

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ І
ЗАСОБІВ БЕЗКОНТАКТНОГО ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ КОЛОДОЧНИХ
ГАЛЬМ РУХОМОГО СКЛАДУ

Пояснювальна записка і розрахунки
до магістерської кваліфікаційної роботи

МКРМЕ 430.13.01 ПЗ

Розробив студент групи 211-ЛЛГ-Д24
спеціальності 273 Залізничний транспорт
Освітня програма: «Локомотиви та
локомотивне господарство»
(роботу виконано самостійно, відповідно
до принципів академічної доброчесності)

_____ Нікіта ВОЛОЩЕНКО
(підпис)

Керівник:

ст. викладач кафедри ЕРРС,

Дмитро КОВАЛЕНКО

Рецензент:

доц. кафедри ІВ та ЯП, к.т.н

Андрій РИБІН

2025 р.

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет механіко-енергетичний

Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу

Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр

Спеціальність: 273. Залізничний транспорт

Освітня програма Локомотиви та локомотивне господарство

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,

професор, д-р техн. наук

_____ В.Г. Пузир

(підпис)

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Волощенко Нікіті Валерійовичу

1. Тема «Розроблення пропозицій щодо удосконалення методів і засобів безконтактного теплового контролю колодочних гальм рухомого складу» керівник Коваленко Дмитро Миколайович, ст.викладач затверджено розпорядженням по механіко-енергетичному факультету від «06» жовтня 2025 року № 49.
2. Строк подання студентом закінченої роботи «25» грудня 2025 року.
3. Вихідні дані Методичні вказівки по збору статистичної інформації в локомотивних депо(№471)
4. 1 Аналіз ефективності існуючих систем теплового контролю гальм рухомого складу. 1.1 Огляд досліджень нагріву коліс при колодковому гальмуванні. 1.2 Аналіз існуючих систем безконтактного теплового контролю та напрямки її удосконалення. 1.3 Методи дослідження теплових процесів у системі «колесо – гальмівна колодка». 2 Математичне та комп'ютерне моделювання теплових процесів. 2.1 Особливості конструкції та матеріалів у парі тертя «колесо – колодка». 2.2 Комп'ютерне моделювання нагріву колеса при гальмуванні. 2.3 Моделювання траєкторії сканування та формування сигналу ІЧ-приймача. 3 Розроблення пропозицій щодо удосконалення засобів теплового контролю. 3.1 Визначення найбільш інформативної зони на колесі для теплового контролю. 3.2 Удосконалення системи діагностичних ознак та алгоритмів контролю. 4 Техніко-економічне обґрунтування від впровадження удосконаленої системи теплового контролю.
5. Перелік графічного матеріалу 1 Загальна характеристика магістерської роботи. 2 Задачі та склад магістерської роботи. 3 Аналіз пошкоджень колісних пар тягового рухомого складу. 4 Аналіз світового досвіду використання систем безконтактного теплового контролю та варіантів їх удосконалення. 5

Комплексна імітаційна модель теплового контролю колеса і колодки методом кінцевих елементів. 6 Моделювання процесу нагріву у контакті колесо-колодка. 7 Варіанти орієнтації приймача ІЧ-випромінювання для здійснення теплового контролю колодкових гальм. 8 Уніфікована автоматична система безконтактного теплового контролю нагріву колодкових гальм та параметрів коліс рухомого складу. 9 Габаритні та монтажні розміри скануючих модулів запропонованого обладнання.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Техніко-економічне обґрунтування			

7 Дата видачі завдання «б» жовтня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Отримання завдання на кваліфікаційну роботу. Формування змісту та етапів роботи.	2.10–15.10	
2	Збирання та обробка статистичної інформації	16.10–25.10	
3	Виконання роботи по розділам дипломного проекту. Аналіз одержаних даних, їх розрахунок та обробка	26.10–3.11	
4	Перевірка виконаних завдань у керівника дипломного проекту, виправлення помилок, виконання робіт по розділам консультантів	4.11–26.11	
5	Робота над оформленням графічної частини, проведення розрахунків та створення на їх підставі графічних матеріалів	27.11–6.12	
6	Перевірка виконаних робіт у керівника проекту, виправлення помилок, чистове виконання розділів дипломного проекту	7.12–19.12	
7	Нормоконтроль, виправлення помилок та підготовка до захисту	20.12–25.12	

Студент _____ Волощенко Н.В.

(підпис)

Керівник _____ Коваленко Д.М.

