

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-369-13>

УДК 629.3.018.77

ДЕМЧИНА ВАСИЛЬ

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

<https://orcid.org/0000-0002-6123-5255>e-mail: demchynavasyi@gmail.com**ШВЕЦЬ МИКОЛА**

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

<https://orcid.org/0009-0009-2901-7088>e-mail: kolyashvec1502@gmail.com**ІВАНІВ МАР'ЯН**

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

<https://orcid.org/0009-0003-6466-4471>e-mail: elianor007@ukr.net

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ГАЛЬМІВНИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА БЕЗПЕКУ РУХУ ПРИ ВИКОНАННІ МАГІСТРАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

У статті розглядається вплив конструктивних характеристик гальмівних систем транспортних засобів на безпеку дорожнього руху під час перевезень на далекі (магістральні) відстані. Проблема. Зростання інтенсивності вантажних перевезень, збільшення маси транспортних засобів та умови експлуатації на високих швидкостях значно підвищують вимоги до безпеки гальмівних систем. За таких умов гальмівні компоненти працюють під підвищеними тепловими та динамічними навантаженнями, і навіть незначні конструктивні недоліки можуть призвести до збільшення гальмівного шляху, зниження курсової стійкості та збільшення ризику аварійності. Мета. Метою дослідження є встановлення та науково обґрунтування причинно-наслідкового зв'язку між конструктивними параметрами гальмівних систем та показниками безпеки дорожнього руху в умовах магістральних перевезень. Методологія. Дослідження базується на аналітичному огляді сучасних наукових публікацій, порівняльній оцінці дискових та барабанних гальмівних механізмів, систематизації конструктивних параметрів (тип механізму, фрикційні матеріали, схема розподілу зусиль, тип приводу, інтеграція з системами ABS/EBD/ESC) та концептуальному моделюванні їх впливу на динаміку гальмування та стійкість транспортного засобу. Результати. Було визначено, що тип гальмівного механізму, ефективність тепловіддачі, стабільність коефіцієнта тертя, час відгуку приводу та інтеграція електронного керування безпосередньо впливають на максимальне уповільнення, гальмівний шлях, термостійкість та курсову стійкість. Дискові гальма демонструють чудову термостійкість та стійкість до згасання при тривалих навантаженнях, типових для важких транспортних засобів. Варіації характеристик тертя можуть суттєво змінити розподіл гальмівного моменту та погіршити керованість транспортного засобу. Оригінальність. Запропоновано системну основу, яка інтегрує структурні, теплові та динамічні фактори в єдину модель оцінки безпеки гальмівних систем в умовах магістрального транспорту. Практична цінність. Результати дослідження можуть бути застосовані при проектуванні, виборі, діагностиці та управлінні гальмівними системами важких транспортних засобів для підвищення активної безпеки та зниження ймовірності аварійності.

Ключові слова: транспортні засоби, транспортні роботи, дорожній транспорт, перевезення, безпека дорожнього руху

DEMCHYNA VASYL, SHVETS MYKOLA, IVANIV MARIAN

Lviv State University of Life Safety

THE IMPACT OF THE DESIGN FEATURES OF VEHICLE BRAKING SYSTEMS ON TRAFFIC SAFETY WHEN PERFORMING LONG-DISTANCE TRANSPORTATION

The article examines the influence of structural characteristics of vehicle braking systems on road safety during long-distance (mainline) transportation. Problem. The growing intensity of freight transportation, increased vehicle mass, and high-speed operating conditions significantly raise safety requirements for braking systems. Under such conditions, braking components operate under elevated thermal and dynamic loads, and even minor structural deficiencies may lead to extended stopping distances, reduced directional stability, and increased accident risk. Goal. The purpose of the study is to establish and scientifically substantiate the cause-and-effect relationship between structural parameters of braking systems and road safety indicators under mainline transportation conditions. Methodology. The research is based on analytical review of contemporary scientific publications, comparative assessment of disc and drum brake mechanisms, systematization of structural parameters (type of mechanism, friction materials, force distribution scheme, drive type, integration with ABS/EBD/ESC systems), and conceptual modeling of their impact on braking dynamics and vehicle stability. Results. It has been determined that braking mechanism type, thermal dissipation efficiency, stability of the friction coefficient, response time of the drive, and electronic control integration directly affect maximum deceleration, stopping distance, heat resistance, and directional stability. Disc brakes demonstrate superior thermal stability and resistance to fading under prolonged loads typical for heavy vehicles. Variations in friction characteristics may significantly alter braking torque distribution and compromise vehicle controllability. Originality. A systemic framework is proposed that integrates structural, thermal, and dynamic factors into a unified safety-oriented assessment model for braking systems in mainline transport conditions. Practical value. The findings can be applied in the design, selection, diagnostics, and operational control of braking systems for heavy-duty vehicles to enhance active safety and reduce accident probability.

