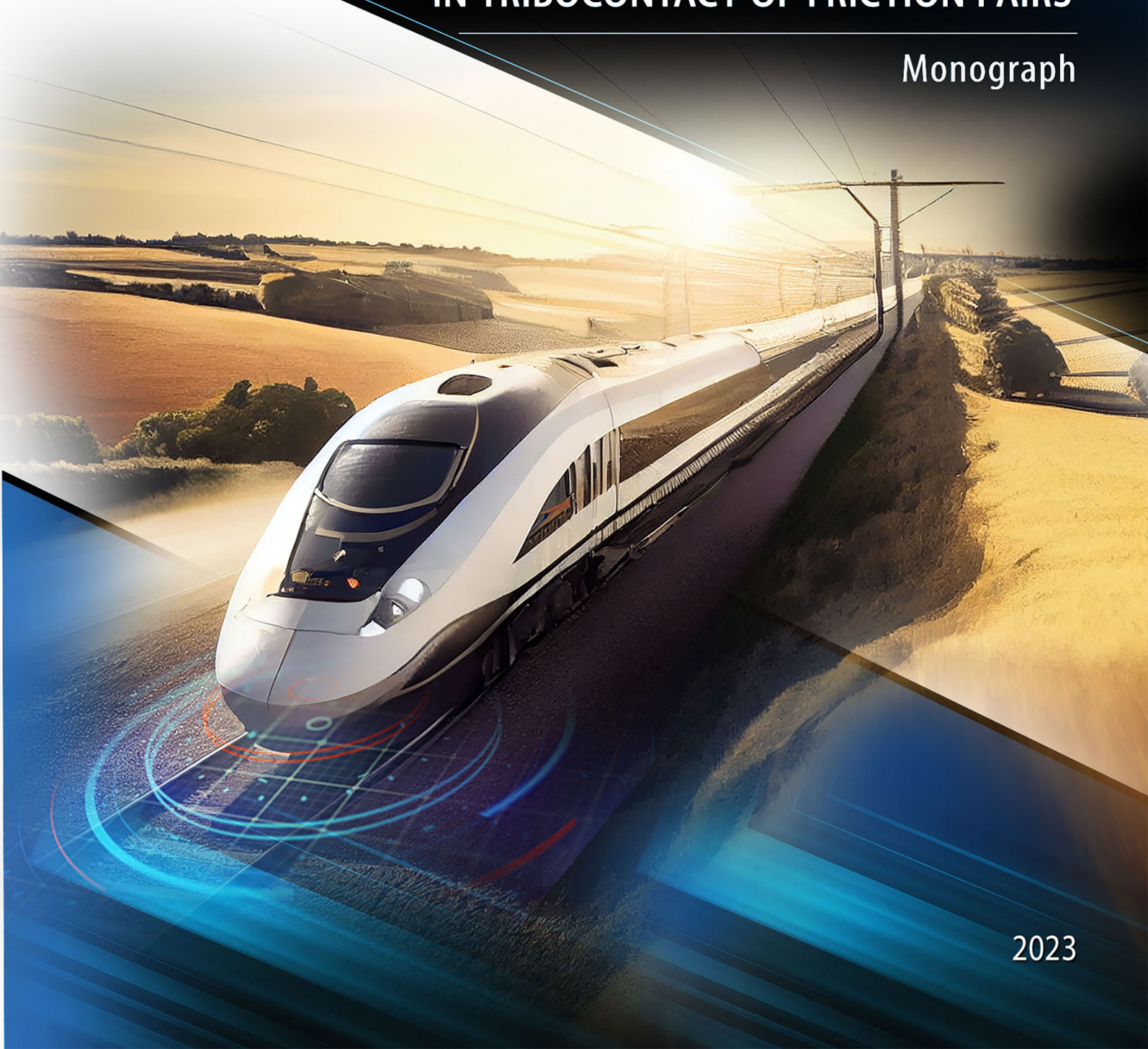


Nozhenko V.S., Kovtanets M.V., Serhienko O.V., Kovtanets T.M.

**STUDY OF RESOURCE-SAVING ENVIRONMENTAL
METHODS FOR IMPROVING THE SAFETY
OF RAILWAY TRANSPORT OPERATION
IN TRIBOCONTACT OF FRICTION PAIRS**

Monograph



2023

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

VOLODYMYR DAHL
EAST UKRAINIAN NATIONAL UNIVERSITY

V.S. NOZHENKO, M.V. KOVTANETS,
O.V. SERHIENKO, T.M. KOVTANETS

**STUDY OF RESOURCE-SAVING ENVIRONMENTAL
METHODS FOR IMPROVING THE SAFETY OF RAILWAY
TRANSPORT OPERATION IN TRIBOCONTACT
OF FRICTION PAIRS**

Included in International scientometric databases

MONOGRAPH

*ScientificWorld-Net Akhat AV
Karlsruhe 2023*

UDC 625.032.3
G 671

*This monograph is recommended for printing by the Science Council
Volodymyr Dahl East Ukrainian National University
(Protocol № 3 from 27 October 2023 year)*

Authors:

Nozhenko V.S., Kovtanets M.V., Serhiienko O.V., Kovtanets T.M.

