

УДК 629.4.077:621.1.016.7: 546.26

ОЦІНКА МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАЛІЗНИЧНИХ ГАЛЬМОВИХ СИСТЕМ

Горбунов М.І., Герлиці Ю., Кравченко К.О., Лак Т., Просвірова О.В.

EVALUATION OF METHODS TO IMPROVE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF RAIL BRAKE SYSTEMS

Gorbunov M., Gerlici J., Kravchenko K., Lack T., Prosvirova O.

Оцінюється вплив тертя фрикційних елементів гальмівної системи на ефективність гальмування. Температура в зоні контакту колодки з диском або колодками з колеса має істотний вплив на фрикційні елементи гальма. Важливим фактором у досягненні максимальної потужності гальмування є контроль температури в контакті. Стаття висвітлює результати дослідження з визначення ефективних методів підвищення експлуатаційних характеристик залізничних гальмових систем з використанням експертного оцінювання.

Ключові слова: залізничний транспорт, гальмування, експертне оцінювання, фрикційна взаємодія, дискове гальмо, енергоефективність.

Вступ. Від стабільно працюючої гальмівної системи в значній мірі залежить безпека руху транспортного засобу. Температура в контакті трибоелементів чинить значний вплив на гальмівну ефективність. При взаємодії гальмівних елементів значно зростає температура в зоні контакту, при тривалих гальмуваннях це призводить до підвищеного зносу і передчасного виникнення тріщин. Проведені в лабораторних умовах на машині тертя і стенді випробування показали, що в початковий момент часу з ростом температури в контакті збільшується коефіцієнт тертя, проте при досягненні критичної температури, яка залежить від матеріалу, структури контактуючих тіл, температури навколишнього повітря та інших факторів, відбувається різке падіння коефіцієнта тертя, що негативно позначається на гальмівних властивостях рухомого складу. Для конструкторів і експлуатаційників стоїть завдання розробки нових конструкцій гальмівних елементів, які дозволяють управляти температурою в контакті, підтримувати оптимальний коефіцієнт тертя, забезпечувати високу зносостійкість поверхонь тертя.

Мета статті – визначення ефективних методів підвищення експлуатаційних характеристик залізничних гальмових систем з використанням експертного оцінювання.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Гальмівна система являє собою складну технічну систему, якість функціонування якої визначається багатьма критеріями: функціональними, надійнісними, вартісними, енергетичними, ресурсними, тимчасовими, технічними, соціальними, екологічними і т. д. Створення гальмівних елементів є багатокритеріальною, статистичною, недетермінованою задачею прийняття рішення. Серед безлічі варіантів конструктивного виконання, необхідно вибрати найбільш прийнятну.

Теорія прийняття рішень зазвичай використовується для вибору найкращого варіанта (альтернативи) серед усіх можливих відносно заданого критерію оптимальності в умовах певної невизначеності, яка потребує уточнення положення, в результаті чого нові постановки задачі прийняття рішень, а також різноманітність і вдосконалення методів вирішити цю проблему. На практиці застосовуються різні методи теорії прийняття рішень, кожен з них діє по відношенню до певних критеріїв.

З дослідження наукових праць вітчизняних [1 – 4] і закордонних [5] авторів можна виділити основні типи методів:

– *аксіоматичні:* вимірювання корисності альтернатив розглядається за послідовними кроками, які підтверджують справедливість вибору певних аксіом, забезпечуючи можливість використання функції корисності;

– *прямі:* форма залежності результуючої корисності альтернативи від її оцінок за багатьма критеріями задається без будь-яких теоретичних підстав (на відміну від аксіоматичних методів), а параметри цієї залежності або задаються, або безпосередньо оцінюються особою, яка приймає рішення;

– *методи компенсації* включають в себе вписування в два окремих списки достоїнств і вад сформульованих альтернатив, які потім ретельно аналізують й виявляють такі вади, що можливо вважати

еквівалентом певних достоїнств, й викреслюють їх зі списку;

– *метод порогів несправності*: зв'язок між будь-якою парою альтернатив визначається послідовністю бінарних відносин. «Сильним» бінарним відношенням відповідають жорсткі вимоги щодо переваг однієї альтернативи над іншою й, отже, виявлення значної кількості невідповідних альтернатив. Більш «сильною» є вимога повного домінування однієї альтернативи над іншою. Більш «слабке» бінарне відношення визначає умова, при якій, незважаючи на суперечливі оцінки, одна альтернатива наголошується кращою, ніж інша;

– *людино-машинні методи прийняття рішень*;

– *методи експертних оцінок*: організація роботи з фахівцями-експертами з обробкою їх думок, виражених у кількісній і/або якісній формі з метою підготовки інформації для прийняття рішень особою, яка приймає рішення.

