

Prosvirova O.V., Kovtanets M.V.

**INCREASING THE EFFICIENCY OF THE FUNCTIONING  
OF THE RAILWAY VEHICLE BY CONTROLLING  
THE COOLING OF THE FRICTIONAL  
SURFACES OF THE BRAKING SYSTEM**

Monograph



2023

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE  
VOLODYMYR DAHL  
EAST UKRAINIAN NATIONAL UNIVERSITY**

*МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ*

**PROSVIROVA O.V., KOVTANETS M.V.**  
*ПРОСВІРОВА О.В., КОВТАНЕЦЬ М.В.*

---

**INCREASING THE EFFICIENCY OF THE FUNCTIONING  
OF THE RAILWAY VEHICLE BY CONTROLLING THE  
COOLING OF THE FRICTIONAL SURFACES OF THE  
BRAKING SYSTEM**

*ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО  
ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ КЕРУВАННЯМ ОХОЛОДЖЕННЯМ  
ФРИКЦІЙНИХ ПОВЕРХОНЬ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ*

---

*Included in International scientometric databases*

**MONOGRAPH**  
*МОНОГРАФІЯ*

*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:*

Prosvirova O.V., Kovtanets M.V.

*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.

G 671 **Prosvirova O.V., Kovtanets M.V.**

Increasing the efficiency of the functioning of the railway vehicle by controlling the cooling of the frictional surfaces of the braking system: Monograph / Prosvirova O.V., Kovtanets M.V. – Odesa: KUPRIENKO SV, 2023. – 128 p.

**Підвищення ефективності функціонування залізничного транспортного засобу керуванням охолодженням фрикційних поверхонь гальмівної системи:** монографія / Просвірова О.В., Ковтанець М.В. - Карлсруе, 2023. – 128 с.

The monograph is devoted to the topical issue of increasing the efficiency of the braking system by controlling the cooling of friction surfaces by adaptive air supply. The design of the brake disk of the railway vehicle was improved in order to reduce the additional resistance to movement of its ventilation device in accordance with the calculated indicators. The effect of cooling friction surfaces on the efficiency of the braking system was studied.

Монографія присвячена актуальному питанню підвищення ефективності гальмівної системи керуванням охолодженням фрикційних поверхонь адаптивною подачею повітря. Проведено удосконалення конструкції гальмівного диска залізничного транспортного засобу з метою зменшення додаткового опору руху його вентиляційним апаратом відповідно до розрахованих показників. Досліджено вплив охолодження фрикційних поверхонь на ефективність роботи гальмівної системи.

**ISBN 978-3-98924-003-2**

**DOI: 10.30890/978-3-98924-003-2.2023**

**Published by:**

*ScientificWorld-NetAkhatAV*

*Lußstr. 13*

*76227 Karlsruhe, Germany*

e-mail: [editor@promonograph.org](mailto:editor@promonograph.org)

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

Copyright © Scientific texts, Authors, 2023

Copyright © Drawing up & Design. ScientificWorld-NetAkhatAV, 2023

## TABLE OF CONTENTS

INTRODUCTION .....	7
SECTION 1. ANALYSIS OF THE BRAKE FRICTION SYSTEM CONTROL	
PROBLEM.....	8
1.1. Strategic principles of development of the world railway system.....	8
1.2. Methods of thermoregulation of braking friction surfaces .....	13
1.3. Expert assessment of methods of improving the operational characteristics of railway braking systems .....	17
1.4. Analysis of the possibilities of managing the thermal friction load of the local tribological contact.....	26
Conclusions on Section 1 .....	29
SECTION 2. MATHEMATICAL MODELING OF ENERGY CONSUMPTION MANAGEMENT FOR SELF-VENTILATION OF THE BRAKE DISC.....	
2.1. Calculation of the brake disc ventilation device .....	31
2.2. Dependence of self-ventilation costs on the power of the railway vehicle .....	37
Conclusions on Section 2 .....	39
SECTION 3. MATHEMATICAL MODELING OF THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF FRICTION PAIRS OF RAILWAY BRAKES .....	
3.1. Formulation of the thermal problem of friction .....	40
3.2. Analytical solution of the thermal friction problem .....	43
3.3. Calculation of temperature in frictional contact .....	58
3.4. Analysis of the influence of frictional contact cooling on the thermophysical characteristics of the interaction of frictional elements ....	63
3.5. Mathematical model of the supply of air to the brake friction contact, taking into account the performance and the diameter of the holes in the linings .....	65
Conclusions on Section 3 .....	74

