

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

МР.АТ- 69.00.00.000 ПЗ

Група АТм-24-1

Саварин Микола

2025

Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу Міністерства освіти і науки України
Інститут інженерної механіки та робототехніки
Кафедра автомобільного транспорту

Саварин Микола Миколайович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 629.113.005
(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Тема: Підвищення ефективності показників процесів
гальмування легкових автомобілів в умовах станції технічного
обслуговування
(назва роботи)

Автомобільний транспорт
(назва освітньої програми)

274-Автомобільний транспорт
(шифр і назва спеціальності)

М.М. Саварин
(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Гнип Марія Михайлівна, д.ф., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

Криштопа С.І.
(підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Інститут інженерної механіки

Кафедра автомобільного транспорту

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Спеціальність: 274“Автомобільний транспорт”

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри АТ

Проф. _____ С.І. Криштопа

“ ___ ” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

Студенту _____ Саварину Миколі Миколайовичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності показників процесів гальмування легкових автомобілів в умовах станції технічного обслуговування.

керівник роботи _____ Гнип М.М., д.ф., доцент
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ___ ” листопада 2025 року № _____

2. Строк подання студентом роботи _____ 18.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

Вступ. 4.1 Огляд літературних джерел 4.1.1 Типи гальм. 4.1.2 Будова барабанного гальмівного механізму 4.1.3 Конструкція дискового гальмівного механізму 4.1.4

Електронне стоянкове гальмо 4.1.5 Дослідження ефективності раптового гальмування автомобіля 4.2 Експериментальне дослідження 4.2.1 Обладнання та методика

експериментального дослідження 4.2.2 Експериментальне дослідження визначення ефективності гальм 4.3 Чисельний метод дослідження 4.3.1. Теплові розрахунки в

середовищі SOLIDWORKS 4.4 Охорона праці 4.4.1 Техніка безпеки під час заміни гальмівних колодок 4.5 Висновки. 4.6 Перелік посилань на джерела. 4.7 Додатки .

5. Перелік графічного матеріалу

5.1 презентаційні плакати в PowerPoint.

Консультанти по магістерській роботі із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Нормоконтроль	доц. Прунько І.Б.		

7. Дата видачі завдання 03.11.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. 4.1 Огляд літературних джерел 4.1.1 Типи гальм. 4.1.2 Будова барабанного гальмівного механізму 4.1.3 Конструкція дискового гальмівного механізму	17.11.2025 р.	
2	4.1.4 Електронне стоянкове гальмо 4.1.5 Дослідження ефективності раптового гальмування автомобіля	21.11.2025 р.	
3	4.2 Експериментальне дослідження 4.2.1 Обладнання та методика експериментального дослідження 4.2.2 Експериментальне дослідження визначення ефективності гальм	22.11.2025 р.	
4	4.3 Чисельний метод дослідження 4.3.1. Теплові розрахунки в середовищі SOLIDWORKS	29.11.2025 р.	
5	4.4 Охорона праці 4.4.1 Техніка безпеки під час заміни гальмівних колодок	12.12.2025 р.	
6	Висновки. Список використаних джерел. Додатки. Оформлення записки. Нормоконтроль.	18.12.2025 р.	
7	Готовність роботи до попереднього захисту.	18.12.2025 р.	

Студент _____ Саварин М.М.
(Особистий підпис) (Розшифровка підпису)

Керівник _____ Гнип М.М.
(Особистий підпис) (Розшифровка підпису)

АНОТАЦІЯ

Гальмівна система є однією з найважливіших систем, що допомагають забезпечити безпеку дорожнього руху. У роботі досліджувалася ефективність гальм. Гальмівна сила вимірювалася за однакових умов, але для різних компонентів гальмівної системи. Гальмівні колодки замінювалися зі зношених на нові. Нові колодки були різними, одні були дешевими (економ-клас), а інші – дорожчими (високий клас).

Чисельне випробування проводилося за допомогою програми SolidWorks. Було змодельовано два гальмівні диски та порівняно їх тепловий аналіз. Також за допомогою цієї програми було розраховано робочі зони гальмівних колодок. Порівняно результати експериментальних та числових випробувань. Після дослідження представлено висновки та літературні джерела.

Ключові слова: гальмівна система, колодки, ефективність, тепловий аналіз.

ABSTRACT

The brake system is one of the most important systems that help ensure road safety. The work investigated the efficiency of brakes. The braking force was measured under the same conditions, but for different components of the brake system. The brake pads were replaced from worn to new ones. The new pads were different, some were cheap (economy class), and others were more expensive (high class).

Numerical testing was carried out using the SolidWorks program. Two brake discs were modeled and their thermal analysis was compared. Also, using this program, the working areas of the brake pads were calculated. The results of experimental and numerical tests were compared. After the study, conclusions and literature sources are presented.

Keywords: brake system, pads, efficiency, thermal analysis.

ВСТУП.....	
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	
1.1 Типи гальмівних механізмів.....	
1.2 Будова барабанного гальмівного механізму	
1.3 Конструкція дискового гальмівного механізму	
1.4 Електронне стоянкове гальмо	
1.5 Дослідження ефективності раптового гальмування автомобіля	
1.6 Матеріали, що використовуються для виготовлення гальмівних колодок ...	
2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ	
2.1 Обладнання та методика експериментального дослідження	
2.2 Експериментальне дослідження визначення ефективності гальм	
3 ЧИСЕЛЬНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ	
3.1. Теплові розрахунки в середовищі SOLIDWORKS	
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	
4.1 Техніка безпеки під час заміни гальмівних колодок.....	
ВИСНОВКИ.....	
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	
ДОДАТКИ	

					MP.ATM-69.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата	Підвищення ефективності показників процесів гальмування легкових автомобілів в умовах станції технічного обслуговування	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Саварин М.М.					6	
Перевір.		Гнип М.М.						
Реценз.								
Н. контр.		Прунько І.Б.						
Затверд.		Криштопа С.І.			ІФНТУНГ, АТМ-24-1			

ВСТУП

Актуальність.

Забезпечення безпеки автомобілів вважається найважливішим аспектом експлуатації транспортних засобів. Під час технічного огляду автомобілів перевіряється безпека руху автомобіля на дорозі, щоб він не становив небезпеки для водія та оточуючих. Одним з аспектів, що перевіряються, є перевірка гальм, під час якої визначається нерівність та сила гальмування. Автомобілі мають різні системи безпеки, які можуть бути активними або пасивними. Активні системи безпеки допомагають уникнути дорожньо-транспортної пригоди (ABS, ESP тощо), тоді як пасивні захищають пасажирів транспортного засобу після того, як дорожньо-транспортна пригода вже сталася (ремені безпеки, подушки безпеки тощо). Мабуть, найважливішим аспектом забезпечення безпеки транспортного засобу є гальмівна система.

Проблема дослідження. Одним з найпоширеніших дефектів гальмівної системи транспортних засобів є тріщини гальмівних дисків, окислення робочих поверхонь або поява канавок. Все це впливає на знос гальмівних колодок, що призводить до перегріву гальмівних дисків та перерахованих раніше дефектів гальмівних дисків.

Щоб уникнути цих дефектів, необхідне технічне обслуговування гальмівної системи. Одним з найважливіших факторів є своєчасна заміна гальмівних дисків та колодок.

Мета роботи - дослідити ефективність гальмівної системи в однакових умовах з різними компонентами.

Завдання дослідження:

- провести огляд літератури, пов'язаної з властивостями гальмівної системи та гальмівних дисків;
- визначити ефективність гальмування з різними колодками під час експериментального дослідження;

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- провести числовий експеримент у середовищі SolidWorks;
- порівняти результати експериментальних досліджень та числових випробувань.

Об'єкт дослідження – гальмівна система легкових автомобілів.

Предмет дослідження – показники ефективності процесу гальмування легкових автомобілів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:

1. Проведено температурний аналіз компонентів гальмівної системи.
2. Обґрунтовано як залежить ефективність гальм легкових автомобілів від робочої площі колодок

Наукова новизна. Досліджено залежність показників ефективності гальм легкових автомобілів від робочої площі колодок.

Методи дослідження. Під час експериментального дослідження автомобіль гальмується у двох різних режимах. Коли автомобіль гальмує в нормальному режимі та інтенсивному режимі, гальмівна сила вимірюється за допомогою гальмівного стенду. Температуру вимірюють безконтактним інфрачервоним термометром. Узагальнені результати, отримані під час експериментального дослідження, представлені у висновках.

Особистий внесок автора. Автором визначено основні завдання роботи, обрано та опановано методи їх вирішення, підбрано та опрацьовано літературні джерела, здійснено аналіз і теоретичне обґрунтування зібраного матеріалу.

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Типи гальмівних механізмів

За призначенням гальма бувають: робочі, стоянкові, допоміжні, сповільнювані та інерційні.

Часто ці гальма мають ті самі елементи, однак працюють незалежно одне від одного.

Робоче гальмо призначене для зниження швидкості рухомого транспортного засобу до потрібної інтенсивності, доки транспортний засіб повністю не зупиниться. Воно керується педаллю, зусилля керування якою має бути невеликим, а час реагування коротким.

Стоянкове гальмо призначене для утримання транспортного засобу нерухомим на схилі, для захисту нерухомого транспортного засобу від скочування. У разі відмови робочого гальма стоянкове гальмо повинно виконувати функцію допоміжного гальма. Найчастіше воно керується ручним важелем.

Допоміжне гальмо призначене для гальмування рухомого транспортного засобу при відмові робочого гальма. Його гальмівна ефективність нижча, ніж у робочого гальма, але воно може бути використане для зупинки транспортного засобу, якщо робоче гальмо виходить з ладу. Якщо транспортний засіб не має допоміжного гальма, його функції може виконувати робоча частина контуру робочого гальма або стоянкове гальмо.

Гальма-сповільнювачі призначені для гальмування під час руху на довгих ділянках спуску (ухил 7%, довжина 6 км). Ці гальма повинні підтримувати постійну швидкість 30 км/год. Гальма встановлюються на автобусах з допустимою повною масою понад 5,5 тонн та інших транспортних засобах з допустимою повною масою понад 9 тонн.

Інерційне гальмо призначене для зупинки легких причепів, коли вони під впливом сил інерції починають штовхати транспортний засіб,

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що гальмується. Чим більше причіп штовхає транспортний засіб, тим інтенсивніше він гальмує. Інерційні гальма можуть встановлюватися лише на причепах із допустимою загальною масою транспортного засобу, що не перевищує 8 тонн [1].

У транспортних засобах використовуються різні гальмівні приводи. Вони можуть бути механічними, гідравлічними, пневматичними, електричними та комбінованими. У легкових автомобілях найчастіше використовуються два типи гальмівних приводів: механічні та гідравлічні.

Кожна гальмівна система складається з гальмівного механізму та приводу. Гальмівний механізм зупиняє колеса, а привід з'єднує педаль керування або важіль з гальмівним механізмом.

Гальмівні механізми в легкових автомобілях зазвичай барабанні та дискові (Рисунок 1.1).

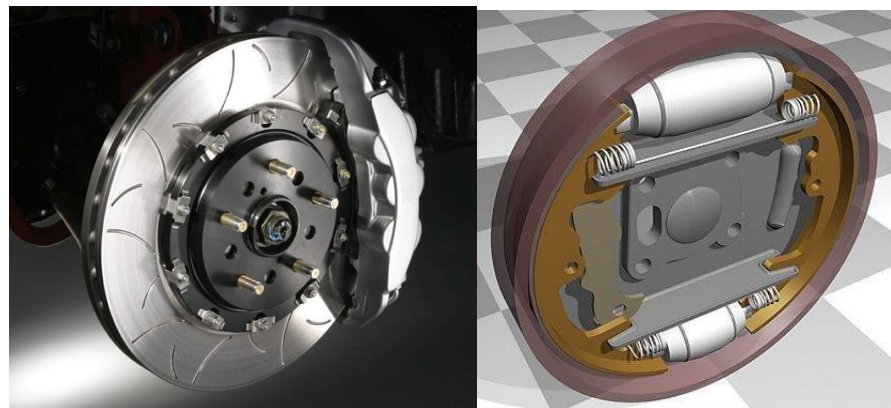


Рисунок 1.1 - Дискові та барабанні гальмівні механізми [2]

Механічний привід складається з тяг, важелів та троса, що з'єднує педаль або важіль гальма з механізмом. Такий привід встановлений у стоянковому гальмі (Рисунок 1.2).

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гальмівний барабан зверху та щільно притискалися до барабана під час гальмування. Ці гальма були дуже простими за конструкцією, але мали кілька недоліків: вони не могли раптово віддавати тепло в навколишнє середовище та ставали майже марними при намоканні.

Ефективність барабанних гальм у сучасних автомобілях значно зросла, коли конструктори автомобілів почали використовувати для гальмування внутрішню поверхню барабана. Це допомогло захистити компоненти гальм від зовнішнього впливу навколишнього середовища та збільшити площу поверхні барабана, щоб він ефективно охолоджувався під час гальмування.

Механізми барабанних гальм складаються з: гальмівного барабана, гальмівних колодок, корпусу гальма, головного гальмівного циліндра та різних кріпильних та з'єднувальних елементів (Рисунок 1.4, 1.5). Деякі механізми барабанних гальм використовують автоматичні регулятори зазору, завдяки чому в міру зносу накладок гальмівних колодок між гальмівним барабаном та колодками підтримується постійний зазор, який зазвичай становить 0,1–0,3 мм. Корпус гальма кріпиться до підвіски (наприклад, до корпусу моста). Гальмівні колодки та головний гальмівний циліндр ковзно кріпляться до корпусу гальма. Найчастіше він виготовляється зі сталі. Однією з основних частин корпусу є опора. Деякі автомобілі можуть мати опорний штифт. Опора або опорний штифт жорстко кріпляться до корпусу, і на них спираються кінці гальмівних колодок, на які під час гальмування спрямовується вся гальмівна сила. У деяких автомобілях опора кріпиться до корпусу гальма заклепками, а в інших — болтами до підвіски [2].

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк. 11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- жорсткість форми;
- зносостійкість (твердіші за гальмівні колодки);
- добра теплопровідність;
- стійкість до корозії.

Необхідна жорсткість форми досягається встановленням секцій та посиленням кромки. Правильний вибір матеріалу забезпечує зносостійкість, теплопровідність та стійкість до корозії. Під час руху гальмівні барабани можуть набувати овальної форми через коливання температури, тому їх можна повторно змастити (для усунення овальності та інших механічних пошкоджень). Однак, під час виконання цих робіт слід звертати увагу на технічні характеристики автомобіля, оскільки гальмівні барабани мають максимально допустимий внутрішній діаметр, який перевіряється під час технічного огляду. Цей діаметр не можна ігнорувати, оскільки гальмівний барабан більше не зможе достатньо накопичувати та віддавати тепло в навколишнє середовище, і з цієї причини він може навіть зламатися під час руху.

Поперечний переріз гальмівних колодок, що використовуються в барабанних гальмах, має Т-подібну форму, тому вони особливо стійкі до вигину (Рисунок 1.7). Колодки зварюються зі сталевих листів або зі сталевих виливків, відливаються з чавуну або легких металевих сплавів. Фрикційні накладки гальмівних колодок або приклеюються, або заклепуються до гальмівних колодок. Фрикційна накладка разом з гальмівним барабаном утворює пару тертя, коефіцієнт тертя якої становить 0,3–0,5. У минулому накладки виготовлялися з азбесту та армувалися спеціальним матеріалом; наразі використання азбесту заборонено, тому для виготовлення фрикційних накладок колодок використовуються інші матеріали-замінники. Фрикційні накладки зношуються під час гальмування, а ступінь зносу визначається під час технічного огляду автомобіля відповідно до індивідуальних технічних

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк. 14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

характеристик кожного автомобіля. Зношені колодки необхідно замінювати за необхідності [1].



Рисунок 1.7 - Барабанні гальмівні колодки [5]

Комплект барабанних гальм складається з двох гальмівних колодок. У гальмі з ковзною опорою колодка, що звернена до передньої частини автомобіля, називається основною, або активною, а інша – вторинною, або пасивною. Активна гальмівна колодка коротша за пасивну, або принаймні накладка колодки трохи коротша. Вона також зустрічається в гальмах з нерухомою опорою. У барабанному гальмі з двома робочими гальмівними циліндрами обидві гальмівні колодки називаються основними, або активними, колодками, а такі гальма називаються двосторонніми.

Кріпильні та з'єднувальні елементи, що використовуються для кріплення гальмівних колодок до корпусу гальма, для підключення ручного гальма та для регулювання зазору, показані на рисунку 1.8. Щоб барабанні гальма працювали належним чином, ці компоненти слід замінювати разом з гальмівними колодками, оскільки розтягнуті пружини більше не можуть функціонувати ефективно та надійно, а фіксатори та інші монтажні компоненти зношуються.