Reviewers:

Fomin O.V., Ph.D., Professor, Professor of Wagons and Carriage Management Department,
State University of Infrastructure and Technology;

Domin Yu.V., Ph.D., Professor, Professor of Railway and Road Transport, Lift and Care
Systems Department, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University.

**Study of resource-saving environmental methods for improving the safety
of railway transport operation in tribocontacts of friction pairs:**
monograph / V.S. Nozhenko, M.V. Kovtanets, O.V. Serhiienko,
T.M. Kovtanets. Karlsruhe, 2023. 140 p.

The monograph is devoted to the issue of improving the frictional characteristics of the two-point «wheel-rail» contact by the influence of the electric current on the rolling track, and the «wheel-rail ridge» contact zone by ozonated air flow.

A method and a device for reducing the wear of the rim of the wheel pair have been developed, which allow creating favorable conditions for the contact of the rim of the wheels and the rails, due to the effect of ozonized air flow on their contact zone. The wear of tribosurfaces during the passage of an electric current was experimentally and theoretically evaluated, and the temperature increase in the frictional contact was estimated. The mechanism of influence of ozonated air flow on the tribotechnical characteristics of the contact pair is proposed.

ISBN 978-3-98924-002-5

DOI: 10.30890/978-3-98924-002-5.2023

Published by:

ScientificWorld-Net Akhat AV

Lußstr. 13

76227 Karlsruhe, Germany

e-mail: editor@promonograph.org

site: <https://de.promonograph.org>

Copyright © Nozhenko V.S., Kovtanets M.V., Serhiienko O.V., Kovtanets T.M. 2023

TABLE OF CONTENTS

| | |
|---|----|
| INTRODUCTION | 5 |
| SECTION 1. ANALYSIS OF THE PROBLEM OF ENERGY-EFFICIENT INTERACTION OF LOCOMOTIVE WHEELS WITH RAILS..... | 7 |
| 1.1. Adhesion of wheel to rail. Analysis of factors affecting the friction process | 7 |
| 1.2. Role of sliding in generation of the locomotive traction force | 10 |
| 1.3. Methods of influence on the coefficient of grip of the locomotive wheel with the rail..... | 13 |
| 1.4. Analysis of methods of influence on frictional characteristics in friction pairs | 23 |
| 1.5. Expert assessment Choosing the direction of research..... | 25 |
| 1.6. Study of the effect of activated air flow on the interaction of tribo pairs (ozone, ionized air)..... | 28 |
| 1.7. Effect of electric current on the contact interaction of solid bodies | 32 |
| 1.8. Setting the goal and task of the study | 36 |
| SECTION 2. SIMULATION OF THE TRACTION PROCESS IN THE «WHEEL-TO-RAIL» CONTACT | 38 |
| 2.1. Impact of electric current on frictional properties of a friction couple..... | 40 |
| 2.2. Impact of ozone on frictional properties of a friction couple | 41 |
| 2.3. Mathematical model of the contact interaction of a wheel set with a rail track..... | 48 |
| 2.3.1. Iterative solution of the normal contact problem | 49 |
| 2.3.2. Basic provisions of the solution of tangential problem | 52 |
| 2.4. Theoretical study of the effect of electric current on the wear in the «roller-roller» tribo pair | 57 |
| Conclusions on Section 2 | 61 |
| SECTION 3. EXPERIMENTAL STUDIES OF THE INFLUENCE OF SURFACE LAYER ACTIVATORS ON FRICTION IN THE «WHEEL-TO-RAIL» TRIBO-CONTACT..... | 62 |
| 3.1. Analysis of experimental laboratory and field studies on the process of traction of the locomotive wheel with the rail..... | 62 |
| 3.2. Experimental studies to establish the impact of surface layer activators on the «wheel-to-rail» contact..... | 67 |
| 3.3. Experimental studies to establish the impact of electric current on the «wheel-to-rail» contact..... | 72 |
| 3.4. Experimental studies of the combined effect of ozonated air flow and electric current on the «wheel-to-rail» contact..... | 76 |
| 3.5. Analysis of the extent of impact of parameters of the ozonated air flow and electric current on the coefficient of friction of a wheel with a rail | 78 |
| 3.6. Experimental studies of the impact of ozonated air flow and electric current on friction properties of the contact..... | 85 |

| | |
|--|-----|
| 3.7. Study of the impact of electric current on the wear of the «roller-roller» tribo pair | 87 |
| 3.8. Determining the transient resistance of the «wheel-to-rail» contact depending on the frictional state | 91 |
| 3.9. Assessment of the risk of implementation of the studied factors affecting the coefficient of traction, based on the simulation modelling using the "Monte Carlo" method | 94 |
| 3.9.1. <i>Innovative risks of introduction of technical solutions in transport...</i> | 94 |
| 3.9.2. <i>Software «Program for assessing the risks and economic safety of innovative projects implementation»</i> | 99 |
| Conclusions on Section 3 | 101 |

