

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра машиновикористання та сервісу технологічних систем

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

ГОЛУБ ВОЛОДИМИР ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 62-597

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Оптимізація функціонування дискових гальмівних колодок
шляхом застосування нових фрикційних матеріалів**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ В.В. Голуб

Керівник роботи

Савченко В.М.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Голуб Володимир Васильович. Оптимізація функціонування дискових гальмівних колодок шляхом застосування нових фрикційних матеріалів. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

В магістерській роботі проведений аналіз умов та режимів зношування складових частин гальмівних систем. Встановлено, що переважна більшість фрикційних матеріалів для виготовлення гальмівних колодок базується на використанні органічних в'язучих речовин (смола). Виробництво органічних матеріалів для гальмівних колодок призводить до суттєвого забруднення навколишнього середовища.

Розроблена методика дослідження фрикційних властивостей матеріалів для виробництва гальмівних колодок. Запропоновано провести експлуатаційні порівняльні випробовування гальмівних колодок з використанням органічних і неорганічних фрикційних матеріалів.

В результаті проведених лабораторних та експлуатаційних досліджень встановлено, що використання неорганічних матеріалів для виробництва гальмівних колодок дозволить суттєво зменшити викиди в навколишнє середовище в процесі експлуатації.

Неорганічні матеріали володіють необхідними фрикційними та триботехнічними характеристиками і здатні в майбутньому замінити шкідливі органічні матеріали, які використовуються для виробництва накладок на гальмівні колодки.

Ключові слова: гальмівні колодки, знос, тертя, фрикційний контакт, неорганічний матеріал.

ANNOTATION

Golub Vladimir Vasilyevich. Optimization of disc brake pads operation by using new friction materials. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

In the master's work the analysis of conditions and modes of wear of components of brake systems is carried out. It has been found that the vast majority of friction materials for the manufacture of brake pads are based on the use of organic binders (resins). The production of organic materials for brake pads leads to significant environmental pollution.

A method for studying the frictional properties of materials for the production of brake pads has been developed. It is proposed to conduct operational comparative tests of brake pads using organic and inorganic friction materials.

As a result of laboratory and operational studies, it was found that the use of inorganic materials for the production of brake pads will significantly reduce emissions into the environment during operation.

Inorganic materials have the necessary friction and tribotechnical characteristics and can in the future replace harmful organic materials used for the production of brake pads.

Key words: brake pads, wear, friction, friction contact, inorganic material.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ФРИКЦІНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА МЕХАНІЗМУ ЗНОШУВАННЯ ПОВЕРХНІ ГАЛЬМІВНИХ КОЛОДОК.....	8
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	16
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	20
ВИСНОВКИ.....	26
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	28

ВСТУП

Надійна робота гальмівних систем дозволяє суттєво підвищити швидкість експлуатації транспорту та зменшити аварійність на дорогах України. Саме тому для гальмівних систем необхідно впроваджувати передові технології. Якість гальмування в першу чергу залежить від властивостей матеріалу гальмівних колодок [1-8]. Високий коефіцієнт тертя між колодкою та диском буде призводити до швидкого зносу елементів системи, низький – до неякісного гальмування і збільшення величини гальмівного шляху. В даний час для виробництва фрикційних матеріалів гальмівних колодок використовують органічні матеріали [5], як завдають значної шкоди оточуючому середовищу, саме тому пошук нових фрикційних матеріалів, які будуть більш екологічними є беззаперечно актуальною задачею.

Мета і задачі дослідження. Метою магістерської роботи було встановити можливість виробництва нових та альтернативних фрикційних матеріалів для дискових гальмівних колодок легкових та вантажних автомобілів з низьким впливом на навколишнє середовище порівняно з традиційними фрикційними матеріалами на основі органічних в'язучих речовин.

Відповідно до поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- провести аналіз матеріалів, які використовуються для виготовлення фрикційних накладок гальмівних колодок;
- провести аналіз механізму та характеру зношування складових елементів в дисковій гальмівній системі;
- розробити методику лабораторних та експлуатаційних досліджень;
- провести дослідження по визначенню можливості застосування неорганічних матеріалів для виготовлення фрикційних насадок гальмівних колодок.

Об’єкт дослідження: процес фрикційної взаємодії складових елементів дискової гальмівної системи.

Предмет дослідження: взаємозв’язок хімічних та фізико-механічних характеристик матеріалу накладок гальмівних колодок з технічними та фрикційними властивостями дискової гальмівної системи.

Методи дослідження. Дослідження виконано з використанням методів динамічної фізики, механіки, трибології та фізики твердого тіла. Обробку експериментальних даних виконували з використанням методів математичної статистики за допомогою прикладних програм для ПК.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Котков В. І., Голуб В. В. Вплив форми абразивних частинок на механізм зношування поверхні гальмівних колодок. Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 113-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента ВАСГНІЛ, віце-президента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 20-21 лют. 2020 р., м. Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Національний науковий центр «ІМЕСГ» НААН. Київ: Видавничий центр НУБіП України, 2020. С. 112-114.

2. Голуб В. В. Будова фрикційних матеріалів для гальмівних колодок. Збірник матеріалів I Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції «Теорія і практика сучасної науки очима молоді» 26 березня 2020 року (проведено он-лайн 30 квітня 2020 року) м. Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка. С. 76-77.