Рисунок 1.8 - Різні кріплення та з'єднувачі [2]

1.2.1 Принцип роботи та конструкція барабанного гальмівного механізму

Тиск, що створюється в гідравлічній системі головного гальмівного циліндра, передається на робочі колісні циліндри, які перетворюють цей тиск на механічну енергію. Коли гальмівний барабан обертається разом з колесом автомобіля, поршні робочого гальмівного циліндра всередині нього притискають гальмівні колодки до обертового барабана, створюючи силу тертя. Сила тертя, що створюється між барабаном і колодками, виділяє тепло, яке накопичується в гальмівному барабані та передається в навколишнє середовище.

Особливістю роботи всіх барабанних гальм є те, що під час гальмування активна, або первинна, гальмівна колодка притягується обертовим барабаном, а пасивна, або вторинна, відштовхується (Рисунок 1.9). Тому під час гальмування первинна гальмівна колодка додатково притискається до барабана та розвиває вдвічі більший гальмівний момент порівняно з пасивною. Щоб забезпечити максимально рівномірний їх тиск на барабан, довжину активної колодки зменшують [1].

За конструкцією та принципом дії барабанних гальм, гальма можна розділити на дві групи:

- односторонні;
- двосторонні.

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк. 16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

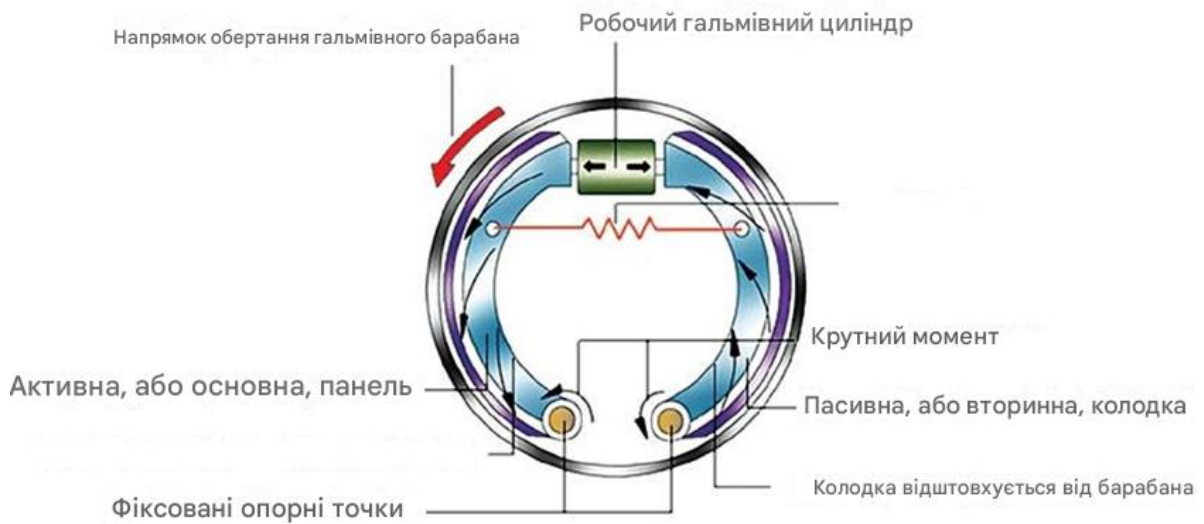
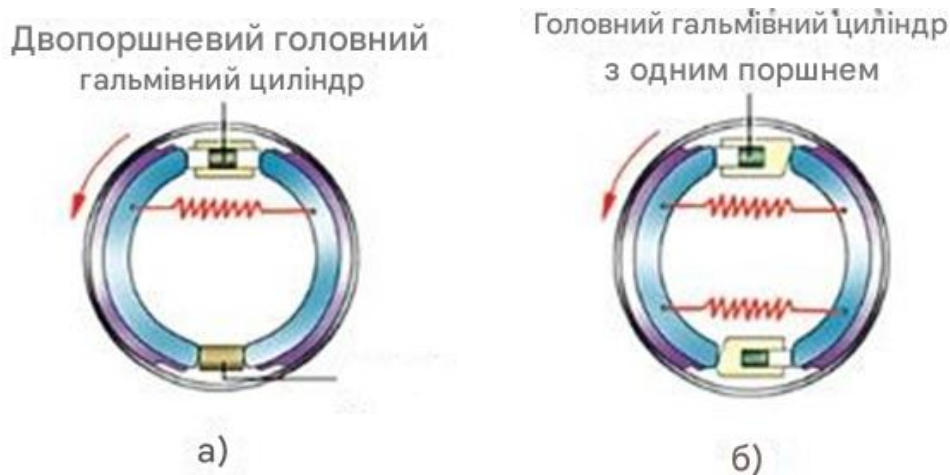


Рисунок 1.9 - Одностороннє гальмо з двома точками повороту [2]

Гальма з двома точками повороту та нерухомою опорою однаково ефективні як при русі вперед, так і при русі назад. Гальма такої конструкції найчастіше встановлюються в легкових автомобілях і, оскільки вони однаково гальмують в обох напрямках руху, називаються односторонніми (Рисунок 1.10).

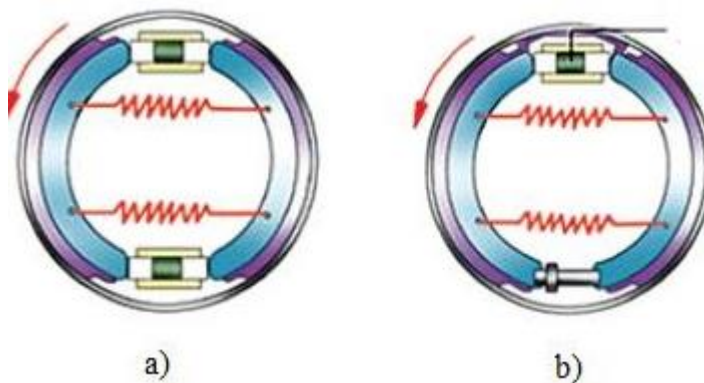


а) гальмо з нерухомою опорою; б) двостороннє гальмо з діагонально розташованими гальмівними колодками.

Рисунок 1.10 - Односторонні гальма [2]

Гальма з діагонально розташованими гальмівними колодками мають значно менший ефект під час руху назад, оскільки активних колодок дві.

Гальма такої конструкції частіше використовуються у вантажних автомобілях і називаються двосторонніми. Гальма зі ковзними колодками (Рисунок 12) діють однаково в обох напрямках руху завдяки двом двостороннім гальмівним циліндрам і двом ковзно розташованим гальмівним колодкам. У гальмах зі ковзною опорою, коли перша гальмівна колодка впирається в другу, сила тиску другої колодки збільшується в обох напрямках обертання завдяки ковзно розташованому опорному штифту.



(а) з ковзними колодками; (б) з ковзною опорою.

Рисунок 1.11 - Одностороннє гальмо [2]

Хоча барабанні гальма мають просту та довговічну конструкцію, вони також мають свої недоліки. Під час руху по мокрій дорозі вода може потрапити всередину барабана. Тоді гальма гальмують неефективно. Вони також втрачають ефективність гальмування, якщо дуже гарячі. Оскільки гальмівний барабан розширюється при нагріванні, зазор між барабаном і колодками збільшується. Щоб отримати таку ж гальмівну силу, потрібно сильніше натискати на педаль гальма. Коли вони сильно нагріваються, ефективність стає ще нижчою. Це дуже великий недолік, якщо доводиться їхати вниз по схилу. Також дорожній бруд, який потрапляє всередину диска, знижує ефективність гальмування.

Дискові гальма краще охолоджуються. Якщо на них потрапляє вода або дорожній бруд, їх відкидає вбік через відцентрову силу. Вони також краще охолоджуються [2].

1.3. Конструкція дискового гальмівного механізму

Більшість дискових гальмівних систем оснащені саме сталевими гальмівними дисками, але з удосконаленням автомобілів поступово вдосконалювалися також гальмівні системи та їх компоненти. У наш час нас вже не здивують вентиляльованими гальмівними дисками (диск відлитий таким чином, що виглядає як два з'єднані диски, а між ними є лопаті, через які вільно циркулює повітря, такі диски менше бояться різких перепадів температури, оскільки вони рівномірно та швидше охолоджуються з обох боків), а в потужніших автомобілях ми також можемо знайти вентиляльовано-перфоровані гальмівні диски (той самий вентиляльований гальмівний диск, тільки площини його робочої поверхні просвердлені або фрезеровані в певному порядку, що забезпечує ще більше охолодження та тертя між диском та гальмівними колодками). Окрім самих структурних змін, гальмівні диски вже не виготовляються зі сталі, оскільки сильніше гальмування на вищих швидкостях (особливо актуально в автоспорті) вимагає більшого тертя, що неминуче генерує більше тепла, що сильно пошкоджує, деформує та зношує сталеві гальмівні диски. Для того, щоб гальма працювали ефективніше, потрібно генерувати більше тертя, чого можна досягти кількома способами: а) використовуючи різні матеріали для гальмівного диска та гальмівних колодок; б) збільшенням площі тертя, що досягається використанням більших гальмівних дисків та гальмівних колодок; в) збільшенням сили стиснення колодок. Але збільшення тертя, природно, призводить до утворення набагато більшої кількості тепла під час гальмування, що сильно нагріває гальмівний диск та колодки. Тому надзвичайно потужні гальмівні системи мають не тільки гальмівні диски великого діаметра з більшою кількістю циліндрів, що притискають більші колодки до диска, але й сам диск та колодки виготовляються з використанням таких матеріалів, як титан, вуглецеве та кевларове волокно, різні види металокераміки, берилій, алюміній тощо.

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк. 19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Металокерамічні гальма надзвичайно дорогі та встановлюються лише в надзвичайно потужних автомобілях (металокерамічні гальмівні диски встановлюються в таких автомобілях, як: Mercedes-Benz McLaren SLR, Ferrari Enzo, Porsche GT, Audi A8 W12 та інші). Головною перевагою металокерамічних гальмівних дисків є їхня стійкість до надзвичайно високих температур, хоча деякі металокерамічні диски, що використовуються в автоспорті, набувають робочих гальмівних властивостей лише за певної температури. При використанні металокерамічних гальм також використовуються дещо інші гальмівні колодки, оскільки традиційні не дали б жодного ефекту від гальмування. Металокерамічні гальмівні диски виглядають особливо гарно в темряві, оскільки при різкому гальмуванні гальмівний диск починає світитися червоним від надзвичайно високої температури, що утворюється внаслідок тертя. В болідах Формули-1 використовуються гальмівні диски з вуглецевого волокна, які надзвичайно ефективні навіть при малому діаметрі диска, але мають такі негативні властивості, як швидкий знос і займання (такі гальмівні диски витримують високі температури, але якщо перевищити певну межу, вони просто спалахують) [2].

Гальмівні колодки дискових гальм виготовляються з різних матеріалів, які не бояться вогню, високих температур і мають хороші властивості тертя та зносу. Робоча поверхня самих гальмівних колодок встановлена на сталевих пластинах. Супорти дискових гальм також бувають різних конструкцій, з одним до кількох циліндрів. Супорти зазвичай виготовляються зі сталі, для економії ваги деякі автомобілі оснащені гальмівними супортами з титану. Дискові гальмівні механізми використовуються в автомобілях частіше, ніж барабанні. Використання цих механізмів стало величезним кроком у створенні більш надійної гальмівної системи. Дискові гальмівні механізми, на відміну від барабанних, мають поверхню тертя зовні, що забезпечує набагато краще охолодження диска під час гальмування. Найбільша конструктивна

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відмінність між дисковими та барабанними гальмами полягає в тому, що тертя створюється між двома гальмівними колодками шляхом стиснення обертового диска. Гальмівний диск затискається між двома колодками, тому єдина деталь, яка може деформуватися, це корпус гальма, але корпуси гальм виготовлені з дуже жорсткої конструкції. Отже, дискові гальма мають дуже ефективний гальмівний момент» [6,7]. Механізми дискових гальм складаються з: гальмівного диска, гальмівних колодок, гальмівного корпусу з циліндром та різних кріпильних та з'єднувальних елементів (наприклад, штифтів, пружин) (Рисунок 1.12).

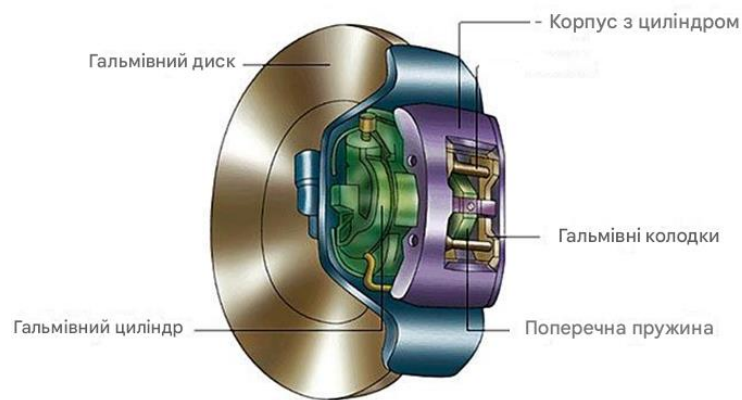


Рисунок 1.12 - Конструкція дискового гальмівного механізму [2]

Гальмівний диск кріпиться до маточини колеса та обертається разом з колесом автомобіля. Товщина та діаметр диска визначають його здатність накопичувати більшу чи меншу кількість тепла. Таким чином, гальмівні диски за конструкцією можна розділити на такі групи:

- класичні суцільнометалеві;
- з додатковими порожнинами для повітряного охолодження;
- гальмівні диски разом з гальмівним барабаном для стоянкового гальма;

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк. 21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

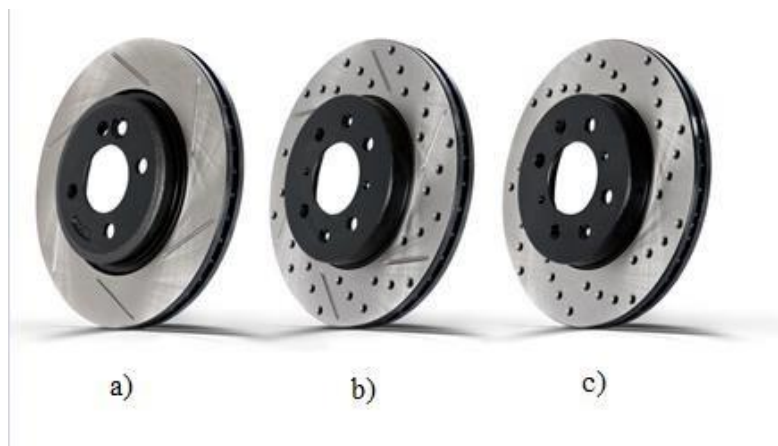


а)



б)

Рисунок 1.13 – а) класичний суцільнометалевий; б) з додатковими порожнинами для повітряного охолодження [2]



а)

б)

с)

Рисунок 1.12 - Модифіковані гальмівні диски [5]

У легкових автомобілях найчастіше використовуються класичні суцільнометалеві гальмівні диски та диски з додатковими порожнинами для повітряного охолодження. Суцільнометалеві гальмівні диски можуть встановлюватися як на передні, так і на задні колеса автомобіля. Диски з додатковими порожнинами для повітряного охолодження зазвичай встановлюються лише на передні колеса автомобіля, оскільки під час гальмування автомобіля більше навантаження завжди припадає на передню вісь автомобіля. У цьому випадку передні гальмівні диски повинні поглинати та розсіювати більшу кількість тепла. Гальмівні диски разом з гальмівним барабаном для стоянкового гальма використовуються набагато рідше і лише на задніх колесах автомобіля. Модифіковані гальмівні диски частіше

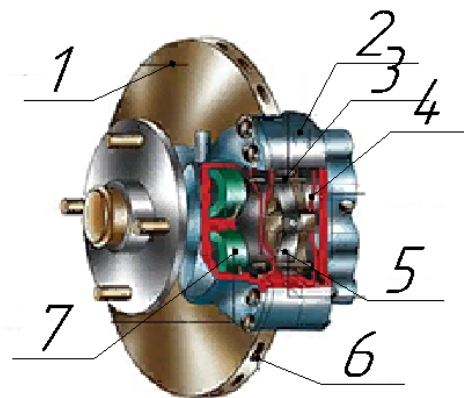
					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовуються у спортивних автомобілях, рідше – у серійних легкових автомобілях. Під час гальмування гальмівні диски, барабани та колодки нагріваються. Щоб швидше відводити тепло в навколишнє середовище, у гальмівних дисках просвердлюються додаткові отвори або фрезеруються канавки [8].

1.3.1. Принцип роботи та конструкція дискового гальмівного механізму

Автомобільні дискові гальмівні механізми можуть бути двох основних конструкцій залежно від кріплення корпусу: корпус гальма може бути плаваючим або жорстко встановленим.