SECTION 4. EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF THE EFFECT OF COOLING FRICTION SURFACES ON THE FRICTION COEFFICIENT AND THE TEMPERATURE OF THE CONTACTING SURFACES .....	76
4.1. Study of the braking process on a laboratory braking stand.....	76
4.2. Experimental study of the frictional properties of the «wheel-rail» contact during local cooling and surface cleaning.....	82
4.3. The method of cooling the brake friction contact by supplying compressed air.....	95
4.4. A method of improving the operational characteristics of brakes using an adaptive cooling system.....	98
4.5. The method of improving the interaction conditions of the disc brake friction elements using the vortex effect.....	101
4.6. Assessment of the risks of implementing new technical solutions in railway transport.....	103
Conclusions on Section 4 .....	111
CONCLUSIONS .....	113
REFERENCES .....	115

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ КЕРУВАННЯ ГАЛЬМІВНОЮ ФРИКЦІЙНОЮ СИСТЕМОЮ .....	8
1.1. Стратегічні принципи розвитку світової залізничної системи .....	8
1.2. Методи терморегулювання гальмівних поверхонь тертя.....	13
1.3. Експертне оцінювання методів підвищення експлуатаційних характеристик залізничних гальмових систем.....	17
1.4. Аналіз можливостей управління теплофрикційною навантаженістю локального трибологічного контакту.....	26
Висновки по розділу 1 .....	29
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОВИТРАТАМИ НА САМОВЕНТИЛЯЦІЮ ГАЛЬМІВНОГО ДИСКА.....	31
2.1. Розрахунок вентиляційного апарату гальмівного диска.....	31
2.2. Залежність витрат на самовентиляцію від потужності залізничного транспортного засобу .....	37
Висновки по розділу 2 .....	39
РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФРИКЦІЙНИХ ПАР ЗАЛІЗНИЧНИХ ГАЛЬМ .....	40
3.1. Постановка теплової задачі тертя.....	40
3.2. Аналітичний розв'язок теплової задачі тертя.....	43
3.3. Розрахунок температури у фрикційному контакті .....	58
3.4. Аналіз впливу охолодження фрикційного контакту на теплофізичні характеристики взаємодії фрикційних елементів .....	63
3.5. Математична модель постачання повітряного середовища у гальмівний фрикційний контакт з урахуванням продуктивності та діаметру отворів в накладках.....	65
Висновки по розділу 3 .....	74

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ОХОЛОДЖЕННЯ ФРИКЦІЙНИХ ПОВЕРХОНЬ НА КОЕФІЦІЄНТ ТЕРТЯ І ТЕМПЕРАТУРУ КОНТАКТУЮЧИХ ПОВЕРХОНЬ.....	76
4.1. Дослідження процесу гальмування на лабораторному гальмівному стенді.....	76
4.2. Експериментальне дослідження фрикційних властивостей контакту «колесо-рейка» при локальному охолодженні та очищенні поверхонь.....	82
4.3. Спосіб охолодження гальмового фрикційного контакту подачею стисненого повітря.....	95
4.4. Спосіб поліпшення експлуатаційних характеристик гальм використанням адаптивної системи охолодження.....	98
4.5. Спосіб покращення умов взаємодії фрикційних елементів дискового гальма використанням вихрового ефекту.....	101
4.6. Оцінка ризиків впровадження нових технічних рішень на залізничному транспорті.....	103
Висновки по розділу 4.....	111
ВИСНОВКИ.....	113
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	115

## INTRODUCTION / ВСТУП

Ефективність гальмівних засобів є однією з найважливіших умов, які визначають можливість підвищення ваги та швидкості руху поїздів, пропускної і провізної спроможності залізних доріг та безпеку руху. Експлуатований рухомий склад застосовує відомі конструкції колодкового та дискового гальма, обмежені їх зносо-фрикційними характеристиками та границями допустимого нагріву.

Для підвищення ефективності гальмування рейкового рухомого складу необхідно створити гальмівними пристроями достатню гальмівну потужність і забезпечити стійке зчеплення коліс із рейками та фрикційних елементів гальм.

Розповсюдженим конструктивним рішенням забезпечення стабільної роботи дискових гальмівних елементів є самовентиляція, що забезпечує охолодження поверхні диска при гальмуванні. При цьому створюється додатковий опір руху поїзда.

Аналіз проблем існуючих гальмівних систем зумовив вибір перспективного напрямку дослідження з підвищення зчепних характеристик та ефективності гальмування – керування охолодженням фрикційних поверхонь.

*Мета дослідження* – підвищення ефективності гальмівної системи зменшенням витрат енергії на самовентиляцію гальмівних дисків, термомеханічним керуванням фрикційними вузлами при локальному охолодженні сполучених поверхонь, що забезпечує стабілізацію максимального коефіцієнта зчеплення.

*Об'єкт дослідження* – трибологічний контакт гальмівної системи при локальному охолодженні сполучених поверхонь.

*Предмет дослідження* – закономірності і параметри багатофункціонального впливу на трибологічні контакти гальмівної системи (очистка поверхонь і локальне охолодження).