| | |
|--|-----|
| SECTION 4. IMPLEMENTATION OF THE DEVELOPED TECHNICAL SOLUTIONS TO IMPROVE INTERACTION OF THE ROLLING STOCK WITH THE TRACK..... | 103 |
| 4.1. Technical solutions with regard to devices for lubricating the wheel flanges of rail vehicles and methods for increasing the traction and reducing the wear of the wheel and the rail | 103 |
| 4.1.1. <i>Development of a method of increasing the traction of the wheel with the rail</i> | 103 |
| 4.1.2. <i>Development of devices for controlling friction in the «wheel-to-rail» contact</i> | 104 |
| 4.1.3. <i>A method of reducing the emergency braking distance</i> | 109 |
| 4.1.4. <i>The method of determining the linear speed of locomotive</i> | 112 |
| 4.2. Selection of design parameters of the ozonator for generation of an ozone-air mixture and bringing it into the «wheel ridge – rail» contact .. | 115 |
| 4.3. Assessment of economic efficiency of the use of ozonated air flow..... | 120 |
| 4.4. Estimation of fuel consumption reduction from the application of electric current on rails covered with lubricant and water | 123 |
| Conclusions on Section 4 | 128 |

| | |
|-------------------|-----|
| CONCLUSIONS | 129 |
|-------------------|-----|

| | |
|------------------|-----|
| REFERENCES | 131 |
|------------------|-----|

INTRODUCTION

According to the statistics of the Ministry of Infrastructure of Ukraine for 2015, railway transport holds a leading position among the transport sectors of the national economy. Over the past year, the country's freight turnover by rail amounted to almost 85% and passenger turnover about 40%. Net income of the Ukrainian Railway amounted to almost 65% of the total income of all domestic transport. However, heavily worn-out rolling stock remains the main problem of Ukrainian railways. These facts, as well as the dependence on the international transportation market, are shaping the main trends in the development of the national railway industry, and are aiming, according to the "Transport Strategy of Ukraine until 2020", to modernise the rolling stock by creating the new or upgrading the existing rolling stock, the service, technical and economic performance of which would meet the current European requirements for safety, environmental friendliness and energy efficiency.

The priority of the railway industry development is to carry out technical and technological modernisation of railway transport in order to increase the speed of passenger trains up to 160 km/h and freight trains up to 100-120 km/h, which requires an increase in traction quality and energy efficiency of locomotives, which also affects the cost of operation of rolling stock in general.

The main component of this comprises of processes that occur in the contact of the wheel and the rail interacting with each other. Requirements for interaction of wheels and rails in different contact zones are inconsistent. On the one hand, to achieve the required tractive force, one needs to ensure a high and stable level of adhesion of the locomotive wheels to the rails. On the other hand, to prevent the wheel from rolling on the rail head, to reduce the wear of the wheel flange and the side surface of the rail head, as well as to reduce the resistance of the train in curves, it is necessary to minimise the friction between the wheel flange and the lateral surface of the rail head. In addition, the implementation of tractive force (braking) is accompanied by sliding of the wheels against the rails. This results in a considerable part of the locomotive power being wasted not on traction, but on heating and destruction (wear) of surfaces in the contact zone. Up to 20% of the power

transmitted to the wheel can be lost in the "wheel-to-rail" contact. Therefore, the contemporary concept of optimization of frictional interaction of the wheel with the rail under operating conditions implies ensuring a consistently high coefficient of traction in the contact zone of the rolling surface of the wheel with the rail while minimizing the amount of sliding and resistance to movement, at the same time reducing the coefficient of friction in the contact zone of the wheel ridge with the collateral surface of the rail head as much as possible. The most common method of improving the traction of locomotives is to apply sand to the contact zone of the wheel and the rail, however, despite the obvious advantages, this method has some drawbacks as well: contamination of the ballast prism with sand, increase in the drag resistance and in adhesive and abrasive wear, which in turn affects the safety of the rolling stock. Methods used by the railway companies in order to reduce wear in the contact of the wheel ridge with the rail have their own disadvantages as well. According to the expert estimates, overcoming frictional forces takes up to 90% of the energy used on traction of trains, while the wear and tear of rolling stock and tracks causes substantial expenditures in the maintenance sector. As a result, 0.5 conventional units of depreciation costs and about 0.02 conventional units of material costs are required for 1 kg of conventional fuel consumed in the industry.

Securing a high coefficient of traction in the "wheel-to-rail" contact will contribute to maximising of the tractive forces, while reducing the coefficient of traction in the "wheel ridge - rail" contact will increase the period between overhauls for wheel rim trimming, thereby enhancing the speed and safety of railway transport in general.

CONCLUSIONS

The findings set forth in this work help to solve the immediate scientific and technical problem of improving the tribological properties of the two-point "wheel-to-rail" contact the supply of ozonated air flow into the "wheel ridge - rail" contact and the impact of electric current on the wheel-to-rail tribocontact. The following conclusions have been made on the basis of theoretical and experimental studies.

1. The international experience of methods used for increasing the coefficient of traction and reducing the wear of the wheel sets has been analysed, their classification has been supplemented with new and promising methods, and the advantages and disadvantages have been identified.

2. Using an intelligent decision-making support method in the form of expert evaluation, we identified prospective methods for increasing the coefficient of traction and reducing the wear of the wheel ridge. The electric current supply through the contact zone proved to be one of the Top 3 of the most prospective methods of increasing the coefficient of traction of the wheel with the rail, and the supply of ozonated air flow into the tribocontact made it to Top 3 of the most prospective methods of reducing the wear of the wheel ridge.