У жорстко встановленій конструкції корпус гальма кріпиться до поворотного кулака або осі та не рухається під час гальмування (Рисунок 1.3111). Гальма цієї конструкції використовують щонайменше два поршні з обох боків диска, по одному на кожну гальмівну колодку. Деякі жорстко встановлені конструкції можуть використовувати чотири поршні (два на кожну гальмівну колодку), а деякі можуть навіть використовувати три поршні (з одного боку корпусу).



1 – гальмівний диск, 2 – корпус, 3 - , 4 – гальмівна колодка, 5 – поперечна пружина, 6 – отвори охолодження дисків, 7 – поршень.

Рисунок 1.13 - Дисковий гальмівний механізм із жорстко закріпленим корпусом гальма [2]

Коли педаль гальма натиснута, тиск гальмівної рідини з головного циліндра передається на поршні корпусу, які розташовані навпроти гальмівних колодок, що стискають гальмівний диск, що обертається разом з колесом автомобіля (рисунок 1.14). Корпус гальма нерухомий. Гальмівні колодки зазвичай кріпляться за допомогою штифтів [2].

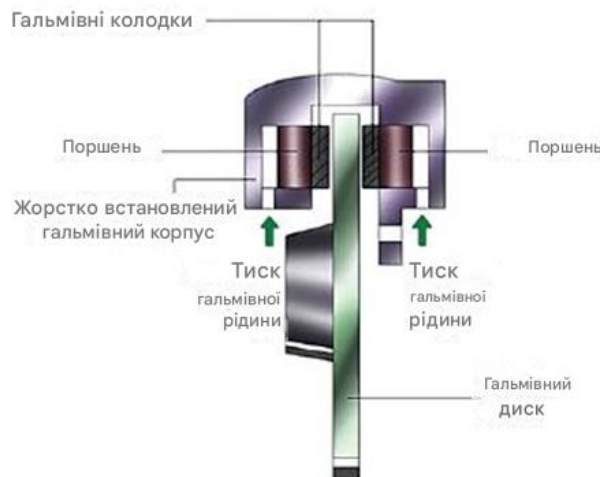


Рисунок 1.14 - Робота дискового гальмівного механізму з жорстко встановленим корпусом гальма [2]

Плаваючий корпус гальма використовує один або два поршні з одного боку корпусу (Рисунок 1.15). Корпус гальма встановлений на напрямних штифтах, які можуть вільно рухатися в напрямних втулках. Збільшуючи тиск гальмівної рідини, поршень штовхає колодку - притискає її до обертового диска. Одночасно внутрішня частина корпусу віддаляється від гальмівного диска, і водночас рухається зовнішня сторона корпусу, притискаючи зовнішню гальмівну колодку до іншого боку диска. Таким чином, диск сильно стискається в корпусі гальма без використання багатьох поршнів.

У плаваючому корпусі гальма зовнішня гальмівна колодка зазвичай кріпиться до корпусу за допомогою утримуючої пружини або язичків. Внутрішня колодка іноді кріпиться до поршня або фіксується болтами корпусу. Однак у деяких випадках обидві гальмівні колодки ковзають у тримачі корпусу.

Крім того, плаваючі корпуси гальм дещо легші в обслуговуванні, ніж жорстко закріплені, а їх виробничі витрати також нижчі. Тому плаваючі корпуси гальм найчастіше використовуються в механізмах дискових гальм легкових автомобілів [2].

1.4. Електронне стоянкове гальмо

У 2001 році BMW була першою компанією, яка представила цю інновацію. Ці гальма відрізняються від механічних тим, що більше немає гальмівного важеля та тросів, механічно з'єднаних з гальмівними колодками. Їх замінили проста кнопка та електронна система керування.



Рисунок 1.17 - Кнопка електронного стоянкового гальма [10]

Коли ви натискаєте кнопку, електродвигуни, розташовані в кожному корпусі гальма, притискають гальмівні колодки до диска. Щоб відпустити гальма, просто заведіть автомобіль. Іноді після запуску автомобіля вам може

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

знадобитися натиснути на гальма та натиснути кнопку, щоб відпустити стоянкове гальмо. Більшість автомобілів з такими гальмами мають систему, яка запобігає коченню автомобіля на пагорбі. Це значно полегшує рух автомобіля з одного боку на інший.

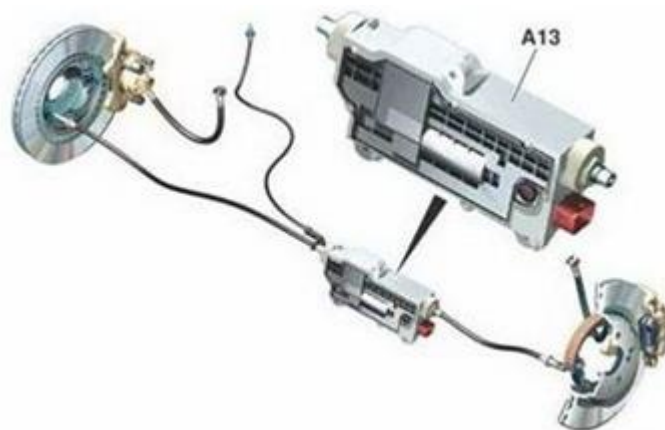


Рисунок 1.18 - Принципова схема електронного стоянкового гальма [8]

Ці гальма перевершують звичайні, оскільки вони краще утримують автомобіль на місці. Зняття важеля ручного гальма звільняє більше місця в центральній консолі автомобіля.

1.5. Дослідження ефективності раптового гальмування автомобіля

Ефективність гальмування визначає гальмівний шлях. Він має бути якомога коротшим, але автомобіль повинен залишатися стійким та керованим. Динамічні властивості автомобіля та його експлуатаційні характеристики також залежать від ефективності гальмування. Чим інтенсивніше можна гальмувати автомобіль, тим вища безпечна швидкість, а це означає ефективніше використання транспортного засобу [11].

Одним із критеріїв оцінки ефективності робочої гальмівної системи є швидкість зміни швидкості транспортного засобу, тобто прискорення уповільнення j . Значення прискорення уповільнення знаходиться за формулою:

$$J = Ms / r \cdot t; \quad (1.1)$$

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де: M_s – гальмівний момент колеса;

r – радіус гальмованого колеса;

m – маса транспортного засобу.

Значення прискорення уповільнення обернено пропорційне масі транспортного засобу. Ця формула виражає прискорення уповільнення, що забезпечуються гальмівною системою транспортного засобу. Іншим параметром ефективності гальмування є гальмівний шлях S_s :

$$S_s \approx (t_2 + 0.5t_3)v_a / 3.6 + KE \cdot v_a^2 / 254 \varphi \quad (1.2)$$

де: t_2 – час активації системи;

t_3 – час, коли прискорення гальмування збільшується;

v_a – початкова швидкість транспортного засобу;

KE – коефіцієнт оцінки ефективності гальмування;

φ – коефіцієнт зчеплення.

Ми бачимо, що довжина гальмівного шляху транспортного засобу залежить від його початкової швидкості та розвиваних гальмівних сил. З цієї причини початкова швидкість руху регулюється. Різна швидкість встановлюється в місті, інша за містом та на автомагістралях. Практичний досвід показує, що при зменшенні швидкості на 5 км/год кількість дорожньо-транспортних пригод, в яких гинуть люди, зменшується приблизно на 20 відсотків. Гальмівний шлях також можна зменшити, зменшивши коефіцієнт оцінки ефективності гальмування та збільшивши коефіцієнт зчеплення зчеплення. Коефіцієнт оцінки ефективності гальмування залежить від коефіцієнта φ та ступеня завантаження транспортного засобу.

$$KE = \varphi \cdot r \cdot G / M_s; \quad (1.3)$$

де: r – радіус гальмованого колеса;

G – вага автомобіля;

M_s – гальмівний момент колеса.

Цей коефіцієнт можна збільшити різними технічними та технологічними засобами.

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк. 28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.5.1 Системи керування гальмами

Постійно зростаючі вимоги водіїв до безпеки дорожнього руху змушують інженерів розробляти більш досконалі та сучасні антиблокувальні системи гальм. Головне завдання цих систем — мінімізувати гальмівний шлях автомобіля, зберігаючи при цьому керованість.

Сучасні гальмівні системи досить добре спроектовані та є надзвичайно потужними, особливо порівняно зі старими. З потужнішими гальмами поєднання тиску колодок та фрикційних властивостей повністю достатньо для блокування коліс навіть під час руху на високих швидкостях. Заблоковані колеса — не найбезпечніший спосіб гальмування. Так народилася ідея ABS (антиблокувальної системи гальм). При роботі цієї системи не тільки скорочується гальмівний шлях у більшості випадків, але й водій все ще має можливість керувати автомобілем під час гальмування в критичних режимах (що абсолютно неможливо зробити, коли колеса автомобіля пробуксовують). Крім того, при різкому гальмуванні різко зменшується вага на задніх колесах автомобіля, що створює надзвичайно високий ризик перекидання, особливо при різкому гальмуванні автомобіля, який рухався по непрякій траєкторії. Друга причина тих самих наслідків: дорожнє покриття, яке часто буває нерівним і не ідеальним. З системою ABS є ймовірність того, що гальмівний шлях буде на кілька метрів довшим, але автомобіль стабільно реагуватиме на повороти керма і не буде можливості бокового заносу.

Система ESP (електронна програма стабілізації) призначена для допомоги в критичних ситуаціях на дорозі. При виявленні втрати стійкості руху або заносу система негайно контролює режими роботи: 1) двигуна; 2) гальмівної системи; 3) регульованих параметрів підвіски. Система ESP, поряд зі своїми функціями, також поєднує функції ABS, REF, ASR та MSR. Система ESP забезпечує найвищий рівень активної безпеки, дозволяючи підтримувати

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк. 29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стійкість автомобіля: 1) під час розгону; 2) під час гальмування; 3) під час руху з постійною швидкістю; 4) під час маневрування.

Система, що допомагає подолати різке гальмування AFU (допомога в надзвичайних ситуаціях). Встановлено, що в екстремній ситуації водій натискає на педаль гальма швидко, але без достатнього зусилля. З цієї причини всі сучасні автомобілі з антиблокувальними системами (ABS) або системою динамічного контролю стійкості (ESP) також оснащені системою екстреного гальмування (AFU). Роль системи AFU полягає в значному посиленні дій водія під час різкого гальмування, в швидкому підвищенні тиску в гальмівній системі, щоб якомога швидше активувати антиблокувальну систему і таким чином зменшити гальмівний шлях. Система екстреного гальмування E.V.A. (Emergency Valve Assistant) складається зі спеціального гальмівного циліндра та вакуумного підсилювача нового покоління. На рис.1.19 представлені криві, що описують нормальне та раптове гальмування.

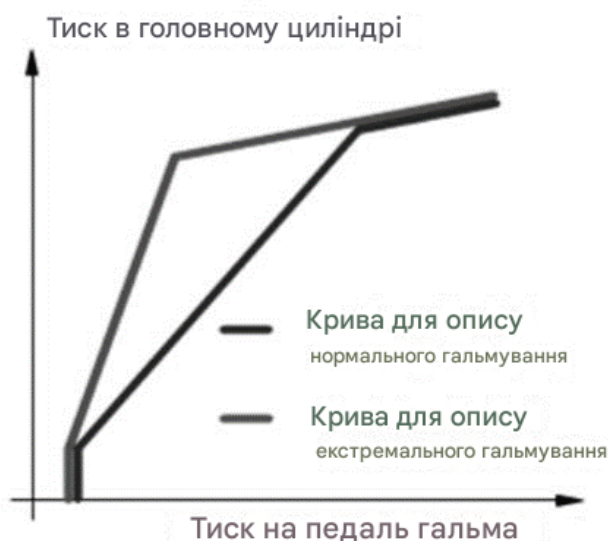


Рисунок 1.19 - Криві характеристики системи, що описують нормальне та екстремне гальмування [6]

Швидкість натискання на гальма – це здатність переходити у фазу екстреного гальмування. Як тільки швидкість педалі гальма стає вищою, активується фаза екстреного гальмування. Таким чином, при різкому натисканні на педаль гальма (якщо швидкість перевищує певну межу)

збільшується недостатнє зусилля водія для гальмування. ВА (Brake Assist) система допомоги при екстреному гальмуванні. У гідравлічній гальмівній системі – електрична система регулювання тиску, яка у разі різкого гальмування, коли на педалі недостатньо гальмівного зусилля, самостійно збільшує тиск у гальмівній магістралі, роблячи це набагато швидше, ніж може зробити людина. Гідравлічна система ВА визначає, чи відбувся процес екстреного гальмування, на основі руху педалі гальма та тиску на неї. У разі екстреного гальмування тиск на вході гальмівної системи автоматично значно збільшується з точністю до мілісекунд, тобто час гальмування машини скорочується, коли все визначається лише моментом. Це зменшує час реакції навіть для недосвідчених водіїв при максимальній затримці блокування коліс. Електроніка бере на себе керування, ніби це раптове гальмування, і зупиняє автомобіль у найкоротші терміни, значно скорочуючи гальмівний шлях на високих швидкостях [3].

1.6 Матеріали, що використовуються для виготовлення гальмівних колодок

Є один дуже важливий момент, який повинен пам'ятати кожен покупець гальмівних колодок: найкращі гальмівні колодки, які ви можете придбати, це ті, що розроблені для вашої гальмівної системи.

Незалежно від того, чи керуєте ви старим чи новим автомобілем, гальмівні колодки, супорти та барабани або диски – це збалансована система. Заміна одного компонента системи – навіть якщо ця заміна є покращенням – іноді може мати протилежний ефект. Так само, як економія кількох євро може погіршити роботу всієї системи [12].

Гальмівні колодки – це комбінація п'яти матеріалів (Рисунок 1.20):

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

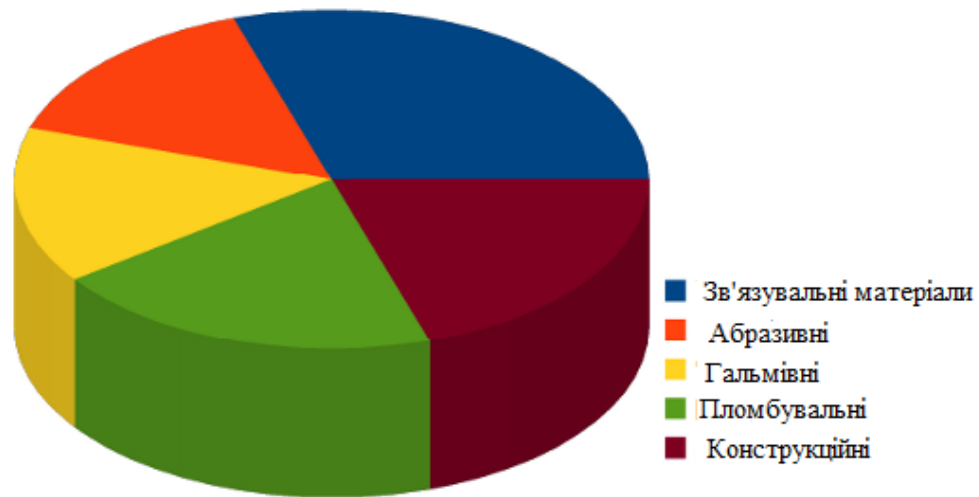


Рисунок 1.20 - Приблизний склад гальмівних колодок (пропорції наведено лише для ілюстрації) [9,13]

Ці п'ять матеріалів: зв'язуючі матеріали (сполучні речовини), абразивні матеріали, гальмівні матеріали, призначені для покращення певних гальмівних характеристик, таких як робоча температура, наповнювачі та конструкційні матеріали, які допомагають колодці зберігати свою належну форму під час використання.

Ці п'ять типів матеріалів включають понад 2000 хімічних речовин, і лише кожен виробник гальмівних колодок знає точний склад колодок. Я опишу основні матеріали.

Звичайні зв'язуючі матеріали:

Скловолокно також може використовуватися як конструкційний матеріал. Міститься в 5-25%.

Фенольна смола також може використовуватися як добавка для покращення гальм. Міститься в 10-20%.

Вуглецеве волокно. Вуглецеве волокно – це матеріал, який діє як сполучний матеріал та абразив. Однак він дуже дорогий. Міститься в 0-100%. Повністю вуглецеві гальмівні колодки використовуються лише в гонках. Деякі високопродуктивні гальмівні колодки можуть містити вуглецеве волокно.

Воно зустрічається лише в невеликих кількостях, оскільки матеріал дуже дорогий.

Звичайні абразивні матеріали:

Мінеральні наповнювачі, зазвичай кварц або синтетичні силікати. На відміну від мінерального волокна, наповнювачі використовуються для збільшення тертя. Міститься в 5-35%. Мінеральні наповнювачі навряд чи зустрічаються в металевих колодках.

Оксиди металів, зазвичай оксиди алюмінію та оксиди заліза. Абразиви, що збільшують тертя. Також може бути сполучною речовиною в металевих або напівметалевих колодках. Міститься у 0-70%. Усі типи гальмівних колодок, ймовірно, містять невеликий відсоток оксидів металів, навіть «органічних».