Використання інформації, отриманої від фахівців, особливо доцільно, якщо для її збору, узагальнення та аналізу застосовуються спеціальні логічні прийоми та математичні методи обробки результатів, на яких основана система експертних оцінок. Це дозволяє зробити висновки про практичну корисність результатів опитування експертів в умовах реального розкиду значень відносної помилки від 1 % до 20 % та достовірності на рівні 60 % – 95% [1 - 5]. Такий метод виявляється найбільш ефективним і дозволяє отримати адекватні результати.

Для дослідження питання, поставленого у статті використано метод експертних оцінок.

Метод експертних оцінок дозволяє працювати з недостатньо формалізованими і структурованими завданнями, які чітко не визначено алгоритми, властивості і відносини. Простота використання методу експертних оцінок, його гнучкість і можливість отримання необхідної інформації призвело до його використання для оцінки варіантів удосконалення елементів гальмівної системи для стабілізації температури в трибоконтактах. В групу експертів увійшли наукові та інженерно-технічні працівники університетів, депо і виробників елементів рухомого

складу. Фактори оцінки інноваційних методів підвищення ефективності гальмівної системи сучасного рухомого складу наступні:

- забезпечення безпеки;
- стабільні фрикційні характеристики (коефіцієнт тертя, температура);
- зносостійкість;
- рівень шуму при гальмуванні;
- вартість конструкції та експлуатації;
- екологічний фактор.

Постановка задачі експертного оцінювання:

1. Об'єкт дослідження – гальмівні системи.
2. Кількість варіантів запропонованих експертам n .
3. В оцінці варіантів беруть участь m експертів.
4. Кожен експерт має свій ранг, який визначається рівнем його компетенції і джерелами аргументації оцінки.
5. Кожен експерт проводить якісною оцінку запропонованих варіантів.
6. Всі варіанти удосконалення гальмівних елементів повинні бути розподілені по їх значущості.

Інноваційних методів підвищення ефективності гальмівної системи сучасного рухомого складу наступні:

ІМ1 – примусова подача повітря в контакт трибоелементів;

ІМ2 – примусова подача повітря, температура якого регулюється в залежності від умов та режимів експлуатації;

ІМ3 – застосування колодок з порофоровими вставками;

ІМ4 – застосування колодок з ребрами охолодження;

ІМ5 – застосування гальмівних накладок зовнішня поверхня якої виконана з теплоізолюючого матеріалу;

ІМ6 – подача в зону контакту трибоелементів активаторів тертя;

ІМ7 – застосування гальмівних елементів в конструкції яких передбачені фазові переходи.

Обробка результатів експертного оцінювання здійснювалася за допомогою спеціально розробленої авторами програми [6] (рис. 1).

Факторы	Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Эксперт 4	Эксперт 5	Эксперт 6	Эксперт 7	Эксперт 8	Эксперт 9	Эксперт 10	Эксперт 11
Фактор 1	5	6	5	5	4	5	6	4	5	5	4
Фактор 2	7	7	6	6	6	7	7	7	6	7	7
Фактор 3	4	4	4	4	4	5	5	4	4	5	4
Фактор 4	3	3	4	3	3	2	3	4	3	4	3
Фактор 5	4	5	3	5	4	5	4	6	4	3	4
Фактор 6	2	4	3	2	3	4	4	3	3	4	4
Фактор 7	5	5	6	6	6	5	5	6	5	5	6