(підпис)

Зміст

Вступ	7
1 Аналіз ефективності існуючих систем теплового контролю гальм рухомого складу	10
1.1 Огляд досліджень нагріву коліс при колодковому гальмуванні	10
1.2 Аналіз існуючих систем безконтактного теплового контролю та напрямки її удосконалення	12
1.3 Методи дослідження теплових процесів у системі «колесо – гальмівна колодка»	19
2 Математичне та комп’ютерне моделювання теплових процесів	29
2.1 Особливості конструкції та матеріалів у парі тертя «колесо – колодка»	29
2.2 Комп’ютерне моделювання нагріву колеса при гальмуванні	32
2.3 Моделювання траєкторії сканування та формування сигналу ІЧ-приймача	49
3 Розроблення пропозицій щодо удосконалення засобів теплового контролю	62
3.1 Визначення найбільш інформативної зони на колесі для теплового контролю	62

					<i>МКРМЕ 430.13.04 ПЗ</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Волощенко			Розроблення пропозицій щодо удосконалення методів і засобів безконтактного теплового контролю колодочних гальм рухомого складу	Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевір.		Коваленко					4	94
Реценз.		Рибін				УкрДУЗТ		
Н. Контр.		Анацький						
Затверд.		Пузир						

3.2 Удосконалення системи діагностичних ознак та алгоритмів

контролю 67

4 Техніко-економічне обґрунтування від впровадження удосконаленої

системи теплового контролю 86

Висновки по роботі 89

Список використаних джерел 92

					<i>МКРМЕ 430.13.05 ПЗ</i>	Арк.
						5
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 10 слайдів презентації та 94 аркуша пояснювальної записки формату А4, що містить 28 рисунків, 13 таблиць та 34 літературних джерел.

Ключові слова: РУХОМИЙ СКЛАД, КОЛОДКОВЕ ГАЛЬМО, КОЛЕСО, БЕЗКОНТАКТНИЙ ТЕПЛОВИЙ КОНТРОЛЬ, МЕТОД СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ІНФРАЧЕРВОНА ДІАГНОСТИКА, ТЕМПЕРАТУРНЕ ПОЛЕ.

Мета роботи. Завданням дослідження є підвищення ефективності виявлення несправностей гальмівної системи рухомого складу шляхом удосконалення методів та засобів безконтактного теплового контролю на основі математичного моделювання.

Об'єкт дослідження – процес теплового навантаження та діагностування технічного стану гальмівного обладнання рухомого складу під час руху.

Предмет дослідження – методи, моделі та алгоритми безконтактного теплового контролю колодкових гальм.

Робота присвячена вирішенню актуальної науково-практичної задачі підвищення безпеки руху поїздів та подовження терміну служби колісних пар шляхом удосконалення систем автоматизованого діагностування. В ній обґрунтовано та розроблено комплексну діагностичну модель нагріву системи «колесо-колодка» та формування сигналу ІЧ-приймача. На основі детального аналізу температурних полів запропоновано раціональні зони сканування поверхні колеса та розроблено нові алгоритми виявлення несправностей («гарячих» та «холодних» коліс) з урахуванням умов експлуатації.

ABSTRACT

This qualification work includes 10 presentation slides and 94 sheets of explanatory notes in A4 format, containing 28 figures, 13 tables and 34 literary sources.

Keywords: ROLLING STOCK, SHOE BRAKE, WHEEL, NON-CONTACT THERMAL CONTROL, FINITE ELEMENT METHOD, INFRARED DIAGNOSTICS, TEMPERATURE FIELD.

Purpose of the work. The task of the research is to increase the efficiency of detecting malfunctions in the braking system of rolling stock by improving methods and means of non-contact thermal control based on mathematical modeling.

The object of the research is the process of thermal loading and diagnosing the technical condition of the braking equipment of rolling stock during movement.

The subject of the research is methods, models and algorithms for non-contact thermal control of shoe brakes.

The work is devoted to solving the urgent scientific and practical problem of increasing the safety of train traffic and extending the service life of wheelsets by improving automated diagnostic systems. It substantiates and develops a comprehensive diagnostic model of heating the "wheel-pad" system and the formation of the IR receiver signal. Based on a detailed analysis of temperature fields, rational scanning zones of the wheel surface are proposed and new algorithms for detecting faults ("hot" and "cold" wheels) are developed taking into account operating conditions.

Вступ

Стратегією розвитку АТ «Укрзалізниця» на період до 2030 року як один із ключових пріоритетів визначено гарантування безпеки руху в умовах інтеграції до європейської транспортної мережі. Невід'ємною умовою безпечної експлуатації є надійна робота ходових частин рухомого складу, зокрема гальмівних систем.

В умовах підвищення інтенсивності перевезень, збільшення осьових навантажень та швидкостей руху поїздів, питання своєчасного виявлення несправностей гальм набуває особливої гостроти. Несправності, такі як невідпущені гальма, заклинювання колісних пар або неправильне регулювання важільної передачі, призводять до перегріву елементів, пошкодження поверхні кочення коліс (повзуни, навари) та навіть до руйнування колісних пар, що створює загрозу сходження рухомого складу [4].

