

УДК 629.113

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.1\(32\).46-58](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.1(32).46-58)**О.В. Бевз**, доц., канд. техн. наук*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна**e-mail: oleg\_bevz@ukr.net***Ш.Р. Алієв**, доц., канд. техн. наук, **Г.Н. Алієва**, ст. вик.*Азербайджанський технологічний університет (UTECA), м. Баку, Азербайджан**e-mail: a-yashar@rambler.ru*

## Результати тестування гальмівного механізму автомобіля Ford Focus III

Стаття присвячена дослідженню пари тертя – «гальмівний диск – гальмівна колодка». На основі результатів проведених досліджень оцінювали ефективність роботи гальмівних колодок в різних умовах експлуатації. Дослідження проводилися на спеціальному стенді з використанням натурального гальмівного вузла автомобіля Ford Focus III.

**гальмівні колодки, гальмівний диск, температура, питома спрацювання**

**О.В. Бевз**, доц., канд. техн. наук*Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький Україна***Ш.Р. Алієв**, доц., канд. техн. наук, **Г.Н. Алієва**, ст. препод.*Азербайджанський технологічний університет (UTECA), г. Баку, Азербайджан*

### Исследование надежности тормозного механизма автомобиля Ford Focus III

Статья посвящена исследованию пары трения - «тормозной диск - тормозная колодка». В данной работе приведены результаты исследований эффективности работы пары трения в лабораторных условиях. На основе результатов проведенных исследований работы пары трения с учетом разных условий работы после окончания всех исследований проводилась оценка абсолютного и удельного износа колодок. Исследования проводились на специальном стенде с использованием натурального тормозного узла автомобиля Ford Focus III.

**тормозные колодки, тормозной диск, температура, удельный износ**

**Постановка проблеми.** Стан безпеки дорожнього руху в Україні продовжує залишатися серйозною соціально-економічною проблемою. Безпека на дорогах є однією із значних проблем сучасного світу і питання забезпечення дорожнього руху є вкрай актуальним як на національному рівні, так і на глобальному.

З кожним роком збільшується ущільнення транспортних потоків та експлуатаційної швидкості і підвищуються вимоги до гальмівної системи автотранспортного засобу. Гальмівні властивості автотранспортного засобу відносяться до найважливіших з експлуатаційних властивостей, що визначають безпеку руху автомобіля, тому їх регламентація є предметом ряду міжнародних документів. Гальмівні властивості регламентуються Правилами №13 Комітету з внутрішнього транспорту Європейської Економічної Комісії Організації об'єднаних націй (ЄЕК ООН).

Конструкція і технічний стан гальмівної системи автотранспортного засобу (АТЗ) роблять вплив на його активну безпеку. Параметри ефективності гальмування автомобіля, а також надійність роботи гальмівної системи визначають результат можливої аварійної ситуації і дозволяють водієві запобігти дорожньо-транспортній події (ДТП).

Останнім часом змінилися показники оцінки гальмівних властивостей автомобілів, нормативні значення їх тепер стали жорсткішими. В свою чергу ефективність гальмування визначається як конструктивними особливостями, так і експлуатаційними характеристиками вузлів і механізмів гальмівної системи [1].

Колодки і гальмівна система при роботі нагріваються, і ефективність їх міняється. Так, пересування по гірських серпантинах не дає колодкам охолонути, через що їх характеристики починають сильно мінятися.

Багато що залежить від того, що виробники колодок заклали у свою продукцію. Чи буде їх ефективність падати або рости від зміни параметрів руху, тиску в системі, швидкості і температури. Як колодки поведуться в режимі гірського серпантину, і як зміняться їх характеристики після цього. Усе це являється предметом даного дослідження.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** За останні роки вийшло багато публікацій [2–3] за результатами досліджень і розробок щодо підвищення ефективності гальмування автомобілів. Однак ці публікації містять більше рекомендації загального характеру. Визначення експлуатаційних показників здійснюється, як правило, експериментально.

При роботі гальмівного вузла одним з основних явищ, які супроводжують фрикційні взаємодії в гальмах, є нагрів пари тертя. Пара тертя - «гальмівний диск – гальмівна колодка» поглинає механічну енергію та перетворює її в тепло, яке далі негативно впливає на гальмівний механізм. Температура, що розвивається на поверхні тертя, є комплексною характеристикою енергонавантаженості гальма, яка в свою чергу призводить до спрацювання пари тертя.

У той же час вітчизняний і зарубіжний досвід показує, що гальмівна система (ГС) автомобіля є найважливішим елементом його активної безпеки. Від того, наскільки точно будуть забезпечені нормативні експлуатаційні характеристики гальмівної системи та якість деталей пари тертя будуть залежати життя людей і цілісність самих транспортних засобів.

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є тестування експлуатаційних властивостей гальмівного механізму автомобіля Ford Focus III.

**Виклад основного матеріалу.** Основною метою досліджень виступає проведення тесту гальмівних колодок різних виробників на стенді.

Програма тестування колодок ґрунтується на Правилах № 90 (ECE ООН) [4] і включає перевірку:

1. Ефективність гальмування в залежності від [6]:

- привідного зусилля і тиску в гальмівному циліндрі при заданій початковій швидкості гальмування;

- початкової швидкості гальмування при заданій величині тиску в гальмівному циліндрі;

- температури гальмівних колодок.

2. Зносостійкість гальмівних колодок.

3. Вплив колодок на спрацювання гальмівного диска.

4. Міцність кріплення накладки до основи колодки.

Процес випробувань проходив на стендовому обладнанні у декілька етапів.

Припрацювання. Диск розігрівався до температури 100 °С і розкручувався до швидкості, що відповідає швидкості автомобіля 100 км/год. Потім із зусиллям 5,0 МПа на «гальмівній педалі» диск зупиняли. Експеримент продовжували поки поверхня накладки не прилягала до диска на 90 % своєї площі. Після цього замірялася товщина диска і товщина колодки.