## CONCLUSIONS / ВИСНОВКИ

Робота містить отримані автором результати, які в сукупності вирішують актуальне науково-технічне завдання підвищення ефективності гальмівної системи зменшенням витрат енергії на самовентиляцію гальмівних дисків, термомеханічним керуванням фрикційними вузлами при локальному охолодженні сполучених поверхонь, що забезпечує стабілізацію максимального коефіцієнта зчеплення. На основі проведеного теоретичного і експериментального дослідження отримані такі результати:

1. За результатами намічених стратегічних принципів розвитку світової залізничної системи, літературних джерел, аналізу експертного опитування фахівців дослідних організацій у сфері залізничного транспорту, підвищення ефективності роботи гальмового обладнання є одним з найважливіших факторів для підвищення швидкостей руху, безпеки та енергоефективності залізничного транспорту.

2. Створена концепція адаптивного керування енерговитратами на самовентиляцію гальмівного диска на удосконаленій математичній моделі, що враховує геометричні параметри повітряних трактів; отримані залежності керування енерговитратами на самовентиляцію в різних режимах руху. Проведені розрахунки показують, що потужність, яка витрачається поїздом при русі на подолання опору від роботи вентилязованого дискового гальма для сучасних поїздів становить до 2000 кВт.

3. Удосконалена математична модель теплофізичних характеристик фрикційного контакту урахуванням примусового постачання повітряного середовища та його температури для стабілізації коефіцієнта тертя. Отримані залежності зміни контактної температури від продуктивності та температури локального охолодження.

4. Запропонована методика дослідження і створена математична модель постачання повітряного середовища у гальмівний фрикційний контакт дозволяє визначити і рекомендувати таке значення тиску стисненого повітря, і геометрії

отворів накладки, щоб сила протитиску не призводила до зменшення ефективності фрикційної взаємодії. Для тиску повітря 0,4 МПа, довжини канавок 10 см, відстані від краю накладки до отворів 2 см, сила протитиску становить 1,44 кН для двох отворів у накладці.

5. Експериментальним дослідженням визначено, що запропонована математична модель забезпечує задовільну відповідність результатів розрахунків експериментальним даним. Так розбіжність теорії і експерименту не перевищує 12% для визначення величини середньоінтегральної температури гальмівної накладки. Аналіз отриманих експериментальних даних дозволяє зробити висновок про позитивний вплив охолодження фрикційних поверхонь гальма на ефективність гальмування. Коефіцієнт тертя при використанні даної системи на 15-30% більше, а середньоінтегральна температура поверхонь, при цьому нижче в середньому на 20-30%, в залежності від продуктивності та температури охолоджуючого повітря, ніж без її використання.

6. На вдосконаленому стендовому обладнанні з використанням планування експерименту вперше отримані залежності: температури фрикційних гальмівних поверхонь від параметрів повітря, що постачається у контакт (температури та продуктивності); коефіцієнта тертя колеса і рейки при очищенні і охолодженні контакту. Потужність охолодження при використанні вихрового ефекту залежить від об'єму холодної фракції і продуктивності постачання повітря. Ефект стабілізації коефіцієнта тертя охолодженням фрикційних поверхонь гальма становить до 25%.

7. На основі отриманих аналітичних залежностей коефіцієнта тертя від параметрів впливу на створених математичних моделях і за результатами проведених експериментів розроблені рекомендації, способи та технічні рішення щодо керування фрикційними контактами трибологічних елементів гальмівної системи.

## REFERENCES / СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Горбунов М.И., Кравченко К.О., Просвірова О.В. Аналіз технічних рішень по підвищенню енергорозсіючої спроможності елементів гальмових систем // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: в 2 - х ч. Ч.1.СНУ ім. В. Даля. № 18(207). Луганськ. 2013. – С. 57-61.
2. Иноземцев В.Г., Виноградов В.М. Повышение надежности механического тормозного оборудования грузовых вагонов. // В сб.: «Развитие и совершенствование автоматических тормозов». Труды ЦНИИ МПС вып. 607. 1974. – С. 15-24.
3. Исаев И.П., Лужнов Ю.М. Проблемы сцепления колес локомотива с рельсами. М.: машиностроение. М.1985. – 238 с.
4. Теоретические основы проектирования и эксплуатации автотормозов / В.М. Казаринов, В.Г. Иноземцев, В.Ф. Ясенцев. Транспорт. Москва. 1968. – 400 с.
5. Коняев А.Н., Протасов А.В., Осенин Ю.И. О сцеплении колес с рельсом при наличии в контакте твердых частиц // Конструирование и производство трансп. машин. Вып.18.: Вища школа. Харьков 1986. – С. 13-16.
6. Экспериментальные исследования фрикционных свойств контакта «колесо-рельс» / А.Л. Голубенко, А.И. Костюкевич, Е.А. Кравченко [та ін.] // Вісник СНУ ім. В. Даля. Луганськ, 2010. – С. 14-20.
7. Лужнов Ю.М. Физические основы и закономерности сцепления колес локомотивов с рельсами: Автореф. дис. д-ра. техн. наук. М., 1978. – 38 с.
8. Мямлин С.В., Приходько В.И. Математическая модель пространственных колебаний пассажирского вагона // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля.: Вид-во СНУ ім. В. Даля, № 8, Луганськ. 2005. – С. 266-276.