3. The use of electric current to increase the traction in the "wheel-to-rail" contact along the track and the use of ozonated air flow to reduce the wear in the "wheel ridge - rail" contact have been theoretically substantiated. The results of mathematical modelling of the impact of ozonated air flow on the metal contact, under different temperature conditions, indicate an increase in the activation energy of surfaces by the ozone, depending on the concentration, by a factor of almost 3.5, while the ozone permeability into the metal depth increases by a factor of almost 2.

4. Experimental equipment for the supply of ozonated air flow with the ability to change the parameters of supply and passage of the electric current, as well as changing its amperage in the tribocontact has been developed. The "Friction Machine" bench has been upgraded, making it possible to study the interaction processes in the "wheel-to-rail" system under different friction parameters.

5. The regression equation of the dependence of the limiting coefficient of friction on the supply of additional energy to the contact by way of the electric current and its density, and the ozonated air flow, which is characterized by the concentration of ozone and its supply rate under separate and combined action, as well as different contact conditions (clean rail, rail covered with water, rail covered with lubricant) was made on the basis of the results of experimental planning.

6. During the experimental verification of feasibility of application of the suggested methods with the purpose of improvement of tribotechnical properties of the two-point "wheel-to-rail" contact on the designed and modified bench equipment, the dependencies of the coefficient of traction at different frictional state of the interacting surfaces have been obtained.

7. The amount of electrical wear during the supply of electric current was theoretically and experimentally estimated, depending on the current strength and the wheel load. It was established that electrical wear prevails at low loads (up to 1,000 N), and when they increase (over 1,000 N), the amount of electrical wear decreases. It has been experimentally established that the wear resulting from exposure to sand is up to 12 times higher than the wear caused by exposure to electric current. The discrepancy between theoretical and experimental results does not exceed 10%.

8. The value of transient resistance at varying frictional states of the tribocontact has been experimentally estimated, which qualitatively allows to estimate the temperature rise in the contact zone. The highest value of transient resistance has been observed in the presence of quartz sand on the surface of the rail (0.3-0.11 Ohm depending on the load), and the lowest - on a dry rail (0.02 Ohm) and on a rail covered with lubricant (0.01 Ohm).

9. The use of electric current in the wheel-to rail contact will reduce slippage, which means that the locomotive is doing less work over the same distance while consuming less fuel. In other words, a diesel locomotive 2TE116U will reduce fuel consumption over a a distance of 100 km by 1.3%, if the rail is oiled, and by 1.8% if the rail is covered with water.

REFERENCES

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский - М.: Наука, 1988. - 214 с.
2. Ляпушкин Н.Н. Теоретические основы взаимодействия колеса локомотива с рельсом в нано диапазон: дис. ... д. т. н.: 05.16.01 / Н.Н. Ляпушкин. – Москва, 2008. - 252 с.
3. Голубенко А.Л. Сцепление колеса с рельсом / А.Л. Голубенко. – 2е изд. доп. и перераб. – Луганск, 1999. - 476 с.
4. Bowden FP The Physics of rubbing surface / FP Bowden // Proc. Roy. Soc., 1944. -V.78.
5. Adirovich E., Blokhinzev. On the forces of dry friction / E. Adirovich // Journal of Physics, 1943. – Vol.7. – P. 29-36.
6. Андронов В.В., Журавлев В.Ф. Сухое трение в задачах механики / В.В. Андронов, В.Ф. Журавлев. – М. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2010. – 184с.
7. Крагельский И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский, Машгиз, 1968. – 480 с.
8. Костецкий И. В., Щедров В. С. Развитие науки о трение / И. В. Костецкий, В.С. Щедров, М.: Изд-во АН СССР, 1956.
9. Дубинин А. Д. Энергетика трения и износа деталей машин, Машгиз.: М., 1963, 136.
10. Минов Д.К. Повышение тяговых свойств электровозов и тепловозов с электрической передачей / Д.К. Минов. – М.: Транспорт, 1965. – 267 с.
11. Меншутин Н.Н. Зависимость между силой сцепления и скоростью скольжения колесной пары локомотив / Н.Н. Меншутин // Вестник ВНИИЖТ, 1960. – №7. – С. 12-14.
12. Вербек Г. Современное представление о сцеплении и его использовании / Г. Вербек // Железные дороги мира, 1974. – №4. – С. 23-53.
13. Костюкевич А.И. Численная и экспериментальная идентификация процесса сцепления колес локомотива с рельсами: дисс. канд. техн. наук.: 05.22.07 / А.И. Костюкевич. – Луганск, 1991. – 232 с.
14. Хлебников В.Н. Исследование способов увеличения коэффициента сцепления колес с рельсами / В.Н. Хлебников // Железнодорожный транспорт за рубежом. – М.: ЦНИИТЭИ МПС, 1976. – №4(174). – С. 18-34.
15. А.с. № 712296 СССР, М.кл. В61С15/10, Е01Н8/10, В60В39/00. Способ для увеличения сцепления колеса с рельсом / Р.С. Бендиткис, Н.Н. Ляпушкин, Н.А. Панькин, И.Т. Макаренко, А.А. Кирста, С.Т. Дубовский, Л.А. Ляпушкина, П.Г. Меньшиков; заявл. 12.10.78; опубл. 30.01.80, Бюл. № 4. – 4 с.