Keywords: vehicles, transport work, road transport, transportation, road safety

Стаття надійшла до редакції / Received 11.08.2026

Прийнята до друку / Accepted 24.09.2026

Опубліковано / Published 15.10.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Демчина Василь, Швець Микола, Іванів Мар'ян

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.

На сьогодні функціонування транспортної інфраструктури є одним з актуальних аспектів, що охоплює собою безпеку дорожнього руху (БДР), транспортні перевезення, технічні та експлуатаційні аспекти транспортних засобів (ТЗ). Під транспортними перевезеннями розуміється виконання магістральних перевезень (МП), в яких беруться до уваги етапи, які здатні забезпечити транспортування значних обсягів вантажів або пасажирів на великі відстані. Для магістрального руху характерні високі швидкості, значна маса та тривалі режими навантаження, що є дуже важливим для експлуатації ТЗ [1].

Технічні та експлуатаційні аспекти спрямовані на вивчення та діагностування справності систем керування ТЗ, де неабиякого значення набувають гальмівні системи. Гальмівні системи та механізми в поєднанні з типом приводу, матеріалами гальмівних елементів та електронними системами керування формують комплексну БДР. Такий комплекс забезпечує безвідмовний процес гальмування, гальмівний шлях, стійкість ТЗ та його керованість в критичних ситуаціях [2-3].

На практиці експлуатація МП свідчить про те, що значна частина аварійних ситуацій пов'язана з недостатньою ефективністю гальмування, перегрівом гальмівних механізмів або втратою стійкості транспортного засобу під час екстреного уповільнення. В реальних умовах руху це супроводжується збільшенням гальмівного шляху, блокуванням коліс, виникненням заносу та зниженням керованості, що особливо важливо при повному завантаженні ТЗ та руху на дорожньому спуску [2, 4].

Незважаючи на впровадження сучасних технічних рішень, аварійні ситуації, пов'язані з недостатньою ефективністю або відмовами гальмівних систем залишаються актуальною проблемою для магістрального транспорту. Високі швидкості та значні навантаження вказують на потребу в проведенні оцінювання впливу конструктивних особливостей гальмівних систем на показники БДР [5]. Ця робота має на меті розглянути та дослідити вплив механізмів гальмування (справності дискових та барабанних гальм) ТЗ з врахуванням БДР при МП.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Експерименти з використанням ТЗ за участю людей пов'язані з багатьма проблемами безпеки. Ще одним елементом, що визначає рівень БДР є збільшення обсягів перевезень, що призводить до неочікуваних аварій або небезпечних ситуацій. Деякі дослідження стосуються технічних та експлуатаційних питань. Як приклад, за словами авторів [6], сучасні конструктивні рішення, і зокрема, розробка систем активної безпеки (ABS, ESC, електронні асистенти) значно знижують ймовірність виникнення аварійних ситуацій завдяки їхній здатності оптимізувати динамічні процеси під час руху та гальмування. Автори зосереджені на гальмівній системі, яка розглядається як основний принцип застосування законів технічної механіки через перерозподіл зусиль та здатність підтримувати стійкість і керованість транспортного засобу. У механічному плані гальмівна ефективність базується на конструктивній конфігурації механізмів, матеріальних характеристиках пар тертя, тепловому режимі роботи та включенні електронних систем керування.

Окрім правил технічної механіки необхідно враховувати конструктивні особливості ТЗ, а також багато аспектів. Матеріали, технологія виробництва, ергономіка та компоновання, технічні рішення та технічний стан, а також випробування та контроль якості – це деякі з аспектів. Згідно з думкою авторів в роботі [7], з точки зору технічних рішень, проектування ефективних систем безпеки (гальмівних систем та систем контролю стійкості) впливає на загальну безпеку ТЗ та надійність елементів. Автори підкреслюють системний характер надійності ТЗ, завдяки якому конструктивні параметри окремих компонентів є основними факторами, що визначають надійність експлуатації та стабільність роботи в реальних умовах навантаження.

В дослідженні [8] проведено аналіз комплексних заходів БДР (активних, пасивних, після аварійних та екологічних заходів) в контексті гальмівних систем. На думку авторів ефективність гальмівної системи безпосередньо впливає на реалізацію активної безпеки, так як вона визначає здатність автомобіля передчасно знижувати швидкість та уникати небезпечних ситуацій в умовах експлуатації, що є критично важливим для запобігання аварій. Авторами наголошується на обов'язковому проведенні діагностики та оцінки технічного стану гальмівних механізмів, що вказує на взаємозалежність між несправністю або зниженням їхньої ефективності у співвідношенні з негативним впливом на уповільнення, стійкість автомобіля під час маневрування та загальну БДР.

Автором в роботі [9] доведено, що існує взаємозалежність між характером відмови гальмівної системи та її конструктивною схемою, умовами експлуатації та ступенем зносу. На думку авторів існує необхідність у встановленні причинного зв'язку між технічною несправністю та механізмом розвитку ДТП.