Визначення спрацювання колодок. Гальмівний диск нагрівався до температури 100 °С і загальмовувався з швидкості 100 км/год до повної зупинки з різним гальмівним зусиллям - від 2,0 до 8,0 МПа з кроком 2,0 МПа.

Гальмівний диск нагрівався до 100 °С і загальмовувався до повної зупинки з постійним гальмівним зусиллям в 5,0 МПа з різних початкових швидкостей - від 40 до 140 км/год з кроком 20 км/год.

Гальмівний диск загальмовувався до повної зупинки з 100 км/год з постійним гальмівним зусиллям в 5,0 МПа при різній температурі - від 50 до 350 °С з кроком 50°С. Після цих трьох тестів замірялася товщина колодки.

Гірський серпантин. Імітувався зтяжний спуск (FADE): гальмівний диск загальмовувався зі швидкості 100 км/год до 50 км/год з постійним тиском в гальмівній системі в 5,0 МПа упродовж 45 секунд – так 25 разів підряд.

Після природного охолодження «зтяжний спуск» повторювався. Після двох циклів гірського серпантину замірялася товщина колодок.

Визначення спрацювання колодок. Повторення випробувань другого етапу для оцінки того, як змінилися характеристики колодок після гірського серпантину. Після чого знову замірялася товщина колодок. У кінці випробування замірялася товщина гальмівного диска для перевірки його спрацювання.

П'ятий етап. Перевірка міцності клейового з'єднання накладки з основою. Тест відбувався на парі колодок, яку не використали на попередніх етапах випробування. В даному випробуванні визначалися ті зусилля, при яких відбувався відрив фрикційного матеріалу від каркаса колодок (за нормативами ECE R90 (Правила № 90 ЄЕК ООН (Європейська Економічна Комісія ООН)) ця величина повинна складати не менше - 5 МПа) [5]. Температура накладки вимірювалася за допомогою термопари, в об'ємі на відстані 2 мм від каркаса колодки. Відповідно в парі тертя температура вище приблизно на 200 °С.

Для дослідження були вибрані колодки для автомобіля Ford Focus III. Колодки були придбані в магазинах автозапчастин роздрібною торгівельною мережі м. Кропивницького по два комплекти від кожного виробника.

Дослідження проводилися в спеціалізованій лабораторії на устаткуванні, що має сертифікат Держстандарту України. При випробуваннях були задіяні два випробувальні стенди.

Перший стенд є натуральним гальмівним вузлом (рис. 1), що складається з гальмівного супорта, гальмівного диска і двох колодок автомобіля Ford Focus III, маховика із змінним моментом інерції (в даному випадку момент інерції відповідав моменту інерції автомобіля Ford Focus III), електроприводу і контрольно-вимірювальної апаратури. На цьому стенді безпосередньо перевірялася ефективність колодок в різних режимах гальмування [6].



Рисунок 1 – Гальмівний вузол автомобіля Ford Focus III

*Джерело розроблено авторами*

На другому стенді визначалася межа міцності з'єднання гальмівної накладки з каркасом.

В якості «контр-тіла» для всіх гальмівних колодок були обрані оригінальні гальмівні диски фірми Ford (1520297) - саме такими дисками оснащуються автомобілі Ford Focus III заводом-виробником.

Дослідженню піддавалися гальмівні колодки наступних виробників: фірм BOSCH, FERODO, BREMBO, TRW та фірми ZIMMERMANN.

#### *1. Колодки передні BOSCH 0 986 424 794.*

Після випробовування колодки BOSCH показали результат трохи нижче середнього по тестовій групі. При першому тесті на залежність коефіцієнта тертя від тиску в гальмівній системі виявилось, що коефіцієнт тертя падає у міру зростання тиску майже лінійно. Починаючи зі значення коефіцієнта тертя при низькому тиску в 0,49, він опускається до 0,39 практично лінійно. Зміна по ефективності склала -21 %.

Після проведення двох циклів випробувань гірським серпантином картина лінійного падіння ефективності із зростанням тиску не змінилася, але зміна зменшилася і склала при повторному циклі випробувань падіння -14 %.

Дослідження залежності коефіцієнта тертя передніх колодок BOSCH від швидкості гальмування показало, що вони найбільш ефективні при низьких швидкостях. Максимум коефіцієнта тертя зафіксований в 0,47 на швидкості в 40 км/год, далі ефективність знижується на 7 %. А ось при гальмуванні після 70 км/год характеристики колодки стабілізуються, і коефіцієнт тертя практично не змінюється до кінця тесту.

Після випробувань гірським серпантином динаміка повністю міняється. В експерименті спостерігається зростання ефективності гальмування з підвищенням швидкості. При цьому колодки показують хороший результат тесту, а на проміжку швидкостей в 100-110 км/год стають найефективнішими.

Дослідження залежності ефективності гальмування колодок BOSCH від температури пари тертя показав одну з найнижчих ефективностей колодок на холодну. При температурі в 50 °C коефіцієнт тертя складає 0,35, що майже на 35 % нижче, ніж у лідера тесту. З зростанням температури ефективність гальмування колодок BOSCH росте, досягаючи максимуму при 200 °C, і потім залишається практично без змін. При цьому треба відмітити, що до кінця випробувань при нагріві до 350 °C колодки BOSCH виявилися одними з найефективніших, показавши другий результат по групі.

Після двох циклів нагріву в режимі гірського серпантину залежність коефіцієнта тертя від температури колодок BOSCH змінилася. По-перше, коефіцієнт тертя на холодну трохи збільшився - з 0,35 до 0,38. За рахунок того, що у інших учасників тесту ефективність холодного гальмування впала, колодки BOSCH вийшли з аутсайдерів по цьому параметру, ставши твердими середнячками. Із зростанням температури їх ефективність підвищується на 34 %, досягаючи максимуму при 200-250 °C. На жаль, після 300 °C відзначився швидкий спад ефективності майже на 10 %.

