія вимірювальних поїздок на машині тертя;

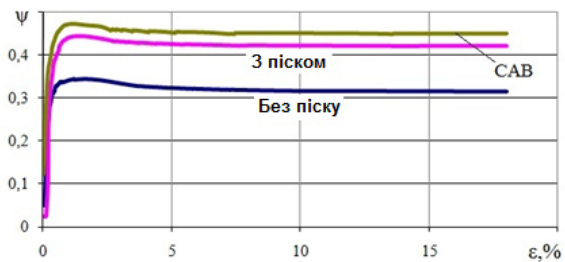
- на рейку наносився кварцовий пісок в кількості ( $\approx 0,1 - 0,2 \text{ кг/м}^2$ ), що відповідає об'ємам нормативної подачі піску  $1 \text{ кг/хв}$  пісочної системою при швидкості руху локомотива  $5 \text{ км/год}$  і визначалися характеристики даного фрикційного стану;

- рейка піддавалася струминно-абразивному впливу (рис. 4) з використанням найбільш ефектив-

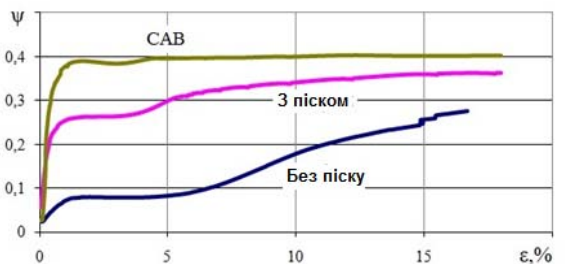
ного режиму, обраного з імітаційної моделі, і знову визначалися фрикційні характеристики.

Використовуючи результати, які отримані на машині тертя, за допомогою програми VDEUNU CONTACT для обраних фрикційних станів побудовані характеристики зчеплення. Всі розрахунки проводилися для випадку контакту нових, незношених коліс локомотива та рейок Р65 при центральному розташуванні колісної пари щодо рейкової колії.

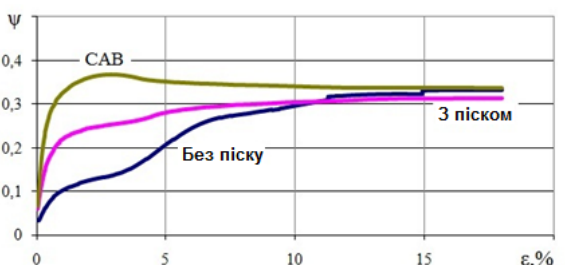
Вертикальне зусилля з боку колісної пари прийнято  $P = 230 \text{ кН}$ . Результати розрахунків представлені графіками на рис. 4. Як видно з цих графіків, максимальний ефект досягається при використанні струминно-абразивного впливу на поверхню колеса (рейки). При цьому коефіцієнт зчеплення має найвище значення.



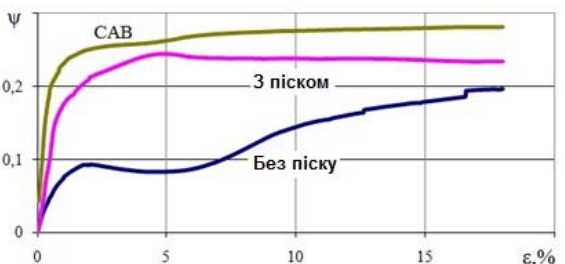
а



б



в



г

Рис. 5. Характеристики зчеплення при різних фрикційних станах

а – чисті, сухі поверхні; б – поверхні вологі;

в – поверхні покриті дизельним паливом;

г – поверхні покриті відпрацьованим маслом

**Висновок.** 1. Моделювання на розробленій імітаційній моделі руху абразивного матеріалу дозволяє спрогнозувати вплив параметрів струминно-абразивного двофазного потоку на розподіл абразивних частинок на досліджуваній поверхні рейки протягом певного часу, при зрушенні з місця та при русі. Результати моделювання дозволяють підібрати параметри системи САВ на формування поверхневого шару рейки і побудувати залежність продуктивності даної системи від швидкості руху локомотива.

2. З аналізу отриманих результатів проведених досліджень випливає наступне [8, 9, 10]:

– незалежно від вихідного фрикційного стану САВ забезпечує величину коефіцієнта зчеплення не нижче 0,25;

– використання САВ при всіх досліджених фрикційних станах виявляється ефективнішим, порівняно з стандартною системою подачі піску;

– застосування САВ в експлуатації дозволить за рахунок підвищення коефіцієнта зчеплення колеса з рейкою зменшити вірогідність виникнення боксування і юзу локомотивів.