Дослідження [10] має на меті довести, що інтеграція просторової аналітики може застосовуватися для отримання структурованої інформації про дорожню мережу або інфраструктурні об'єкти. Це особливо важливо для планування безпечних і ефективних транспортних процесів.

В роботах [11-12] проведено імітаційне моделювання процесу гальмування при несправності антиблокувальної системи (ABS) або втраті гальмівної сили на одному колесі. Автором встановлено, що подібна несправність призводить до зміни динаміки уповільнення, подовження гальмівного шляху та зростання енергії зіткнення. Також зазначено, що в умовах зростання інтенсивності руху та кількості ТЗ ефективність функціонування гальмівної системи є критичним чинником активної безпеки.

В окремих дослідженнях увага зосереджена на оцінці впливу стабільності характеристик гальмівних

механізмів на процес гальмування транспортних засобів, що є важливим з точки зору магістральних перевезень та безпеки дорожнього руху. В роботі [13] розглянуто варіації коефіцієнта тертя фрикційних пар, що формують гальмівні механізми з впливом на розподіл гальмівних сил і стійкість ТЗ. Результати свідчать про зміни коефіцієнта тертя (в межах 8-20%), які здатні викликати значні коливання гальмівного моменту (20-30 %). Значна нерівномірність гальмівних сил між осями може призвести до втрати курсової стійкості та занесення ТЗ.

Формулювання цілей статті

Мета дослідження передбачає собою визначення конструктивних параметрів, що формують ефективність, стабільність і надійність процесу гальмування при підвищених швидкісних і масових навантаженнях. Завданням дослідження є:

- проаналізувати сучасний стан гальмівних систем у забезпеченні безпеки транспортних засобів.
- визначити конструктивні параметри гальмівних систем, що впливають на ефективність гальмування.
- дослідити особливості функціонування дискових і барабанних гальмівних механізмів у режимах, характерних для магістральних перевезень.
- встановити причинно-наслідковий зв'язок між конструктивними характеристиками гальмівної системи та показниками безпеки руху (гальмівний шлях, максимальне уповільнення, курсова стійкість, стійкість до перегріву).
- узагальнити вплив технічного стану та конструктивної надійності гальмівної системи на ризик виникнення аварійних ситуацій під час магістрального руху.

Об'єктом дослідження є процес гальмування транспортних засобів під час виконання магістральних перевезень в умовах високих швидкостей, значних навантажень та тривалих режимів експлуатації.

Предметом дослідження є конструктивні особливості гальмівних систем транспортних засобів (тип гальмівних механізмів, матеріали фрикційних пар, схема приводу та розподілу гальмівних сил, інтеграція електронних систем керування) та їх вплив на показники безпеки дорожнього руху.

Методологія дослідження

Дослідження базується на аналітичному огляді сучасних наукових публікацій, порівняльній оцінці механізмів дискових і барабанних гальм, систематизації конструктивних параметрів (тип механізму, фрикційні матеріали, схема розподілу зусиль, тип приводу, інтеграція з системами ABS, EBS, ESC) та концептуальному моделюванні їх впливу на динаміку гальмування та стійкість автомобіля.

Наукова новизна. Запропоновано комплексну модель оцінки безпеки гальмівних систем з інтеграцією структурних, теплових та динамічних факторів.

Практична цінність. Представлені результати можуть застосовуватися при проектуванні, виборі, діагностиці та експлуатаційному контролі гальмівних систем для важких транспортних засобів.

Виклад основного матеріалу

Функціонування гальмівної системи супроводжується перетворенням кінетичної енергії руху в теплову за допомогою тертя між рухомими та нерухомими компонентами. Формула 1 є основою теплового навантаження, де показано зростання енергії пропорційно квадрату швидкості.

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \quad (1)$$

де m – маса ТЗ, (кг); v – швидкість (м/с)

Теплове навантаження впливає на тепловий режим роботи гальмівної системи. Це пояснюється нагріванням робочих елементів. В разі, якщо конструкція не забезпечує достатнє відведення тепла це може вплинути на зниження коефіцієнта тертя. Відповідно зростає ймовірність часткової втрати ефективності гальмування.

Гальмівний момент у формулі (2) характеризує тертя між рухомим та нерухомим компонентами

$$M_b = F_f \times r \quad (2)$$

де F_f – сила тертя, визначається за формулою (3); r – ефективний радіус диска або барабана.

$$F_f = \mu \times N \quad (3)$$

де μ – коефіцієнт тертя; N – нормальна сила притискання.

Тоді за формулою (4) можна визначити матеріал накладок (через μ), тип гальмівного механізму (через r) та конструкцію супорта (через N):

$$M_b = \mu \times N \times r \quad (4)$$

До сучасних ТЗ найбільш застосованими є дискові (ДГ) та барабанні гальма (БГ). Ці гальма відрізняються за своєю конструкцією, принципом тепловідведення, стабільністю характеристик і сферою застосування. За принципом дії гальмівні механізми унеможливають обертання коліс зі зменшенням швидкості ТЗ.