16. Доббс Д. Плазменная горелка применима при низких скоростях движения / Доббс Д. – Железнодорожный журнал, 1969. – № 7.
17. Пат. 2006108991 А Российская Федерация, МПК E01H8/10 / ХИГГИНЗ Малкольм – № 2002114357, заявл. 31.05.2002; опубл. 20.10.2007, Бюл. № 4. – 1 с.
18. А.с. № 943053 СССР, М.кл. B61C15/10. Способ повышения сцепления колес железнодорожного транспортного средства с рельсами / Ю.М. Лужнов, В.А. Попов, В.А. Пыпаев; заявл. 24.11.80; опубл. 15.07.82, Бюл. № 26. – 4 с.
19. Богданов В. М., Захаров С. М. Проблемы взаимодействия в системе колесо —рельс. / В. М. Богданов, С. М. Захаров // Железные дороги мира, 2010. – №08. – С. 71-74.
20. InnoTrans 2008 – крупнейшая выставка железнодорожной техники. Часть II / Железные дороги мира, 2008. – № 11. – С. 12-13.
21. Патент на корисну модель № 52361, кл B61C 15/00 Пристрій для запобігання боксовання коліс локомотива / М.І. Горбунов, К.О. Кравченко, М.В. Ковтанець, С.В. Попов, О.С. Ноженко; заявник і патентовласник СНУ ім. В.Даля. – № u201001732; заявл. 18.02.2010; опубл. 25.08.2010, Бюл. № 16. – 6 с.
22. Лужнов Ю.М. Модель фрикционного контакта колеса с рельсом и возможности управления его свойствами / Ю.М. Лужнов, В.А. Попов, Г.М. Седов // Вестник ВНИИЖТ, 2009. – Вып. №1. – С. 30 – 32.
23. Бугаенко В.В. Улучшение тягово-экономичных характеристик локомотивов путем повышения коэффициента полезного действия системы подачи песка: автореф. дисс. канд. техн. наук.: 05.22.07 / В.В. Бугаенко, СНУ ім. В. Даля. – Луганськ, 2010. – С. 25.
24. Ноженко Е.С. Повышение энергетической эффективности тепловоза активацией рабочих сред: дисс. канд. техн. наук.: 05.22.07 / Е.С. Ноженко. – Луганск, 2010. – 207 с.
25. Кравченко Е.А., Ноженко В.С., Крысанов М.А. Вопрос энергосбережения и эффективности использования тяговых усилий локомотива // Екологічні проблеми природокористування та ефективно енергозбереження: Зб. тез Міжнародна наук.-практ. конф. молодих вчених і студентів (Київ, 27-29 квітня 2010 р.). – Київ: КНУБА, 2010. – С. 84 – 87.
26. Горбунов Н.И. Теория и практическая реализация системного подхода при создании экипажной части локомотива: докт. канд. техн. наук.: 05.22.07 / Н.И. Горбунов; ВНУ ім. В. Даля. – Луганськ, 2006. – 437 с.
27. Здор А.П. Применение методов ранговой корреляции для анализа надежности тепловозов / А.П. Здор, Л.П. Устюгов, Т.В. Ставров, И.П. Колюбин, А.С. Гурьевский. – ОмИИТ: Деп. N 3875. – 16 с.

28. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1971. – 280 с.
29. Горбунов Н.И. О методах подготовки к принятию технического решения / Н.И. Горбунов, А.И. Костюкевич, А.Л. Кашура, Ю.Г. Вивденко // Збірник наукових праць СДУ, 1998. – С. 47-53.
30. Rebinder P. A., Likhtman V. I.: Effect of Surface-Active media on strains and Rupture in Solids. Proceedings of the Second International Congress on Surface Activity, London, N.3, 1957, RR. 563-580.
31. Roscoe R.: The Plastic Deformation of crystals. Phil. Mag., vol. 21, 1926, RR. 399-406.
32. Чекалова Е.Л., Гурин В.Д., Власов В.И. Механическая обработка с использованием озонированной среды // Технология машиностроения. 2004. – № 5. – С. 22-24.
33. Вобликова В.А. и др. Влияние охлаждения электродов на синтез озона в озонаторах различных систем «диэлектрик – диэлектрик», «диэлектрик – металл» / В.А. Вобликова и др. // Вестник МГУ. Серия 2, Химия. – 1993. Т. 34, №4. – С. 367 – 370.
34. Физические величины: Справочник/ А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М. Братковский и др.; Под ред И.С. Григорьева, Е.З. Михайлова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 123с.
35. Ахметзянов И.Д., Бедункевич В.В., Верещагин И.П. Ильин В.И. Использование электронно-ионной технологии для повышения эффективной обработки резанием. // Материалы семинара «электрокаплеструйная технология и реализация программы «Интенсификация-90». Ленинград. 1989. С. 43-47.
36. Lamada T., Lido M. Cooling method by use of corona discharge. – Pat. USA, C1, 62-3 (F25b21/02), #3938345.
37. Гордиенко П. Л., Гордиенко С. Л. О влиянии электрического тока на износ при трении металлических тел «Вестник машиностроения», 1952. – №7. – С. 24-31.
38. Дубинин А. Д. Трение и износ в деталях машин / А.Д. Дубинин, Машгиз, 1952. – 234 с.
39. Френкель. Я. И. Введение в теорию металлов. Госиздат техн.- теорет. лит., 1950. – 241 с.
40. Бобровский А. В. Влияние термоэлектрических токов на износ инструмента при резании металлов/ В. А. Бобровский // Электрические явления при резании и трении металлов. – М, 1969. – С. 7-26.

