

bumps, installation of traffic lights with adjustable timers, additional road signs, high-visibility and illuminated pedestrian crossings, and the use of surveillance cameras to monitor compliance with traffic rules and identify violators. Moreover, the study emphasizes the importance of developing and implementing methodologies for predicting accident rates using statistical methods and conflict zone analysis, as well as calculating accident-related economic and environmental losses to evaluate the effectiveness of proposed measures.

This study underscores the urgent need for improved road safety measures in the Ternopil region. Implementing the recommended strategies and methodologies will significantly reduce the number of RTAs, enhance overall road safety, decrease the risks of injuries and fatalities, and lower the economic costs associated with road traffic accidents. These findings provide a clear roadmap for policymakers and road safety authorities to take actionable steps towards a safer road environment.

road traffic accidents (RTA), road safety, causes of RTAs, accident reduction, traffic injuries, traffic violations, accident prediction

Одержано (Received) 19.04.2024

Прорецензовано (Reviewed) 30.05.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

УДК 659.136

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.106-111](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.106-111)

П.Б. Прогній, ст. вик., канд. техн. наук., **Р.В. Чорний**, канд. техн. наук., **О.В. Чорна**, доц., канд. екон. наук., **М.В. Буряк**, доц., канд. техн. наук., **В.С. Колодій**, асп., **І.Є. Величенко**, асп., **Ю.М. Петришин**, асп.

Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна

e-mail: rozoom_ruslan@ukr.net

До визначення способу регулювання гальмівних сил причіпної ланки автопоїзда

У статті проаналізовано спосіб покращення гальмівної динаміки автопоїзда. Запропоновано метод регулювання гальмівних сил на колесах причіпної ланки для усунення бортової нерівномірності при її виявленні в процесі сервісного обслуговування гальмівної системи транспортного засобу. Наведено залежність між величиною гальмівного моменту на колесі та плечем прикладання зусилля від гальмівної камери для барабанних гальмівних механізмів з пневматичним приводом. Обґрунтовано спосіб регулювання гальмівних сил, прикладених до колеса, зміною передаточного відношення гальмівного механізму, за рахунок зміни плеча прикладання гальмівного зусилля від гальмівної камери до важеля повороту розтискного кулачка.

гальмування, розподіл гальмівних сил, бортова нерівномірність гальмівних сил, передаточне відношення гальмівного механізму

Постановка проблеми. Із врахуванням умов сучасного функціонування економіки спостерігається зростання рівня вантажоперевезень із використанням автомобільного транспорту. Зокрема, відповідно до даних, наведених Міністерством інфраструктури України, приблизно 60% від усіх вантажних перевезень в Україні у 2021 році здійснено автомобільним транспортом [1]. Згідно із статистичними даними поданими в 2023 році Державною службою статистики України, частка перевезень вантажними автомобілями становила 36,4% від усього експорту та 71,2% від загального обсягу імпорту при транспортуванні товарів [2].

Варто зазначити, що значну частку в транспортних вантажоперевезеннях в Україні здійснюють із використанням дволанкових сідельних автомобільних поїздів, оскільки вони складають основу автопарку більшості вантажоперевізників. Для

ефективного використання автомобільних поїздів в умовах їх максимального завантаження, необхідно забезпечити дотримання ними основних експлуатаційних властивостей, що впливають на безпеку руху, особливо в гальмівних режимах. Зокрема, основну увагу слід звернути на зміни технічного стану автопоїздів, які виникають в умовах їх експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемі покращення експлуатаційних властивостей автопоїздів, шляхом врахування змін технічного стану різних систем в умовах їх експлуатації присвячено багато робіт. Аналіз наукових досліджень [3-6] дозволив з'ясувати, що значна частка відмов, які виникають у тягачах та причіпних ланках автопоїздів в умовах експлуатації, припадає на гальмівну та ходову системи. Серед основних несправностей гальмівної системи найбільш часто виокремлюють порушення оптимальних показників регулювання та розподілу гальмівних сил по осях та бортах автопоїзда [7-9]. Поява таких відмов може значно вплинути на стійкість руху автопоїздів та безпеку їх використання. Саме тому, в процесі сервісного огляду причіпних ланок автопоїздів, необхідно забезпечити дотримання оптимальних показників розподілу гальмівних сил по осях та колесах транспортного засобу. Зокрема, більш детального аналізу потребує проблема регулювання гальмівних сил на колесах автопоїзда при виявленні бортової нерівномірності гальмівних сил в процесі сервісного обслуговування транспортних засобів.