Механізм ДГ складається з гальмівного диска, супорта та гальмівних колодок. В момент натискання на педаль гальма гідравлічний тиск передається до супорта, який притискає колодки до обертового диска. В результаті чого створюється сила тертя, що впливає на сповільнення обертання колісної пари. Для ДГ характерними є відкрита архітектура (ефективне охолодження повітрям), рівномірний контакт колодок з диском і менша схильність до накопичення пилу чи вологи. Використання ДГ супроводжується:

- високою тепловою стабільністю;

- зводить до мінімуму явище згасання гальма (втрата ефективності через перегрів);
- кращою модуляцією гальмівного зусилля;
- ефективністю при інтенсивному гальмуванні.

Механізм БГ складається з гальмівного барабану, колодки з накладками, розпірного механізму, а також пружини повернення. В момент гальмування колодки розтискаються зсередини, де притискаються до внутрішньої поверхні барабана. Для БГ характерними є закрита система з захистом від зовнішнього середовища, самостійно підсилювальний ефект та компактність інтеграції зі стоянковим гальмом. Використання БГ супроводжується:

- низькою собівартістю;
- довшим ресурсом накладок;
- кращою інтеграцію ручного гальма;
- меншою чутливістю до корозії зовнішніх поверхонь.

Проведемо технічний аналіз впливу гальмівних механізмів на БДР. Прогнозована довжина гальмівного шляху (S), стабільність курсової стійкості, ефективна взаємодія з ABS та системами курсової стабілізації забезпечує справність гальмівних механізмів. Гальмівний шлях (S) визначається за формулою (5):

$$S = \frac{v^2}{2\mu g} \quad (5)$$

де v – швидкість в момент гальмування ТЗ (м/с); μ – коефіцієнт тертя (зчеплення) шин з дорогою; g – прискорення вільного падіння ($9,8 \text{ м/с}^2$).

Справність гальмівних механізмів забезпечується завдяки прогнозованій довжині гальмівного шляху, стабільності курсової стійкості та ефективній взаємодії з ABS та системами курсової стабілізації. Деформація диску або знос барабана може слугувати в якості основної передумови виникнення аварійних ситуацій. Це обумовлюється збільшенням гальмівного шляху, нерівномірним розподілом гальмівного зусилля та підвищенням ризиком втрати керованості. При МП ТЗ рухаються з високою швидкістю та значною масою, де теплове навантаження на гальмівну систему стає критичним. На нашу думку перевагу можна більше надати дисковим системам з покращеним охолодженням.

Справність та деформацію гальмівних механізмів (дискові та барабанні гальма), що безпосередньо впливає на безпеку руху показано на рис. 1.

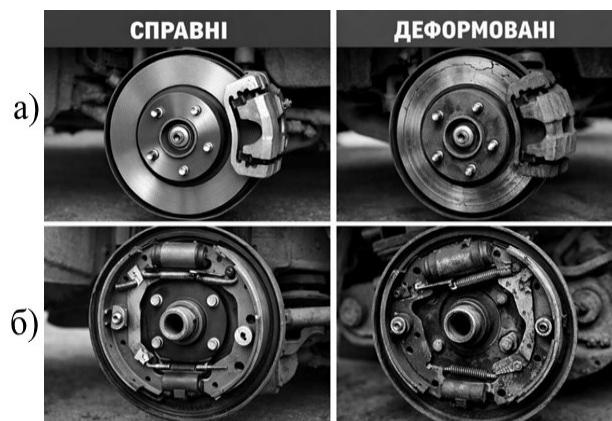


Рис. 1 Порівняння гальмівних механізмів (дискові та барабанні гальма) на справність та деформацію.

На рис. 1 (а) зображено справні та деформовані ДГ. Справні ДГ має рівномірну, гладку робочу поверхню без слідів від перегріву, з відсутністю слідів корозії. Знос рівномірний, радіальне биття відсутнє, тепловідведення ефективне. При деформованому стані робоча поверхня диска містить слідки корозії та нерівномірного зносу. Потемніння металу свідчить про перегрів, ознаки забруднення та окиснення. Дефекти спричинені радіальним биттям диска, термічною деформацією та зниженням коефіцієнта тертя.

На рис. 1 (б) зображено справні та деформовані БГ. При справному стані гальмівні колодки мають рівномірний знос, пружини та механізм регулювання чисті та функціональні, відсутні слідки корозії на внутрішніх компонентах. Технічна оцінка вказує на нормальний контакт накладок з барабаном, стабільний самостійно підсилювальний ефект та прогнозований гальмівний момент. Деформований стан супроводжується корозією металевих елементів, нерівномірним зносом накладок та деформованими пружинами. В результаті чого можливе виникнення нерівномірного гальмівного зусилля з підвищенням гальмівного шляху та заклинювання механізму.

На рис. 2 показано порівняльний аналіз впливу технічного стану гальмівної системи на безпеку руху під час МП.