Проанализировать результаты экспертного оценивания

Рис. 1. Вікно програми з результатами експертного оцінювання

Фактор	Ожидаемое значение	Вес фактора	Вариаци. размах	Среднекв. откл.	Коеф-т вариации
Фактор 1	4,909	0,175	2	0,905	18,4
Фактор 2	6,636	0,237	1	0,651	9,8
Фактор 3	4,273	0,153	1	0,603	14,1
Фактор 4	3,182	0,114	2	0,778	24,5
Фактор 5	4,273	0,153	3	1,168	27,3
Фактор 6	3,273	0,117	2	1,015	31
Фактор 7	5,455	0,195	1	0,674	12,4

Коеффициент конкордации:

Рис. 2. Статистичний аналіз результатів

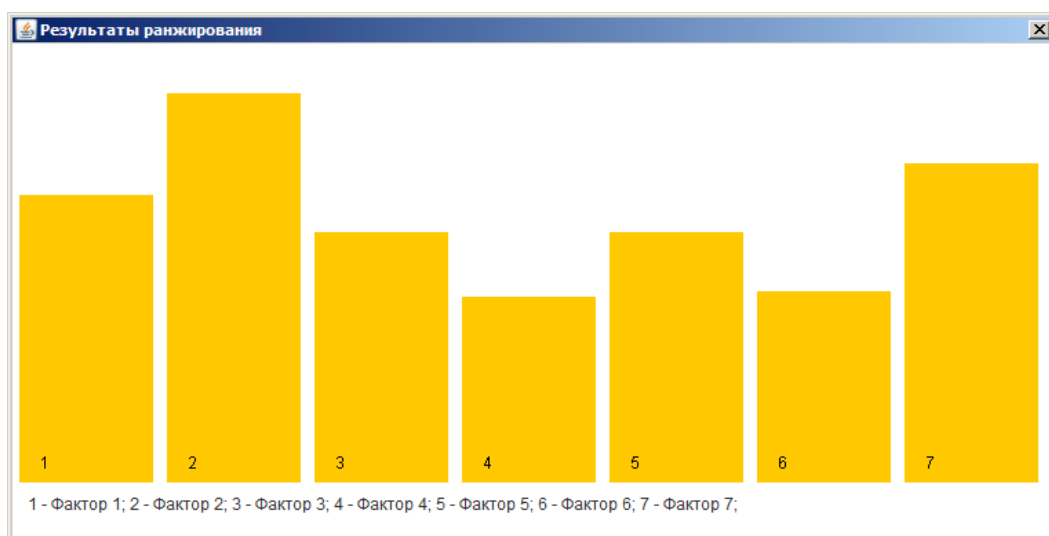


Рис. 3. Діаграма результатів ранжування

На першому етапі роботи в програмі визначається кількість експертів і факторів, які беруть участь у даному оцінюванні. Також можна дати назву кожному з експертів та факторів.

Далі необхідно ввести результати експертного оцінювання. Кожен з експертів оцінює всі фактори таким чином, що найнижча оцінка може дорівнювати 1, а найвища – кількості факторів, які розглядаються у даному оцінюванні. Якщо кожен експерт оцінює всі фактори різними числами (рангами) від 1 до кількості факторів, розглядається порядкова шкала оцінювання. Якщо експерти оцінюють фактори довільними числами з цього діапазону, має місце інтервальна шкала оцінювання.

На формі результатів статистичного аналізу (рис. 2) містяться наступні дані: очікуване значення кожного з факторів, вага, варіаційний розмах, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації та коефіцієнт конкордації експертів. Фактори в таблиці можна впорядкувати за їхньою вагою та побудувати діаграму.

Діаграма відображує очікувані значення всіх факторів (рис. 3). Також на формі міститься легенда, яка пояснює позначення на діаграмі. Фактори впорядковані так, як було зазначено на попередній формі.

За думкою кожного з j експертів ($j = 1-m$) певний фактор i ($i = 1-n$) має вплив різного ступеню на об'єкт дослідження. Стосовно ступеня впливу, визначеного експертом, здійснюється ранжирування факторів x_{ji} , результати якого представляють у вигляді матриці (рис. 1).