41. Троицкий О. А. Электропластический эффект в металлах / О. А. Троицкий, А. Г. Розно. // ФГТ, 1970. – Т. 12. – Вып. № 1. – С. 203-210.
42. Основы трибологии (трение, износ, смазка): учебн. Для технических вузов. 2е изд. Перераб. и доп. / А. В. Чичинадзе, Э. Д. Браун, Н. А. Буше и др. – М.: Машиностроение, 2001. – 664с.
43. Воробьев Д. В. Улучшение фрикционных характеристик пары трения колесо-рельс за счет воздействия на контакт электрического тока и магнитного поля: автореф. дисс. канд. техн. наук.: Брянск, 2005. – 21 с.
44. Хольм Р. Электрические контакты / Р. Хольм: – М, 1961. – 464с.
45. Петраков Д. И. Оценка тяговых качеств тепловозов с электропередачей с учетом воздействия электрического тока на зоны контакта колес с рельсами: автореф. дисс. канд. техн. наук.: Брянск, 2013. – 23 с.
46. Матлахов В. П. Повышение износостойкости цилиндрических поверхностей трения на основе сочетания методов нанесения нитрид-титановых покрытий и электромеханической обработки. / В. П. Матлахов // Вестн. БГТУ. – 2008. – № 2(18). – С. 32-38.
47. Комельков В. А. Повышение работоспособности быстрорежущего инструмента путем применения ионизированного воздуха с включением микродоз масла И-20А: автореф. дисс. канд. техн. наук.: Иваново, 2006. – 19 с.
48. Гибалов В. И. О физической природе барьерного разряда // Журнал физической химии. 1994. – № 5. – С. 926-930.
49. Долганов А. Н. Теоретическое и экспериментальное исследование тяговых качеств тепловоза ТЭ10: автореф. дис. канд. техн. наук.: 05.22.07 / А. Н. Долганов. – М.: – 1969. – 23 с.
50. Яковлев В. Ф. Исследование взаимодействия, деформаций и напряжений в зоне контакта железнодорожных колес и рельсов: автореф. дисс. докт. техн. наук.: 05.22.07 / В. Ф. Яковлев. – Л.: 1964. – 31 с.
51. Голубенко А. Л. Алгоритм решения контактной задачи при произвольном расположении колесной пары относительно рельсовой колеи / А. Л. Голубенко, А. И. Костюкевич // Конструирование и производство транспорт. машин. – Харьков, 1989. – Вып. № 21. – С. 33 – 37.
52. Костюкевич А. И. Численная и экспериментальная идентификация процесса сцепления колес локомотива с рельсами: автореф. дисс. канд. техн. наук.: 05.22.07 / А. И. Костюкевич. – Луганск: ВЛУ, 1991. – 14 с.
53. Golybenko A., Kostyukevich A., Tsyganovskiy I., Nozhenko V. 2011.: The influence of a rail lateral bending on the stress – strain state of a wheel-tail contact, ТЕКА Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa VXC, p. 78-84.

54. Языков В.Н. Применение модели негерцевого контакта колеса с рельсом для оценки динамических качеств грузового тепловоза: автореф. дисс. канд. техн. наук.: 05.22.07 / В.Н. Языков, Брянск. – 2004. – 19 с.

55. Коровчинский М.В. Местный упругий контакт при «близком» касании сжимаемых тел / М.В. Коровчинский // Машиноведение, 1981. – №5. – С. 71 – 79.

56. Френкель Э.М. К вопросу о сцеплении колеса с рельсом / Э.М. Френкель // Науч. труды Харьк. ин-т инж. ж.д. транспорта. – М.: 1953. – Вып. №23. – С. 106 – 112.

57. Шевелева Г.И. Численный метод решения контактной задачи при сжатии упругих тел / Г.И. Шевелева // Машиноведение, 1981. – №5. – С. 90-94.

58. Лужнов Ю.М. Физикохимия сцепления // Науч. Труды III конгр. Евротриб-81. – Варшава, 1981. – Вып. 1. – С. 315-325.

59. Попов С.В. Снижение уровня силового взаимодействия гребней колес с рельсами совершенствованием упругих связей экипажа: автореф. дисс. канд. техн. наук. 05.22.07 / С.В. Попов. – Луганск, 2008, – 25 с.

60. Кашура А.Л. Оценка тягово-сцепных качеств локомотивов на стадии проектирования и модернизации с учетом динамических особенностей их движения по рельсовому пути: автореф. дисс. канд. техн. наук.: 05.22.07 / А.Л. Кашура. – Луганск. – 1995. – 23 с.

61. Голубенко О.Л. Зцеплення колеса з рейкою: Монографія. – Киев: Фирма «ВИПОЛ», 1993. – 448 с.

62. Браун Э.Д. Моделирование трения и изнашивания в машинах [Текст] / Э.Д.Браун и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 191 с

63. Гаркунов Д.Н. Триботехника [Текст]: учебник / Д.Н. Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.