Рис. 2. Вплив технічного стану гальмівної системи на БДР під час МП при справному та несправному гальмуванні

Ліворуч зображено експлуатацію ТЗ зі справними гальмами, а праворуч наслідки деформації або відмови гальмівного механізму. При справному механізмі гальмування вантажні автомобілі рухаються по магістралі з дотриманням дистанції та смугової дисципліни. Безпечний режим супроводжується стабільним зниженням швидкості при гальмуванні, відсутністю різких маневрів, збереженням курсової стійкості, контрольованою зупинкою без заносу. Справні гальмівні механізми забезпечують:

- рівномірний розподіл гальмівного зусилля між осями;
- ефективне тепловідведення;
- прогнозований гальмівний шлях.

Праворуч показано випадок з деформацією або несправністю гальма. Технічними причинами можуть бути:

- термічна деформація гальмівного диска;
- перегрів або втрата коефіцієнта тертя;
- збільшення гальмівного шляху;
- нерівномірне гальмівне зусилля між колесами;
- часткова або повна відмова гальмівного механізму.

Деформація гальмівного диска або барабана може призвести до радіального биття, нерівномірного притискання колодок, перегріву або термічного розширення, а також втрати стабільності. Для важкого ТЗ мінімальне зниження коефіцієнта тертя при швидкості 90 -10 км/год може призвести до суттєвого збільшення дистанції зупинки.

За допомогою рис. 2 проаналізувавши обидва змодельовані сценарії можна встановити причинно-наслідковий зв'язок між технічним станом гальмівної системи та рівнем БДР. Загальна схема причинно-наслідкового зв'язку показано на рис. 3.



Рис. 3. Загальна схема причинно-наслідкового зв'язку між конструктивними особливостями гальмівної системи та безпекою руху

На схемі представлено системний підхід конструкцій гальмівної системи. Схематично показано залежність формування гальмівного зусилля, динаміки уповільнення та стабільність руху з впливом на рівень безпеки МП. На нашу думку будь-які конструктивні недоліки або деформації гальм безпосередньо впливають на безпеку МП. Це наголошується на необхідності комплексного контролю та оптимізації гальмівних систем, які використовуються для важких ТЗ. Вплив конструктивних параметрів гальмівної системи на показники безпеки руху показано в табл. 1.

Таблиця 1

Вплив конструктивних особливостей гальмівних систем на показники безпеки руху при магістральних перевезеннях

Конструктивні параметри	Технічний прояв	Вплив експлуатаційні на параметри	Вплив на показники безпеки
Тип гальмівного механізму (дисковий або барабанний)	Рівень тепловідведення, стабільність коефіцієнта тертя	Стабільність уповільнення при багаторазовому гальмуванні	Раптове зменшення або збільшення гальмівного шляху, ризик згасання гальм (fading)
Конструкція та матеріал фрикційних елементів	Зносостійкість, теплопровідність	Збереження гальмівної ефективності при навантаженні	Передбачуваність гальмування, зниження аварійності
Схема розподілу гальмівних сил між осями	Балансування гальмівних моментів	Рівномірність уповільнення, уникнення перевантаження осей	Стійкість курсування, зменшення ризику зносу
Тип приводу (пневматичний або комбінований)	Час спрацювання системи	Швидкість формування гальмівного зусилля	Скорочення часу реакції ТЗ
Наявність ABS, EBS, систем стабілізації	Електронне регулювання тиску	Запобігання блокуванню коліс	Збереження керованості при екстремому гальмуванні
Ефективність тепловідведення	Температурний режим гальм	Стійкість до згасання гальм	Запобігання втраті гальмівної здатності на спусках

Ефективність гальмівної системи ТЗ в умовах МП визначається її здатністю забезпечувати стабільне, передбачуване та достатнє уповільнення при високих швидкостях і значній повній масі. З врахуванням таких умов кінетична енергія ТЗ зростає пропорційно квадрату швидкості, що значною мірою підвищує навантаження на гальмівні механізми та потребує жорстких вимог щодо їхнього конструктивного виконання. Саме тому конструкція гальмівної системи містить системний вплив на показники БДР.

Типи гальмівного механізму визначає характер формування гальмівного моменту та стабільність його збереження в момент багаторазового гальмування. ДГ забезпечують більш стабільний коефіцієнт тертя і меншу схильність до теплового згасання. БГ в умовах інтенсивного нагрівання демонструють зниження ефективності зі збільшенням гальмівного шляху.

Стабільність гальмування є залежним від властивостей фрикційних матеріалів. Коефіцієнт тертя змінюється під впливом температури, контактного тиску та швидкості ковзання, що відображається на величині гальмівного моменту.

Стабільність руху впливає на забезпечення конструктивної схеми розподілу гальмівних сил. Іншими словами, коли під час уповільнення відбувається перерозподіл навантаження на осі це впливає на корекцію гальмівного моменту (M_b). Якщо присутня невідповідність між фактичним навантаженням та величиною прикладених гальмівних сил це може призвести до блокування коліс.