Узгодженість думок експертів в цьому випадку визначається за допомогою коефіцієнта конкордації. Переконавшись в узгодженості думок експертів, будуємо діаграму рангів. При побудові цієї діаграми по осі абсцис відкладено суми рангів, а по осі ординат – фактори в порядку зростання суми рангів. Отримана діаграма рангів представлена на рис. 2. Ступінь впливу факторів на об'єкт дослідження оцінюється за величиною суми рангів: чим більше сума рангів певного фактора, тим більший вплив здійснює цей фактор на об'єкт дослідження.

Висновки. В результаті проведеного експертного дослідження здійснено оцінювання інноваційних методів підвищення ефективності гальмівної системи сучасного рухомого складу. Встановлено, що найбільш перспективним методом підвищення ефективності гальмування є подача повітря з регульованою температурою в залежності від умов гальмування і експлуатації. Даний метод отримав найбільший ранг 0,237. Однак інші методи можна також вважати перспективними, так як різниця оцінок незначна. Найменший ефект на стабілізацію температури, згідно думок експертів, має ребра охолодження колодок (сума рангів становить 0,114). Однак це інноваційне рішення ефективно буде працювати в парі з іншим методом, наприклад з подачею охолодженого повітря. Ребра поверхонь дозволять посилити ефект охолодження і направити повітря безпосередньо на поверхню тертя. Також можлива додаткова установка елементів на диски і колодки дозволяють збільшити приплив повітря в зону контакту. Згідно ранжирування важливе значення мають застосування колодок в якій запроваджено матеріали з фазовим переходом, що дозволяє провести відбір теплоти від контакту миттєво. Застосування профорових вставок в конструкції колодки також значно дозволяє охолодити контакт за рахунок утворення при терті охолоджуючого газу. Не мало значущим технічним рішенням стало застосування теплоізолюючих матеріалів в конструкції гальмівних систем. Дана конструкція дозволяє постійно проводити відтік тепла від поверхні тертя. При подачі додатково потоку повітря на теплоізолюючий матеріал можна досягти більшої ефективності стабілізації температури.

Література

1. Бар Борис. Модели, алгоритми і програми інженерії знань для прийняття рішень в умовах імовірнісних даних /Борис Бар/ Автореф. дис... канд. техн.: 01.0.5.04; Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського "ХАІ", Харків, 2000 - 26 с.
2. Топал А.С. Модели та методи автоматизованої підтримки прийняття рішень щодо технологічної підготовки складального виробництва в літакобудуванні / А.С. Топал // Автореф. дис... канд. техн.: 05.13.06; Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського „ХАІ”. Харків, 2006.
3. Ларичев О.И. Наука и искусство принятия решений / О.И. Ларичев / – М.: Наука, 1979 – 200 с.
4. Батищев Д.И. Методы оптимального проектирования / Д.И. Батищев // – М.: Радио и связь, 1984. – 248 с.
5. Исследование операций: В 2-х томах. Пер. с англ. / Под редакцией Дж.Мудера, С. Элмаграби. – М.: Мир, 1981.–Т. 1: Математические основы и математические методы. –712 с.
6. Свідоство 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» / Горбунов М.М., Ковтанець М.В., Кравченко К.О., Просвірова О.В.
7. Венделин А.Г. Подготовка и принятие управленческого решения / Венделин А.Г. // – М.: Экономика, 1992. – 149 с.
8. Голосовский С.И. Эффективность научных исследований в промышленности / С.И. Голосовский // – М.: Экономика, 1986. – 160 с.
9. Крамской Д.Ю. Модели распределения ресурсов между инновационными проектами / Д.Ю. Крамской, Е.Н. Терещенко, А.Ю Крамской // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ" : Технічний прогрес та ефективність виробництва №5 - Вестник НТУ "ХПИ", 2009. – С. 142 – 149.
10. Экономико-математические методы и прикладные модели / В.В. Федосеев, А.Н. Гармаш, Д.М. Дайнтбегов и др.; Под ред. В.В. Федосеева. – М.: ЮНИТИ, 2001. – 391 с.