64. Электрический износ в паре трения токоприемник - контактный провод / ЖДМ, 2007. - №5 – С. 43-49.

65. Исаев И.П. Совершенствование экспериментальных исследований сцепления колеса локомотива с рельсом / И.П. Исаев, А.Л. Голубенко // Железные дороги мира, 1988. - № 10. – С. 2 – 10.

66. Лужнов Ю.М. Физические основы и закономерности сцепления колес локомотива с рельсами: дисс. докт. техн. наук.: 05.22.07 / Ю.М. Лужнов. – М.: 1978. – 355 с.

67. Чуркин А.В. Автоматизированная установка для исследования фрикционных характеристик поверхностей с анизотропной шероховатостью: автореф. дисс. канд. техн. наук.: 01.04.01. / А.В. Чуркин – Ижевск: Удмуртский государственный университет, 2008. – 19 с.

68. Буханченко С.Е. Автоматизированный комплекс для триботехнических испытаний конструкционных материалов и смазочных средств в статическом и динамическом режимах: автореф. дисс. канд. техн. наук.: 01.02.06 / С.Е. Буханченко. – Томск: Томский политехнический университет, 2005. – 20 с.

69. Прудников М.И. Разработка нормализованного метода и автоматизированной системы испытаний на машинах трения: автореф. дисс. канд. техн. наук.: 05.02.04. / М.И. Прудников – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2009. – 20с.

70. Горбунов Н.И. Экспериментальное исследование сцепления колеса с рельсом на испытательно-измерительном комплексе / Н.И. Горбунов, Е.А. Кравченко, Ю.Ю. Осенин, В.Д. Черников, М.А. Крысанов, Л.А. Слюсарева, А.А. Малохатко // Вісник СНУ ім. В. Даля. 2008. – Луганськ, 2008. – Частина 1. №5 (123) – С. 18 -23.

71. Деклараційний патент на корисну модель №7108U. Стенд для дослідження плями контакту в системі «колесо–рейка». // М.І. Горбунов, О.Л. Кашура, С.В. Попов, О.С. Міхєєв. – Бюл. №6, 2005.

72. Деклараційний патент на корисну модель № 65999. Машина тертя для визначення фрикційних властивостей контакту «колесо-рейка» / О.І. Костюкевич, М.І. Горбунов, М.В. Ковтанець, В.С. Ноженко, В.Д. Черніков, І.О. Цигановський - Бюл. № 24 від 26.12.2011.

73. Костюкевич А.И. Автоматизированная измерительно-моделирующая стендовая установка «машина трения» для исследования фрикционных свойств контакта «колесо-рельс» / А.И. Костюкевич, Н.И. Горбунов, Е.А. Кравченко, С.В. Попов, В.С. Ноженко, М.В. Ковтанець//Сб. научных трудов X Междун. конф. «ТРИБОЛОГИЯ и НАДЕЖНОСТЬ» (27–30 октября 2010 г., Санкт-Петербург, Россия) – Санкт-Петербург, 2010. – С. 165 – 174.

74. Горбунов Н.И. Методика проведения экспериментальных исследований на автоматизированную измерительно-модернизированную стендовую установку / Н.И. Горбунов, А.И. Костюкевич, В.С. Ноженко, М.В. Ковтанец, И.А. Цыгановский. // Науково-практичний журнал Залізничний транспорт України, 2012. – № 2. – С. 9 - 13.

75. Лунин В.В. Физическая химия озона. / В.В. Лунин, М.П. Попович, С.Н. Ткаченко – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 480 с.

76. Горбунов Н.И., Ковтанец М.В., Горбунов Н.Н., Ноженко В.С., Кравченко Е.А. Обеспечение безопасности эксплуатации железнодорожных транспортных средств созданием инновационных решений песочной системы

локомотива. Наукові вісті Далівського університету. Технічні науки. Електронне наукове фахове видання. №3, 2011.

77. G.H. Jilbert, J.E. Field Synergistic effects of rain and sand erosion, PCS, Wear 243 (2000), p. 6-17.

78. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безизносность): Учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: «Издательство МСХА», 2001. – 616 с.

79. Инновации в промышленности. Справочник экономиста. К.: 2004. – №2. – 94 с.

80. Христиановский В.В., Щербина В. П. Экономический риск и методы его измерения. Донецк ДонНУ, 2000. – 197 с.

81. Бузько І.Р., Вартанова О.В., Голубенко Г.О. Стратегічне управління інвестиціями та інноваційна діяльність підприємства. Монографія. – Луганськ, 2002. – 176с.

82. Елохин А.Н. Анализ и управление риском: Теория и практика. – 2-е изд. – М.: Полимедиа, 2002. – 192 с.

83. Энергетическое обследование: справочное издание / Я.М. Щелоков, Н.И. Данилов, Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 243 с.

84. Колтынюк Б.А. Инвестиции. Учебник. – СПб.: Изд-во Михайлова В.А. 2003. – 848 с.

85. Ноженко В.С. Управление фрикционным взаимодействием в двухточечном трибоконтакте «колесо-рельс» / В.С. Ноженко, Е.С. Ноженко, А.С. Ключев, Е.А. Гаркушин. // Вісник СНУ ім. В. Даля. – Луганськ, 2012. Ч.1 № 5(176). – С. 103 - 108.