На початку випробування гірським серпантином колодки BOSCH показували один з найнижчих результатів в групі зі значенням коефіцієнта тертя всього в 0,31. З збільшенням циклів гальмування спостерігалось зростання ефективності, яка при температурі пари тертя 170 °C досягла максимуму, підвищивши своє значення на 70 %.

Загальна динаміка поведінки колодок BOSCH в другому циклі тесту FADE виявилася схожою до першого циклу. Під час дослідження спостерігалось зростання ефективності при нагріві з подальшим зниженням коефіцієнта тертя при зростанні кількості гальмувань. Аналізуючи дані випробувань можна відмітити досить рівну ділянку кривої коефіцієнта тертя з п'ятого по одинадцятий цикл гальмування, але при

зростанні циклів гальмування падіння ефективності в другий раз було сильніше, ніж в перший, і досягло 24 %, при цьому на останньому циклі коефіцієнт тертя колодок BOSCH виявився одним з найнижчих в тесті.

## 2. Колодки передні FERODO FDB 4319.

Передні колодки FERODO на протязі всього тесту були кращими по ефективності гальмування.

Перше випробування колодки FERODO почали з останньої позиції при мінімальному тиску, показавши значення коефіцієнта тертя 0,48. Але динаміка у цих колодок була зовсім іншою, ніж у інших учасників. Тоді як у інших колодок із зростанням тиску в гальмівній системі ефективність гальмування падала, у FERODO вона росла, досягнувши максимуму при 6,0 МПа до 0,52. Але далі ситуація змінилася, і до закінчення тесту коефіцієнт тертя почав знижуватися. При цьому колодки FERODO при максимальному тиску стали лідером тесту.

Після двох циклів випробувань гірським серпантинном динаміка залежності коефіцієнта тертя від тиску змінилася на зворотну і тепер відмічене початкове незначне падіння ефективності з подальшим зростанням при збільшенні тиску в гальмівній системі. Розпочали випробування колодки FERODO з середнього результату по групі 0,48, а закінчили з кращим - 0,52.

Дослідження залежності коефіцієнта тертя передніх колодок FERODO від швидкості гальмування показало найкращий результат. У них був кращий результат при мінімальній і максимальній швидкостях. Падіння ефективності склало усього 9 %.

Після випробувань гірським серпантинном колодки FERODO показали падіння ефективності на невеликій швидкості на 15 %, початковий коефіцієнт тертя дорівнював 0,51, але все одно це був один з кращих показників в групі. Із зростанням швидкості йде трохи падіння ефективності, яке досягає мінімуму при 70 км/год, але далі ефективність гальмування знову зростає, і вже на 120 км/год колодки FERODO показують найкращі результати.

Дослідження залежності ефективності гальмування колодок FERODO від температури пари тертя показало найвищу ефективність гальмування в цьому діапазоні температур. Максимальний коефіцієнт тертя 0,58 досягається при температурі колодок 130-150 °С. Із зростанням температури відбувається падіння ефективності на 20,7 % - до 0,46.

Після двох циклів нагріву в режимі гірського серпантину залежність коефіцієнта тертя від температури колодок FERODO змінилася в кращу сторону. По-перше, вони зберегли лідерство по ефективності. По-друге, крива залежності стала пологішою. А по-третє, в діапазоні температур від 50 до 250 °С зафіксовано зростання ефективності гальмування, причому на істотні 27 %. Якщо на холодну коефіцієнт тертя дорівнює 0,43, то в максимумі він досягає 0,59. А ось зниження ефективності при подальшому зростанні температури є незначним - усього 5 %.

На початку тесту гірським серпантинном колодки FERODO показали себе в групі лідерів. Значення коефіцієнта тертя росло із зростанням кількості циклів гальмування і досягло максимуму 0,58 на сьомому циклі при температурі 240 °С. При цьому вже з шостого циклу колодки FERODO показали кращий результат тесту по ефективності і зберігали ці результати до 14 циклу. До закінчення першого циклу випробувань FADE ефективність гальмування впала на 20 % з максимальних значень, але при цьому на максимальній температурі передні колодки FERODO показали другий результат в тесті.

Другий цикл гірського серпантину FERODO розпочали з середніх значень коефіцієнта тертя 0,37, але із зростанням циклів гальмування і температури ефективність підвищилася на 34 %, досягнувши максимуму на восьмому циклі. З цієї

позиції колодки FERODO показують найкращі результати тесту. Треба відмітити, що якщо в першому циклі випробувань ефективність гальмування із зростанням циклів знизилася на 20 %, то в другому всього на 9 %.

### 3. Колодки передні BREMBO P 24 061.

В цілому колодки BREMBO показали добрий результат у багатьох тестах, займаючи позиції вище середнього по тестовій групі.

При першій перевірці на залежність коефіцієнта тертя від тиску в гальмівній системі виявилось, що він падає у міру зростання тиску майже лінійно. При низькому тиску в гальмівній системі колодки BREMBO показали кращий коефіцієнт тертя - 0,61, що на 26 % більше ніж у колодок FERODO, які в подальшому показали найкращий результат. При зростанні тиску в системі ефективність знижувалася і при максимальному тиску гальмівної рідини 8,0 МПа коефіцієнт тертя знизився на 29,5 % до значення 0,43.

Після проведення двох циклів випробувань гірським серпантинном коефіцієнт тертя трохи зменшився, але практично перестав залежати від тиску, знаходячись в межах 0,5 - 0,47 в усьому робочому діапазоні.

Дослідження залежності коефіцієнта тертя передніх колодок BREMBO від швидкості гальмування показало, що вони добре працюють в усьому діапазоні швидкостей. Зміни значення склали близько 12 %, а максимум ефективності досягався при гальмуванні на швидкості 60 км/год. Максимальне значення коефіцієнта тертя складало 0,52 - це другий результат в групі.