Постановка завдання. Обґрунтування способу регулювання бортової нерівномірності гальмівних сил причіпної ланки автопоїзда.

Виклад основного матеріалу дослідження. В якості об'єкту дослідження оберемо тривісний напівпричіп KRONE – SDP 24. Цей напівпричіп оснащений осями виробництва компанії BPW, які мають барабанні гальмівні механізми типу "Simplex" з пневматичним приводом. Для кращого розуміння принципу роботи гальмівної системи, на рисунку 1 представлена схема барабанного гальмівного механізму.

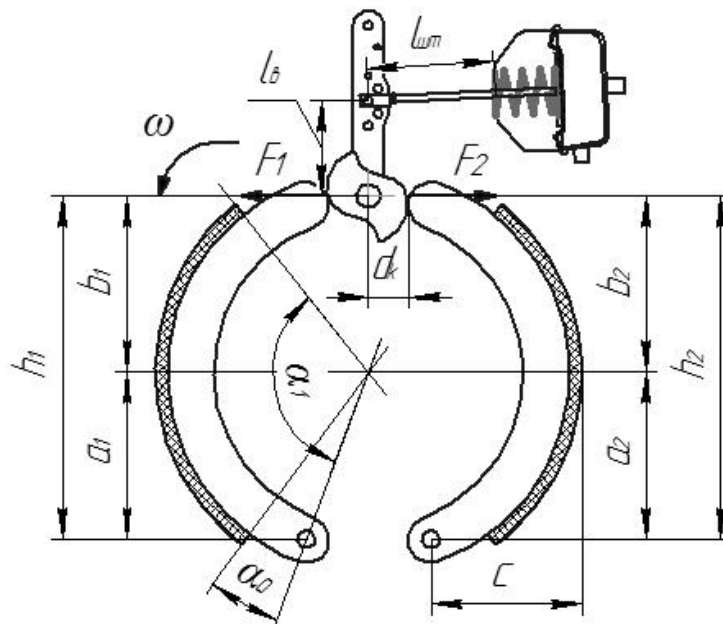


Рисунок 1 – Розрахункова схема гальмівного механізму

Джерело: [10]

Гальмівне зусилля на окремих колесах осей можна регулювати шляхом зміни довжини штока гальмівної камери або плеча, до якого прикладене зусилля гальмівним

циліндром, тобто розташування точки кріплення штока до важеля гальмівного механізму. При натискуванні на педаль гальм у гальмівному механізмі з пневматичним приводом, стиснуте повітря надходить у гальмівну камеру. Шток камери виходить, повертаючи важіль. На одному валу з важелем знаходиться розтискний кулачок колодок гальмівного механізму, який, повертаючись, розтискає колодки та притискає їх до барабана. Таким чином відбувається загальмовування колеса. Для регулювання гальмівного зусилля на колесі необхідно змінити кут повертання важеля. Досягти цього можна змінивши вихід штоку гальмівної камери, або відстань l_6 від осі розпірного кулачка до точки кріплення на важелі штока гальмівної камери.

Для регулювання першим способом, у корпусі важеля знаходиться черв'ячний регулювальний механізм. Закручуючи гвинт-черв'як чи відкручуючи його, відбувається регулювання виходу штоку, а це призводить до більшої чи меншої ступені повертання розпірного кулачка та відповідно сильнішого чи слабшого притискання гальмівних колодок до барабана, як результат, змінюється гальмівне зусилля, прикладене до колеса.

Для можливості регулювання другим способом, важіль виготовлений з отворами для кріплення штока, які по різному розміщені відносно осі. Завдяки різній відстані від осі отворів до осі повертання розтискного кулачка забезпечується можливість регулювання зусилля гальмівного циліндра шляхом зміни довжини плеча прикладання даного зусилля, що збільшує або зменшує гальмівний момент на колесі.

Проаналізуємо зв'язок між значенням гальмівного моменту M_g , який прикладається до колеса, та плечем l_6 прикладання зусилля $F_{гк}$, що створюється гальмівною камерою.