3. Голуб В. В. Модель абразивного зношування гальмівних систем. Матеріали XXI Міжнародної наукової конференції „Сучасні проблеми землеробської механіки” присвяченої 90-річчю Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка та 120-й

річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка. 17 – 18 жовтня 2020 року Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка. С. 67-68

Практичне значення одержаних результатів. Результати роботи направлені на покращення екологічної ситуації за рахунок зменшення шкідливих викидів при виробництві та експлуатації фрикційних накладок на гальмівні колодки.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна магістерська робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 25 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 30 сторінок комп'ютерного тексту, містить 2 таблиці і 10 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ФРИКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА МЕХАНІЗМУ ЗНОШУВАННЯ ПОВЕРХНІ ГАЛЬМІВНИХ КОЛОДОК

Завдання гальмівних систем полягає у створенні гальмівного моменту, що сповільнює колесо, а отже і транспортний засіб на якому воно встановлене. Призначення фрикційних гальм – уповільнення або зупинка транспортного засобу шляхом перетворення кінетичної енергії транспортного засобу в тепло через тертя та розподілення цього тепла в навколишнє середовище. Для транспортних засобів з механічним приводом та їх причепів цих результатів можна досягти за допомогою двох основних типів гальмівних систем:

- Дискової гальмівної системи;
- Барабанної гальмівної системи.

Сучасні дискові гальмівні системи складаються з гальмівного диска, інтегрованого з маточиною колеса, який затискається гальмівними колодками (рис. 1.1) [3, 9].



Рис.1.1. Дискова гальмівна система.

Сучасні фрикційні матеріали, які використовуються в системах дискових гальм складаються з композитних матеріалів, спеціально розроблених для забезпечення належних характеристик тертя та зносу в умовах тертя ковзання при гальмуванні. Основи типових складів фрикційних матеріалів зазвичай включають від 10 до 30 різних компонентів, зв'язаних полімерною з'єднувальною речовиною. Основними вимогами, які потрібно виконати під час гальмування, є адекватна ефективність тертя та достатня механічна стійкість, щоб протистояти крутному моменту. Як правило, кожен компонент надає суміші відмінні властивості.

Типовий фрикційний матеріал – це з'єднання, яке складається з 10...30 різних складових компонентів [1, 2, 3]. Складові компоненти фрикційних матеріалів поділяються на класи залежно від їх функцій (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Характеристика складових компонентів фрикційних матеріалів

Характеристики	Основні завдання
В'язучі	Утримують всі інші матеріали
Матеріали, які підвищують міцність	Підвищують механічні властивості, зменшують інтенсивність зношування
Абразиви	Збільшують коефіцієнт, тертя, очищують диск
Тверді мастильні матеріали	Стабілізують коефіцієнт тертя, регулюють генерацію плівки тертя
Наповнювачі та функціоналізатори	Допоміжні засоби виготовлення, здешевлення кінцевої продукції, захист від корозії, барвники, збільшення або зменшення передачі тепла, зниження шуму

Абразиви у цій групі є матеріали з твердістю по Моосу вище 5, зазвичай це оксиди металів та керамічні матеріали, такі як карбіди та нітриди. Абразивні компоненти збільшують коефіцієнт тертя і очищають поверхню диска від іржі або накопичених матеріалів тертя [12-17].

Тверді мастильні матеріали: у цій групі є матеріал із низьким коефіцієнтом тертя, такі як сульфіди металів, графіти та PTFE. Тверді компоненти мастила відповідають за зменшення та стабілізування коефіцієнта тертя.

Матеріали, які підвищують міцність надають механічної стійкості матеріалу тертя, що гарантує цілісність накладки під час використання.

Наповнювачі та функціоналізатори: органічні та неорганічні матеріали, не пов'язані безпосередньо з ефективністю тертя. Наприклад здешевлюють кінцеві виробни, захищають від корозії, надають кольору, збільшують або зменшують тепловіддачу, покращують комфорт під час гальмування, зменшують шум та розтріскування.

Деякі компоненти можна одночасно розмістити в різних категоріях, оскільки вони виконують декілька функцій, але ідентифікуються вони по основній функції.

Як відомо з багатьох робіт не тільки розмір абразивних частинок впливає на інтенсивність та механізм зношування, але й форма абразивної частинки (рис. 1.2) [13, 16].

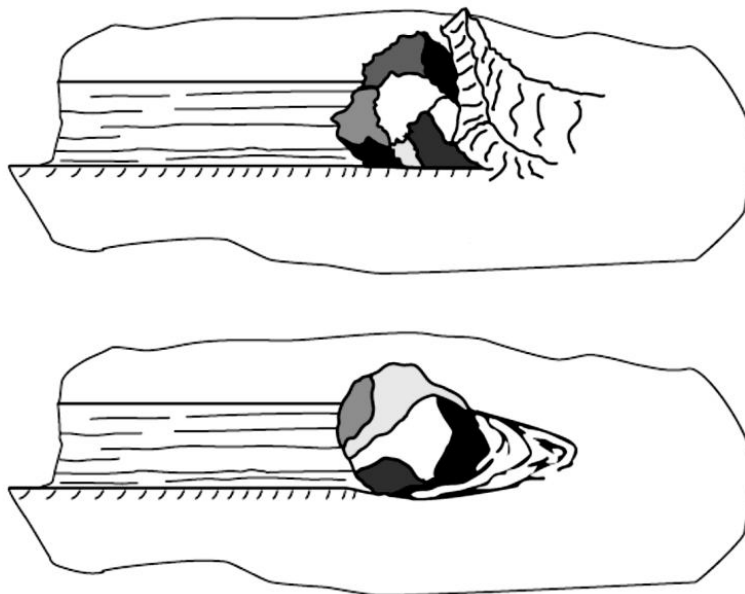


Рис. 1.2. Різні механізми зношування в залежності від коефіцієнта форми абразивних частинок.