Після сильного нагріву колодок (два цикли FADE) почала вимальовуватися їх стабільність. Розрив між максимальним і мінімальним значенням зменшився до 10 %, на проміжку швидкості від 60 до 120 км/год значення коефіцієнта тертя залишалося незмінним - 0,45. Стабільність в робочому діапазоні швидкостей, це одна з головних переваг колодок BREMBO.

При дослідженні залежності ефективності гальмування колодок BREMBO від температури пари тертя з'ясувалося, що у них одне з кращих значень коефіцієнта тертя на холодну - 0,46. Найбільша ефективність гальмування досягається при температурі 100-120 °С - 0,49, далі йде спад ефективності на 20 %.

Після двох циклів нагріву в режимі гірського серпантину залежність коефіцієнта тертя від температури колодок BREMBO підвищилась. По ефективності гальмування колодки мали кращий результат на холодну і показали високу стабільність в нагрітому стані.

На початку тесту гірським серпантинном колодки BREMBO показували середній результат по групі зі значенням коефіцієнта тертя всього 0,37. При збільшенні циклів гальмування спостерігалось зростання ефективності до 4 циклу. Зміна складає майже 26 % - це один з найнижчих показників в тесті. Із зростанням кількості циклів гальмування ефективність падає з 0,51 до 0,42 у кінці випробування, зміна ефективності складала 17,6 %.

Другий цикл гірського серпантину у BREMBO розпочався зі значення коефіцієнта тертя 0,35, і за п'ять циклів гальмування він підвищився на 35 % - до 0,54, при цьому температура колодок дорівнювала 170 °С. Далі, із зростанням кількості циклів гальмування і температури, ефективність знижується. У проміжку від 250 до 380 °С коефіцієнт тертя міняється трохи і залишається практично стабільним в районі 0,48-0,46. При подальшому зростанні температури вище 380 °С ефективність падає, і на 25 циклі опускається до 0,41. Це четвертий результат в тесті.

#### *4. Колодки передні TRW GDB 1583.*

На випробуванні залежності ефективності гальмування від тиску в гальмівній системі колодки TRW показали середній результат. Максимальне значення коефіцієнта тертя було при мінімальному тиску - 0,53. Із зростанням тиску йшло практично лінійне падіння до 0,46.

Після двох циклів випробувань гірським серпантинном динаміка залежності коефіцієнта тертя TRW від тиску змінилася. Замість падіння ефективності гальмування спостерігалось лінійне зростання від 0,39 при низькому тиску до 0,49 при високому.

Перевірка залежності коефіцієнта тертя передніх колодок TRW від швидкості гальмування знову ж таки показала середній результат. Коефіцієнт тертя 0,49 залишається стабільним на швидкостях від 40 до 80 км/год, далі він трохи знижується і перебуває в межах 0,46-0,47 до закінчення тесту.

Після випробувань гірським серпантинном поведінка колодок TRW змінилася. Ефективність гальмування стала збільшуватися із зростанням швидкості. Початкові значення коефіцієнта тертя були 0,47, далі йшло плавне зростання до значення 0,52 до закінчення тесту.

Дослідження температурної залежності коефіцієнта тертя колодок TRW показує, що максимум ефективності припадає на температуру пари тертя 150-170 °С і складає 0,52. Це другий результат в тесті. Із зростанням температури ефективність гальмування падає, причому падіння значніше, ніж зростання при нагріві, але все одно значення коефіцієнта тертя колодок TRW залишається середнім в групі.

Після двох циклів FADE результати практично не змінилися. Ефективність на холодну складала 0,38. Максимум ефективності 0,52 трохи змістився у більше високотемпературну область. З збільшенням температури ефективність швидко починає падати до 0,45.

Тестування в режимі гірського серпантину колодки TRW показали середні значення в групі - 0,37. Із зростанням числа циклів гальмування відбувалося зростання ефективності, максимум якого припав на коефіцієнт тертя 0,52. Температура колодок при цьому була 170 °С. Далі значення коефіцієнта тертя почало швидко падати, і до кінця тесту FADE колодки показали один з найнижчих результатів в групі.

На другому циклі гірського серпантину колодки TRW змінили залежність коефіцієнта тертя від циклів гальмування. Якщо при відносно низькій температурі пар тертя їх поведінка залишилася практично незмінною, то при підвищенні температури зниження ефективності гальмування відбувалося при 300 °С на значенні 0,45 потім виявилось незначне зростання. В цілому ж тест закінчився краще, ніж перший, оскільки при величині коефіцієнта тертя 0,43 колодок виявилися середніми в групі.

#### *5. Колодки передні ZIMMERMANN 23723.180.1.*

Випробування на залежність ефективності гальмування від тиску в гальмівній системі колодки ZIMMERMANN почали з значення 0,54. При зростанні тиску до 4,0 МПа ефективність зменшилася до 0,48 і далі стабілізувалася до 6,0 МПа, після чого відмічено ще невелике зниження до 0,46. До кінця тесту ці колодки показали другий результат в групі по ефективності.

Після двох циклів випробувань гірським серпантинном динаміка залежності коефіцієнта тертя ZIMMERMANN практично не змінилася, але при цьому їх показники були високими в групі. Коефіцієнт тертя при низькому тиску дорівнював 0,58. Із зростанням тиску йшло зниження ефективності до 0,52, але це все одно кращий результат в тесті.

Дослідження залежності коефіцієнта тертя передніх колодок ZIMMERMANN від швидкості гальмування показало найкращий результат в групі незважаючи на зниження

ефективності гальмування із зростанням швидкості. Зниження відбувається лінійно зі значення в 0,52 до 0,46 (падіння на 12 %).