Латунні остружки. Дешевий матеріал, що покращує гальмування за вологої погоди. Міститься у 0-5%.

Зазвичай використовувани гальмівні матеріали:

Смола шкаралупи кешью (Cashew Nut Shell Liquid, CNSL) є важливим інгредієнтом у складі багатьох сучасних гальмівних колодок, особливо в органічних та без азбестових (NAO) сумішах. Вона використовується як модифікатор сполучної речовини та регулятор тертя. Зустрічається в 0-20% випадків. Отримується зі шкаралупи горіхів кешью.

Вуглець (графіт). Вуглець як матеріал може використовуватися в багатьох формах. Його можна використовувати для збільшення тертя, але також можна використовувати як мастило. Часто використовується, оскільки це дешевий матеріал. Зустрічається в 0-35%.

Фрикційний пил або фрикційний порошок. Склади цих матеріалів мають широкий спектр застосування, від зниження шуму до контролю температури. Зустрічається в 0-25%.

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сульфіди металів, включаючи сульфіди міді та сульфіди свинцю. Стабілізують коефіцієнти тертя за різних температур. Міститься в концентрації 0-5%.

Вапно (гідроксид кальцію). Запобігає корозії металевих колодок. Міститься в концентрації 0-5%.

Керамічні мікросфери діють як наповнювач, модифікатор тертя та зменшують утворення гальмівного пилю. Міститься в концентрації 0-20%.

Мідь. Забезпечує термостійкість, покращує гальмування в холодну погоду та діє як мастило для зменшення скрипу. Часто міститься в керамічних гальмівних колодках. Міститься в концентрації 0-25%.

Поширені наповнювачі:

Сульфат барію, також відомий як барит. Дуже поширений наповнювач. Міститься в 0-35%.

Титанат калію. Поширений наповнювач, що міститься в 0-30%.

Сталева вата. Ще один поширений наповнювач, що міститься в 0-30% матеріалів.

Гума та гумові відходи з перероблених шин. Цей наповнювач може підвищити зносостійкість. Зазвичай використовується, оскільки він дешевий. Міститься в 0-10%.

Поширені конструкційні матеріали:

Волокно мінеральної вати. Може допомогти контролювати температуру та зменшити знос. Міститься в 10-20%. Волокно мінеральної вати навряд чи знайдеться в металевих колодках.

Азбест. Наповнювач, який забезпечує структурну міцність та термостійкість.. Міститься в 0-35%.

Кераміка. Керамічні сполуки можуть використовуватися в широкому спектрі застосувань. Кераміка здатна виконувати всі функції. Тому вона міститься в 0-100%. Основними перевагами керамічних колодок є зниження шуму, зменшення ваги та надійне гальмування. Протягом останніх 10 років

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк. 34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

керамічні матеріали стали дедалі поширенішими у виробництві гальмівних колодок. Однак термін «кераміка» визначається дуже широко. Деякі колодки продаються як керамічні, хоча насправді вони є скоріше напівметалевими або навіть органічними. Оскільки в гальмівних колодках так багато різних сполук, їх слід називати «переважно органічними», «переважно металевими» або «переважно керамічними». Ось основні характеристики органічних, напівметалевих та металевих колодок.

Металеві колодки:

Вища зносостійкість (це їхня найбільша перевага); Краща продуктивність за високих температур; Дуже ймовірно, що вони будуть шумними.

Органічні колодки:

Зношуються набагато швидше, особливо в режимі гонок; Тиха робота (це їхня найбільша перевага); Краща продуктивність за нижчих температур; Залежно від їхнього складу, органічні колодки можуть швидко зношуватися за високих температур, по суті втрачаючи свої гальмівні властивості.

Напівметалеві колодки:

Чудовий компроміс між зносостійкістю, шумом та гальмуванням;

Трохи дорожчі за металеві або органічні колодки;

Напівметалеві колодки є другим за поширеністю типом колодок в автомобілях.

Хоча напівметалеві колодки не мають найкращих експлуатаційних характеристик, вони добре збалансовані і тому є поширеним вибором.

Керамічні колодки:

Відмінні характеристики в усіх сферах – вони тихі, довговічні та дуже ефективні в широкому діапазоні температур;

Керамічні напівметалеві колодки є новим галузевим стандартом – понад половина всіх нових автомобілів оснащені цими колодками (станом на 2012 рік). На жаль, керамічні колодки часто є найдорожчим варіантом [12, 13].

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Обладнання та методика експериментального дослідження

Випробування щоразу проводитиметься на одній і тій самій станції технічного обслуговування. Під час випробування вимірюватиметься лише гальмівна сила передніх гальм. Хід та умови цього випробування:

1. Перед випробуванням температура гальмівного диска повинна досягти 25-35 °С;
2. Тиск у гальмівній системі збільшується до максимально допустимої межі;
3. Випробування повторюється 2 рази;
4. Після завершення випробування вимірюється температура гальмівного диска.

Для випробувань буде використано автомобіль WV PASSAT (Рисунок 2.1.). Цей автомобіль був обраний тому, що на ньому зручно встановити манометр, а гальма також зношені та потребують заміни для підтримки та забезпечення безпеки руху транспортного засобу на дорозі. В експерименті буде використано два типи колодок. Економ-клас – це продукція, популярна серед споживачів, продукція цього класу є найдешевшою. Часто виробник з азіяських країн. Також будуть використовуватися колодки високого класу, вони мають більшу ефективність гальмування та коштують дорожче. Виробники походять з відомих компаній, які за свою довгу історію здобули престижне ім'я.

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.1 - Експериментальний автомобіль WV PASSAT

Для підтримки максимально рівномірних умов випробувань використовуються такі прилади:

1) Підключивши манометр до головного гальмівного циліндра (Рисунок 2.2), можна побачити тиск у гальмівній системі. Діапазон вимірювання цього манометра становить 0-160 бар.



Рисунок 2.2 - Манометр

2) Інфрачервоний термометр (Рисунок 2.3). Цей пристрій можна використовувати для вимірювання температури гальмівного диска. Температура вимірюється на початку та в кінці випробування, щоб контролювати її зміни під час випробування. Діапазон вимірювання 0-900°C.

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.3 - Інфрачервоний термометр

Випробування проводилися на автосервісі. Автосервіс оснащений сучасним гальмівним стендом «Beissbarth 600 SPEED». Технічні параметри цього гальмівного стенду:

- ширина колії від 800 до 2200 мм.
- вага випробуваного автомобіля 4 т;
- маса на вісь випробуваного автомобіля 3,5 т;
- максимальна гальмівна сила 8 кН;
- шкала оцінки гальмівної сили – зелений, жовтий, червоний;
- Діаметр барабана 205 мм, довжина 700 мм, корундова поверхня – ідеально відтворює зчеплення з дорожнім покриттям;
- Задній барабан стенду піднятий на 25 мм;
- Випробування електромеханічного приводу 2x3,7 кВт. Швидкість випробування 5,1 км/год [11].

2.2 Експериментальне дослідження визначення ефективності гальм

Метою дослідження є визначення ефективності гальм шляхом вимірювання їхньої гальмівної сили за різних умов та компонентів. Перше випробування проводиться для вимірювання гальмівної сили зі зношеними гальмівними дисками.

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.4 - Зношені гальмівні колодки



Рисунок 2.5- Порівняння зношених гальмівних колодок з новими



а) б)
Рисунок 2.6 - Гальмівні диски: а) зношені гальмівні диски;
б) порівняння зношених з новими

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк. 39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як бачимо, гальмівна система, що була у використанні, значно зношена. Гальмівні колодки давно досягли допустимої межі. Вони вдвічі тонші за нові.

Гальмівний диск також зношений і старий. Видно іржу та пошкодження. На початку та в кінці випробування вимірюється температура гальмівного диска. Випробування проводиться 2 рази. Педаль гальма натискається до досягнення максимально допустимої межі. Збільшуючи тиск у гальмівній системі кожні 5 бар, реєструється гальмівна сила. Після цього автомобіль з'їжджає з гальмівного стенду і випробування повторюється.



Рисунок 2.7 - Температура гальмівного диска, виміряна перед випробуванням

Випробування № 1

Випробування проводиться із зношених гальмівними колодками, які вже значно збільшені. Це робиться для визначення межі, яку потрібно покращити. Результати випробувань представлені на (Рисунок 2.8).

Зміна температури: початкові умови 25 °С, підвищилася до 137 °С під час випробування.

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

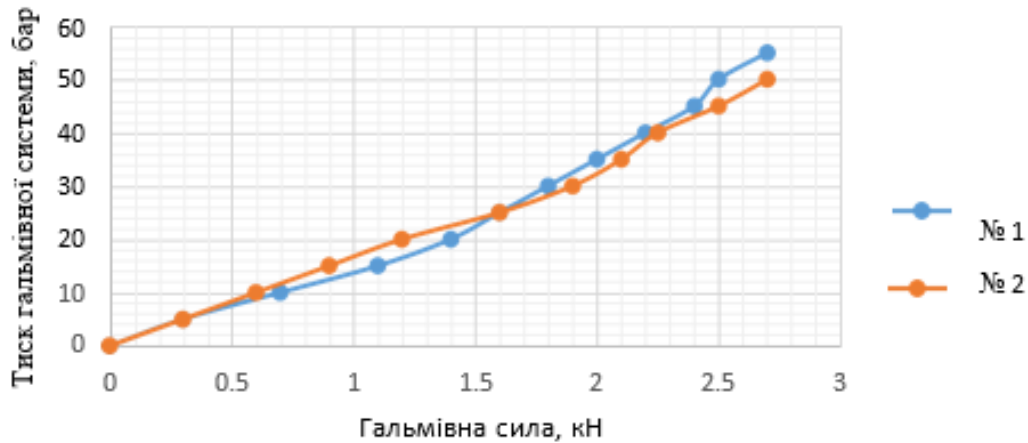


Рисунок 2.8 – Випробування №1: зі зношеними компонентами
Випробування № 2

Тест проводиться після заміни зношених компонентів на нові компоненти економ-класу. Сила вимірювалася одразу після заміни, це було зроблено тому, що метою було з'ясувати, якою може бути втрата ефективності гальмування без тертя деталей одна об одну.

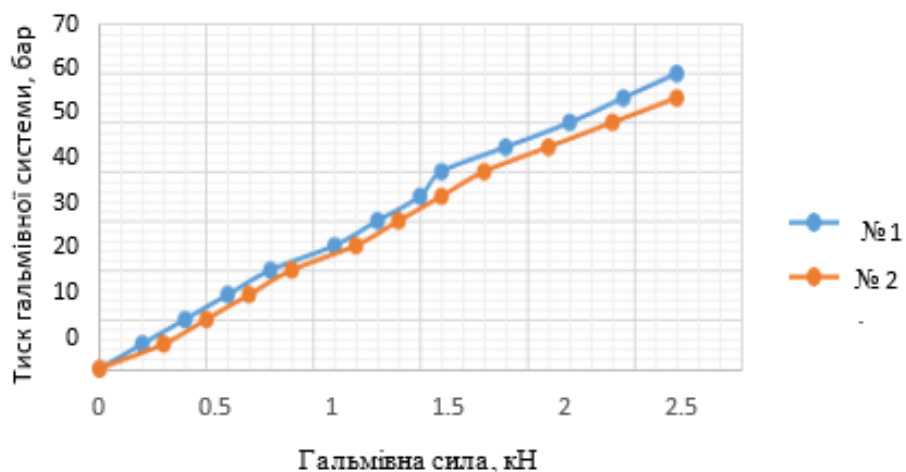


Рисунок 2.9 - Випробування № 2: з новими компонентами без їх тертя
Зміна температури: початкові умови 26 °С, підвищилися до 88 °С під час випробування.

Випробування № 3

У цьому тесті також вимірювалося гальмування з новими компонентами. Тест проводився після проїзду приблизно 100 км у місті. Очікувалося, що це гарантуватиме повне прилягання колодок до дисків, а результати продемонструють ефективність цих колодок.

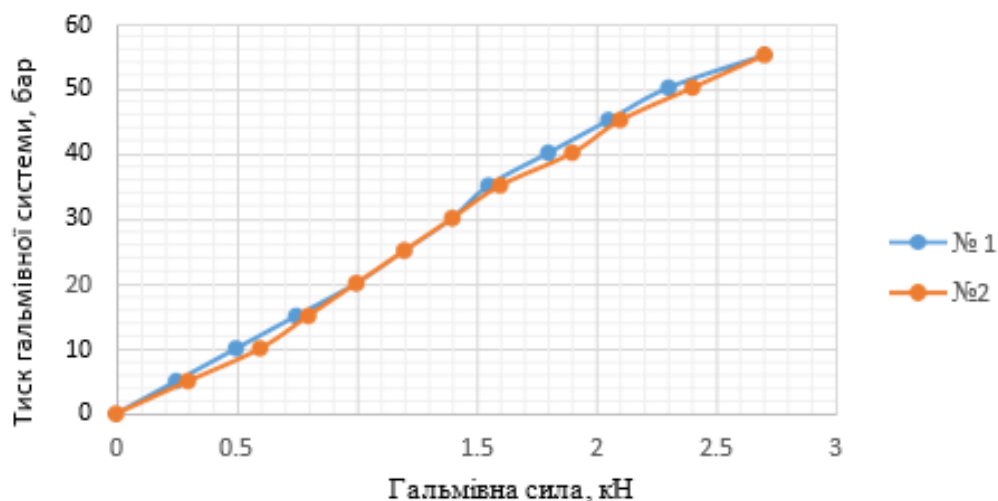


Рисунок 2.10 - Випробування № 3: з новими компонентами після 100 км у місті

Зміна температури: початкові умови 23 °С, підвищилася до 79 °С під час випробування.

Випробування № 4

У цьому тесті також вимірювалося гальмування з новими компонентами. Результати тесту № 3 були невтішними, оскільки гальмівна сила була меншою при порівнянні зношених компонентів з новими. Тест було повторено приблизно через 200 км їзди по місту.

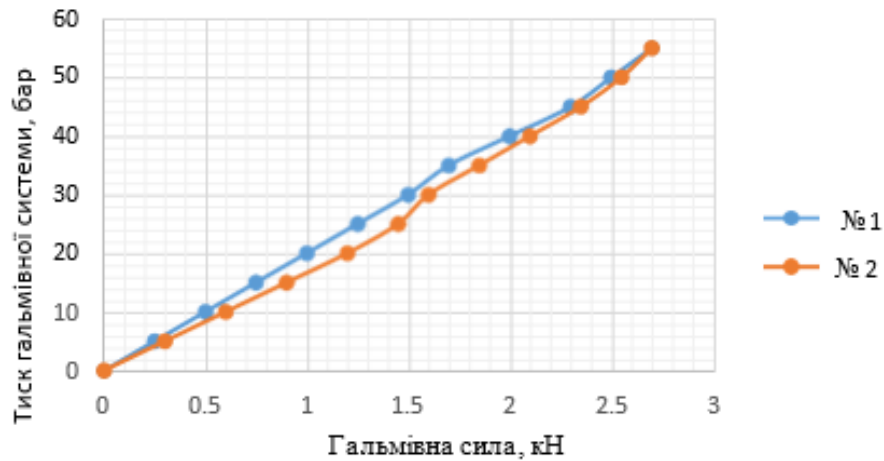


Рисунок 2.11 - Випробування № 4: з новими компонентами після 200 км у місті

Зміна температури: початкові умови 25 °С, підвищилася до 84 °С під час випробування.

Випробування № 5

У цьому тесті були залишені нові диски та обрані колодки високого класу. Проїхано близько 200 км по місту.

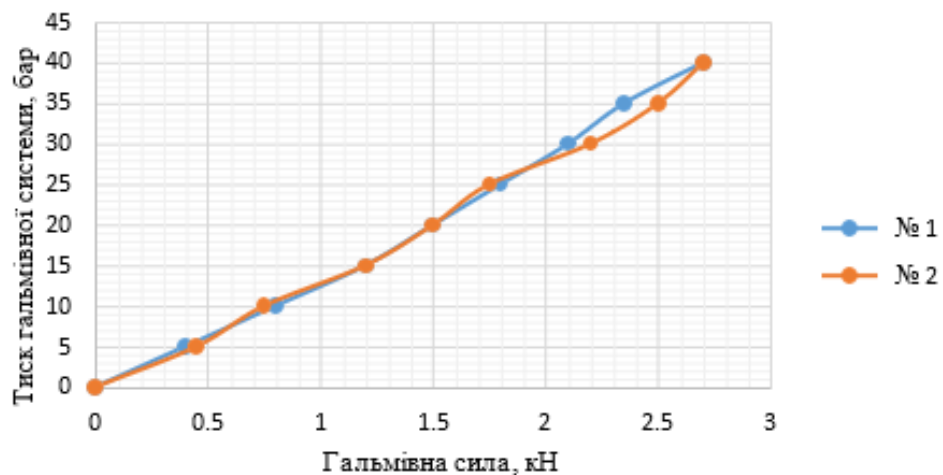


Рисунок 2.12 - Випробування № 5: з високоякісними колодками

Зміна температури: початкові умови 35 °С, під час випробування підвищилися до 77 °С.