Зміна механізму зношування поверхні, із-за різниці коефіцієнтів форми абразивних частинок, може впливати на деформацію м'якої поверхні, яку можна описати трьома різними моделями (табл. 1.2) [13].

Таблиця 1.2 – Моделі механізму зношування гальмівних колодок в залежності від форми абразиву

Модель	Опис	Коефіцієнт тертя
Модель формування хвилі	М'яка поверхня пластично деформується. Зношування відбувається за рахунок втомлюваності поверхні	$\mu = \frac{A \sin \alpha + \cos(\arccos f - \alpha)}{A \cos \alpha + \sin(\arccos f - \alpha)}$ $A = 1 + 0,5\pi + \arccos f - 2\alpha - 2 \arcsin[(1 - f)^{-0,5} \sin \alpha]$
Модель видалення хвилі	Хвиля пластично деформованого матеріалу видаляється з поверхні, утворюючи зношені частинки. Процес характеризується інтенсивним тертям і високими показниками зносу.	$\mu = \frac{[1 - 2 \sin \beta + (1 - f^2)^{0,5}] \sin \alpha + f \cos \alpha}{[1 - 2 \sin \beta + (1 - f^2)^{0,5}] \cos \alpha + f \sin \alpha}$ $\beta = \alpha - 0,25\pi - 0,5 \arccos f + \arcsin[(1 - f)^{-0,5} \sin \alpha]$
Модель формування стружки	Деформація більш м'якого матеріалу протікає за допомогою мікрорізального механізму і шар матеріалу видаляється як стружка.	$\mu = \tan(\alpha - 0,25\pi + 0,5 \arccos f)$

Враховуючи вище зазначене можна побудувати графіки залежності коефіцієнта тертя від кута нахилу абразиву рис. 1.3.

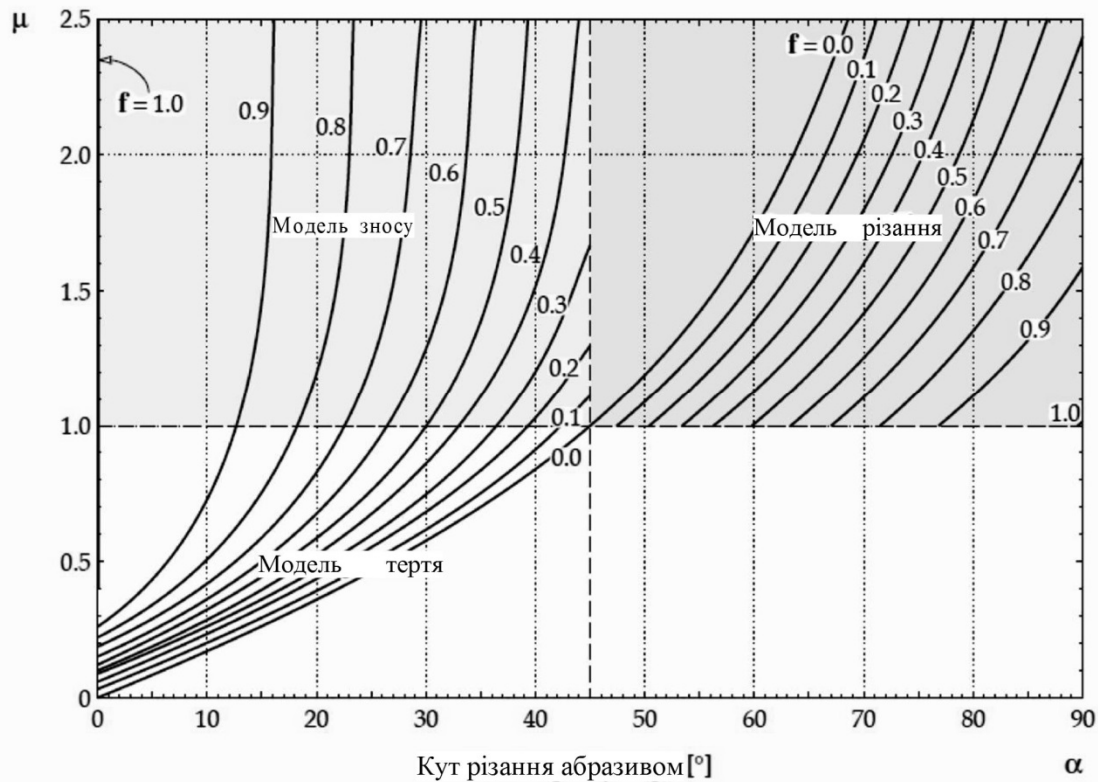


Рис. 1.3. Зміна коефіцієнта тертя залежно від моделі зносу [13].

Залежно від моделі зносу, фіксований кут нахилу збільшення f має протилежний вплив на знос. Це може пояснити, чому мащення (визначене значенням f) може гальмувати або сприяти зносу залежно від шорсткості поверхні [13, 16].

Як можна виміряти шорсткість частинок? Традиційними методами аналізу форми частинок є коефіцієнт округлості та співвідношення сторін, але шорсткість поверхонь частинок може бути співвіднесена з коефіцієнтом форми абразивних частинок. Саме тому визначення геометричних характеристик абразивних частинок, які взаємодіють з поверхнею гальмівних колодок, є актуальною задачею для прогнозування механізму зношування робочої поверхні.

При визначенні механізму зношування гальмівних колодок важливо описати фазу обкатки. Коли нові тормозні диски-колодки контактують, робота виконується завдяки фрикційній взаємодії; після появи в зоні контакту абразивних частинок внаслідок дії тертя можливо виникнення тертя ковзання і кочення між абразивними частинками і поверхнею, що призводить до абразивного механізму зношування. Інтенсивність зношування залежить від розміру абразивних частинок, товщини плівки та тиску в зоні контакту.