86. Патент України на корисну модель №59547 Спосіб підвищення зчеплення колеса з рейкою / Попов С.В., Горбунов М.І., Костюкевич О.І., Кашура О.Л., Кравченко К.О., Ноженко О.С., Ковтанець М.В., Ноженко В.С., Рамзаєва А.С. – 25.05.2011, бюл. №10.

87. Фикс В.Б. Ионная проводимость в металлах и полупроводниках (Электроперенос), М., 1989. – 234 с.

88. Патент України №90941 на винахід Пристрій для змащування гребенів коліс / Горбунов М.І., Могила В.І., Ноженко О.С., Кравченко К.О., Найш Н.М., Черніков В.Д. – опубл. 10.06.2010, бюл. № 11.

89. Патент України №48482 на корисну модель Пристрій для змащування гребенів коліс / Горбунов М.І., Могила В.І., Ноженко О.С., Ноженко В.С., Кравченко К.О., Чмельов В.В. – опубл. 25.03.2010, бюл. № 6.

90. Патент України №48484 на корисну модель Пристрій для змащування гребенів коліс рейкового транспортного засобу / Горбунов М.І., Могила В.І.,

Ноженко О.С., Кравченко К.О., Попов С.В., Крисанов М.А. – опубл. 25.03.2010, бюл. № 6.

91. Патент України №46425 на корисну модель Пристрій для змащування гребенів коліс / Горбунов М.І., Могила В.І., Ноженко О.С., Ноженко В.С., Кравченко К.О., Попов С.В. – опубл. 25.12.2010, бюл. № 24

92. Горбунов Н.И. Ресурсосберегающие технологии в контакте «гребень колеса – рельс. / Н.И. Горбунов, Е.С. Ноженко, Д.Н. Марченко и др. // Вістник СНУ ім. В. Даля. – 2008, №5, ч.1. – С. 76-82.

93. Патент України №52325 на корисну модель Пристрій для змащування гребенів коліс / Горбунов М.І., Басов Г.Г., Омельченко О.П., Ноженко О.С., Кравченко К.О., Черніков В.Д., Ноженко В.С., Ковтанець М.В., Крисанов М.А. – опубл. 25.08.2010, бюл. № 16

94. Справочник по триботехнике. Под редакцией М. Хебді и А.В. Чичинадзе. М: Машиностроение. Т.1, 1989 400с. Т.3, 1992. – 730 с.

95. Рыжкин А.А., Шучев К.Г., Филипчук А.И., Климов М.М. Взаимосвязь характеристик теплового поля пары трения с интенсивностью изнашивания // Трение и износ, 1985. – Т.6. №1. – С. 153-157.

96 . Желев Ж.Д. Влияние изменения осевой нагрузки и геометрии бандажа локомотива на коэффициент сцепления.: дисс. канд. техн. наук – М., 1977. – 204с.

97. Зорин В.И. Современные системы обеспечения безопасности // Железные дороги мира, 2000. – № 11. – С. 52-54.

98. Астрахан В.И. Унифицированное комплексное локомотивное устройство безопасности (КЛУБ-У). 2007. – 177 с.

99. Венцевич Л.Е. Локомотивные скоростемеры и расшифровка скоростемерных и диаграммных лент, Изд. УМК МПС. 2002. – 154 с.

100. Самойлович В.Г. Современные тенденции в конструировании промышленных озонаторов / В.Г. Самойлович, В.В. Панин, Л.Н. Крылова // Материалы Первой Всероссийской конференции «Озон и другие экологически чистые окислители. Наука и технологии». – Москва, 7-9 июня 2005 г. – издание на CD.

101. Семенов В.К. Прогнозирование длины активной зоны канальных плазмохимических реакторов емкостного разряда при синтезе озона. / В.К. Семенов, С.Л. Трошин // Химическая промышленность. – 2002. №8. – С. 1-4.

102. Хаит Э.И. Определение экономической эффективности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений на железнодорожном транспорте: Методические указания / Э.И. Хаит. – Минск: Полымя, 1979. – 143 с.

103. Развитие локомотивной тяги / Н.А. Фуфрянский, А.Н. Долганов, А.С. Нестрахов и др. // – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1988. – 344 с.

SCIENTIFIC EDITION

MONOGRAPH

**STUDY OF RESOURCE-SAVING ENVIRONMENTAL
METHODS FOR IMPROVING THE SAFETY OF RAILWAY
TRANSPORT OPERATION IN TRIBOCONTACT
OF FRICTION PAIRS**

Authors:

Volodymyr Serhiyovych NOZHENKO
Maksym Volodymyrovych KOVTANETS,
Oksana Viktorivna SERHIIENKO,
Tatiana Mykolaevna KOVTANETS

Monograph published in the author's edition
The monograph is included in International scientometric databases

Authorized for printing 06.12.2023.
Publisher's sheet 8.1.
Run of 30 copies. Order No. MGE05-2023. Contracted price.

Published:
ScientificWorld -NetAkhatAV
Lußstr 13,
Karlsruhe, Germany



e-mail: editor@promonograph.org
<https://de.promonograph.org>