Ефективність гальмування розраховується за такою формулою:

$$Z = \frac{\sum F}{mg} 100\%$$

де:

ΣF – загальна гальмівна сила коліс, Н;

м – маса автомобіля, кг.

Передня вісь автомобіля важила ≈ 530 кг

Після проведення випробувань було виявлено, що зношені колодки та гальмівні диски поступаються за ефективністю лише колодкам високого класу. А колодки економ-класу відстають на $\approx 8\%$. Цього не повинно бути, адже нова має бути ефективнішою за давно зношену. Після цього випробування прийнято рішення пошукати пояснення, чому це так. Робоча поверхня колодок економ-класу менша, ніж у інших. Тому було розраховано робочу поверхню колодок за допомогою програми SolidWorks.

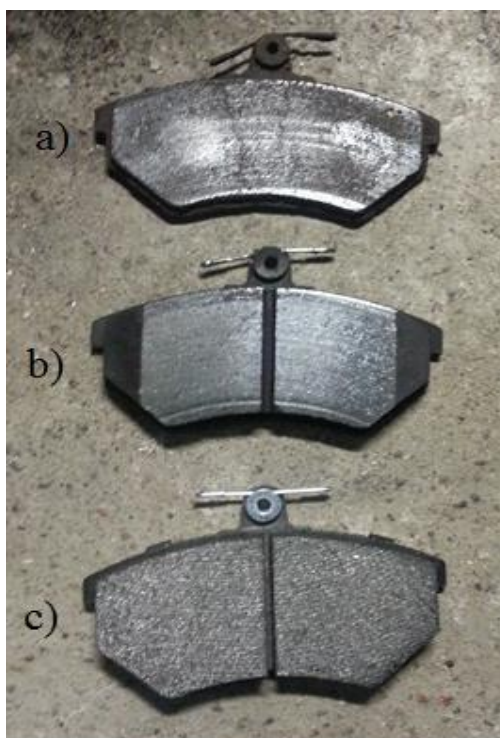


Рисунок 2.13 - Гальмівні колодки, зношені під час випробування: а) зношені; б) економ-клас; с) високий клас

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк. 44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Намальовано цифрові моделі всіх блоків за допомогою програми SolidWorks.

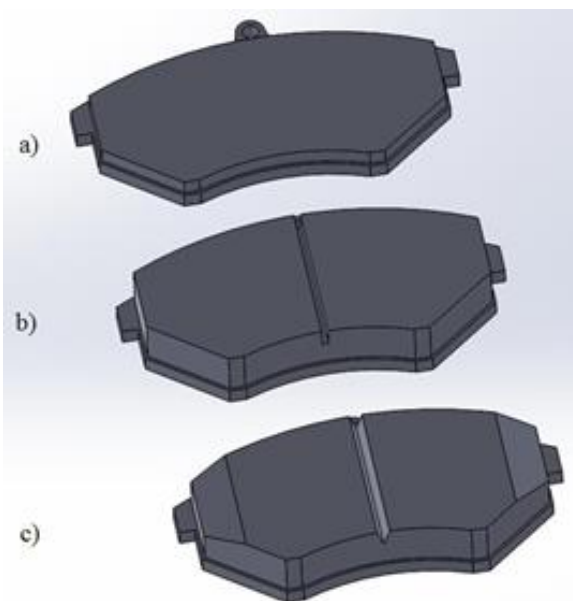


Рисунок 2.14 - Цифрова модель гальмівних колодок, що використовувалися у випробуванні: а) вживані; б) економ-клас; в) високий клас.

А за допомогою програми SolidWorks розраховано площі робочих поверхонь блоків.

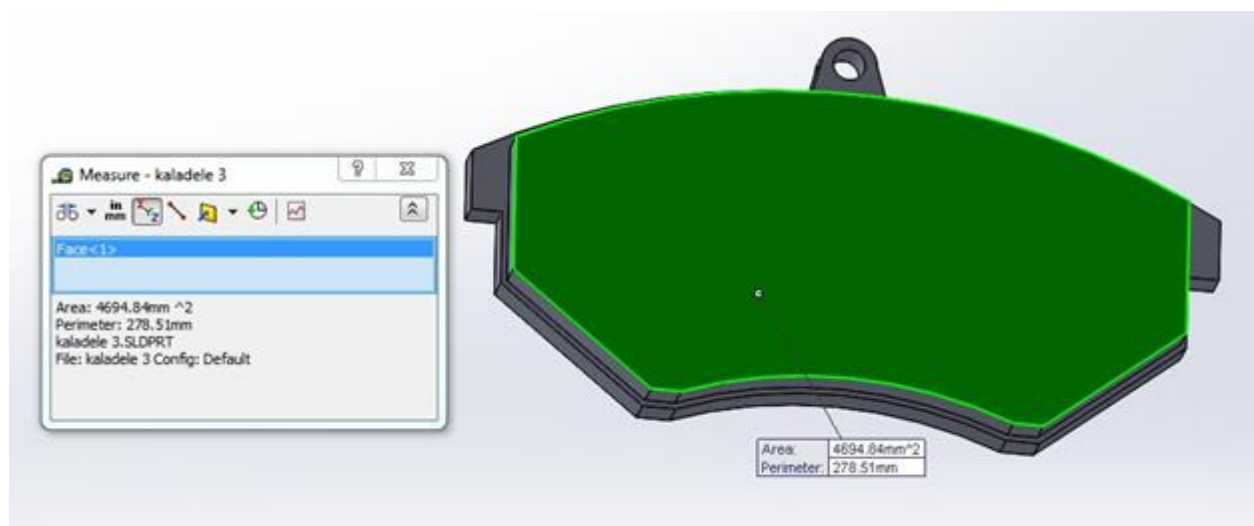


Рисунок 2.15 - Робоча зона зношеної колодки

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк. 45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отримавши ці результати, можна розрахувати теоретичну ефективність гальмування кожного випробування на тій самій робочій ділянці та порівняти її з результатами, отриманими під час експериментального випробування.

$$Z_t = \frac{z}{S_{кол}} \cdot 100\%$$

Тут: z – ефективність гальмування; $S_{кол}$ – робоча площа гальмівних колодок.

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ЧИСЕЛЬНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ

Метод скінченних елементів – це широко використовуваний інструмент аналізу, який дозволяє точніше та швидше оцінювати міцність, жорсткість та тепловий вплив різних конструктивних елементів. Цей метод широко використовується в розрахунках конструкції транспортних засобів. Метою цього дослідження є визначення температури гальмівного диска за допомогою програми моделювання SolidWorks. Будуть використані 2 гальмівні диски, один новий, а інший зношений. Вони відрізняються товщиною робочої поверхні.

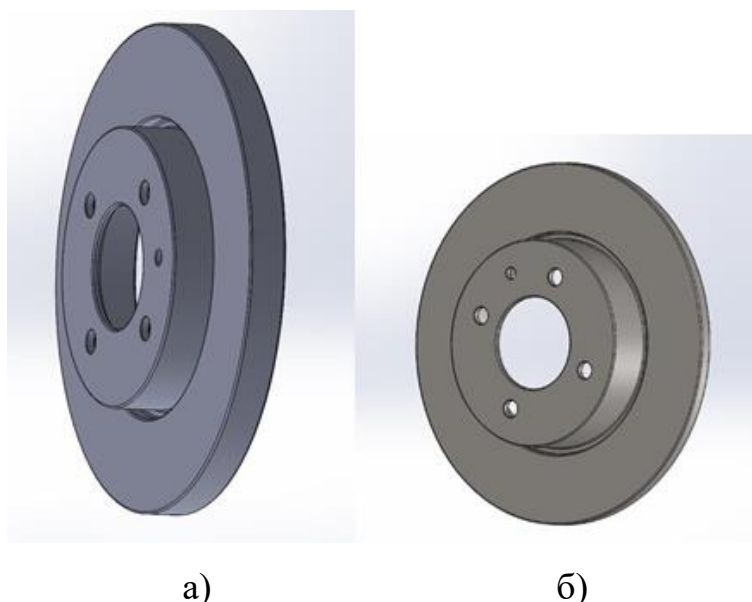


Рисунок 3.1 - Гальмівний диск: а) новий гальмівний диск;
б) зношений гальмівний диск

3.1. Теплові розрахунки в середовищі SOLIDWORKS

Температура гальмівного диска буде визначатися за таких умов. Автомобіль рухатиметься зі швидкістю 22 м/с і буде гальмувати до повної зупинки. Оскільки маса автомобіля становить 1380 кг, ми можемо розрахувати силу, необхідну для зупинки автомобіля. Нам також потрібен коефіцієнт

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зчеплення між сухою асфальтовою поверхнею та гумою (автомобільною шиною). Цей коефіцієнт може становити 0,72. 0,88.

Знаючи ці умови, ми можемо розрахувати силу тертя, необхідну для зупинки автомобіля [3].

$$F_f = \mu \cdot m \cdot g \quad (3.1)$$

де: F_f – сила тертя, Н;

μ – коефіцієнт тертя;

m – маса автомобіля, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

$$F_f = 0,75 \cdot 1380 \cdot 9,81 = 10153,3 \text{ Н}$$

Після розрахунку сили тертя можна розрахувати середнє гальмівне прискорення:

$$a = \frac{F_f}{m}; \quad (3.2)$$

де: a – гальмівне прискорення, м/с²;

F_f – сила тертя, Н;

m – маса автомобіля, кг.

$$a = \frac{10153,3}{1380} = 7,35$$

Тоді можна розрахувати час, необхідний для зупинки автомобіля:

$$t = \frac{v}{a}; \quad (3.3)$$

де: t – час гальмування, с;

v – швидкість автомобіля, м/с.

a – прискорення гальмування, м/с².

$$t = \frac{22}{7,35} = 2,99 \text{ с}$$

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк. 49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час гальмування автомобіля тертя між гальмівним диском і гальмівною колодкою генерує тепло. Більша частина кінетичної енергії перетворюється на тепло. Теплова енергія буде зосереджена в точці, де колодки контактують з диском. Кількість тепла розраховується на основі енергії твердого тіла.

Було визначено, що автомобіль важив 1380 кг і рухався зі швидкістю 22 м/с (79,2 км/год).

$$KE = \frac{1}{2} \cdot mv^2; \quad (3.4)$$

де: KE – кінетична енергія, Дж;

m – маса автомобіля, кг;

v – швидкість автомобіля, м/с.

$$KE = \frac{1}{2} \cdot 1380 \cdot 22^2 = 333,96 \text{ кДж}$$

Якщо вся кінетична енергія перетворюється на теплову енергію протягом періоду гальмування, який триває протягом часу Δt , кількість теплової енергії можна розрахувати за формулою;

$$Q_n = \frac{KE}{\Delta t}; \quad (3.5)$$

де: Q_{All} – теплова енергія, Вт;

KE – кінетична енергія, Дж;

Δt – час гальмування, с.

Під час випробування буде аналізуватися лише температура передніх гальмівних дисків. Оскільки під час гальмування центр мас автомобіля через сили інерції переміщується ближче до передньої частини автомобіля, то теплову енергію необхідно перерахувати за формулою:

$$Q_n = \frac{KE \cdot 0,6}{\Delta t}; \quad (3.6)$$

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_n = \frac{333,96 \cdot 0,6}{3} = 66,738 \text{кВт}$$

Після проведення всіх необхідних розрахунків починається термічний аналіз. До обох дисків застосовуються однакові умови. Отримано наступні розподіли температури.

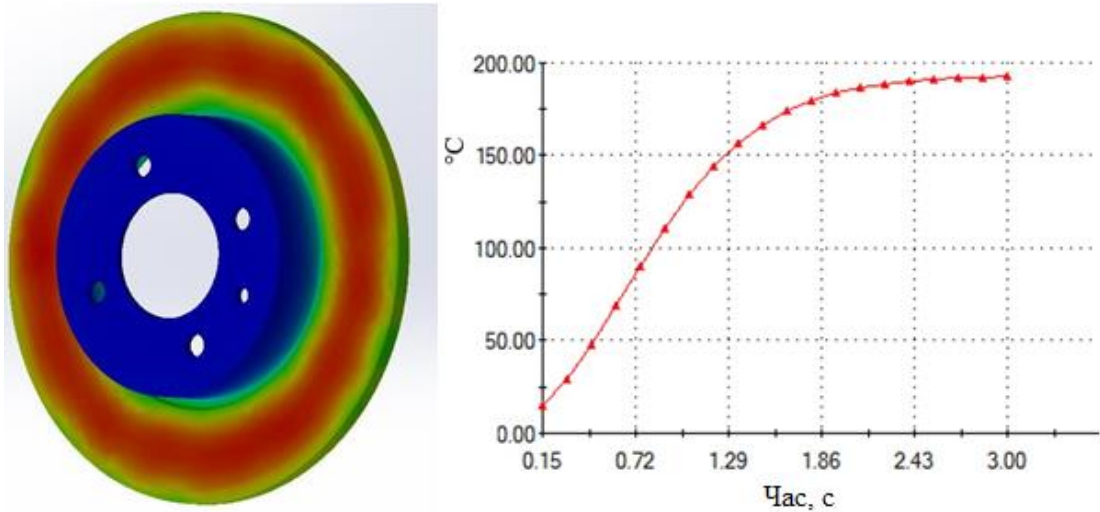


Рисунок 3.2 - Термічний аналіз зношеного гальмівного диска

Таке ж моделювання було виконано з новим диском. Його товщина вдвічі більша, тому температури мають бути нижчими.

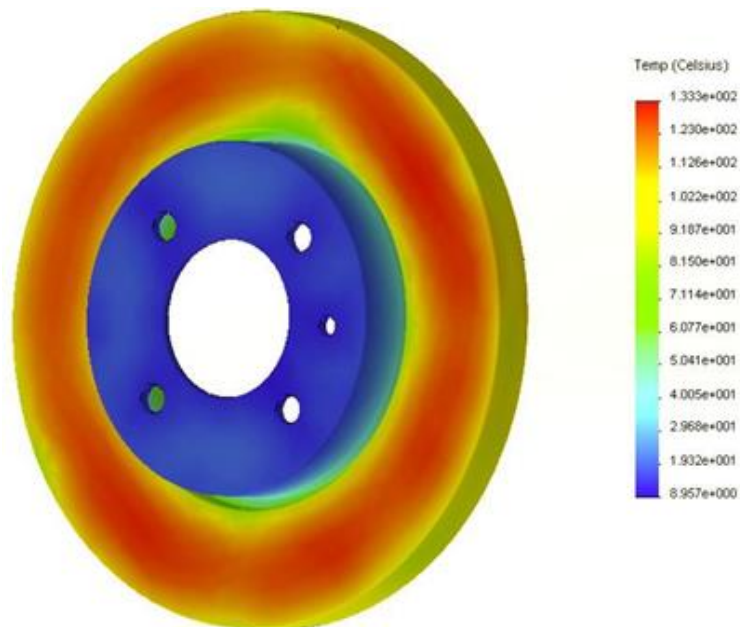


Рисунок 3.3 - Температурний аналіз нового диска.

Ми порівняємо дані, отримані під час експериментального дослідження та після виконання числового дослідження в програмі «SolidWorks».

Ефективність гальмування була розрахована, вибравши значення 20 бар та 40 бар у всіх випробуваннях. Це дозволяє нам порівняти різні компоненти гальм.