Після випробувань гірським серпантинном поведінка колодок ZIMMERMANN не змінилася, а ефективність гальмування знижується із зростанням швидкості, але швидше, ніж в першому тесті з 0,58 до 0,48 (падіння майже на 17 %).

Дослідження залежності коефіцієнта тертя колодок ZIMMERMANN від температури показує невелике зростання цього коефіцієнта з 0,49 до 0,5 при підвищенні температури до 100 °С. Далі йде зниження ефективності до 0,43 з невеликою стабілізацією в інтервалі 200-280 °С на значенні 0,46.

Після двох циклів FADE результати тестів покращилися. При низьких температурах показник тесту стає кращим в групі при значенні 0,47, далі спостерігається максимум ефективності 0,51 при 110 °С. Із зростанням температури відбувається невелике падіння до 0,48 і стабілізація в діапазоні 0,48-0,49.

Тестування в режимі гірського серпантину колодки ZIMMERMANN показали найвищий коефіцієнт тертя від температури, максимум якого 0,57 досягається вже після третього циклу гальмування. Надалі колодки стають одними з найкращих в тесті. При температурі 280 °С ефективності гальмування стабілізується в районі 0,51-0,52. Ця стабільна поведінка навіть з невеликим зростанням дозволила колодками ZIMMERMANN після 16 циклу гальмування показати одні з найкращих в тесті і закінчити його невеликим зростанням до 0,53.

Показники другого циклу гірського серпантину у колодок ZIMMERMANN трохи змінилися. Як і в попередніх випробуваннях було продемонстровано найшвидше зростання ефективності гальмування при розігріванні колодок, яке почалося з 0,44 на холодну з максимумом 0,59 при температурі 160-170 °С. Це кращий результат тесту. Далі ми спостерігаємо спад до 0,52 а потім настає стабілізація в діапазоні 0,51-0,49 з невеликим зниженням коефіцієнта тертя із зростанням температури. Така стабільність дозволила колодкам залишатися в лідерах тесту після 9 циклу гальмування.

Після закінчення всіх досліджень проводилася оцінка абсолютного і питомого спрацювання накладок колодок і диска. Результати дослідження наведені в табл.1.

За даними досліджень було побудовано порівнювальні графіки дослідження ефективних показників гальмівних колодок різних виробників на стенді, які зображені на (рис. 2 – рис. 9).

Таблиця 1 – Результати тестування передніх гальмівних колодок для автомобіля Ford Focus III

№ п/п	Колодки	Спрацювання колодок Δ, мм				Спрацювання диска, δ, мм.	Міцність з'єднання накладки з основою колодки, МПа	Вартість колодок, грн.
		до FAD E	на FAD E	після FAD E	загалом			
1	BOSCH	0,05	0,19	0,07	0,31	0,006	6,6...7,3	981,00
2	FERODO	0,11	0,38	0,16	0,65	0,004	6,0...6,4	1037,00
3	BREMBO	0,07	0,21	0,11	0,39	0,011	5,0...6,4	751,00
4	TRW GDB	0,08	0,16	0,1	0,34	0,006	6,3...6,5	940,00
5	ZIMMERMANN	0,05	0,17	0,1	0,32	0,011	5,3...6,4	835,00

Джерело: розроблене авторами



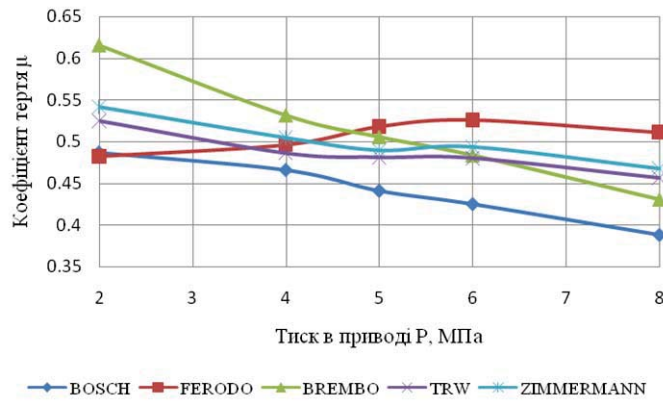


Рисунок 2 - Графік залежності усередненого коефіцієнта тертя передніх гальмівних колодок для автомобіля Ford Focus III від тиску в приводі гальмівної системи (до FADE)

Джерело: розроблене авторами

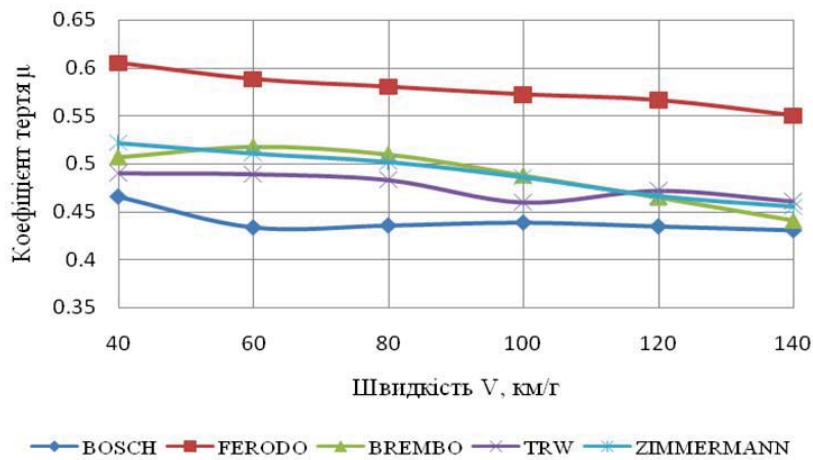


Рисунок 3 - Графік залежності усередненого коефіцієнта тертя передніх гальмівних колодок для автомобіля Ford Focus III від швидкості руху автомобіля (до FADE)