9. Осенин Ю.И. Прогнозирование и управление характеристиками сцепления колеса с рельсом. «ВПОЛ», Киев, 1993. – 100 с.
10. Петров С.Ю. Закономерности работы трибосистемы колodka – колесо – рельс и пути повышения его долговечности: Дис... д-ра техн. наук. – М.: ГУП ВНИИЖТ, 2002. – 350 с.
11. Сафронов О.М. Підвищення гальмівної ефективності пасажирських вагонів шляхом удосконалення процесів функціонування дискових гальм: автореф. дис. ... к. т. н.: 05.22.07 К.: 2010. – 20с.
12. Старченко В.Н. Некоторые вопросы теории контактного взаимодействия колеса и рельса. СХУ ім. В. Даля. Луганськ: 2006. – 120 с.
13. Тартаковський Е.Д., Горобченко О.М. Застосування байєсівських мереж при розробленні інтелектуального модуля керування гальмами поїзда // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. Вип. 157. 2015. – С. 155-159.
14. Studying the structure of railway rolling stock resistance / V.P. Tkachenko, S.Y. Sapronova, S.V. Maliuk, I.I. Kulbovskiy // Metallurgical and mining industry. № 11. 2016. – P. 30-36.
15. Турков А.И. Исследование, выбор параметров и разработка основ конструирования фрикционной пары дискового тормоза железнодорожного подвижного состава: дис.доктора техн. наук: 05.05.01. Хабаровск. 1987. – 349 с.
16. Лapidус Б.М. Приоритетные направления железнодорожных исследований в рамках глобальной экономики // Бюллетень ОУС ОАО «РЖД». №5, 2013. – С. 1-10.
17. Горбунов Н.И., Ковтанец М.В., Дёмин Р.Ю. Методология инновационного развития железнодорожного транспорта // Вісник СХУ ім. В. Даля. № 3 (210). Луганск. 2014. – С. 22-28.
18. Технічні рішення по стабілізації температури фрикційних елементів гальм / М.І. Горбунов, К.О. Кравченко, О.С. Ноженко, О.В. Просвірова //

Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. № 4(193). СНУ ім. В. Даля. Луганськ. 2013. – С. 68-72.

19. Перспективні напрями досліджень з удосконалення залізничного гальмівного обладнання / Горбунов М.І., Просвірова О.В., Кравченко К.О., Ковтанець М.В. // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: СНУ ім. В. Даля. № 1 (225), Сєверодонецьк. 2016. – С. 44-49.

20. Аналіз методів покращення фрикційних характеристик залізничних гальм / М.І. Горбунов, Ю.Герліці, О.В. Просвірова, К.О. Кравченко // Збірник наукових праць VII-ї міжнародної науково-практичної конференції «ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТУ І ЛОГІСТИКИ» 26-28 квітня 2017 р. Одеса. 2017. – С. 72-73.

21. Оцінка методів підвищення експлуатаційних характеристик залізничних гальмових систем / М.І. Горбунов, Ю. Герліці, К.О. Кравченко, О.В. Просвірова // Збірник наукових праць за матеріалами VII-ї Міжнародної науково-практичної конференції, Сєверодонецьк-Одеса, 26-28 квітня 2017р. Сєверодонецьк. 2017. – С. 74-75.

22. Підвищення енергоефективності використання дискових гальм / М.І. Горбунов, М.М. Горбунов, К.О. Кравченко [та ін.] // Матеріали 3-ї міжвузівської науково-технічної конференції викладачів, молодих учених та студентів: «Енерго- і ресурсозберігаючі технології при експлуатації машин та устаткування» (29-30 листопада 2011 р.) :ДонІЗТ. Донецьк, 2011. – С. 97-98.

23. Томский К.О. Повышение эффективности работы и износостойкости тормозных устройств путем применения биметаллических материалов: автореф. дис. ... к. т. н.: 28.05.13 М.: 2013. – 24 с.

24. Тормозной диск: пат № 2165040 заявл. 24.01.2000; опубл. 10.04.2001.

25. Новий підхід до теплової динаміки тертя фрикційних вузлів гальмівних пристроїв (частина 5) / О.І. Вольченко, М.В. Кіндрачук, Д.О. Вольченко [та ін.] // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. К.:НАУ, Вип. 57. Київ. 2012. – С. 34-47.

26. Аналіз багатофункціональних способів керування фрикційною системою «Колесо-гальмо-рейка» / М.І. Горбунов, О.В. Просвірова, М.В. Ковтанець, К.О. Кравченко // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія: Транспортні системи і технології. Вип. 28. 2016. – С. 35-43.