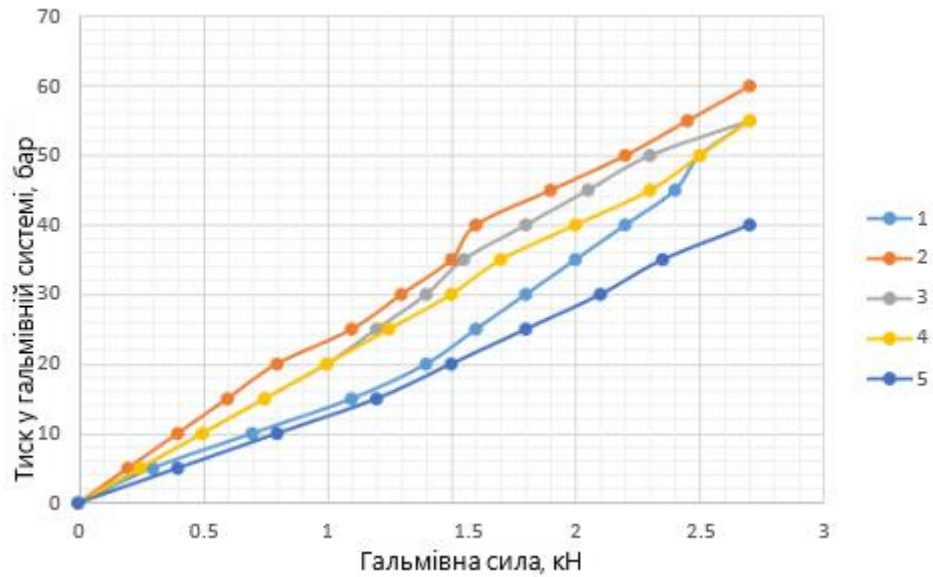
Таблиця 1 - Розрахована ефективність гальмування

	20 бар	40 бар
1) Зношені колодки та гальмівні диски	50.00 %	86.55 %
2) Нові компоненти (незношені, економ-клас)	32.69 %	65.39 %
3) Нові компоненти (пробіг 100 км, економ-клас)	38.46 %	71.16 %
4) Нові компоненти (пробіг 200 км, економ-клас)	42.31 %	78.85 %
5) Нові компоненти (пробіг 200 км, високий клас)	55.77 %	98.09 %

Таблиця 2 - Розрахункова ефективність гальмування після експериментальних випробувань у порівнянні з теоретичною ефективністю. (Розрахункова ефективність гальмування, теоретична ефективність)

	20 бар	20 бар	40 бар	40 бар
1) Зношені гальмівні колодки та диски	50.00 %	50.00 %	86.55 %	86.55 %
2) Нові гальмівні колодки	46.16 %	56.93 %	75.01 %	92.51 %
3) Нові компоненти (незношені, економ-клас)	32.69 %	40.32 %	65.39 %	80.65 %
4) Нові компоненти (пробіг 100 км, економ-клас)	38.46 %	47.44 %	71.16 %	87.76 %
5) Нові компоненти (пробіг 200 км, економ-клас)	42.31 %	52.18 %	78.85 %	97.25 %
6) Нові компоненти (пробіг 200 км, преміум-клас)	55.77 %	56.94 %	98.09 %	100.14 %

Також було проведено графічне порівняння всіх випробувань. Результати перших випробувань порівнювалися, коли температура гальмівного диска відповідає початковим умовам, та других випробувань, коли система була прогріта.



3.4 - Порівняння ефективності гальмування, коли компоненти гальм не прогріваються

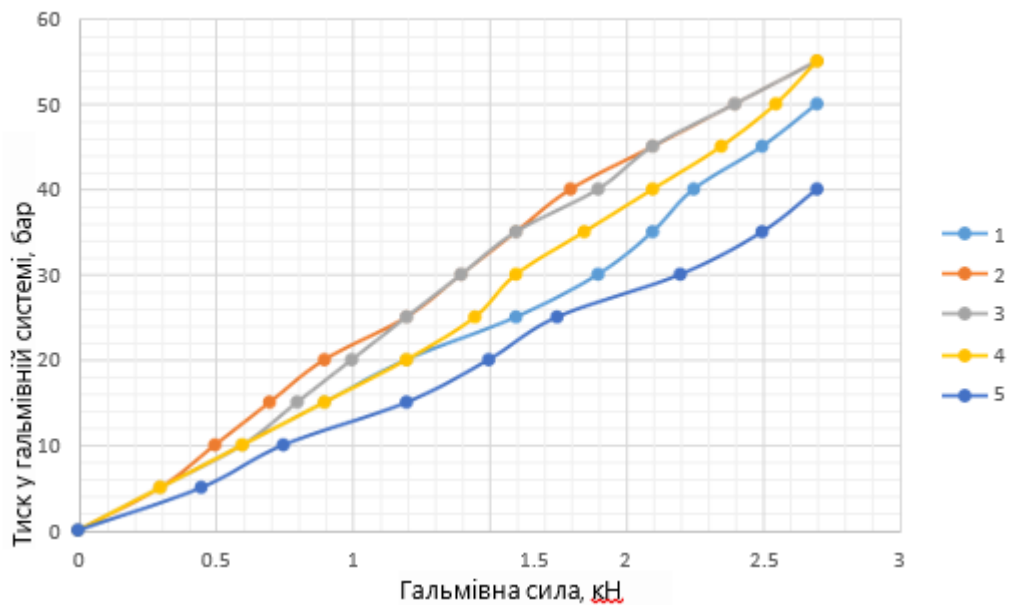
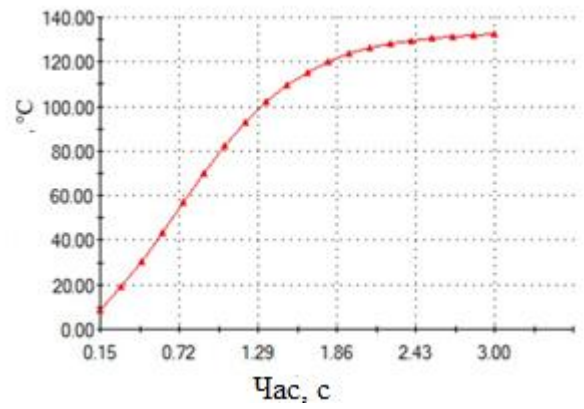
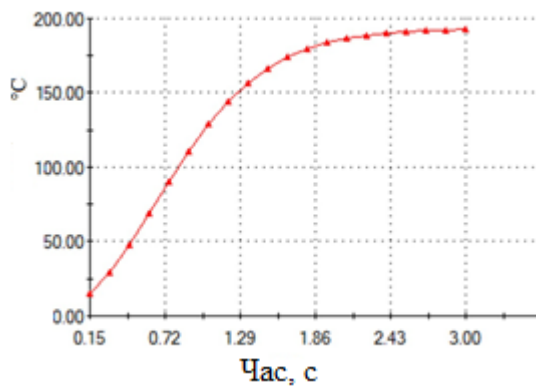


Рисунок 3.5 - Порівняння ефективності гальмування, коли компоненти гальм не прогріваються

Порівняння температур дисків також було проведено в середовищі SolidWorks;



a)

b)

Рисунок 3.6 - Порівняння температур гальмівних дисків; а) зношених; б) нових.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Техніка безпеки під час заміни гальмівних колодок

Безпека під час заміни гальмівних колодок та гальмівних колодок є надзвичайно важливою, оскільки гальма впливають на керування транспортним засобом та містять небезпечні для здоров'я речовини (пил, хімічні речовини). Дотримуйтесь цих запобіжних заходів, щоб захистити себе, транспортний засіб та інших [14].

Підготовка та робоче місце

Працюйте на рівній, рівній поверхні з гарним освітленням та вентиляцією.

Припаркуйтесь з увімкненим стоянковим гальмом та заблокованими колесами з протилежного боку.

Використовуйте упори для коліс і перемкніть передачу (ручна коробка передач) або паркування (автоматична коробка передач).

Тримайте під рукою вогнегасник та основну аптечку першої допомоги.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Захисні окуляри або захисні окуляри для захисту від пилу та летючих частинок.

Нітрилові рукавички для захисту шкіри від гальмівної рідини, мастила, розчинників та пилу, що містить азбест.

Респіратор N95 або P100 під час очищення компонентів гальм або за наявності пилу.

Закрите взуття; уникайте вільного одягу та прикрас.

Інструменти та деталі

Використовуйте якісні інструменти: домкрат правильного розміру, підставки для домкратів, розраховані на цей автомобіль, динамометричний ключ, інструмент для поршня гальмівного супорта або С-подібний затискач,

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк. 55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

плоскогубці для гальмівних пружин та очищувач гальм.

Замініть колодки/башмаки та кріплення (прокладки, фіксатори, пружини) на прокладки/башмаки виробника виробника або еквівалентної якості.

Ніколи не покладайтеся лише на гідравлічний домкрат — завжди використовуйте опори, розміщені під рекомендованими виробником точками підйому.

Перевірте та, за потреби, замініть відповідні деталі, ротори/барабани, напрямні штифти супорта та гальмівні шланги.

Поводження з гальмівним пилом та забрудненнями

Ставтеся до гальмівного пилу як до потенційно небезпечного: не продуйте його стисненим повітрям.

Використовуйте пилосос з фільтром або вологі одноразові рушники/аерозольний засіб для чищення гальм, щоб запобігти утворенню пилу.

Зберіть використані деталі/відходи від чищення та утилізуйте їх відповідно до місцевих правил щодо небезпечних відходів.

Запобіжні заходи гідравлічної системи

Тримайте гальмівну рідину подалі від пофарбованих поверхонь; вона пошкоджує фарбу. негайно змийте будь-які розливи водою.

Під час відкривання гідравлічної гальмівної системи запобігайте потраплянню повітря, працюючи з одним супортом/гальмівною трубкою за раз, та дотримуйтесь належної процедури прокачування.

Використовуйте лише гальмівну рідину, зазначену виробником, та дотримуйтесь правильної послідовності прокачування та технічних характеристик крутного моменту затягування.

Закривайте резервуари та трубопроводи кришками, щоб мінімізувати забруднення.

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Безпека механічних процедур

Дотримуйтесь послідовності кроків виробника; ніколи не керуйте автомобілем, доки робота не буде завершена та перевірена.

Повільно та рівномірно втягуйте поршні супортів, щоб уникнути пошкодження поршнів/ущільнень.

Замінюйте зношені або заклинені напрямні штифти та змащуйте високотемпературним гальмівним мастилом лише там, де це зазначено (напрямні штифти, точки контакту колодок), а не на поверхнях тертя або гумових чохлах.

Встановіть нові кріплення (антидетонаційні затискачі, прокладки), щоб забезпечити правильне вирівнювання та функціонування колодок.

Під час встановлення черевиків у барабанні системи уникайте надмірного розтягування пружин; використовуйте відповідні інструменти для пружин, щоб запобігти ковзанню та травмам.

Крутний момент та кріплення

Затягніть гайки гайок та болти супорта/анкера відповідно до вимог виробника щодо крутного моменту за допомогою каліброваного динамометричного ключа.

Після опускання затягніть гайки кріплення у правильній зіркоподібній послідовності згідно зі специфікацією, перш ніж їхати.

Тестування та перевірка

Перед початком руху повільно натисніть на педаль гальма до упору, щоб скинути поршні та створити гідравлічний тиск — педаль не повинна опускатися на підлогу.

Проведіть випробування на низькій швидкості в безпечній зоні, щоб перевірити ефективність гальмування, роботу стоянкового гальма та відсутність незвичайних шумів.

Після короткої пробної поїздки перевірте момент затягування кріплення (згідно з рекомендаціями виробника).

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Екологічні та утилізаційні

Утилізуйте старі гальмівні колодки/черевики, рідину та забруднені ганчірки на авторизованих пунктах переробки або утилізації небезпечних відходів.

Зберігайте розчинники та засіб для чищення гальм у маркованих контейнерах; дотримуйтеся місцевих правил утилізації.

Типові помилки, яких слід уникати

Не використовуйте повторно фурнітуру або тонкі, надрізані прокладки/взуття.

Не стискайте поршні супортів із силою, не перевірявши наявність переливу рідини; слідкуйте за рівнем гальмівної рідини.

Не розмазуйте мастило або олію на поверхнях тертя.

Не поспішайте зі збиранням; відсутні затискачі або неправильно розташовані пружини можуть спричинити шум, поганий знос або поломку.

Коли звернутися за професійною допомогою

Якщо ротори/барабани мають значні подряпини або не відповідають специфікаціям, якщо супорти заклинили, якщо гідравлічна система незрозуміла або якщо гальмівна система залишається порушеною після заміни, зверніться до кваліфікованого техника.

Дотримання цих запобіжних заходів зменшує ризик травмування, шкоди для здоров'я та поломок після обслуговування [14].

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Експериментальне випробування показало, що колодки економ-класу гальмують гірше, ніж зношені. Це пов'язано з тим, що їхня робоча поверхня на 19% менша. З часом робоча поверхня цих колодок збільшиться і, як наслідок, ефективність гальмування покращиться.

Експериментальне дослідження також показало, що колодки високого класу гальмують краще на 5% при тиску 20 бар і на 11% при тиску 40 бар порівняно зі зношеними. Для досягнення максимальної ефективності гальмування достатньо тиску 40 бар порівняно зі зношеними при 55 бар.

Під час експериментального дослідження було виявлено, що при гальмуванні старими компонентами вони нагріваються до 137 °С протягом експерименту, тоді як нові компоненти нагріваються до 88 °С, 79 °С, 84 °С та 77 °С відповідно.

Розрахункова робоча площа колодок показала, що робоча поверхня колодок економ-класу на 19% менша, ніж у зношених. Робоча площа поверхні високоякісних гальмівних колодок лише приблизно на 2% менша, ніж у зношених. Це пояснюється тим, що зношена колодка вже досягла своєї межі зносу, тоді як нові компоненти мають канавку, яка вказує на межу зносу.

2. Після моделювання гальмівних дисків у системі SolidWorks та проведення їх теплового аналізу було виявлено, що зношений гальмівний диск досяг температури 190 °С за тих самих умов, тоді як новий диск досяг лише 133 °С.

3. Після проведення експериментального дослідження ми бачимо, що гальма працюють ефективніше, коли вони прогріті. Також ефективність гальм залежить головним чином від робочої площі колодки. Можна сказати, що розрахунки SolidWorks правильні, оскільки під час практичних та числових випробувань старі компоненти нагрівалися швидше, а їх температура була вищою.

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рекомендації: Перед придбанням гальмівних компонентів проконсультуйтеся з консультантом. Хоча старі гальма ефективні, вони більше нагріваються та не працюють плавно через надмірний знос, що може призвести до вібрації керма та самого автомобіля під час гальмування. Це збільшує ймовірність виникнення аварійної ситуації. Необхідно своєчасно замінювати зношені деталі гальмівної системи та забезпечувати безпеку собі та іншим учасникам дорожнього руху.

					MP.AT- 69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Інерційне гальмо накату URL: <https://www.al-ko-tech.com.ua/post/inertial-brake-rolling-simplicity-and-safety> (дата звернення: 20.10.2025).
2. “Training of an Automobile Repairman” third book “CAR CHASSIS, STEERING AND BRAKES” Arvidas Basakirskas, Albertas Mačiulis, Vilnius 2008, 346 pages.
3. Mokslinis straipsnis Paul M. Kurowski“ Thermal Analysis SolidWorks Simulation 2013“ Interneto svetainė:
4. Основні компоненти барабанних гальм URL: <https://king-racing.com/what-are-the-parts-of-a-car-brake-system/> (дата звернення: 20.10.2025).
5. Гальмівний барабан URL: www.nr1.lt/NR1-Discovery/Brakes/Disc-brake/disc-brake-lt.html (дата звернення: 20.10.2025).
6. Limpert, R., 2011. Brake Design and Safety. 3rd ed. Warrendale: SAE International
7. Masoud, I., Al-Jarrah, J. & Mansour, T., 2014. Manufacturing of Gray Cast Iron Automotive Disc Brake. Indian Journal of Applied Research, 4(3), pp. 129-131
8. Sanaka, D. S. P. & Kumar, S. k., 2015. Design and Analysis of Drilled Rotor of a Disc Brake. International Journal of Eminent Engineering Technologies, 2 July, Volume 3, pp. 1-16
9. Mina M.S. Kaldas. Vehicle Braking Performance Improvement via Electronic Brake Booster. February 2024 [SAE International Journal of Vehicle Dynamics, Stability, and NVH](#)8(1):63-79
10. Що таке електронне стоянкове гальмо та як воно працює <https://www.gmride.com.my/blog/what-is-electronic-park-brake-and-how-does-it-work/> (дата звернення: 20.10.2025).
11. Volkov, V.; Gritsuk, I.; Volkova, T.; Berezhnaja, N.; Pliekhova, G.; Bulgakov, M.; Marmut, I.; Volska, O. System Approach to Forecasting Standards of

					MP.AT-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Vehicles' Braking Efficiency; SAE Technical Paper 2021; 2021-01-5083; SAE International: Warrendale, PA, USA, 2021.

12. Paweł Szymański et al. A review of composite materials used in brake disc pad manufacturing process. December 2020(2):60-66

13. <https://www.quora.com/Which-material-is-mainly-used-in-brake-lining> (дата звернення: 20.11.2025).

14. Техніка безпеки при заміні тормозних колодок
<https://www.quora.com/What-are-the-safety-precautions-when-replacing-brake-pads-and-brake-shoes> (дата звернення: 21.11.2025).

					MP.AT-69.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Комплект ілюстративного матеріалу до захисту
магістерської роботи**

студента групи АТм-24-1

Саварина Миколи Миколайовича

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОКАЗНИКІВ ПРОЦЕСІВ
ГАЛЬМУВАННЯ ЛЕГКИХ АВТОМОБІЛІВ В УМОВАХ СТАНЦІЇ
ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ**

Науковий керівник: доц. Гнип М.М.

Івано-Франківськ
2025р.

Актуальність.