Джерело: розроблене авторами

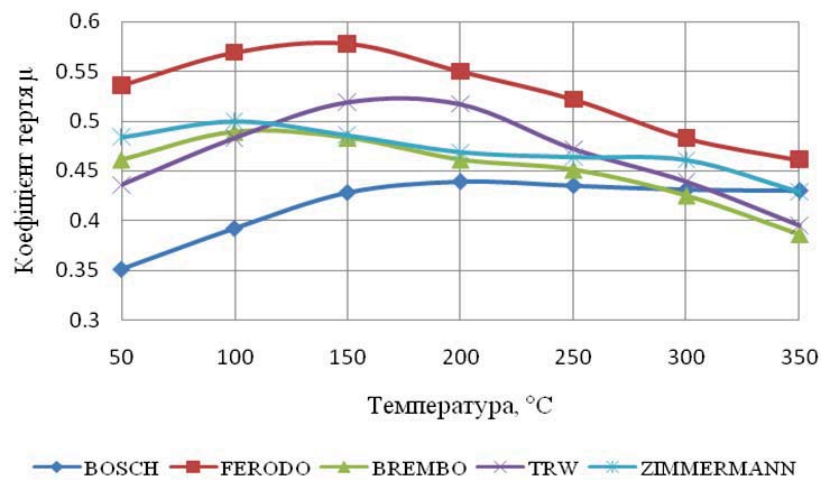


Рисунок 4 - Графік залежності усередненого коефіцієнта тертя передніх гальмівних колодок для автомобіля Ford Focus III від температури пари тертя (до FADE)

Джерело: розроблене авторами

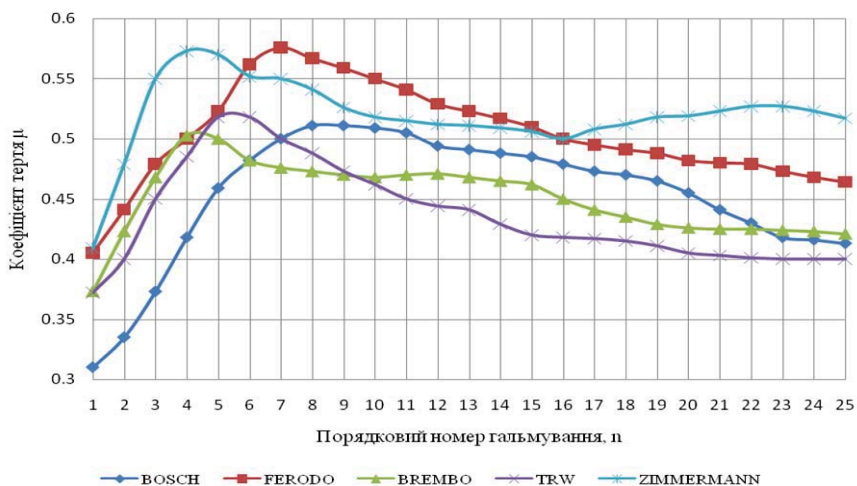


Рисунок 5 - Графік залежності усередненого коефіцієнта тертя передніх гальмівних колодок для автомобіля Ford Focus III від кількості гальмувань в тестовому випробуванні гірський серпантин (FADE, 1-й період) час циклу - 45 с; кількість циклів - 25

Джерело: розроблене авторами

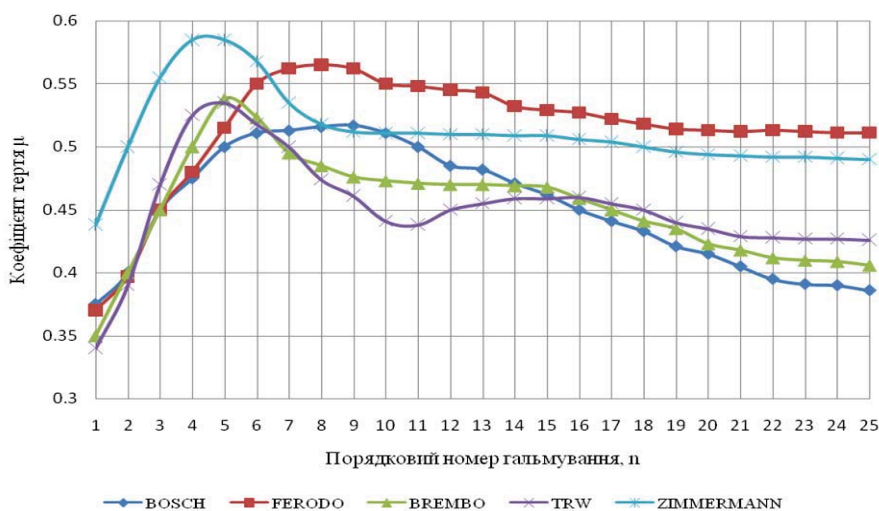


Рисунок 6 - Графік залежності усередненого коефіцієнта тертя передніх гальмівних колодок для автомобіля Ford Focus III від кількості гальмувань в тестовому випробуванні гірський серпантин (FADE, 2-й період) час циклу - 45 с; кількість циклів - 25

Джерело: розроблене авторами

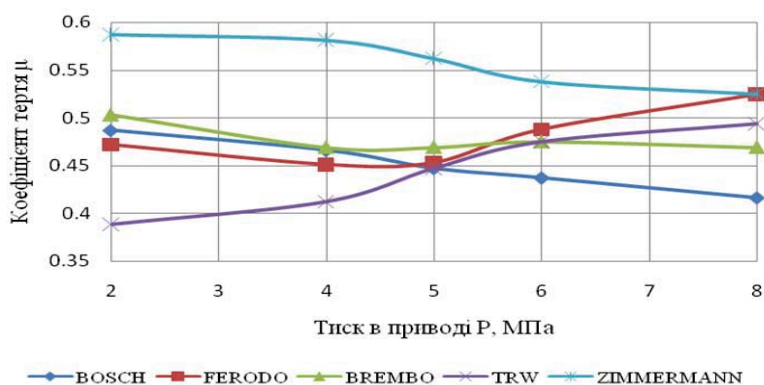


Рисунок 7 - Графік залежності усередненого коефіцієнта тертя передніх гальмівних колодок для автомобіля Ford Focus III від тиску в приводі гальмівної системи, після двох циклів гірського серпантину (після FADE)