Під час гальмування дрібні частинки можуть підвищити ефективність фрикційної взаємодії за рахунок абразивного механізму та збільшення реальної контактної поверхні з утворенням вторинного контактного плато. Склад шарів тертя, що спостерігаються при різних температурах, та їх стабільність є першочерговим фактором для висновку про склад частинок і фрагментів, що виділяються трибологічною системою (рис. 1.4) [8, 9, 11, 18].

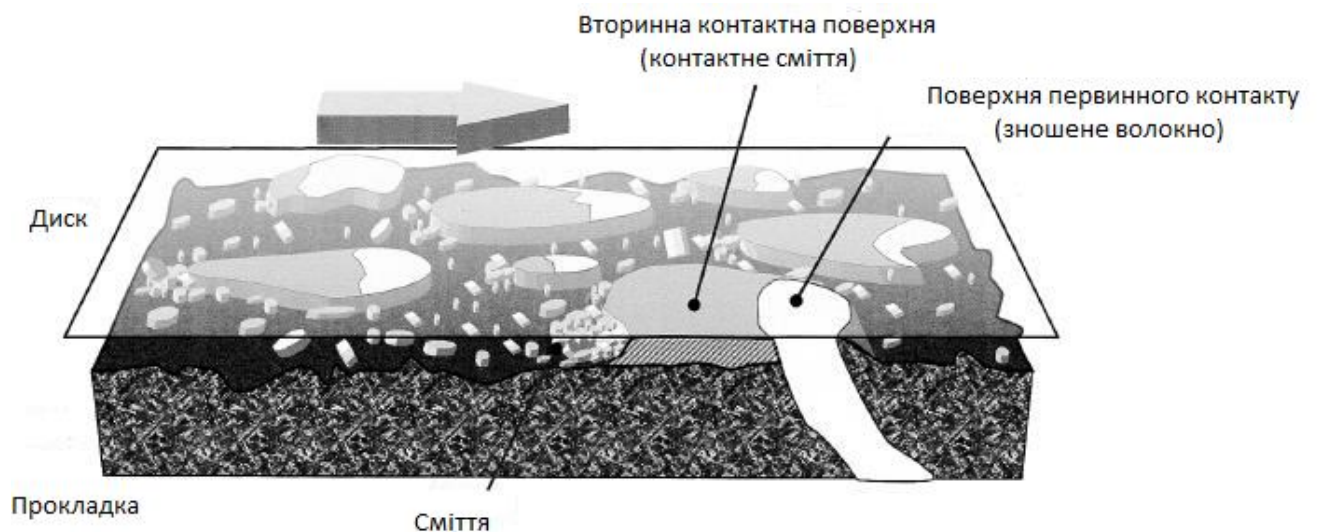


Рис. 1.4. Генерація первинного (білого) та вторинного (сірого) контактних плато на межі розділу гальмівного диска та колодки.

Вторинні плато утворюються внаслідок скупчення уламків, ущільнених на стабільних первинних плато енергією тертя.

Підвищена відносна швидкість поверхонь диска/колодки може вплинути на механізм кочення частинок. Як негативний ефект вони легко від'єднуються від поверхні тертя, збільшуючи знос гальмівних колодок.

Навіть якщо великі частинки збільшують коефіцієнт тертя менше, ніж дрібні частинки, вони індукують більш регулярний коефіцієнт тертя під час гальмування через формування більш стабільного плато первинного контакту (рис. 1.5).

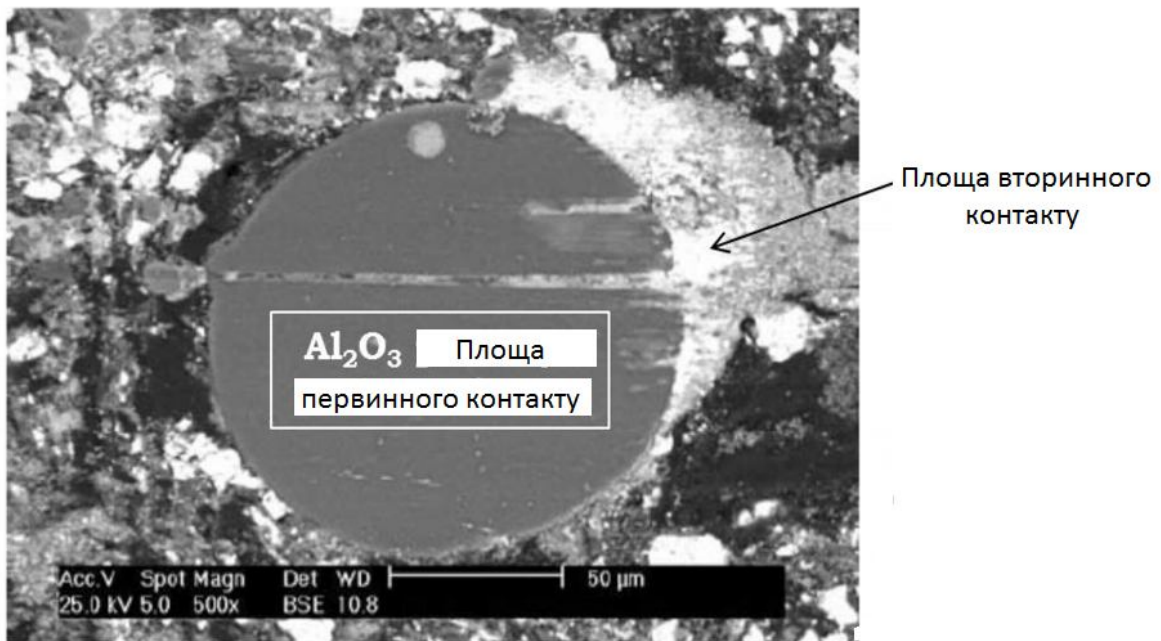


Рис. 1.5 Вигляд SEM вторинного контактного плато, складеного дрібними ущільненими частинками, утвореними плато первинного контакту глинозему [18].