27. The innovative design of rolling stock brake elements / J. Gerlici, M. Gorbunov, K. Kravchenko [et alii] // COMMUNICATIONS. VOLUME 19 2A/2017. – P. 23-28.

28. Бар Б. Моделі, алгоритми і програми інженерії знань для прийняття рішень в умовах імовірнісних даних. Автореф. дис... канд. техн.: 01.0.5.04; Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ». Харків. 2000. – 26 с.

29. Топал А.С. Моделі та методи автоматизованої підтримки прийняття рішень щодо технологічної підготовки складального виробництва в літакобудуванні. Автореф. дис... канд. техн.: 05.13.06; Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ». Харків. 2006. – 24 с.

30. Ларичев О.И. Наука и искусство принятия решений. Наука, М. 1979. – 200 с.

31. Батищев Д.И. Методы оптимального проектирования.: Радио и связь.М. 1984. – 248 с.

32. Исследование операций: В 2-х томах. Пер. с англ. / Под редакцией Дж.Моудера, С. Элмаграби. Мир, Т. 1: Математические основы и математические методы. М. 1981. – 712 с.

33. Визначення перспективних методів підвищення ефективності гальмування з використанням експертного оцінювання/ М.І. Горбунов, О.В. Просвірова, М.В. Ковтанець, К.О. Кравченко // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». Вип. 31. ДУІТ, К. 2017.

34. Комп'ютерна програма «Прийняття рішень у задачах залізничного транспорту з використанням методу експертних оцінок» свідоцтво № 45058 Україна опубл. 06.08.2012.

35. Research to improve traction and dynamic quality of locomotives / M. Gorbunov, V. Pistek, M. Kovtanets [et alii] // JVE International LTD. Vibroengineering Procedia. Vol. 13, ISSN 2345-0533. 2017. – P. 159-164.

36. Лисунов В.Н. Коэффициент полезного действия сцепления // Межвуз. сб. науч. тр. Омск. 1981. – С. 27-30.

37. Gorbunov M. Supplying system abrasive material with automatic dosing control / M. Gorbunov, V. Píšťek, M. Kovtanets [et alii] // Vibroengineering PROCEDIA, Volume 18, 2018. – P. 207-214.

38. Обеспечение безопасности эксплуатации железнодорожных транспортных средств созданием инновационных решений песочной системы локомотива / Н.И. Горбунов, М.В. Ковтанец, Н.Н. Горбунов [та ін.] // Наукові вісті Далівського університету. Технічні науки. Електронне наукове фахове видання. №3. 2011.

39. Adhesion 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, Volume 7, Issue 3, Poland. 2012. – P. 15-24.

40. Friction interaction management in two-point «wheel-rail» tribocontact / A. Kostukevich, N. Gorbynov, V. Nozgenko [et alii] // Silesian University of Technology Faculty of Transport (Poland). Transport Problems, Volume 7, Issue 3, Poland. 2012. – P. 53-59.

41. Ковтанец М.В. Улучшение сцепных характеристик локомотива струйно-абразивным воздействием на зону контакта движущего колеса с рельсом: дис. - канд. техн. наук: 05.22.07. ВНУ им. В. Даля. Северодонецк. 2015. 206 с.

42. Костюкевич А.И., Горбунов Н.И., Ковтанец М.В. Экспериментальная проверка эффективности струйно-абразивного воздействия на рельсы для улучшения фрикционных свойств контакта «колесо-рельс» // Вісник СНУ ім. В. Даля. Ч.1, № 18 (207). Луганськ. 2013.С. 33-37.

43. Аналіз методів моделювання руху повітря у гальмівному диску засобами обчислювальної гідрогазодинаміки / О.В. Просвірова, К.О. Кравченко, М.В. Ковтанець, М.І. Горбунов / Збірник тез науково-практичної конференції «Розвиток науки і техніки на залізничному транспорті» Державного економіко-технологічного університету транспорту: К.: ДЕТУТ. Київ. 2015. С. 129-130.

44. Турков А. И. Исследование, выбор параметров и разработка основ конструирования фрикционной пары дискового тормоза железнодорожного подвижного состава; дис. ... докт. техн. наук: 05.05.01. Хабаровск, 1982. 357 с.

45. Research to improve traction and dynamic quality of locomotives. / M. Gorbunov, V. Pistek, M. Kovtanets [et alii] // JVE International LTD. Vibroengineering Procedia, Sep 2017, Vol. 13, ISSN 2345-0533, pp. 159-164.

46. Регресійна модель зниження енергетичних витрат на самовентиляцію гальмівних дисків рухомого складу / О.В. Просвірова, М.В. Ковтанець, К.О. Кравченко // Збірник наукових праць студентів «Молодий науковець». №1. ДУІТ. К. 2017. С. 147-153.

47. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. ПБ 10-382-00. М.: НЦ ЭНАС. М. 2011. 268 с.

48. Просвірова. О.В. Визначення впливу потоку набігаючого повітря на тепловіддачу дискового гальма // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». Вип. 31. К.: ДУІТ. 2017. С. 102-108.

49. Дослідження конвективного теплообміну у залізничному вентильованому гальмовому диску з урахуванням параметрів руху повітряного потоку / М. І. Горбунов, О. В. Просвірова, В. С. Ноженко [та ін.] // Вісник



Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. № 1. Северодонецьк. 2015. С. 213-216.

50. Лыков А.В. Теория теплопроводности. Высшая школа, М. 1967. 599 с.

51. Протасов Б.В. Энергетические соотношения в трибосопряжении и прогнозирование его долговечности. Изд-во Сарат. ун-та, Саратов. 1979. 152 с.

52. Беляков Н.С., Носко А.П. Неидеальный тепловой контакт тел при трении. Книжный дом "ЛИБРОКОМ", М. 2010. 104 с.

53. Носко А.Л., Беляков Н.С., Носко А.П. Применение обобщенного граничного условия для решения тепловых задач трения // Трение и износ. Т.30, №6. 2009. С. 615-625.

54. Справочник по триботехнике. В 3-х т. Т.3. Триботехника антифрикционных, фрикционных и сцепных устройств. Методы и средства триботехнических испытаний / Под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. Машиностроение, М. 1992. 730 с.

55. Карслоу Х.С., Егер Д.К. Теплопроводность твердых тел. Наука, М. 1964. 488 с.

56. Волков И.К., Канатников А.Н. Интегральные преобразования и операционное исчисление / Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1996. 228 с.

57. Морозова В.Д. Теория функций комплексного переменного / Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, М. 2000. 520 с.

58. Просвірова О.В., Кравченко К.О., Горбунов М.І. Дослідження впливу факторів подачі стисненого повітря у фрикційний контакт на роботу гальмового обладнання // Матеріали II міжнародної науково-практичної інтернет-конференції молодих вчених та студентів (веб-конференція) «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» 22 травня 2015. м. Северодонецьк. 2015. С. 3-4.

59. Бойко Г.А., Будиков Л.Я. Стенд для диагностирования тормозов кранов. В сб. Подъемно – транспортное оборудование. ЦНИИТЭИТЯЖМАШ, No 6–88–39, М.1988. 4 с.

60. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Наука, М.1976. 255 с.

61. Комп'ютерна програма «Планування експерименту при підвищенні зчеплення в системі «колесо-рейка» шляхом впливу комбінованого двофазного струминно-абразивного потоку» свідоцтво №43748 Україна опубл. 15.05.2012.

62. Стенд для дослідження плями контакту в системі «колесо–рейка»: пат. №7108U Бюл. №6, 2005.

63. Стенд для дослідження зчеплення колеса з рейкою та випробування елементів буксового ресорного підвішування: пат. 82903 Україна; № 201214566 заявл. 19.12.201; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 16. 3 С.

64. Машина тертя для визначення фрикційних властивостей контакту «колесо-рейка»: пат. 65999 Україна. опубл. 26.12.2011.Бюл. № 24 3 С.

65. Автоматизированная измерительно-моделирующая стендовая установка «машина трения» для исследования фрикционных свойств контакта «колесо-рельс» /А.И. Костюкевич, Н.И. Горбунов, Е.А. Кравченко [та ін.] // Сб. научных трудов X Междун. конф. “Трибология и Надежность” (27–30 октября 2010 г., Санкт-Петербург, Россия) Санкт-Петербург. 2010. С. 165 – 174.

66 Комп'ютерна програма «VDEUNU CONTACT» свідоцтво №49477 Україна опубл. 02.09.2013.

67. Машина тертя для вивчення фрикційних властивостей контакту «колесо-рейка» : пат. 115547 Україна; № 201609295 заявл. 06.09.2016; опубл. 25.04.2017, Бюл. № 8. 6 С.

68. Костюкевич А.И. Численная и экспериментальная идентификация процесса сцепления колес локомотива с рельсами: дис. - канд. техн. наук: 05.22.07 Луганск: 1991. 232 с.

69. Контактно-усталостные повреждения колес грузовых вагонов / Под ред. С.М. Захарова. Интекст. М.2004. 160 с.

70. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. Наукова думка, Киев. 1988. 734 с.

71. Керопян А.М. Развитие теории взаимодействия и обоснование рациональных параметров системы колесо – рельс карьерных локомотивов в режиме тяги: дис. - док. техн. наук: 05.05.06 / ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»». Екатеринбург. 2015. 233 с.

72. Основы трибологии (трение, износ, смазка). Учебник для технических вузов / Под ред. А.В. Чичинадзе. М.: Центр «Наука и техника» М. 1995. 778 с.