#### Література

- Ковтанец М.В. Применение экспертного оценивания для принятия технического решения [Электронный ресурс] / М.В. Ковтанец, Е.А. Кравченко, Н.Н. Горбунов, Г.А. Бойко, О.В. Просви́рова // Наукові вісті Дніпровського університету: зб. наук. праць. – 2012. – № 7. – Режим доступу: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nvdu/2012\\_7/Tehno/12kmvptr.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nvdu/2012_7/Tehno/12kmvptr.pdf). – Назва з екрану.
- Горбунов Н.И. Методология инновационного развития железнодорожного транспорта / Н.И. Горбунов, М.В. Ковтанец, Р.Ю. Демин // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2014. – № 3 (210). – С. 22-28.
- Патент на винахід №94498 кл. В61С 15/10 Спосіб підвищення зчеплення в зоні контакту колеса з рейкою / Голубенко О.Л., Горбунов М.І., Кашура О.Л., Костюкевич О.І., Кравченко К.О., Попов С.В., Ковтанец М.В., Крисанов М.А.; заявник і власник СХУ ім. В.Даля. – а200908738; заявл. 20.08.2009; опубл. 10.05.2011, Бюл. № 9. – 3 с.
- Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 45058 від 06.08.2012. Комп'ютерна програма «Прийняття рішень у задачах залізничного транспорту з використанням методу експертних оцінок» / М.М. Горбунов, М.В. Ковтанец, К.О. Кравченко, О.В. Просви́рова.
- Gorbunov N. Simulation model of abrasive material motion / Nicholay Gorbunov, Maksim Kovtanets, Rostislav Demin // ТЕКА. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – 2014. – Vol. 14, No.1. – P. 60-72.
- 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.
- Костюкевич А.И. Экспериментальная проверка эффективности струйно-абразивного воздействия на рельсы для улучшения фрикционных свойств контакта «колесо-рельс» / А.И. Костюкевич, Н.И. Горбунов, М.В. Ковтанец // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2013. – Ч.1, № 18 (207). – С. 33-37.
- Ковтанец М.В. Улучшение сцепных характеристик локомотива струйно-абразивным воздействием на зону контакта движущего колеса с рельсом: дис. - канд. техн. наук: 05.22.07 / М.В. Ковтанец; ВНУ им. В. Даля. – Северодонецк, 2015. – 206 с.
- Gorbunov M. Research to improve traction and dynamic quality of locomotives / Mykola Gorbunov, Vaclav Pistek, Maksym Kovtanets, Olena Nozhenko, Sergii Kara, Pavel Kučera // JVE International LTD. Vibroengineering Procedia. – 2017. – Vol. 13, ISSN 2345-0533. – P. 159-164.
- Gerlici J. Slipping and skidding occurrence probability decreasing by means of the friction controlling in the wheel-braking pad and wheel-rail contacts / J. Gerlici, M. Gorgunov, K. Kravchenko, R. Domin, M. Kovtanets, T. Lack // «Manufacturing Technology». April 2017, Vol. 17, No 2. – p. 179-186.

#### References

- Kovtanec M.V. Primenenie jekspertnogo ocenivaniya dlja prinjatija tehničeskogo reshenija [Elektronnij re-surs] / M.V. Kovtanec, E.A. Kravchenko, N.N. Gorbunov, G.A. Bojko, O.V. Prosvirova // Naukovi visti Dalivs'kogo universitetu: zb. nauk. prac'. – 2012. – № 7. – Rezhim dostupu: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nvdu/2012\\_7/Tehno/12kmvptr.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nvdu/2012_7/Tehno/12kmvptr.pdf). – Nazva z ekranu.
- Gorbunov N.I. Metodologija innovacionnogo razvitija zheleznodorozhnogo transporta / N.I. Gorbunov, M.V. Kovtanec, R.Ju. Djomin // Visnik SNU im. V. Dalja. – 2014. – № 3 (210). – S. 22-28.
- Patent na vinahid №94498 kl. B61C 15/10 Sposib pidvishhennja zcheplennja v zoni kontaktu kolaesa z rejkoju / Golubenko O.L., Gorbunov M.I., Kashura O.L., Kostjukevich O.I., Kravchenko K.O., Popov S.V., Kovtanec M.V., Krisanov M.A.; zajavnik i vlasnik SNU im. V.Dalja. – a200908738; zajavl. 20.08.2009; opubl. 10.05.2011, Bjul. № 9. – 3 s.
- Svidoctvo pro reestraciju avtorskogo prava na tvir № 45058 vid 06.08.2012. Komp'juterna programa «Priijnattja rishen u zadachah zalizničnogo transportu z vikoristannjam metodu ekspertnih ocinok» / M.M. Gorbunov, M.V. Kovtanec, K.O. Kravchenko, O.V. Prosvirova.
- Gorbunov N. Simulation model of abrasive material motion / Nicholay Gorbunov, Maksim Kovtanets, Rostislav Demin // ТЕКА. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – 2014. – Vol. 14, No.1. – P. 60-72.
- Patent na korisnu model №65999, kl. G01N 3/40 Mashina tertja dlja vivchennja frikciijnih vlastivostej kontaktu «koleso-rejka» / Kostjukevich O.I., Gorbunov M.I., Kovtanec M.V., Nozhenko V.S., Chernikov V.D., Ciganovskij I.O.; zajavnik i vlasnik SNU im. V.Dalja. – u201105040; zajavl. 20.04.2011; opubl. 26.12.2011, Bjul. № 24. – 4 s.
- Kostjukevich A.I. Jekspertalnaja proverka jeffektivnosti strujno-abrazivnogo vozdejstvija na relsy dlja uluchshenija frikciionnyh svojstv kontakta «koleso-rels» / A.I. Kostjukevich, N.I. Gorbunov, M.V. Kovtanec // Visnik SNU im. V. Dalja. – 2013. – Ch.1, № 18 (207). – S. 33-37.
- Kovtanec M.V. Uluchshenie scepnyh harakteristik lokomotiva strujno-abrazivnym vozdejstviem na zonu