Великі частинки зменшують знос гальмівних колодок, але призводять до негативного ефекту: вони можуть збільшити інтенсивність зношування дисків та гальмівний шум.

Висновок по розділу 1

В першому розділі магістерської роботи проаналізовано умови роботи та механізм зношування гальмівних колодок. Встановлено, що переважна

більшість фрикційних матеріалів для виготовлення гальмівних колодок базується на використанні органічних в'язучих речовин (смола). Виробництво органічних матеріалів для гальмівних колодок призводить до суттєвого забруднення навколишнього середовища. Одним із перспективних напрямків виробництва фрикційних матеріалів є використання неорганічних в'язучих речовин, що дозволить суттєво зменшити викиди в навколишнє середовище при виробництві та експлуатації.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою цієї роботи було дослідити можливість виробництва нових та альтернативних фрикційних матеріалів для дискових гальмівних колодок з низьким впливом на довкілля на основі неорганічних з'єднувальних речовин. Ідея полягала в тому, щоб замінити органічні фрикційні матеріали. Використання неорганічних в'язучих речовин можна вважати більш екологічно чистим в порівнянні з використанням традиційної органічної терморективної смоли.

Формулювання нового фрикційного матеріалу було запропоновано на основі консолідованого досвіду видатних науково-технічних. Різноманітні досліджені суміші виготовляли з використанням лабораторного підходу, де рецептура нових неорганічних матеріалів вимагала тонкого налаштування компонентів тертя та з'єднувальних речовин, щоб максимізувати остаточну сумісність матричних добавок та загальні характеристики композиційних матеріалів. Не тільки хімічний склад, але і всю технологію виготовлення гальмівних колодок довелося переглянути через різні фізико-хімічні властивості нових з'єднувальних речовин.

Вибір оптимального матеріалу для гальмівних колодок виконували в лабораторних умовах. Зразки виготовляли діаметром 40 мм та висотою 13 мм. Зразки виготовлялися за допомогою преса рис. 2.1.

Потім зразки тестували через 9, 18 та 27 днів з дати підготовки, щоб перевірити вплив періоду захоплення на отриману цементуючу композиційну поведінку, з метою зменшення необхідного часу виробництва гальмівних колодок. Починали з того, що зазвичай роблять для традиційних гальмівних колодок, вимірювали твердість зразка (шкала твердості за Роквеллом R), щоб

отримати інформацію про зв'язувальні властивості обраної матриці, а також про композитний опір зовнішнім навантаженням



Рис. 2.1. Прес для виготовлення дослідних зразків.

Дослідження процесу зношування та викидів в навколишнє середовище виконували на модернізованій стандартній установці (рис. 2.2.).

Процедура випробовування частинок зносу, що використовувалася, заснованою на міжнародному стандарті SAE J2707 «Процедура випробування на зносостійкість на інерційному динамометрі для матеріалів тертя гальма».

Кожен тестовий цикл повторювали на одних і тих же компонентах тричі. Гальмівний диск та колодки зважували до та після кожного циклу за допомогою ваги Sartorius CPA34001P та LA2200P відповідно, потім розраховували втрату ваги компонентів. Фільтри витримували протягом 24 годин у кліматичній шафі SCC400L-EPA при $22^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$ та зважували до і після випробування за допомогою ваги Sartorius CUBIS MSA2,7S-000-DM. Нові кварцові фільтри використовувались у кожному циклі.