Забезпечення безпеки автомобілів вважається найважливішим аспектом експлуатації транспортних засобів. Під час технічного огляду автомобілів перевіряється безпека руху автомобіля на дорозі, щоб він не становив небезпеки для водія та оточуючих. Одним з аспектів, що перевіряються, є перевірка гальм, під час якої визначається нерівність та сила гальмування. Автомобілі мають різні системи безпеки, які можуть бути активними або пасивними. Активні системи безпеки допомагають уникнути дорожньо-транспортної пригоди (ABS, ESP тощо), тоді як пасивні захищають пасажирів транспортного засобу після того, як дорожньо-транспортна пригода вже сталася (ремені безпеки, подушки безпеки тощо). Мабуть, найважливішим аспектом забезпечення безпеки транспортного засобу є гальмівна система.

Проблема дослідження. Одним з найпоширеніших дефектів гальмівної системи транспортних засобів є тріщини гальмівних дисків, окислення робочих поверхонь або поява канавок. Все це впливає на знос гальмівних колодок, що призводить до перегріву гальмівних дисків та перерахованих раніше дефектів гальмівних дисків.

Щоб уникнути цих дефектів, необхідне технічне обслуговування гальмівної системи. Одним з найважливіших факторів є своєчасна заміна гальмівних дисків та колодок.

МЕТА і ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Мета роботи - дослідити ефективність гальмівної системи в однакових умовах з різними компонентами.

Завдання дослідження:

- провести огляд літератури, пов'язаної з властивостями гальмівної системи та гальмівних дисків;
- визначити ефективність гальмування з різними колодками під час експериментального дослідження;
- провести числовий експеримент у середовищі SolidWorks;
- порівняти результати експериментальних досліджень та числових випробувань.

Об'єкт дослідження – гальмівна система легкових автомобілів.

Предмет дослідження – показники ефективності процесу гальмування легкових автомобілів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:

1. Проведено температурний аналіз компонентів гальмівної системи.
2. Обгрунтовано як залежить ефективність гальм легкових автомобілів від робочої площі колодок

Наукова новизна. Досліджено залежність показників ефективності гальм легкових автомобілів від робочої площі колодок.

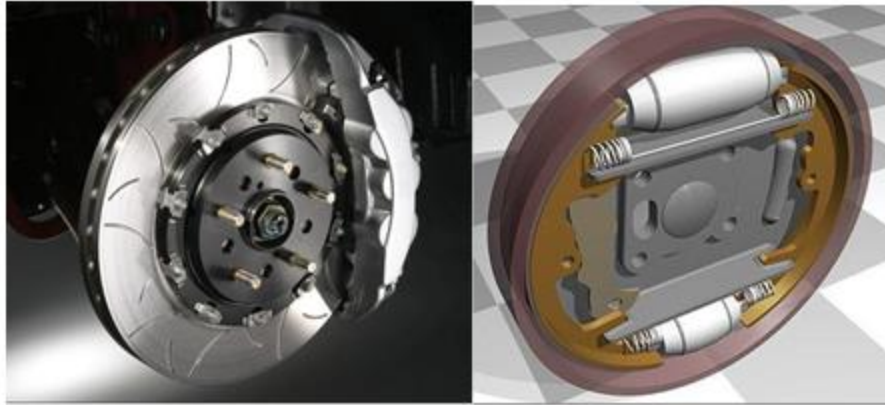


Рисунок 1 - Дискові та барабанні гальмівні механізми



Рисунок 2 - Механічний гальмівний привід

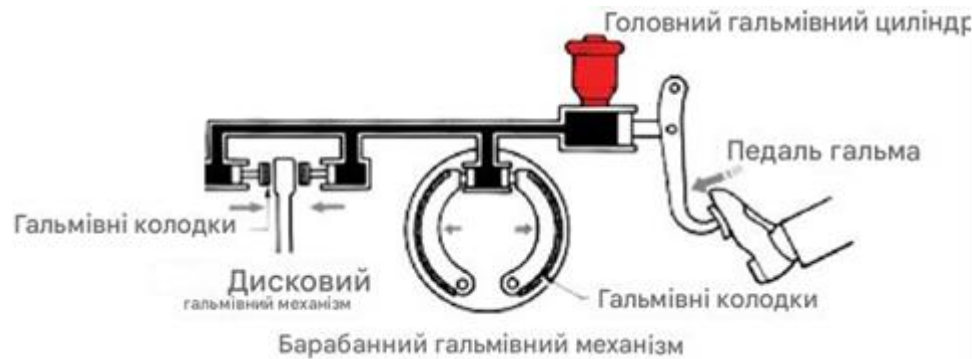


Рисунок 3 - Гідравлічний гальмівний привід

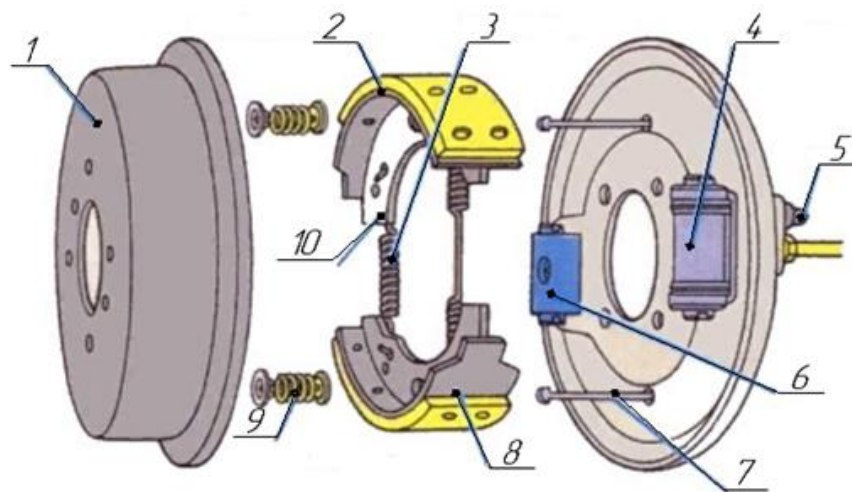


Рисунок 4 - Основні компоненти барабанних гальм



Рисунок 5 - Гальмівний барабан



Рисунок 6 - Барабанні гальмівні колодки



Рисунок 7 - Різні кріплення та з'єднувачі

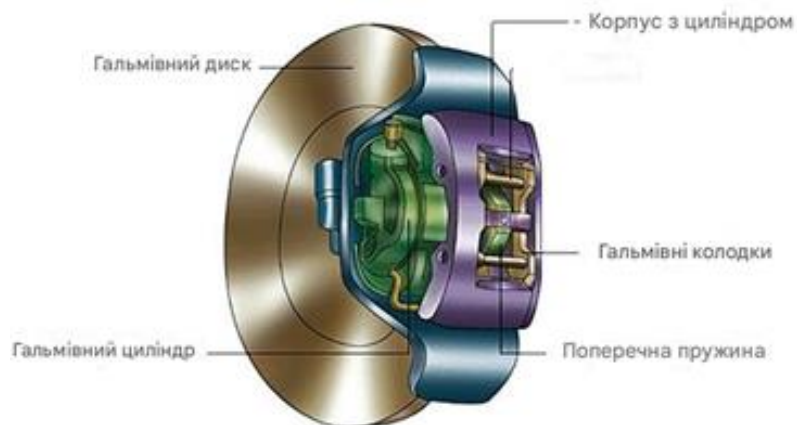


Рисунок 8 - Конструкція дискового гальмівного механізму

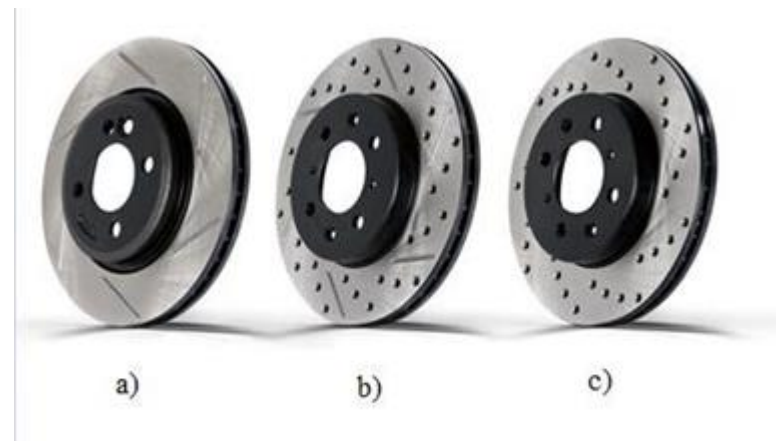


Рисунок 9 - Модифіковані гальмівні диски



Рисунок 10 – а) класичний суцільнометалевий; б) з додатковими порожнинами для повітряного охолодження



Рисунок 11 - Кнопка електронного стоянкового гальма

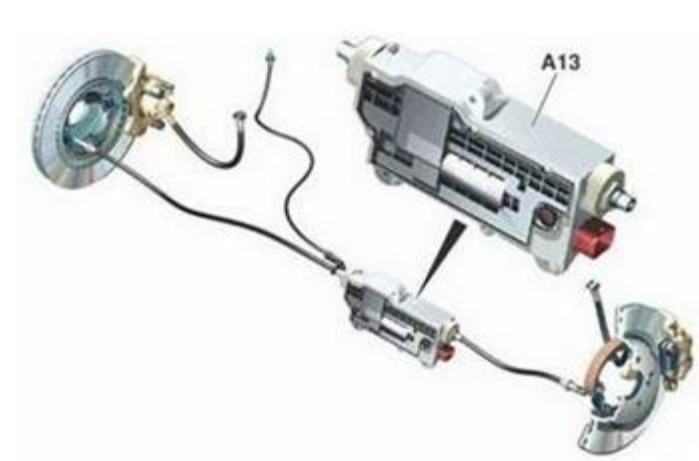


Рисунок 12 - Принципова схема електронного стоянкового гальма

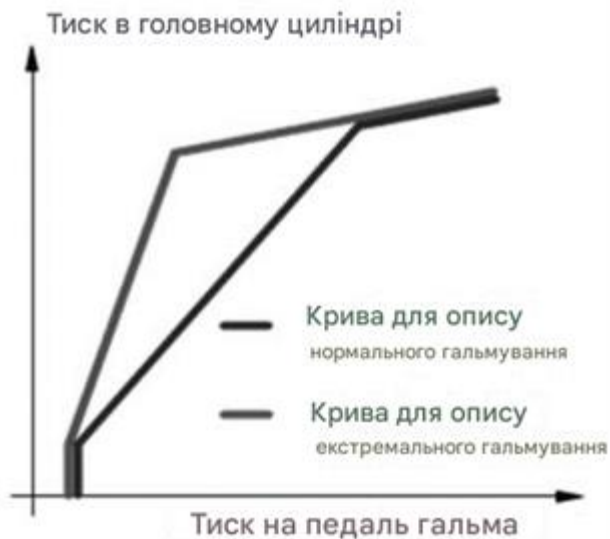


Рисунок 13 - Криві характеристики системи, що описують нормальне та екстремне гальмування

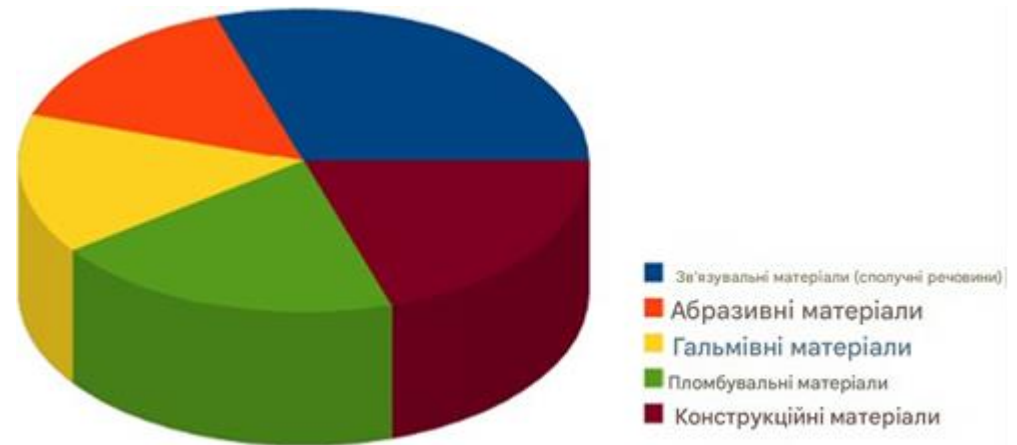


Рисунок 14 - Приблизний склад гальмівних колодок (пропорції наведено лише для ілюстрації)



Рисунок 15 - Зношені гальмівні колодки



Рисунок 16 - Порівняння зношених гальмівних колодок з новими



Рисунок 17 - Гальмівні диски: а) зношені гальмівні диски; б) порівняння зношених з новими