kontakta dvizhushhego kola s relsom: dis. - kand. tehn. nauk: 05.22.07 / M.V. Kovtanec; VNU im. V. Dalja. – Severodoneck, 2015. – 206 s.

9. Gorbunov M. Research to improve traction and dynamic quality of locomotives / Mykola Gorbunov, Vaclav Pistek, Maksym Kovtanets, Olena Nozhenko, Sergii Kara, Pavel Kučera // JVE International LTD. Vibroengineering Procedia. – 2017. – Vol. 13, ISSN 2345-0533. – P. 159-164.
10. Gerlici J. Slipping and skidding occurrence probability decreasing by means of the friction controlling in the wheel-braking pad and wheel-rail contacts / J. Gerlici, M. Gorgunov, K. Kravchenko, R. Domin, M. Kovtanets, T. Lack // «Manufacturing Technology». April 2017, Vol. 17, No 2. – p. 179-186.

**Горбунов Н.И., Ковтанец М.В., Кравченко К.А., Просвірова О.В. Использование нового способа подведения абразивного материала в контакт «колесо-рельс» как метод снижения риска боксования и юза локомотивов.**

*В статье приведены результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований нового способа подвода абразивного материала в контакт «колесо-рельс» при разных загрязнениях контактирующих поверхностей. Для теоретического исследования разработанного способа была создана имитационная математическая модель движения абразивного материала, что позволяет установить степень влияния технологических и конструктивных параметров способа подачи на динамику распределения частиц по поверхности рельса в течение определенного времени с учетом скорости движения локомотива. Проведена серия расчетов с целью подбора параметров подачи абразивного материала, которые обеспечивают необходимые режимы взаимодействия частиц с поверхностью рельса. Экспериментальная проверка эффективности предложенного способа струйно-абразивного воздействия на контакт «колесо-рельс» проводилась на оригинальной машине трения. На основе полученных экспериментальных данных, с помощью программы VDEUNU CONTACT, для исследуемых фрикционных состояний построены характеристики сцепления.*

**Ключевые слова:** коэффициент сцепления, имитационная модель, струйно-абразивное воздействие, абразивный материал, машина трения.

**Gorbunov N., Kovtanets M., Kravchenko K., Prosvirova O. The use of new method of abrasive material supply into wheel-rail contact as method of reducing the risk of locomotives slipping and skidding.**

*The article presents the results of theoretical and experimental studies of new method of supplying abrasive material to a wheel-rail contact for various contaminations of contacting surfaces. For a theoretical study of the developed method, an imitative mathematical model of the movement of abrasive material was created, that makes possible to determine the degree of influence of the technological and design parameters of the supplying method on the dynamics of particle distribution over the surface of the rail for a certain time, taking into account the locomotive speed. A series of calculations was carried out to determine the parameters for supplying the abrasive material, that provides the needed modes of the particles interaction with the rail surface. The experimental verification of the effectiveness of the proposed method of jet-abrasive action on the wheel-rail contact was carried out on the original friction machine. On the basis of the experimental data, using the VDEUNU CONTACT program, adhesion characteristics for the studied frictional states are constructed.*

**Keywords:** adhesion coefficient, imitation model, jet-abrasive impact, abrasive material, friction machine.

**Горбунов М.І.** – д.т.н., проф., завідувач кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СХУ ім. В. Даля, м. Северодонецьк.

**Ковтанець М.В.** – к.т.н., доц. кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СХУ ім. В. Даля, м. Северодонецьк.

**Кравченко К.О.** – к.т.н., доц. кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СХУ ім. В. Даля, м. Северодонецьк.

**Просвірова О.В.** – старший викладач кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СХУ ім. В. Даля, м. Северодонецьк.

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Марченко Д.М.**

Стаття подана 16.03.2018