На БДР також впливає час формування гальмівного зусилля. При магістральному русі ТЗ незначна затримка спрацювання приводу перетворюється в додаткові метри шляху зупинки. На швидкість реагування ТЗ на зміну дорожньої ситуації може вплинути швидкодія пневматичних або електропневматичних систем.

Рис. 4 демонструє собоюзагальнену схему гальмівної системи.

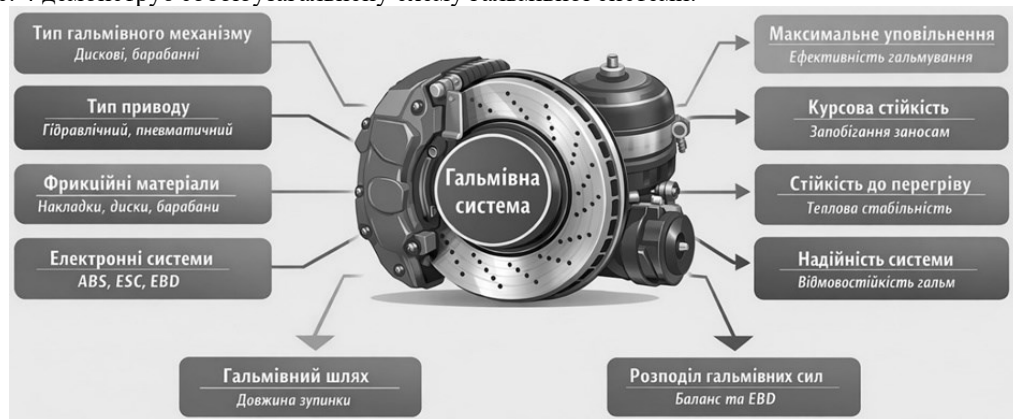


Рис. 4. Узагальнена схема гальмівної системи

Основні критерії, які відповідають за безпеку руху з врахуванням конструктивних особливостей гальмівних систем наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Основні критерії безпеки руху з врахуванням конструктивних особливостей гальмівних систем

Критерії безпеки	Конструктивний фактор	Вплив на безпеку руху
Максимальне уповільнення	Тип гальмівного механізму (дисковий або барабанний), площа фрикційного контакту, матеріал накладок, діаметр диску або барабану	Визначає здатність ТЗ швидко реагувати на зниження швидкості, що є критичним для запобігання аваріям
Гальмівний шлях	Сила гальмівного моменту, швидкість реакції приводу	Інтегральний показник ефективності гальмування, довший шлях підвищує ризик зіткнення
Час реакції системи	Тип приводу, наявність підсилювача, електронні асистенти	Впливає на своєчасність уповільнення та можливість уникнення ДТП
Курсова стійкість	Симетричність гальмівних сил, робота регуляторів, інтеграція з ABS та ESC.	Запобігає заносу та втраті контролю над транспортним засобом під час гальмування
Стійкість до перегріву	Вентиляція дисків, матеріали фрикційних елементів	Забезпечує стабільність гальмівного моменту під час тривалого або інтенсивного гальмування
Рівномірність розподілу сил	Регулятори тиску, електронний розподіл EBD	Забезпечує баланс між осями та колесами, запобігає блокуванню коліс
Надійність та відмовостійкість	Двоконтурна схема, резервні джерела, самодіагностика	Зменшує ризик повної втрати гальмування та аварійних ситуацій
Стійкість до зношування	Матеріали колодок, антикорозійний захист, конструкція механізмів	Зберігає характеристики гальмування протягом експлуатації
Сумісність з активними системами безпеки	ABS, ESC, AEB тощо	Підвищує керованість та ефективність гальмування в критичних ситуаціях
Розсіювання кінетичної енергії	Маса та геометрія гальмівних елементів	Впливає на здатність гальмівної системи поглинати енергію під час гальмування та зменшує наслідки зіткнень

Як видно з табл. 2, конструктивні параметри гальмівної системи формують комплекс експлуатаційних показників безпеки руху. Сукупність зазначених факторів впливає на:

- максимальне уповільнення;
- довжину гальмівного шляху;
- курсову стійкість;
- здатність транспортного засобу зберігати керованість в критичних умовах, що в підсумку визначає загальний рівень БДР.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В результаті проведеного дослідження визначено та охарактеризовано конструктивні параметри гальмівних систем, що формують ефективність, стабільність та надійність процесу гальмування при підвищених швидкостях і масових навантаженнях. Отримані результати змодельованих сценаріїв дозволили встановити причинно-наслідковий зв'язок між технічним станом гальмівної системи та рівнем БДР

На основі аналізу наукових джерел, порівняння дискових та барабанних гальмівних механізмів, а також узагальненні технічних і експлуатаційних характеристик встановлено системний причинно-наслідковий зв'язок між конструкцією гальмівної системи та рівнем безпеки руху.