Згідно з прийнятими умовами, розрахуємо величину гальмівного моменту, що діє на колесо, за допомогою рівняння [10]:

$$M_g = \frac{l_6 \cdot F_{гк} \cdot \eta \cdot \mu \cdot (h_1 + h_2)}{d_k \cdot A}, \quad (1)$$

де l_6 – величина плеча прикладеного зусилля від гальмівного циліндра до важеля, м;

$F_{гк}$ – сила, що прикладена гальмівним циліндром, Н;

μ – коефіцієнт тертя гальмівної системи;

η – ККД розтискного кулачка, (0,6...0,7);

h_1, h_2 – плече прикладеного зусилля від кулачка до осі обох колодок, м;

d_k – плече кулачка, м;

A – зведений коефіцієнт, питомого тиску накладки та конструктивних параметрів гальмівного механізму.

Використовуючи рівняння (1), можна обчислити плече прикладання зусилля до важеля гальмівною камерою, знаючи значення гальмівного моменту:

$$l_6 = \frac{M_g \cdot d_k \cdot A}{F_{гк} \cdot \eta \cdot \mu \cdot (h_1 + h_2)}. \quad (2)$$

Отриману залежність можна використовувати для регулювання рівномірності гальмівних сил на колесах окремих осей причіпної ланки у випадку виявлення бортової нерівномірності гальмівних сил в процесі сервісного обслуговування гальмівної системи транспортного засобу.

Розглянемо випадок, коли гальмівні сили нерівномірно впливають на осі напівпричепа, і їх різниця за результатами діагностичного дослідження складає 13%. Приймемо, що до одного із колеса прикладено більший момент $M_г$, а до іншого колеса даний момент становить $0,87M_г$. Отже в даному випадку можна скористатись рівнянням:

$$l'_g = \frac{0,87M_g \cdot d_k \cdot A}{F_{зк} \cdot \eta \cdot \mu \cdot (h_1 + h_2)}. \quad (3)$$

Із рівнянь (2) і (3) визначаємо передаточне відношення важільного механізму приводу розтискного кулачка, яке забезпечує різницю гальмівних зусиль на колесах однієї осі в межах 13%:

$$l'_g / l_g = 0,87; \quad \text{або} \quad l'_g = 0,87l_g. \quad (4)$$

Скориставшись отриманим значенням передаточного відношення, розрахуємо довжину важеля $l_{вм}$, яку потрібно встановити для гальмівного механізму колеса, на якому розвивається менше гальмівне зусилля, щоби збільшити його та звести до мінімуму бортову нерівномірність гальмівних сил.

Виходячи із конструкції гальмівного механізму, шток гальмівного циліндра поєднаний із важелем розтискного кулачка за допомогою отвору 2 (рис. 2), це дозволяє забезпечити довжину плеча (l_g) рівну 130 мм. Залишимо цю довжину важеля для колеса із більшим гальмівним моментом. Довжина важеля $l_{вм}$ повинна бути збільшена відповідно до розрахованого передаточного відношення, рівняння (4), а тому:

$$l_{вм} = 130/0,87 = 149,4 \text{ мм.}$$

Цій довжині приблизно відповідає отвір №3 на важелі приводу розтискного кулачка (150 мм). Зміна точки кріплення штока гальмівної камери в отворі №3 поворотного важеля дозволить збільшити гальмівне зусилля на колесах та зменшити бортову нерівномірність гальмівних сил осі напівпричепа.

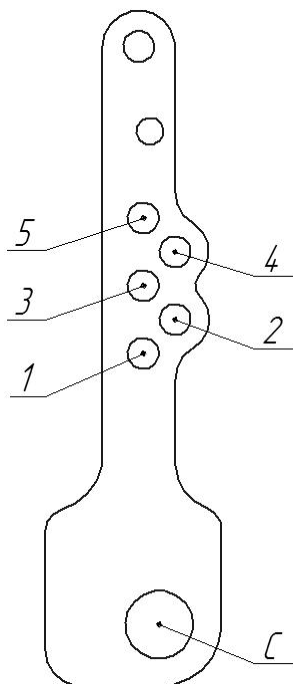


Рисунок 2 – Схема важеля приводу розтискного кулачка

Джерело: [10]