Вирішення цієї проблеми неможливе без комплексного використання засобів автоматизованого діагностування під час руху поїзда. Перспективним напрямком є удосконалення систем виявлення рухомого складу із неефективними працюючими автогальмами. Впровадження таких систем дозволить попередити аварійні ситуації та знизити експлуатаційні витрати на ремонт колісних пар. Цю задачу доцільно вирішувати шляхом розвитку методів безконтактного теплового контролю, які вже використовуються на залізниці (системи типу АСК ПС, КТСМ, ASDE), але потребують адаптації до сучасних умов та підвищення точності діагностування саме колодкових гальм.

Вагомий внесок у дослідження динаміки рухомого складу, теплових процесів у вузлах тертя та методів технічної діагностики зробили вітчизняні вчені, зокрема: Тартаковський Едуард Давидович, Капіца Михайло Іванович, Бабасєв Андрій Миколайович, Ушкалов Віктор Федорович та інші. Однак питання підвищення достовірності теплового контролю саме колодкових гальм

за рахунок оптимізації зон сканування та алгоритмів обробки сигналу потребують подальших досліджень.

Робота виконується відповідно до пріоритетних напрямків науково-технічного розвитку залізничного транспорту України в частині підвищення безпеки руху та надійності рухомого складу.

Метою роботи є підвищення ефективності виявлення несправностей гальмівної системи рухомого складу шляхом удосконалення методів та засобів безконтактного теплового контролю на основі математичного моделювання.

Для досягнення поставленої мети в роботі планується вирішити такі задачі:

1. Проаналізувати стан питання, існуючі методи теплового контролю та визначити фактори, що впливають на точність вимірювання температури гальмівних елементів.
2. Розробити комплексну діагностичну модель безконтактного теплового контролю колодкових гальм, яка дозволить оцінювати форму та рівень сигналу ПЧ-приймача при різних режимах гальмування та варіантах орієнтації камер.
3. Провести дослідження на розробленій моделі для виявлення впливу конструктивних та експлуатаційних факторів на характер нагріву коліс.
4. Обґрунтувати пропозиції щодо удосконалення засобів контролю.
5. Виконати техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень.

Об'єкт дослідження – процес теплового навантаження та діагностування технічного стану гальмівного обладнання рухомого складу під час руху.

Предмет дослідження – методи, моделі та алгоритми безконтактного теплового контролю колодкових гальм.

У роботі планується застосувати: метод кінцевих елементів (для аналізу процесів теплопереносу в системі «колесо-колодка»), методи аналітичної геометрії та тривимірного моделювання (для визначення траєкторії

сканування), методи математичної статистики (для обробки результатів експериментів) та імітаційне моделювання.

Результатом буде розробка рекомендацій щодо налаштування та модернізації існуючих систем теплового контролю (типу KTCM, ASDE), що дозволить зменшити кількість помилкових спрацювань, підвищити безпеку руху та подовжити термін служби колісних пар вантажних вагонів.

Практичне значення отриманих результатів викладені у доповіді на студентській конференції, тези доповіді Волощенко Н.В. «Підвищення безпеки руху шляхом прогнозування відмов гальмівних колодок на основі термомеханічного FEM-моделювання та даних ІЧ-контролю», яка опублікована у збірнику тез доповідей студентської науково-технічної конференції 10-11 грудня. Харків, 2025. № 85

Список використаних джерел

1. Тартаковський Е.Д. Якість ремонту та надійність тепловозів /Е.Д. Тартаковський - К.: Транспорт, 1973. - 81с.
2. Agostini A. Device For Detecting a Hot Wheel Conition / A. Agostini. – 2013.
3. Bartonek M. Apparatus and Method For Detection of Railroad Wheel and Beraing Temperature / M. Bartonek. – 2005.
4. Bearing and Brake Temperature Alarm Models. – Australia: Transport for NSW, 2017. – 30 с.
5. Berndt D. Method and Apparatus to Contactlessly Measure The Brake Temperatures of Passing Railroad Cars / D. Berndt. – 1989.
6. Church B.P. System and Method For Filtering temperature profiles of a wheel / B.P. Church, D. Arndt.
7. Day A.J. An Analysis of Speed, Temperature, and Performance Characteristics of Automotive Drum Brakes / A.J. Day // Journal of Tribology. – 1988. – № 110. – С. 295-305.
8. Day A.J. The Dissipation of Frictional Energy from the Interface of an Annular Disc Brake / A.J. Day, T.J. Newcomb // Proc. Instn. Mrch. Engrs. – 1984. – № 198D. – С. 201-209.
9. Eisenbrand E. Hot Box Detection in European railway networks / E. Eisenbrand // RTR. – 2011. – № Special. – С. 2-11.
10. EN 15437-1 : 2009 Railway Applications - Axlebox condition monitoring - Interface and design requirements - Part 1: Track side equipment and rolling stock axlebox. – European Committee for Standartization, 2009. – 25 с.
11. Fermer M. Finite element models: [Pap] 10th Int. Wheelset Congr. «Sharing Latest Wheelset Technol. Order Reduce Costs and improve Railway Prod.» / M. Fermer // Nat. Conf. Publ. / Inst. Eng. Austral. – 1992. – № 92/10. – С. 280-281.