Джерело: розроблене авторами

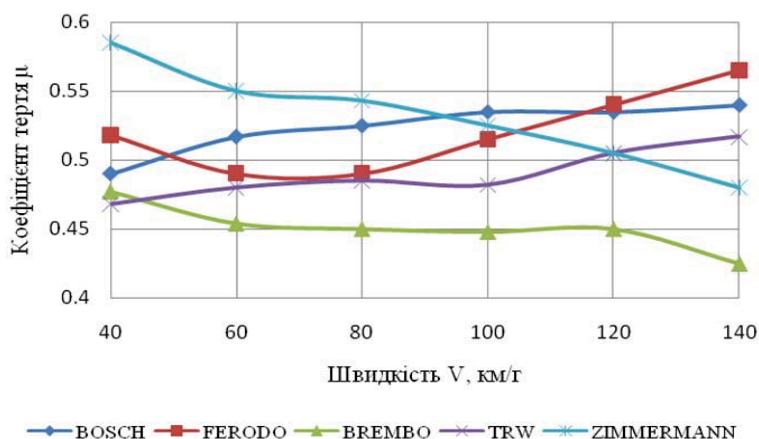


Рисунок 8 - Графік залежності усередненого коефіцієнта тертя передніх гальмівних колодок для автомобіля Ford Focus III від швидкості руху автомобіля, після двох циклів гірського серпантину (після FADE)

Джерело: розроблене авторами

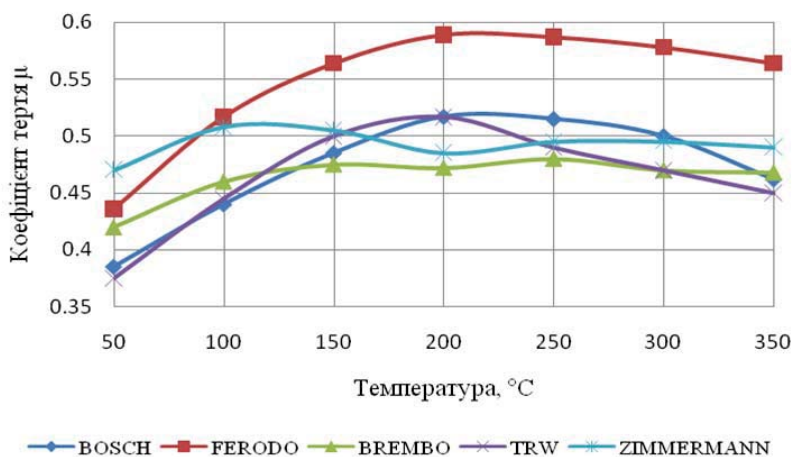


Рисунок 9 - Графік залежності усередненого коефіцієнта тертя передніх гальмівних колодок для автомобіля Ford Focus III від температури пари тертя, після двох циклів гірського серпантину (після FADE)

Джерело: розроблене авторами

**Висновки.** Проводячи підсумок даних досліджень можна зробити висновок що всі колодки показали гарний результат, але на нашу думку кращими виявилися колодки фірми BOSCH (Германія) і ZIMMERMANN (Германія).

Спрацювання колодок BOSCH виявилось одним з найнижчих в тесті, всього 0,31 мм (у тесті були колодки, більш ніж в два рази що перевищили цей показник), відмічено і найменше спрацювання гальмівного диска - 0,006 мм.

Передні гальмівні колодки FERODO показали найвище спрацювання в тесті - 0,65, але при цьому вони опинилися в числі «найнижчих» по відношенню до спрацювання гальмівного диска - 0,004 мм.

За час проведення тесту спрацювання колодок BREMBO склало 0,39 мм і виявився одним з найвищих, маючи другий результат. Також один з найвищих у категорії спрацювання гальмівного диска - 0,011 мм.

Спрацювання колодок TRW при значенні 0,34 мм виявився вищий середнього в групі. Спрацювання гальмівного диска склало - 0,006 мм.

Спрацювання колодок ZIMMERMANN при значенні 0,32 мм виявилось другим в групі. А ось спрацювання гальмівного диска одним з найвищих в тесті - 0,011 мм.

Всі гальмівні колодки, які досліджувались не спричиняли погіршення акустичної складової процесу гальмування: скрипів, писків і інших шумів не виявлено. Під час дослідження на міцність з'єднання накладок з основами гальмівних колодок показники зчіпних властивостей фрикційних накладок всіх гальмівних колодок вище нормативних значень.

Разом з тим, кожен власник в праві вирішувати які колодки він встановить на свій автомобіль Ford Focus III.

## Список літератури

1. О.В. Бевз, С.О. Магопєць, Д.А. Якимаха. Дослідження надійності роботи переднього гальмівного механізму автомобіля Renault. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету*, Кіровоград: КНТУ. 2013. Вип. 26. С. 112-116.
2. Косєнков А.А. Устройство тормозных систем иномарок и отечественных автомобилей: учебн. пособ. Издательство: «Феникс». 2003. 224 с.
3. Кашканов А. А., Ребедайло В. М., Кашканов В. А.. Оцінка експлуатаційних гальмових властивостей автомобілів в умовах неточності вихідних даних: монографія. Вінниця: ВНТУ. 2010. 148 с.
4. ГОСТ Р 41.90-99 (Правила ЕЭК ООН N 90) Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения сменных тормозных накладок в сборе и накладок барабанных тормозов для механических транспортных средств и их прицепов. Москва: ИПК Издательство стандартов, 2001. 28 с.
5. ДСТУ UN/ECE R 90-01:2005. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження змінних гальмових накладок у зборі і гальмових накладок барабаних гальмових механізмів колісних транспортних засобів та їхніх причепів. [Чинний від 01.07.2006]. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. IV. 29 с. (Національний стандарт України)
6. Журнал «АвтоДела». Информационный сайт журнала. URL: <https://www.autodela.ru> (дата обращения: 15.04.2019).