Висновки. Обґрунтовано спосіб регулювання гальмівних сил причіпної ланки автопоїзда в процесі виконання сервісного обслуговування. Даний спосіб дозволяє регулювати гальмівні зусилля на колесах кожної осі напівпричепа шляхом зміни передаточного відношення приводу гальмівного механізму. При цьому враховується гальмівне зусилля, яке розвиває гальмівний механізм кожного колеса осі. Такий підхід дозволяє звести до мінімуму нерівномірність гальмівних сил по бортах причіпної ланки, яка може виникнути в результаті відхилень в роботі гальмівних механізмів, що відбувається під впливом умов експлуатації, наприклад через нерівномірне стирання гальмівних накладок на окремих колесах чи появі відхилень у регулюванні приводу гальмівних механізмів.

Список літератури

1. Міністерство інфраструктури України, звіт за 2021 рік. URL : https://mtu.gov.ua/content/2021_rik.html. (дата звернення: 04.05.2023 р.)
2. Державна служба статистики України. Розподіл експорту-імпорту товарів за видами їх транспортування в 2023 році. URL : https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2024/zd/new/r_tr_23.xls. (дата звернення: 27.02.2024 р.)
3. Експлуатаційна надійність і роботоздатність вантажного автомобільного рухомого складу (scholar.google.com) / Розум Р. І. та ін. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2022. Вип. 5 (36), ч. 2. С. 201–205.
4. Оцінка міцності та надійності автотранспортних засобів / Буряк М.В. та ін. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2022. Том 15, № 1. С. 17–22
5. Кравченко О. П., Глайборода А. А. Аналіз надійності причіпного складу автопоїздів. *Вісник Східноукраїнського національного університету*. 2003. № 10 (68), ч.1. С. 94-97.
6. Кравченко О. П. Статистичні дослідження порушень роботоздатності причіпного складу автопоїздів європейського виробництва. *Вісник Східноукраїнського національного університету*. 2006. № 7 (101). С. 87-91.
7. Поляков В. М., Приходченко Д. Ю., Шарай С. М. Вплив експлуатаційних факторів на стійкість руху триланкового автопоїзда при гальмуванні. *Вісник СевНТУ*. 2011. Вип. 121. С. 61-64.
8. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів. В 3 ч. Ч 3. Маневреність. Керованість. Стійкість : навч. посіб. / Сахно В.П. та ін. ЛАНДОН-XXI, 2015. 400 с.
9. Подригало М. А., Коробко А. І. Вплив бортової нерівномірності гальмівних сил на відхилення автомобіля. *Автомобільний транспорт*. 2009. № 24. С. 33-36.
10. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів. В 3 ч. Ч 2. Плавність ходу та прохідність автотранспортних засобів : навч. посіб. / Сахно В.П. та ін. Вид-во «Ноулідж», 2014. 354 с.

References

1. Ministerstvo infrastruktury Ukrainy, zvit za 2021 rik [Ministry of Infrastructure of Ukraine, report for 2021]. Retrieved from: https://mtu.gov.ua/content/2021_rik.html. (Last accessed: 04.05.2023) [in Ukrainian].
2. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. Rozpodil eksportu-importu tovariv za vydamy ikh transportuvannya v 2023 rotsi [State Statistics Service of Ukraine. Breakdown of exports and imports of goods by type of transportation in 2023]. Retrieved from: URL : https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2024/zd/new/r_tr_23.xls. (Last accessed: 27.02.2024) [in Ukrainian].
3. Rozum, R.I. et al. (2022). Ekspluatatsijna nadijnist' i robotozdatnist' vantazhnoho avtomobil'noho rukhomoho skladu [Operational reliability and efficiency of freight automobile rolling stock]. *Tsentral'noukrains'kyj naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian scientific bulletin. Technical sciences*, 2, 5(36), 201-205 [in Ukrainian].
4. Buriak, M.V. et al. (2022). Otsinka mitsnosti ta nadijnosti avtotransportnykh zasobiv [Assessment of the strength and reliability of motor vehicles]. *Visnyk mashynobuduvannya ta transportu – Bulletin of mechanical engineering and transport*, 15, 1, 17–22 [in Ukrainian].