12. Gallagher C.A. Infrared Hot Bearing and Hot Wheel Detector / C.A. Gallagher. – 1995.
13. Gallagher C.A. Railway Safety System For Detecting Overheated Brakes / C.A. Gallagher. – 1973.
14. Hot Axlebox Hot Wheel Detector System. – Manaknagar: Research Designs and Standard Organization, 2012. – 18 c.
15. Jamieson M. Automated Train Air Brake Effectiveness Test Process at Canadian Pacific / M. Jamieson, A. Aronian // International Heavy Haul Association. – Calgary, Canada, 2008. – C. 8.
16. Mian Z.F. Thermal Imaging-Based Vehicle Analysis / Z.F. Mian, J.C. Mullaney, Glasser, N. – 2012.
17. Mironov, A. Simulation of wheel heating when drum braking / A. Mironov, P. Shalupina, A. Pavlyukov, I. Dobyichin // X International Scientific and Technical Conference “Polytransport Systems”. MATEC Web Conf. Volume 216, 2018. - 6 p.
18. Mitura K. Teplené poškození železničních kol způsobené intenzivním brzděním / K. Mitura, R. Faja // Železn. techn. – 1980. – № 3. – C. 175-184.
19. Modeling thermal effects in braking systems of railway vehicles / M.S. Milošević [и др.] // Thermal Science. – 2013. – Т. 16. – № SUPPL.2. – C. 515-526.
20. Monitoring Systems For Railway Safety. – Israel: Israel Railways Ltd, 2016. – 42 c.
21. On the thermal effect of tread braking upon car wheels / H. Toshio [и др.] // Quart. Repts Railway Techn. Res. Inst. – 1970. – № 3. – C. 160-162.
22. Shalupina, P. I. Transient Temperatures Patterns of Wheel During Braking / P. I. Shalupina, A. E. Pavlyukov, D. N. Saltykov // Materials of International Conference Scientific Research of the SCO countries: Synergy and Integration. Reports in English. Part 2. Beijing, PRC. – pp. 189-197.
23. Sibley H.C. Hot Wheel Detector Apparatus For Railway Vehicles / H.C. Sibley. – 1966.

24. Sitarz M. Railway wheelsets : Monografia / M. Sitarz. – Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Slaskiej, 2003. – 101 c.
25. Sitarz M. Metody numeryczne w projektowaniu kol kolejowych zestawow kolowych : Monografia / M. Sitarz, A. Sladkowski, K. Chruzik. – Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Slaskiej NR 60, 2003. – 128 c.
26. Stellfeld J. Temperaturmessungen an hlotzgebremsten Vollrädern im Fahrbetrieb / J. Stellfeld // DET-Eisenbahntechn. – 1981. – № 7. – С. 281-283.
27. Thermal-mechanical modelling of the rolling-plus-sliding with frictional heating of a locomotive wheel / V. Gupta [и др.] // Trans ASME J. Eng. Ind. – 1995. – № 3. – С. 418-422.
28. Tione R. Process for assessing the temperature of the braking elements of a vehicle, in particular a railway vehicle / R. Tione.
29. Tournay H. Use of Wayside Detection for Rolling Stock Performance Monitoring and Miantenance / H. Tournay // IHHA Specialist Technical Session (STS). – 2007. – С. 91-100.
30. Train Wheel Bearing Temperature Detection / P. Hesser [и др.]. – 2014.
31. U. S. Department of Transportation. An Implementation Guide for Wayside Detector Systems / U. S. Department of Transportation. – Federal Railroad Administartion, 2019.
32. Utterback J.J. Detection of Overheated Railroad Wheel and Axle Components / J.J. Utterback, R.S. Mecca. – 1990.
33. Yaktine D.L. Apparatus and Method For Detecting High Temperatures In Railroad Car Wheels and Bearings / D.L. Yaktine, V.F. Jones.
34. Zhang M. Irreversible Indication of Overheated Railway Vehicle Components / M. Zhang. – 2004.