73. Озябкин А.Л. Развитие теории и методов динамического мониторинга фрикционных систем железнодорожного транспорта: автореф. дис. - док. техн. наук: 05.02.04 / ФГБОУ ВПО РГУПС. Ростов-на-Дону, 2014. 43 с.

74. Колесников И.В. Системный анализ и синтез процессов, происходящих в металлополимерных узлах трения фрикционного и антифрикционного назначения: дис. - док. техн. наук: 05.02.04 / ФГБОУ ВПО РГУПС. Ростов-на-Дону, 2016. 394 с.

75. Лужнов Ю.М. Сцепление колес с рельсами. Природа и закономерности / Интекст, М. 2003. 144 с.

76. Slipping and skidding occurrence probability decreasing by means of the friction controlling in the wheel-braking pad and wheel-rail contacts / J. Gerlici, M. Gorbunov, K. Kravchenko [et alii]// «Manufacturing Technology». April 2017, Vol. 17, No 2. 2017. p. 179-186.

77. The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the «wheel-braking pad-rail» system / M. Gorbunov, R. Domin, M. Kovtanec, K. Kravchenko // Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. – Zeszyt 114, 2016. P. 115-126.

78. Методика проведення експериментальних досліджень на автоматизовану вимірювально-модернізовану стендову установку / Н.І. Горбунов, А.І. Костюкевич, В.С. Ноженко [та ін.] // Науково-практичний журнал Залізничний транспорт України, № 2. 2012. С. 9 - 13.

79 В.І.Крилов, В.В.Крилов. Автоматичні гальма рухомого складу. Транспорт. М. 1983. С.217-219.

80. Просвірова. О.В. Метод підвищення експлуатаційних характеристик та енергоефективності залізничних дискових гальм // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: СХУ ім. В. Даля, № 3 (233). Северодонецьк. 2017. С. 159-163.

81. Щербаков В.Ю., Просвірова О.В. Реалізація запасу по зчепленню кожної колісної пари регулюванням сили натиснення гальмівних колодок // Майбутній науковець – 2017: матеріали всеукр. наук.-практ. конф. 2 груд. 2016 р., м. Северодонецьк. Ч. II. СХУ ім. В.Даля. Северодонецьк. 2017. С. 451-453.

82. Просвірова О.В., Гусев А.Ю., Горбунов Н.І. Спосіб торможения железнодорожного транспортного средства и оборудование для его осуществления // Материалы Всеукраинской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и студентов (веб-конференция) «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (22 мая 2014 г.). СХУ им. В. Даля. Луганск. 2014. С. 45-46.

83. Assessment of Innovative Methods of the Rolling Stock Brake System Efficiency Increasing / J. Gerlici, M.Gorbunov, K. Kravchenko, O. Prosvirova [et alii] // Manufacturing Technology. February 2018. Vol. 18, No. 1. 2018. P.35-38.

84. Горбунов М.І., Просвірова О.В., Кравченко К.О Експериментальне обґрунтування доцільності використання удосконаленого гальмового обладнання для підвищення енергорозсіючої спроможності фрикційних елементів гальмівної системи // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: СХУ ім. В. Даля. № 2 (243) Северодонецьк. 2018. С. 76-79.

85. Ковтанець М.В., Просвірова О.В. Дослідження теплофізичних властивостей сплавів з ефектом «пам'яті», форми та можливості їх використання в конструкції вентилязованого дискового гальма. // Віснику сертифікації залізничного транспорту. №6. ДОСЗТ, 2017. С. 27-36.

86 Лужнов Ю.М. Сцепление колёс с рельсами (природа и закономерности). Интекст, М. 2003. 144 с.

87. Noise and temperature reduction in the contact of tribological elements during braking / J. Gerlici, M. Gorbunov, K. Kravchenko [et alii] // Book of abstracts XXII. Slovak–PolishScientific Conference on Machine Modelling and Simulations MMS 2017 September 5-8. 2017. Sklené Teplice, Slovakia. P. 20.

88 . Noise and temperature reduction in the contact of tribological elements during braking / J. Gerlici, M. Gorbunov, K. Kravchenko [et alii] // MATEC Web of Conferences V. 157. 2018 . 7 P.

89. Просвірова О.В. Спосіб покращення умов взаємодії фрикційних елементів дискового гальма використанням вихрового ефекту // Науково-технічний прогрес на транспорті [Текст] : Тези доповідей Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, магістрантів та студентів. Секція «Механіка» / друкується в авторській редакції ; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпро 2018. С. 98.

90. Инновационные риски внедрения перспективных технических решений на транспорте / Н.И. Горбунов, В.С. Ноженко, Е.С. Ноженко [та ін.] // Вісник СНУ ім. В. Даля. №3(210). Вид-во СНУ ім. В.Даля. Луганськ. 2014. С. 68-93.