References

1. Bar Boris. Modeli, algoritmi i programi inzhenerii znan' dlja priijnjattja rishen' v umovah imovirnisnih danih /Boris Bar/ Avtoref. dis... kand. tehn.: 01.0.5.04; Nacional'nij aerokosmichnij universitet imeni M.S. Zhukovskogo "HAI", Harkiv, 2000 - 26 s.
2. Topal A.S. Modeli ta metodi avtomatizovanoi pidtrimki priijnjattja rishen' shhodo tehnologichnoi pidgotovki skladal'nogo virobniictva v litakobuduvanni / A.S. Topal // Avtoref. dis... kand. tehn.: 05.13.06; Nacional'nij aerokosmichnij universitet im. M.S. Zhukovskogo „HAI”. Harkiv, 2006.
3. Larichev O.I. Nauka i iskusstvo prinjatija reshenij / O.I. Larichev / – М.: Nauka, 1979 – 200 s.
4. Batishev D.I. Metody optimal'nogo proektirovanija / D.I. Batishev // – М.: Radio i svjaz', 1984. – 248 s.
5. Issledovanie operacij: V 2-h tomah. Per. s angl. / Pod redakciej Dzh.Moudera, S. Jelmagrabi. – М.: Mir, 1981.– Т. 1: Matematicheskie osnovy i matematicheskie metody. –712 s.
6. Certificate of registration of copyright on work № 45058 from 06.08.2012. Computer program "decision-Making in problems of railway transport with the use of expert evaluation method" / Gorbunov N. I. Kovtanets M.V., Kravchenko K.A., Prosvirova O.V.
7. Vendelin A.G. Podgotovka i prinjatje upravlencheskogo reshenija / Vendelin A.G. // – М.: Jekonomika, 1992. – 149 s.
8. Golosovskij S.I. Jeffektivnost' nauchnyh issledovanij v promyshlennosti / S.I. Golosovskij // – М.: Jekonomika, 1986. – 160 s.
9. Kramskoj D.Ju. Modeli raspredelenija resursov mezhdru innovacionnymi proektami / D.Ju. Kramskoj, E.N. Tereshhenko, A.Ju Kramskoj // Sbornik nauchnyh trudov "Vestnik NTU "HPI" : Tehnichnij progres ta efektivnist' virobniictva №5 - Vestnik NTU "HPI", 2009. – S. 142 – 149.
10. Jekonomiko-matematicheskie metody i prikladnye modeli / V.V. Fedoseev, A.N. Garmash, D.M. Dajntbegov i dr.; Pod red. V.V. Fedoseeva. – М.: JuNITI, 2001. – 391 s.

Горбунов Н.И., Герлицы Ю., Кравченко Е.А., Лак Т., Просвірова О.В. Оценка методов повышения эксплуатационных характеристик железнодорожных тормозных систем.

Рассмотрена проблема безопасности движения на железнодорожном транспорте. Влияние работы трения элементов тормозной системы на эффективность торможения оценивается. Температура в зоне контакта колодки с диском или колодками с колеса оказывает существенное влияние на фрикционные элементы тормоза. Важным фактором в достижении максимальной мощности торможения является контроль температуры в контакте. Анализ методов и конструкций для отвода тепла от фрикционных элементов осуществляется.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, торможение, экспертное оценивание, фрикционное взаимодействие, дисковый тормоз, энергоэффективность.

Gorbunov M., Gerlici J., Kravchenko K., Lack T., Prosvirova O. Evaluation of methods to improve operational characteristics of rail brake systems.

The problem of traffic safety on railway transport is discussed. The influence of the work of the friction elements of the braking system on braking performance is evaluated. The temperature in the contact of the pads with the disk or pads with the wheel has significant influence on the friction brake elements. Important factor in achieving maximum braking

power is the control of the temperature in the contact. The analysis of methods and designs for heat dissipation from contact friction elements is carried out.

Key words: rail transport, braking, expert evaluation, friction interaction, disc brake, energy efficiency.

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

Герлиці Ю. – д.т.н., проф., професор Жилінського університету, м. Жиліна, Словаччина

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

Лак Т. – д.т.н., проф., професор Жилінського університету, м. Жиліна, Словаччина

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

Рецензент: д.т.н., проф. **Соколов В.І.**

Стаття подана 05.03.2017