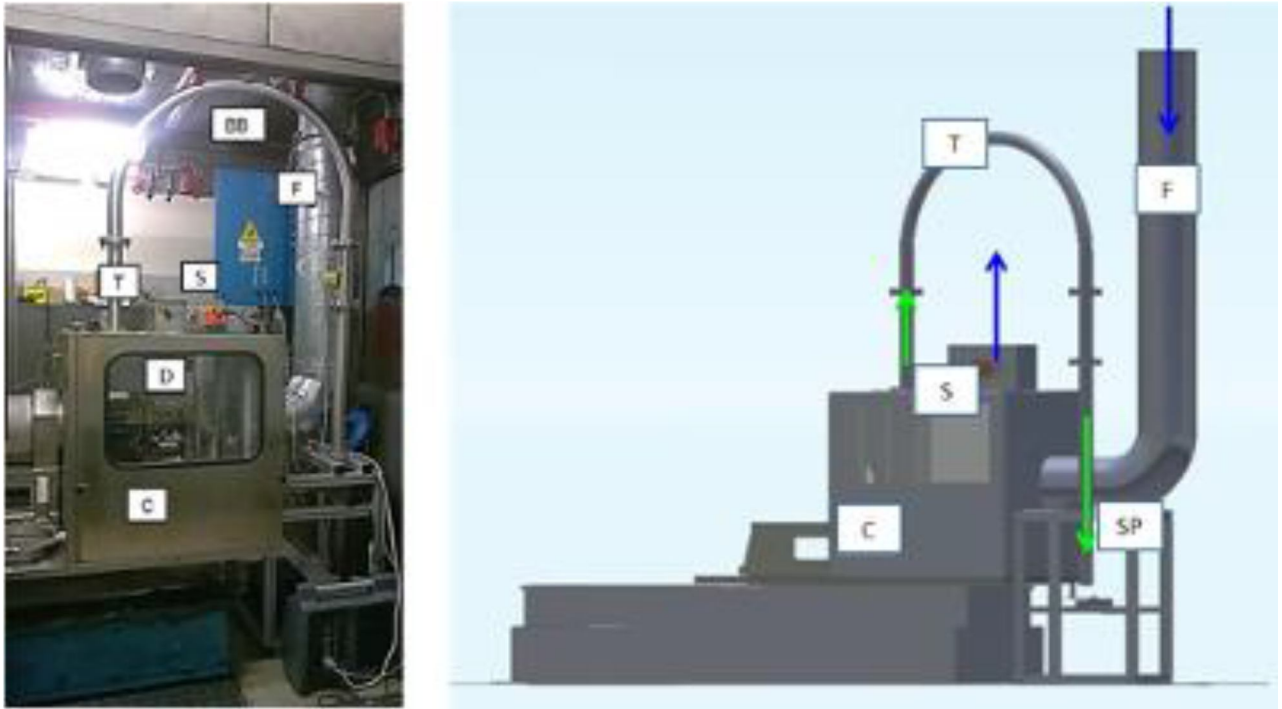


Рис. 2.2. Загальний вигляд (ліворуч) та схема (праворуч) установки для характеристики викидів частинок зносу, де С – камера пилозбірника, F – вхідна трубка, D – гальмівний диск, Т – трубка для відбору проб, S – затвор, SP – точкова проба.

Для експериментальних досліджень використовувались гальмівні колодки виготовлені з органічних та неорганічних сполук представлені на рис. 2.3



Рис. 2.3. Органічна (зліва) та неорганічна (справа) гальмівна колодка

Ефективність гальмування відповідно до ISO 15484:2008 повинно відповідати одній із таких процедур:

- ISO 26867;
- SAE J2522;
- JASO C406-00.

Вибір процедури дослідження гальмування був вибраний нами виходячи з діючих стандартів в Україні, а саме був вибраний SAE J2522 так як більшість автомобілів в нашій країні європейського виробництва.

Обробку експериментальних даних виконували у відповідності до існуючих методик [19-25].

Висновок по розділу 2

В другому розділі магістерської роботи розроблена методика дослідження фрикційних властивостей матеріалів для виробництва гальмівних колодок. Запропоновано провести експлуатаційні порівняльні випробовування гальмівних колодок з використанням органічних і неорганічних фрикційних матеріалів.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Випробування утворених викидів в результаті процесу зношування проводили на двох режимах: обкатка та встановлений процес зношування. Результати досліджень представлені на рис. 3.1.

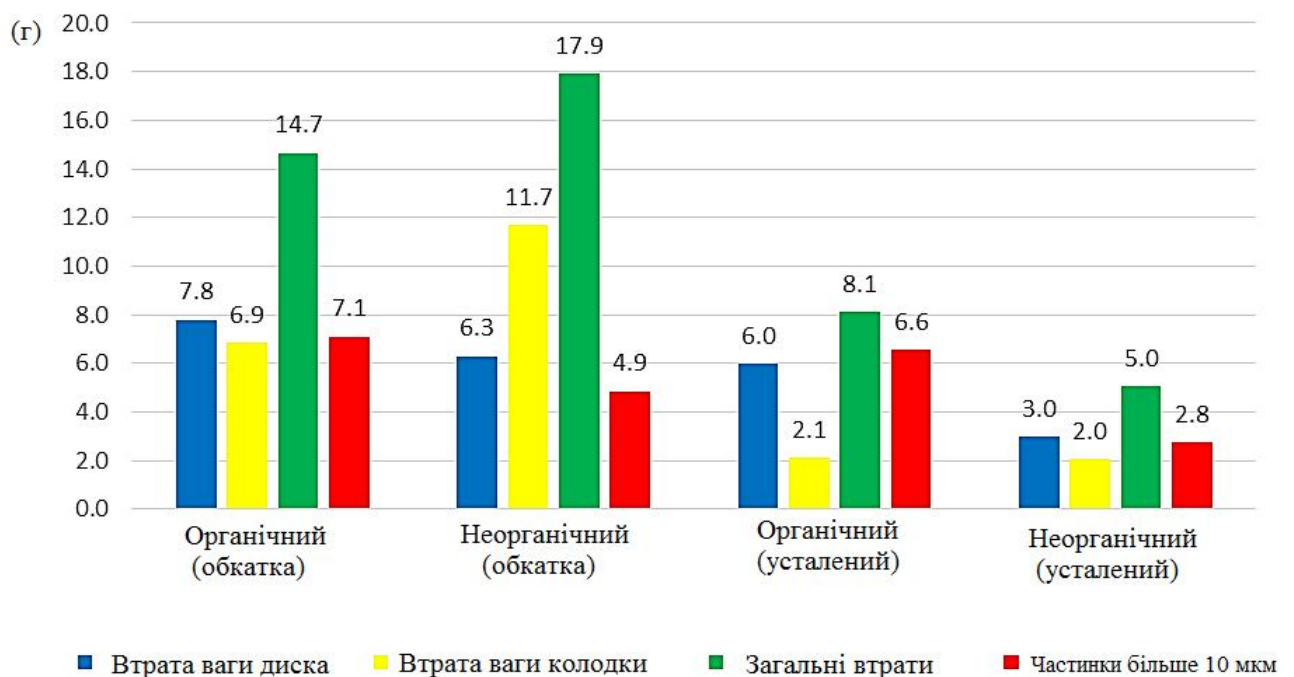


Рис. 3.1. Результати триботехнічних випробовувань гальмівних систем.