5. Kravchenko, O. P. & Hlajboroda, A. A. (2003). Analiz nadijnosti prychipnoho skladu avtopoizdiv [Reliability analysis of trailed combination of road trains]. *Visnyk Skhidnoukrains'koho natsional'noho universytetu – Bulletin of the Eastern Ukrainian National University*, 10(68), 1, 94-97 [in Ukrainian].
6. Kravchenko, O.P. (2006). Statystychni doslidzhennia porushen' robozdatnosti prychipnoho skladu avtopoizdiv ievropejs'koho vyrobnytstva [Statistical studies of working capacity failures of European road train's trailers]. *Visnyk Skhidnoukrains'koho natsional'noho universytetu – Bulletin of the Eastern Ukrainian National University*, 7(101), 87-91 [in Ukrainian].
7. Poliakov, V. M., Prykhodchenko, D. Yu. & Sharaj, S. M. (2011). Vplyv ekspluatatsijnykh faktoriv na stijkist' rukhu trylankovoho avtopoizda pry hal'muvanni [Influence of operational factors on the stability of a three-unit road train during braking]. *Visnyk SevNTU – Bulletin of SevNTU*, 121, 61-64 [in Ukrainian].
8. Sakhno, V.P. et al. (2015). *Ekspluatatsijni vlastyivosti avtotransportnykh zasobiv. Manevrenist'. Kerovanist'. Stijkist' [Operational properties of motor vehicles. Maneuverability. Controllability. Stability]*. (Vols. 1-3; Vol. 3). LANDON-KhKhI [in Ukrainian].
9. Podryhalo, M. A. & Korobko, A. I. (2009). Vplyv bortovoi nerivnomirnosti hal'mivnykh syl na vidkhylennia avtomobilia [The effect of on-board non-uniformity of braking forces on vehicle deflection]. *Avtomobil'nyj transport - Automobile transport*, 24, 33-36 [in Ukrainian].
10. Sakhno, V.P. et al. (2014). *Ekspluatatsijni vlastyivosti avtotransportnykh zasobiv. Plavnist' khodu ta prokhdnist' avtotransportnykh zasobiv [Operational properties of motor vehicles. Smoothness of movement and passability of motor vehicles]*. (Vols. 1-3; Vol. 2). Vyd-vo «Noulidzh» [in Ukrainian].

Pavlo Prohni, Senior Lecturer, PhD tech. sci., **Ruslan Chorny**, Senior Lecturer, PhD tech. sci., **Olha Chorna**, Assoc. Prof., Ph.D of Economic sciences, **Mykola Buriak**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Viktor Kolodii**, post-graduate, **Ihor Velychenko**, post-graduate, **Yurii Petryshyn**, post-graduate
Western Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine

Research of braking dynamics of a road train

The article analyzes the ways to improve the operational properties of road trains, by taking into account changes in the technical condition of various systems under their operating conditions.

It has been established that a significant proportion of failures that occur in tractors and trailer links of road trains in operating conditions fall on the braking and running systems, and among the main malfunctions of the braking system, violations of the optimal indicators of regulation and distribution of braking forces along the axles and sides of the road train are most often singled out. The appearance of such failures can significantly affect the stability of road trains and the safety of their use. That is why, during the service inspection of the trailer links of road trains, it is necessary to ensure compliance with the optimal indicators of the distribution of braking forces on the axles and wheels of the vehicle. A method of adjusting the braking forces on the wheels of the towing link is proposed to eliminate the on-board unevenness when it is detected in the process of servicing the braking system of the vehicle. The relationship between the magnitude of the braking moment on the wheel and the arm of applying force from the brake chamber for drum brake mechanisms with a pneumatic drive is given. The method of regulating the braking forces applied to the wheel by changing the gear ratio of the brake mechanism by changing the arm of applying the braking force from the brake chamber to the cam rotation lever is justified.

This approach allows you to minimize the unevenness of the braking forces along the sides of the trailer link, which can occur as a result of deviations in the operation of the braking mechanisms, which occurs under the influence of operating conditions, for example, due to uneven wear of the brake linings on individual wheels or the appearance of deviations in the adjustment of the drive of the braking mechanisms.

stability, braking, two-link road train, normal reactions of the bearing surface, straight-line motion, curved motion

Одержано (Received) 23.04.2024

Прорецензовано (Reviewed) 03.06.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024