Доведено, що тип гальмівного механізму, матеріали фрикційних елементів, ефективність тепловідведення, схема розподілу гальмівних сил, швидкодія приводу та інтеграція електронних систем (ABS, EBS, ESC) безпосередньо впливають на максимальне уповільнення, довжину гальмівного шляху, курсову стійкість і керованість транспортного засобу. В умовах магістрального руху, що характеризуються високими швидкостями та значною повною масою автопоїздів, вирішальне значення має теплова стабільність гальмівних механізмів і здатність системи забезпечувати прогнозоване гальмування при тривалих навантаженнях.

В ході аналізу ми помітили, що навіть незначні конструктивні відхилення або зниження стабільності коефіцієнта тертя можуть призводити до:

- суттєвого збільшення гальмівного шляху;
- нерівномірності розподілу гальмівних сил;
- втрати курсової стійкості, що підвищує ризик виникнення ДТП.

Результати дослідження є підтвердженням необхідності в проведенні комплексного підходу до проектування, вибору та експлуатаційного контролю гальмівних систем ТЗ. Перспективою подальших досліджень є кількісне моделювання впливу окремих конструктивних параметрів на зміну динамічних

показників гальмування з урахуванням реальних експлуатаційних режимів.

Література

1. Kowalski S. Simulation of the Influence of Braking System Damage on Vehicle Driving Safety. 2026. *Eng.* Vol. 7, Issue 1. P. 1-23. <https://doi.org/10.3390/eng7010016>
2. Гащук Л. П., Гащук П. М., Домінік А. М., Сичевський М. І. ЕНЕРГООЩАДНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ CRUISE-КЕРУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНОЮ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНОЮ ТЕХНІКОЮ. *Пожезна безпека*. 2022. № 40. С. 40-54. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.40.2022.05>
3. Wang F., Lu Y., Li H. Heavy-Duty Vehicle Braking Stability Control and HIL Verification for Improving Traffic Safety. *Journal of Advanced Transportation*. 2022. Vol. 1. P. 1-27. <https://doi.org/10.1155/2022/5680599>
4. Кашканов А. А., Кав'юк В. В., Кашканова Г. Г., Борисюк Д. В. Аналітичний метод визначення шляху екстреної зупинки колісної машини з урахуванням впливу конструкції гальма. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2023. №1 (75). С. 82-89. <https://doi.org/10.30748/zhups.2023.75.12>
5. Mladenovic S., Stefanovic S., Gosic A. VEHICLE BRAKE SYSTEM DIAGNOSTICS. *KNOWLEDGE - International Journal*. 2021. 49(3). 551–557. URL: <https://ojs.ikm.mk/index.php/kij/article/view/4798>
6. Yeganov O. Yu., Dumenko K. M., Bandura V. M. FEATURES OF ENSURING THE SAFETY OF TECHNICAL EQUIPMENT OPERATION IN MOTOR TRANSPORT: THE IMPACT OF TECHNICAL MECHANICS ON THE EFFICIENCY OF TRANSPORTATION VEHICLES. *Science and Technology Today*. 2025. №7(48). P. 1480-1490. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-7\(48\)-1480-1490](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-7(48)-1480-1490)
7. Хітров І. О. Дослідження впливу конструктивної надійності і безпечності транспортного засобу для здійснення перевезень та пристосованості до технічного обслуговування. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр.* 2023. Вип. 8(39). Ч. 2. С. 214-222. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).2.214-222](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).2.214-222)
8. Кашканов А. А., Ліпчанчук В. І. Гальмівна система як частина загальної конструкційної концепції безпеки автомобіля. *Conference: «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)»*. 2024. С. 1-3. URL: https://www.researchgate.net/publication/382497651_GALMIVNA_SISTEMA_AK_CASTINA_ZAGALNOI_KONSTRU_KCIJNOI_KONCEPCIJ_BEZPEKI_AVTOMOBILA
9. Кошкарів А. Визначення технічних несправностей гальмівної системи транспортного засобу під час аналізу дорожньо-транспортних пригод. *Теорія та практика судової експертизи та криміналістики*. 2022. №27 (2). С. 120-130. <https://doi.org/10.32353/khrife.2.2022.09>
10. Tryhuba A., Glowacki S., Zachko O., Tryhuba I., Slobodian S., Demchyna V., Horetska I., Hutsol T. System Model for Spatial Data Collection in Post-War Transport Infrastructure Planning. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, Issue 17. P. 1-25. <https://doi.org/10.3390/su17177676>
11. Aleksandrowicz P. The impact of a vehicle braking system state on safe driving. Part one. *17th International Conference Diagnostics of Machines and Vehicles. MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 182. P. 1-5. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201818201025>
12. Aleksandrowicz P. The impact of a vehicle braking system state on safe driving. Part two. In *AIP Conference Proceedings*. 2019. Vol. 2077, Issue 1. P. 1-7. <https://doi.org/10.1063/1.5091862>
13. Волков В. П., Грицук І. В., Кужель В. П., Волкова Т. В., Плехова Г. А., Семенов Є. О. Оцінка впливу стабільності характеристик гальмівних механізмів на процес гальмування транспортних засобів. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2022. №15(1). С. 34-43. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2022-15-1-34-43>