Рисунок 18 - Температура гальмівного диска, виміряна перед випробуванням

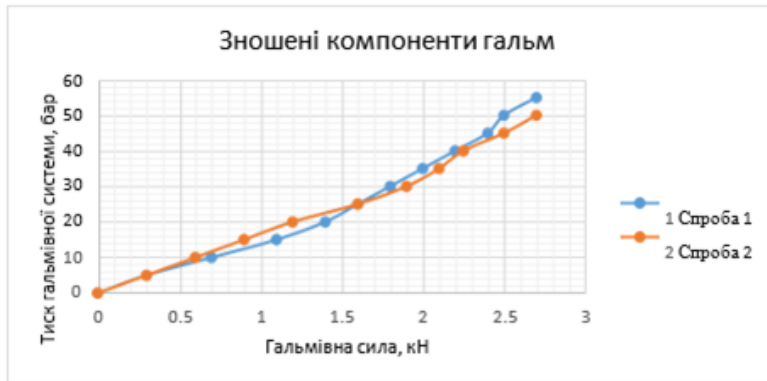


Рисунок 18 - Перше випробування: зі зношеними компонентами

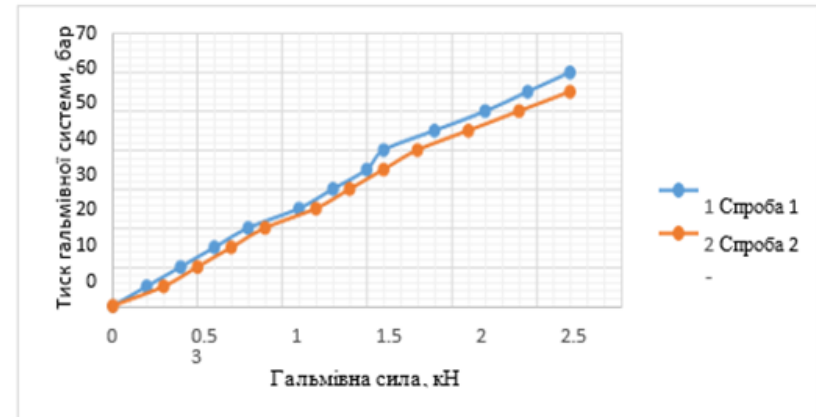


Рисунок 19 - Друге випробування: з новими компонентами без їх тертя

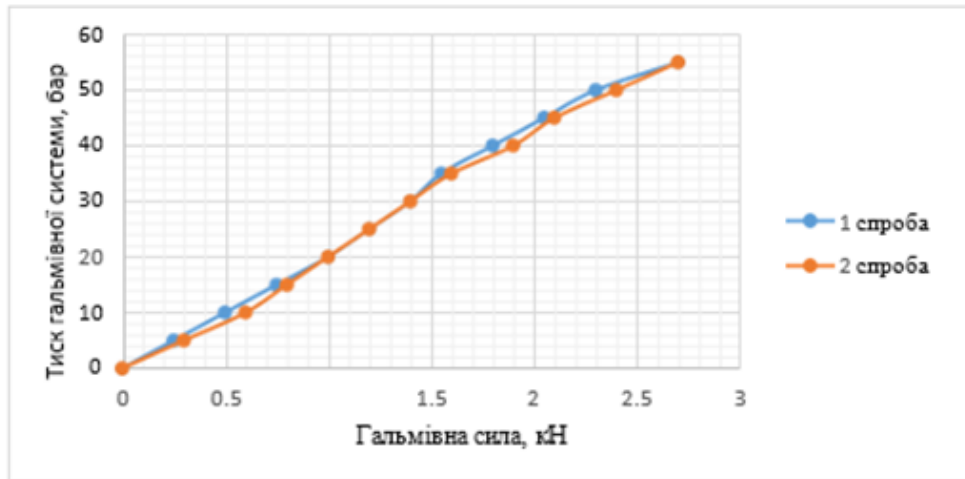


Рисунок 20 - Третє випробування: з новими компонентами після 100 км у місті

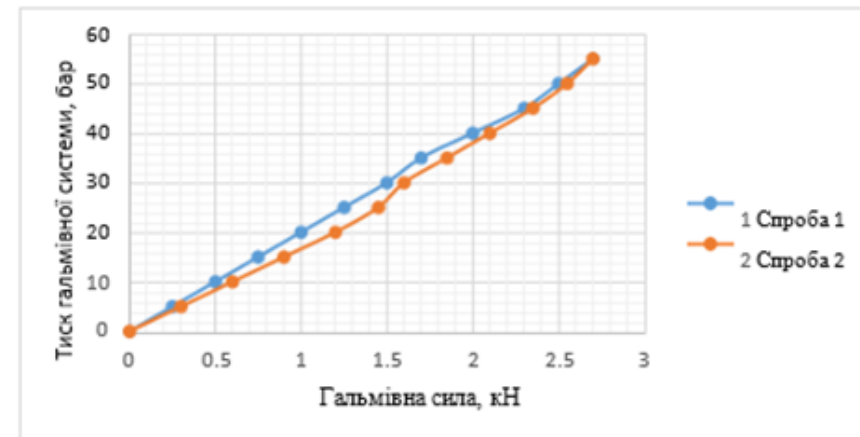


Рисунок 21 - Четвертий тест: з новими компонентами після 200 км у місті

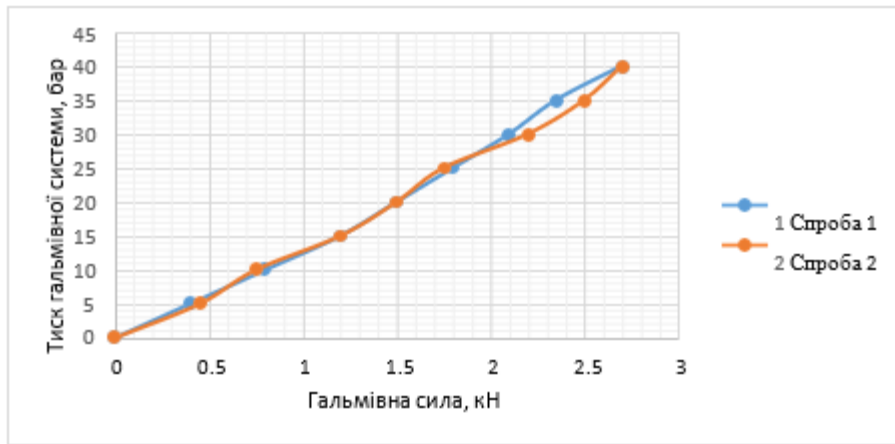


Рисунок 22 - П'ятий тест: з високоякісними колодками

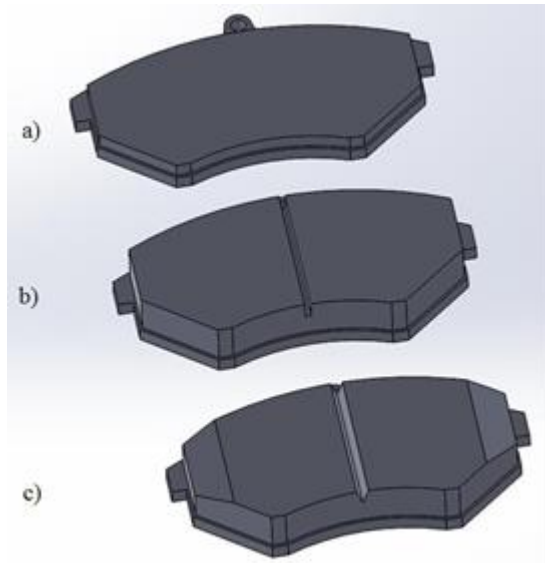


Рисунок 2.4 - Цифрова модель гальмівних колодок, що використовувалися у випробуванні: а) вживані; б) економ-клас; в) високий клас.

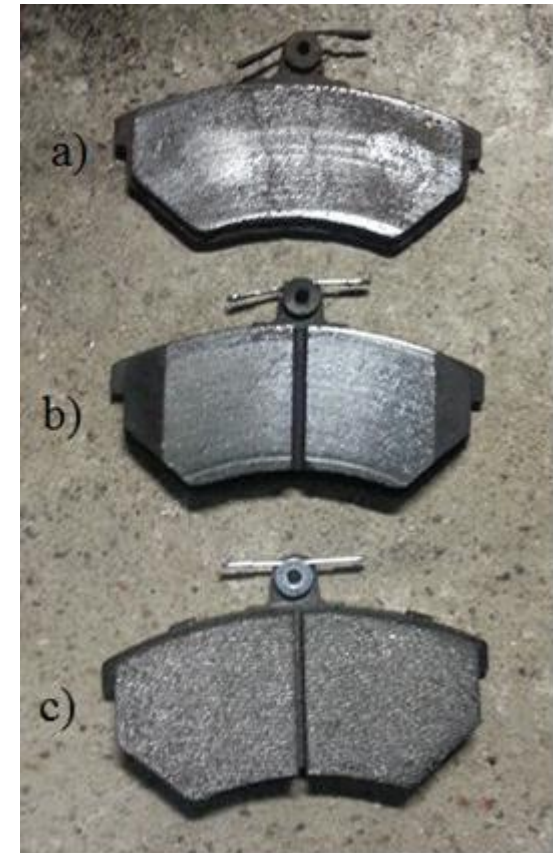


Рисунок 23 - Гальмівні колодки, зношені під час випробування: а) зношені; б) економ-клас; с) високий клас

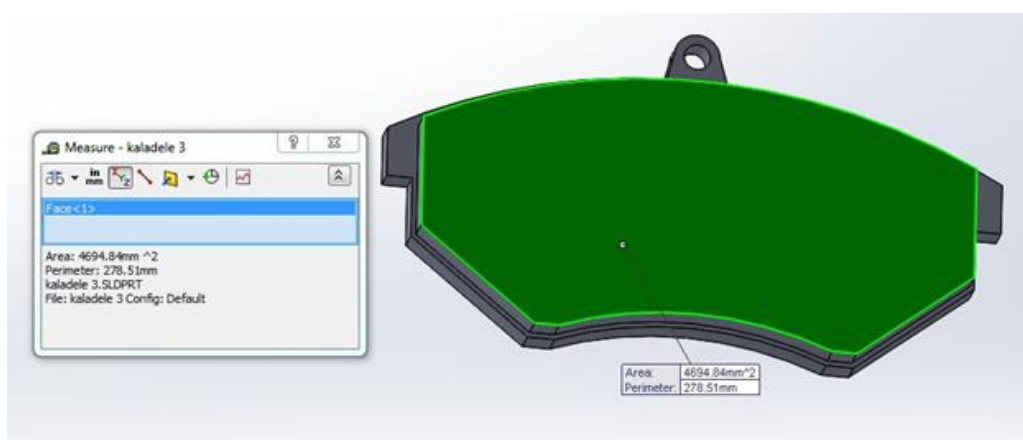


Рисунок 24 - Робоча зона зношеної колодки

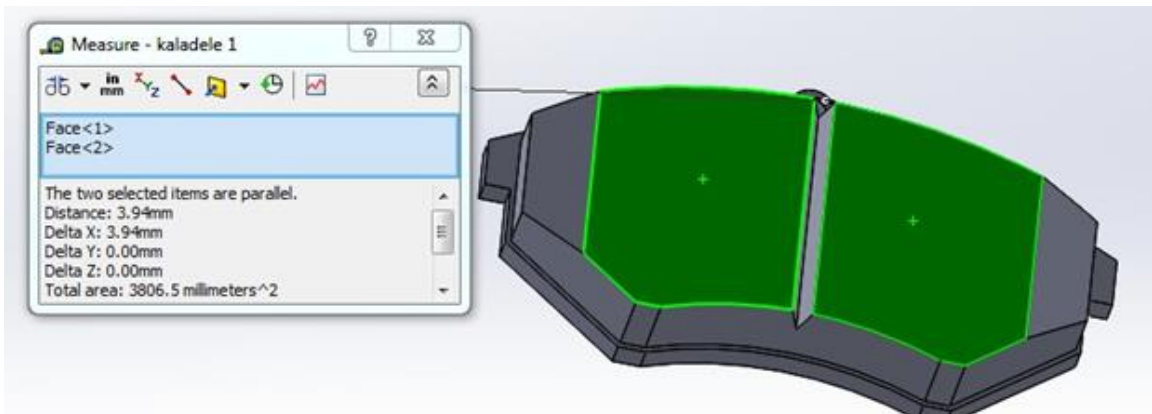


Рисунок 25 - Робоча зона колодки економ-класу

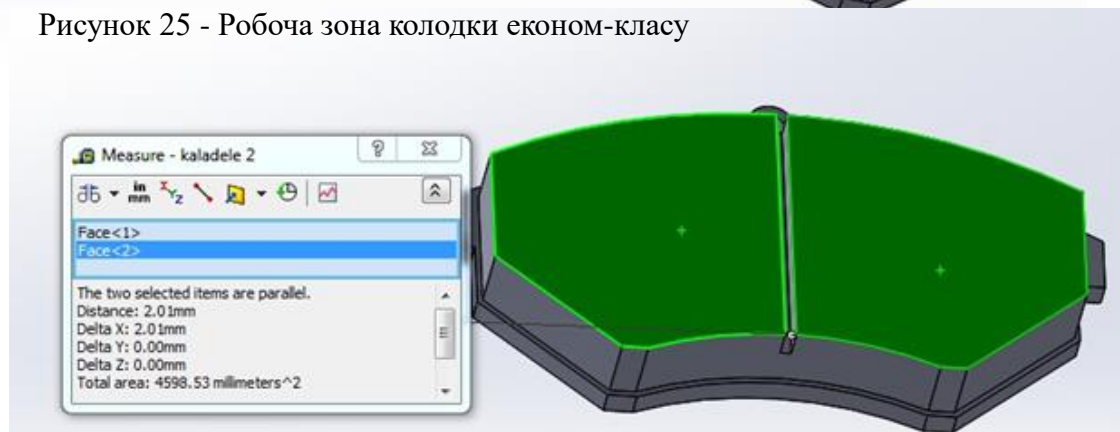


Рисунок 26 - Робоча зона колодки вищого класу

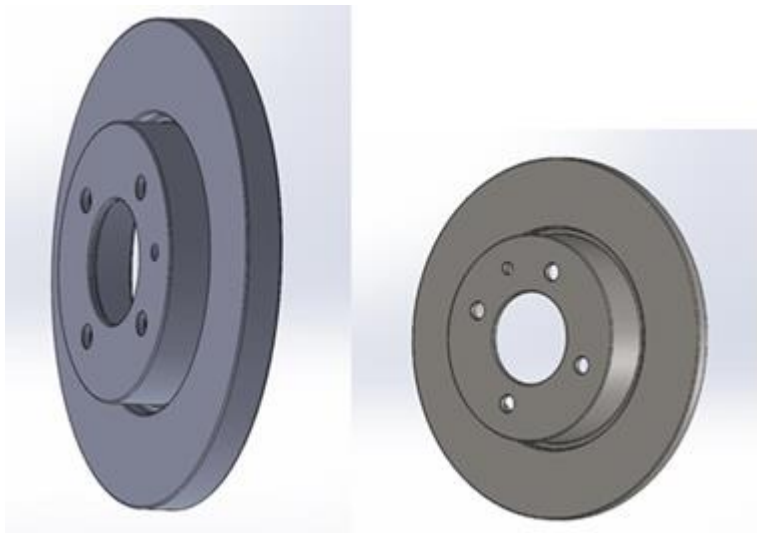


Рисунок 27 - Гальмівний диск: а) новий гальмівний диск; б) зношений гальмівний диск

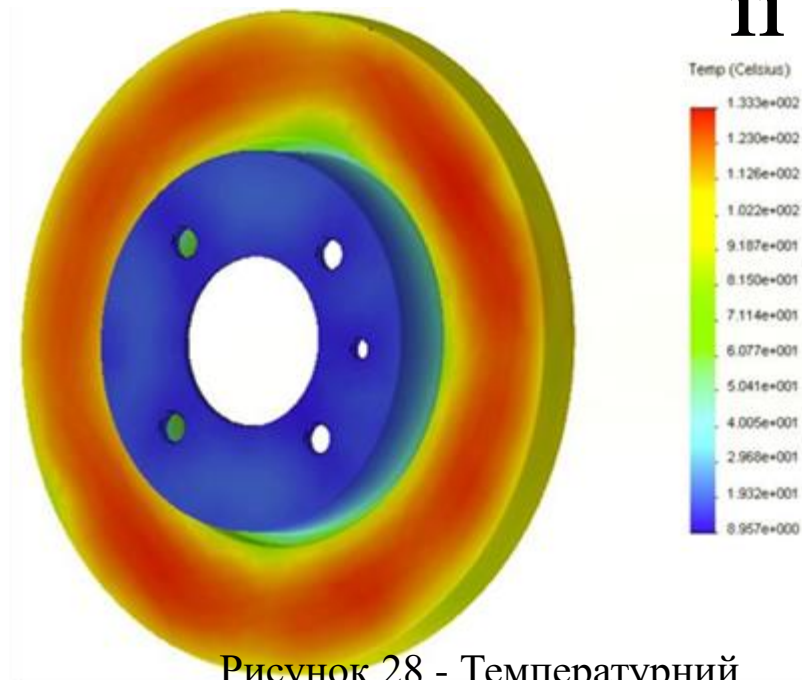


Рисунок 28 - Температурний аналіз нового диска.

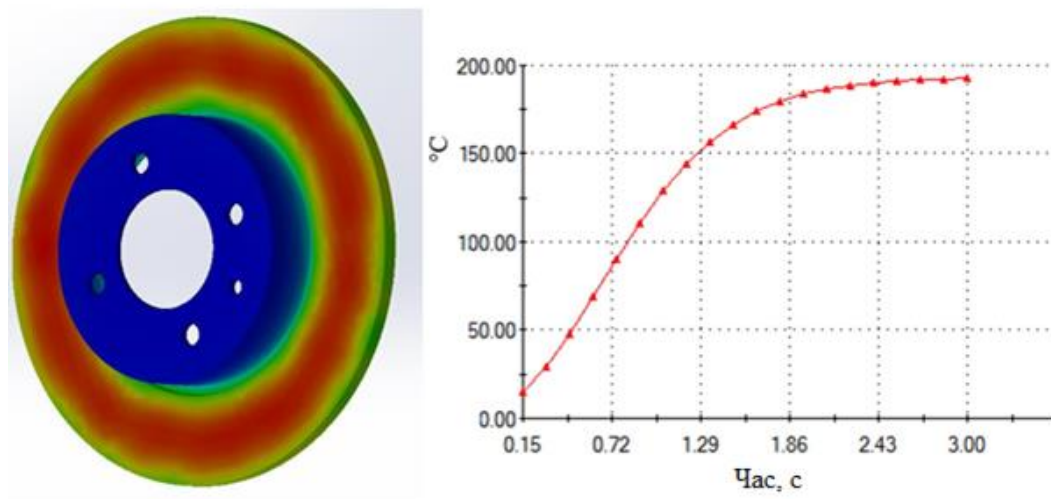


Рисунок 29 - Термічний аналіз зношеного гальмівного диска

ВИСНОВКИ

1. Експериментальне випробування показало, що колодки економ-класу гальмують гірше, ніж зношені. Це пов'язано з тим, що їхня робоча поверхня на 19% менша. З часом робоча поверхня цих колодок збільшиться і, як наслідок, ефективність гальмування покращиться.

Експериментальне дослідження також показало, що колодки високого класу гальмують краще на 5% при тиску 20 бар і на 11% при тиску 40 бар порівняно зі зношеними. Для досягнення максимальної ефективності гальмування достатньо тиску 40 бар порівняно зі зношеними при 55 бар.

Під час експериментального дослідження було виявлено, що при гальмуванні старими компонентами вони нагріваються до 137 °С протягом експерименту, тоді як нові компоненти нагріваються до 88 °С, 79 °С, 84 °С та 77 °С відповідно.

Розрахункова робоча площа колодок показала, що робоча поверхня колодок економ-класу на 19% менша, ніж у зношених. Робоча площа поверхні високоякісних гальмівних колодок лише приблизно на 2% менша, ніж у зношених. Це пояснюється тим, що зношена колодка вже досягла своєї межі зносу, тоді як нові компоненти мають канавку, яка вказує на межу зносу.

2. Після моделювання гальмівних дисків у системі SolidWorks та проведення їх теплового аналізу було виявлено, що зношений гальмівний диск досяг температури 190 °С за тих самих умов, тоді як новий диск досяг лише 133 °С.

3. Після проведення експериментального дослідження ми бачимо, що гальма працюють ефективніше, коли вони прогріті. Також ефективність гальм залежить головним чином від робочої площі колодки. Можна сказати, що розрахунки SolidWorks правильні, оскільки під час практичних та числових випробувань старі компоненти нагрівалися швидше, а їх температура була вищою.

Рекомендації: Перед придбанням гальмівних компонентів проконсультуйтеся з консультантом. Хоча старі гальма ефективні, вони більше нагріваються та не працюють плавно через надмірний знос, що може призвести до вібрації керма та самого автомобіля під час гальмування. Це збільшує ймовірність виникнення аварійної ситуації. Необхідно своєчасно замінювати зношені деталі гальмівної системи та забезпечувати безпеку собі та іншим учасникам дорожнього руху.