На початку першого циклу компоненти були новими і протягом першої частини цього циклу утворився шар тертя з накладок і диска. Навіть якщо знос гальмівних колодок виготовлених з неорганічного матеріалу був вищими ніж серійних колодок, у цій фазі було менша кількість викидів компонентів розміром більше 10 мкм (B10), відповідно 11,7 г та 6,9 г. У першому циклі викиди частинок більше 10 мкм для неорганічних гальмівних колодок становили 27% від загального зносу, а для комерційного (органічного) – 48%.

На другому циклі компоненти вже були обкатані, тому цей цикл був більш значущим, щодо повсякденного використання гальм. Загальний знос та викиди компонентів розміром понад 10 мкм були значно нижчими щодо

першого циклу для обох матеріалів, але неорганічний матеріал показав особливо низький рівень викидів частинок розміром понад 10 мкм.

Результати досліджень ефективності гальмівних колодок проведених відповідно до SAE J2522 (АК-Master) представлено на рис. 3.2 .

Не тільки хімічний склад матеріалів впливав на кінцеві властивості гальмівних колодок, параметри виробничого процесу, такі як настройка формування та час затвердіння, були однаково важливими (наприклад, спеціальна система зливу, призначена для формування неорганічних матеріалів, впливала на кількість води, що утримується фрикційною сумішшю при вибраному тиску, змінюючи характеристики матеріалу).

Неорганічний матеріал тормозних колодок, порівняно з оригінальними органічним обладнанням продемонстрував нижчу, але стабільну ефективність ($\mu_{\text{неорг.}} = 0,39$, $\mu_{\text{орг.}} = 0,42$) в середньому. ($\mu_{\text{неорг.}} = 0,25$, $\mu_{\text{орг.}} = 0,24$), крім того знос двох матеріалів був приблизно рівний. Враховуючи, що процедура SAE J2522 (АК-Master) оцінювала поведінку фрикційних матеріалів у більш ніж 80% умов експлуатації автомобілів характеристики неорганічного матеріалу та серійного матеріалу у всіх режимах є приблизно однаковими. Перевагою неорганічних колодок було те, що вони не мали жодної аномалії з точки зору відсутності компактності або тріщин, що утворилися під час виготовлення та випробувань. Критичним показником для неорганічного матеріалу було ефективність тертя при високій швидкості, матеріал зазнавав швидкого зносу при швидкості понад 160 км/год.

Що стосується викидів хімічних речовин, було продемонстровано, що виготовлення неорганічних гальмівних колодок на основі гідравлічних в'язучих речовин матиме позитивний вплив на здоров'я працівників, зайнятих реалізацією гальмівних колодок, завдяки уникненню небезпечних речовин, що утворюються в процесі виробництва на органічному матеріалі колодки.