## References

1. Bevz, O.V., Mahopets', S.O., Yakymakha, D.A. (2013). Doslidzhennia nadijnosti roboty peredn'oho hal'mivnoho mekhanizmu avtomobilia Renault [Research of reliability of work of front brake mechanism of car Renault]. *Zb. nauk. prats' KNTU. Tekhnika v s/h vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyziatsiia – Collected works of KNTU. Machinery in agricultural production, industry machine building, automation, Vol.. 26*, 112-116 [in Ukrainian]
2. Kosjonkov, A.A. (2003). *Ustrojstvo tormoznyh sistem inomarok i otechestvennyh avtomobiley [The device brake systems for cars and domestic cars. Tutorial]*. Izdatel'stvo: «Feniks» [in Russian].
3. Kashkanov A. A., Rebedajlo V. M., Kashkanov V. A. (2010). *Otsinka ekspluatatsijnykh hal'movykh vlastyvostej avtomobiliv v umovakh netochnosti vykhidnykh danykh [Estimation of operational braking properties of cars in the conditions of inaccuracy of the initial data: monograph]*. Vinnytsia: VNTU [in Ukrainian]
4. Edinoobraznye predpisanija, kasajushhiesja oficial'nogo utverzhenija smennyh tormoznyh nakladok v sbore i nakladok barabannyh tormozov dlja mehanicheskikh transportnyh sredstv i ih pricepov [Uniform requirements concerning the approval of replacement brake lining assemblies and drum brake linings for motor vehicles and their trailers]. (2001). *HOST R 41.90-99 (Pravila EJeK OON N 90)*. Moscow: IPK Izdatel'stvo standartov [in Russian].
5. Yedyni tekhnichni prypysy schodo ofitsijnogo zatverdzhennia zminnykh hal'movykh nakladok u zbori i hal'movykh nakladok barabannykh hal'movykh mekhanizmiv kolisnykh transportnykh zasobiv ta ikhnykh prycepiv [Uniform requirements concerning the approval of replacement brake lining assemblies and drum brake linings for motor vehicles and their trailers.]. *DSTU UN/ECE R 90-01:2005*. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (Natsional'nyj standart Ukrainy) [in Ukrainian].
6. Zhurnal «AvtoDela». Informacionnyj sajt zhurnala Journal «Avtodela». Information site journal [Journal «Avtodela». Information site journal]. *autodela.ru*. Retrieved from <https://www.autodela.ru> [in Russian].

**Oleg Bevz**, Assoc. Prof., PhD tech. sci

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

**Shakir Aliyev**, Assoc. Prof., PhD tech. sci, **Gulnara Aliyev**, Senior Lecturer

Azerbaijan Technological University (UTECA), Baku, Azerbaijan

**The Study of the Reliability of the Brake Mechanism of the Car Ford Focus III**

In hired the results of researches of efficiency of work in the laboratory terms of pair of friction are pointed - a «brake disk is a skid».

On the basis of results of the conducted researches of work of pair of friction - a «brake disk is a skid» taking into account different terms works after completion of all researches an estimation was conducted absolute and specific wear of brake pads.

At this stand, the performance of all the pads in various braking modes was directly verified

The studies were conducted on a special stand using the natural brake assembly of the car Ford Focus III.

In summary of these studies, we can conclude that all the pads showed a normal result, but in our opinion the best were the pads of the firm BOSCH (Germany) and ZIMMERMANN (Germany).

However, each owner has the right to decide which pads he will install on his car Ford Focus III.

**skids, brake disk, temperature, specific wear**

*Одержано (Received) 23.05.2019*

*Прорецензовано (Reviewed) 30.05.2019*

*Прийнято до друку (Approved) 04.06.2019*

**УДК 656.13.071.8**

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.1\(32\).58-67](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.1(32).58-67)

**О.І. Субочев**, доц., канд. техн. наук, **Т.А. Завалій**, студ.

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна*

*e-mail: subochev.alex@gmail.com*

**М.Г. Погорелов**, ст. виклад.

*Донбаський державний педагогічний університет, м. Слов'янськ, Донецька обл;*

*Україна*

*e-mail: texfak@gmail.com*

## Удосконалення забезпечення запасними частинами сервісних підприємств

Проаналізовано фактори, що впливають на споживання запасних частин, існуючі принципи побудови систем управління запасами, методи моделювання попиту та часу поповнення запасів. Розроблена методика формування номенклатури і розрахунку запасів запасних частин. Розроблена методика визначення оптимального запасу агрегатів, яка дозволяє визначати найвигідніші стратегії в різних випадках.

**запасні частини, попит, номенклатура, оптимальний запас**

**А.И. Субочев**, доц., канд. техн. наук, **Т.А. Завалий**, студ.

*Днепровский государственный аграрно-экономический университет, г. Днепр, Украина*

**М.Г. Погорелов**, ст. препод.

*Донбасский государственный педагогический университет, г. Славянск, Донецкая обл., Украина*

## Совершенствование обеспечения запасными частями сервисных предприятий

Проанализированы факторы, влияющие на потребление запасных частей, существующие принципы построения систем управления запасами, методы моделирования спроса и времени пополнения запасов. Разработана методика формирования номенклатуры и расчета запасов запасных частей. Разработана методика определения оптимального запаса агрегатов, которая позволяет определять наиболее выгодные стратегии в различных случаях.

**запасные части, спрос, номенклатура, оптимальный запас**