References

1. Kowalski, S. Simulation of the Influence of Braking System Damage on Vehicle Driving Safety. 2026. *Eng.* 7(1). P. 1-23. <https://doi.org/10.3390/eng7010016>
2. Hashchuk, L. P., Hashchuk, P. M., Dominik, A. M., Sychevskiy, M. I. ENERHOOSHchADNI ASPEKTY ZASTOSUVANNIA CRUISE-KERUVANNIA AVTOMOBILNOIU AVARIINO-RIATUVALNOIU TEKhNIKOIU. *Pozhezhna bezpeka*. 2022. № 40. S. 40-54. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.40.2022.05>
3. Wang, F., Lu, Y., & Li, H. Heavy-Duty Vehicle Braking Stability Control and HIL Verification for Improving Traffic Safety. *Journal of Advanced Transportation*. 2022. (1). 1-27. <https://doi.org/10.1155/2022/5680599>
4. Kashkanov, A. A., Kaviuk, V. V., Kashkanova, H. H., Borysiuk, D. V. Analitichnyi metod vyznachennia shliakhu ekstrenoi zupynky kolisnoi mashyny z urakhuvanniam vplyvu konstrukttsii halma. *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho natsionalnoho universytetu Povitrianykh Syl*. 2023. №1 (75). С. 82-89. <https://doi.org/10.30748/zhups.2023.75.12>
5. Mladenovic, S., Stefanovic, S., & Gosic, A. VEHICLE BRAKE SYSTEM DIAGNOSTICS. *KNOWLEDGE - International Journal*. 2021. 49(3). 551–557. URL: <https://ojs.ikm.mk/index.php/kij/article/view/4798>
6. Yeganov O. Yu., Dumenko K. M., Bandura V. M. FEATURES OF ENSURING THE SAFETY OF TECHNICAL EQUIPMENT OPERATION IN MOTOR TRANSPORT: THE IMPACT OF TECHNICAL MECHANICS ON THE EFFICIENCY OF TRANSPORTATION VEHICLES. *Science and Technology Today*. 2025. 7(48). P. 1480-1490. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-7\(48\)-1480-1490](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-7(48)-1480-1490)
7. Khitrov, I. O. Doslidzhennia vplyvu konstruktivnoi nadiinosti i bezpechnosti transportnoho zasobu dlia zdiisnennia perevezen ta prystosovanosti do tekhnichnoho obsluhovuvannia. *Tsentrálnoukraiynskiyi naukovy visnyk. Tekhnichni nauky : zb. nauk. pr.* 2023. Vyp. 8(39). Ch. 2. S. 214-222. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).2.214-222](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).2.214-222)
8. Kashkanov, A. A., Lipchanchuk, V. I. Halmivna systema yak chastyna zahalnoi konstrukttsiinoi kontseptsii bezpeky avtomobilia. *Conference: «Molod v nautsi: doslidzhennia, problemy, perspektyvy (MN-2024)»*. 2024. S. 1-3. URL: https://www.researchgate.net/publication/382497651_GALMIVNA_SISTEMA_AK_CASTINA_ZAGALNOI_KONSTRUKCIJNOI_KONCEPCIJ

BEZPEKI AVTOMOBILA

9. Koshkarov, A. Vyznachennia tekhnichnykh nespravnosti halmivnoi systemy transportnoho zasobu pid chas analizu dorozhno-transportnykh pryhod. *Teoriia ta praktyka sudovoi ekspertyzy ta kryminalistyky*. 2022. №27 (2). S. 120-130. <https://doi.org/10.32353/khrife.2.2022.09>
10. Tryhuba, A., Glowacki, S., Zachko, O., Tryhuba, I., Slobodian, S., Demchyna, V., Horetska, I., & Hutsol, T. System Model for Spatial Data Collection in Post-War Transport Infrastructure Planning. *Sustainability*. 2025. 17(17). P. 1-25. <https://doi.org/10.3390/su17177676>
11. Aleksandrowicz, P. The impact of a vehicle braking system state on safe driving. Part one. *17th International Conference Diagnostics of Machines and Vehicles. MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 182. P. 1-5. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201818201025>
12. Aleksandrowicz, P. The impact of a vehicle braking system state on safe driving. Part two. In *AIP Conference Proceedings*. 2019. 2077(1). P. 1-7. <https://doi.org/10.1063/1.5091862>
13. Volkov, V. P., Hrytsuk, I. V., Kuzhel, V. P., Volkova, T. V., Pliekhova, H. A., Semenov, Ye. O. Otsinka vplyvu stabilnosti kharakterystyk halmivnykh mekhanizmiv na protses halmuvannia transportnykh zasobiv. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu*. 2022. №15(1). C. 34-43. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2022-15-1-34-43>