91. Инновационные риски внедрения перспективных технических решений на транспорте / Н.И. Горбунов, В.С. Ноженко, Е.С. Ноженко [та ін.] // Інноваційні технології на залізничному транспорті. Тези 5-ї міжнародної науково-практичної конференції (Лондон, 31 березня – 7 квітня 2014 р.). Лондон . 2014. С. 68-93.

92. Бузько І.Р., Вартанова О.В., Голубенко Г.О. Стратегічне управління інвестиціями та інноваційна діяльність підприємства. Монографія. Луганськ, 2002. 176с.
93. Елохин А.Н. Анализ и управление риском: Теория и практика. – 2-е изд.: ООО «ПолиМЕдиа» М. 2002.
94. Bickel J.E. The Relationship between Perfect and Imperfect information in a Two-Action Risk-Sensitive Problem. *Decision Analysis*5(3): 2008. P.116-128
95. Щелоков Я.М., Данилов Н.И. Энергетическое обследование: справочное издание., Екатеринбург: УрФУ, 2011. 243 с.
96. Копылова Е.В., Куликова Е.Б. Сервис на транспорте (железнодорожном): Учебное пособие. МИИТ, М. 2009. 216 с.
97. Соболев И. М. Численные методы Монте-Карло. Наука, М. 2003.
98. Горбунов М.І., Просвірова О.В., Кравченко К.О., Ковтанець М.В. Перспективні напрями досліджень з удосконалення залізничного гальмівного обладнання / Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. СНУ ім. В. Даля, 2016– № 1 (225) Северодонецьк. 2016. С. 44 – 49.
99. Gorbunov N., Prosvirova O., Kravchenko E.. Analysis of railway vehicle braking and assessment of technical solutions efficiency using risk-based methods for technical systems. // ТЕКА Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture Poland 2014, Lublin – Lugansk. Vol. 14, No. 1, p. 73 - 85.
100. Комп'ютерна програма «Програма оцінки ризиків та економічної безпеки впровадження інноваційних проєктів» свідоцтво №54146 Україна. опубл. 19.03.2014.
101. Горбунов М.І., Просвірова О.В., Ноженко В.С. Оцінки ризиків інвестиційного проєкту по впровадженню нових технічних рішень на залізничному транспорті // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: СНУ ім. В. Даля, № 1 (242). Северодонецьк. 2018. С. 40-44.

102. Спосіб покращення умов взаємодії в трибосистемах «колесо-рейка» та «гальмівна колодка-колесо»: пат. 114021 Україна; № 201608828 заявл. 15.08.2016; опубл. 27.02.2017, Бюл. № 4. 4 С.

103. Спосіб взаємодії гальмівної колодки із колесом залізничного транспортного засобу: пат. 91595 Україна; № 201401266 заявл. 10.02.2014; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 13. 4 С.

104. Спосіб гальмування локомотива та система для його здійснення: пат. 109064 Україна; № 201400484 заявл. 20.01.2014; опубл. 10.07.2015, Бюл. № 13. 4 С.

105. Дискове гальмо залізничного транспортного засобу: пат. 104546 Україна; № 201506631 заявл. 06.07.2015; опубл. 10.02.2016, Бюл. № 3. 4 С.

106. Покращання експлуатаційних характеристик дискових гальм застосуванням тепловідвідних елементів / М.І. Горбунов О.В. Просвірова, К.О. Кравченко, М.В. Ковтанець // Логістичне управління та безпека руху на транспорті: збірник наукових праць конф., 4-6 листопада 2014 р. СНУ ім. В. Даля, Сєверодонецьк. 2014. С. 25-26.

107. Горбунов М.І., Просвірова О.В., Кравченко К.О. Удосконалення залізничних гальмівних фрикційних систем підвищенням енергоємності // Логістичне управління та безпека руху на транспорті: збірник наукових праць конф., 5-7 жовтня 2017 р., м. Лиман (Донецька обл.) СНУ ім.В.Даля. Сєверодонецьк. 2017. С. 43-46.

SCIENTIFIC EDITION

MONOGRAPH

**INCREASING THE EFFICIENCY OF THE FUNCTIONING  
OF THE RAILWAY VEHICLE BY CONTROLLING THE  
COOLING OF THE FRICTIONAL SURFACES OF THE  
BRAKING SYSTEM**

*ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО  
ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ КЕРУВАННЯМ ОХОЛОДЖЕННЯМ  
ФРИКЦІЙНИХ ПОВЕРХОНЬ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ*

*Authors:*

Prosvirova O.V.,  
Kovtanets M.V.

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

Authorized for printing 06.12.2023.  
Publisher's sheet 7,5.  
Run of 30 copies. Order No. MGE06-2023. Contracted price.

Published:  
*ScientificWorld -Net Akhlat AV*  
Luzstr 13,  
Karlsruhe, Germany



e-mail: [editor@promonograph.org](mailto:editor@promonograph.org)  
<https://de.promonograph.org>