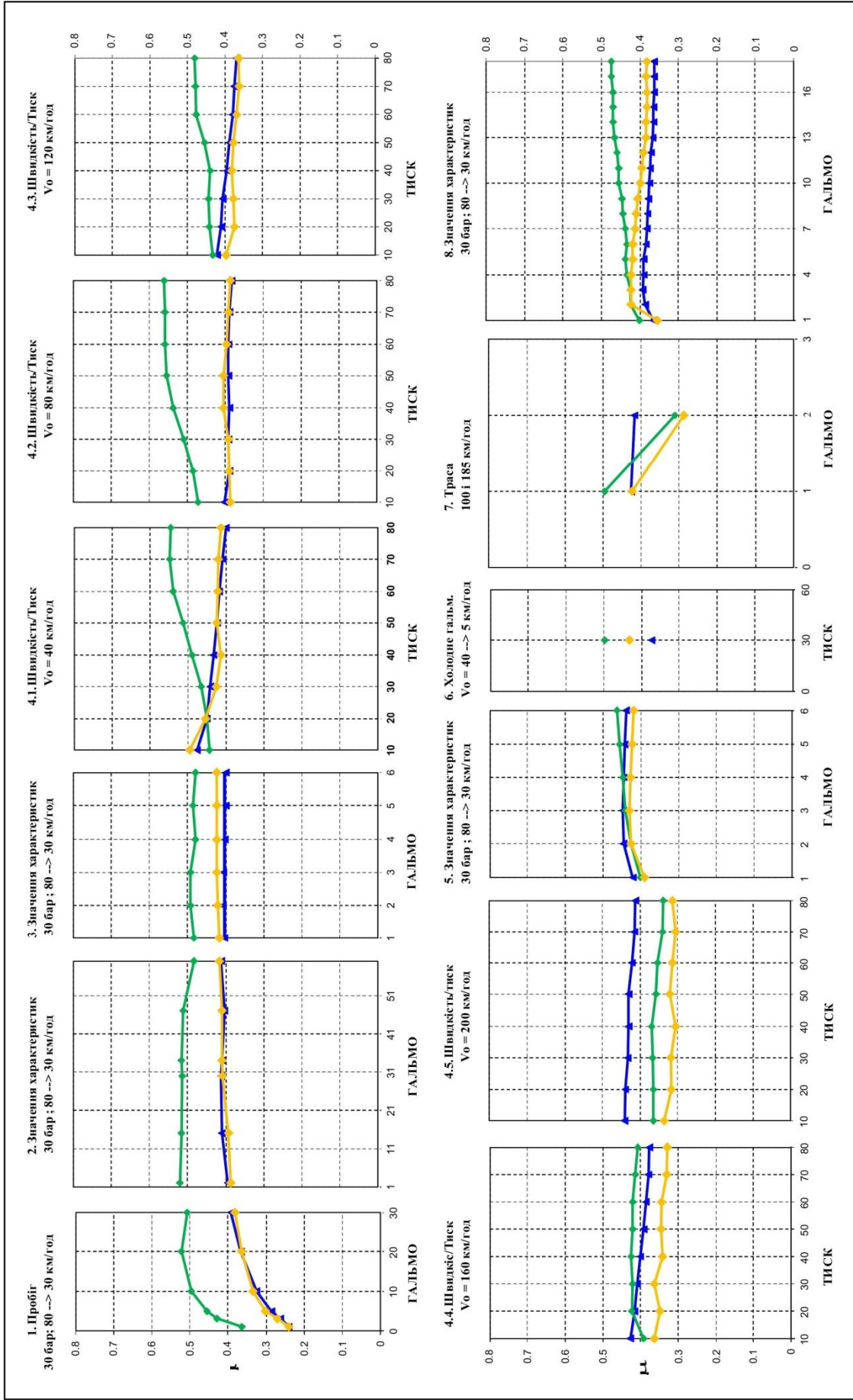


Рис. 3.2. Результати експлуатаційних випробувань гальмівних колодок згідно SAE J25222 (початок).

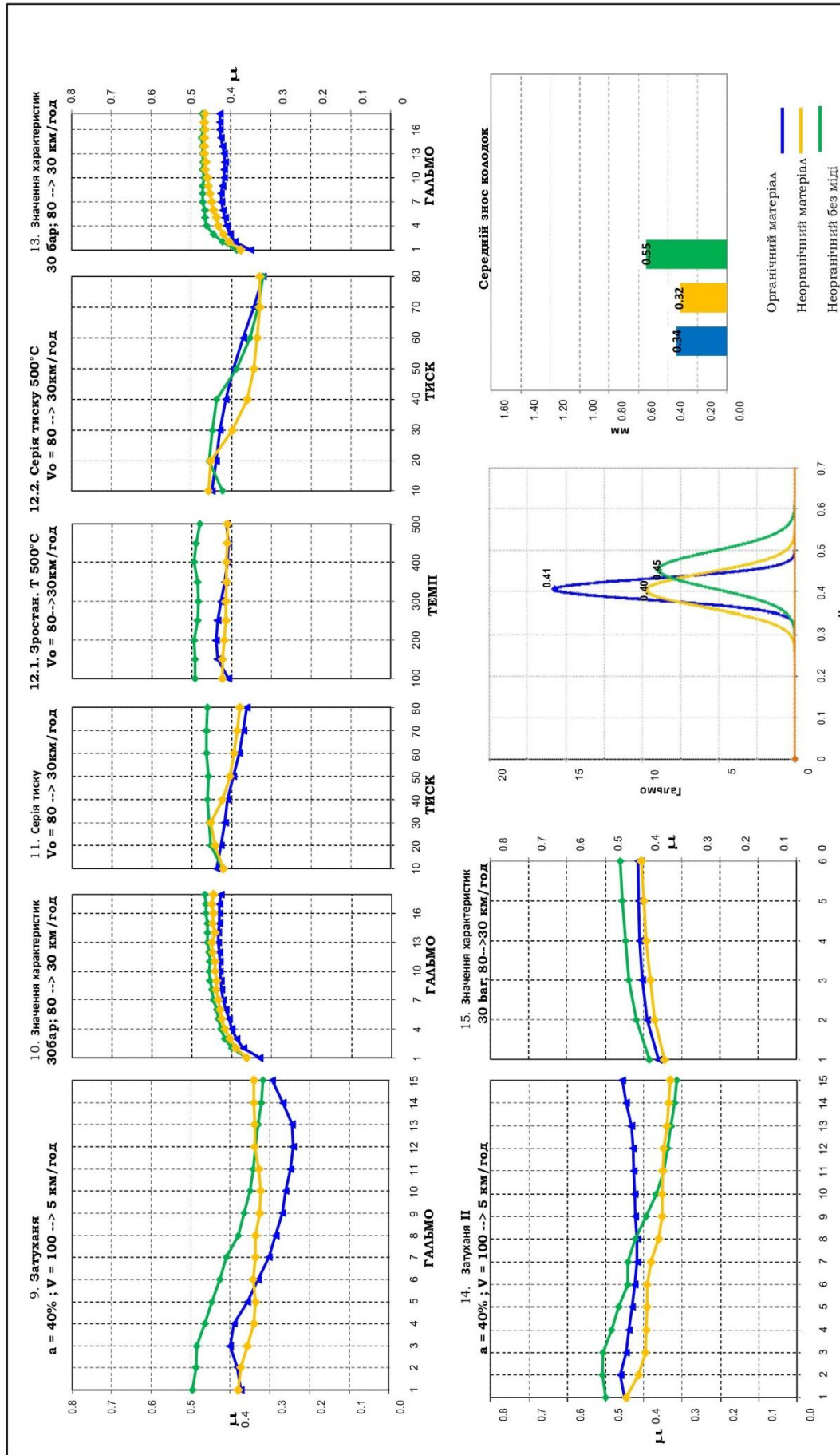


Рис. 3.2. Результати експлуатаційних випробувань гальмівних колодок згідно SAE J25222 (кінець).

Більше того, використання інноваційних колодок може зменшити кількість шкідливих хімічних речовин, що розсіюються в повітрі під час гальмування при високій температурі, з подальшим зменшенням частоти асоційованих захворювань.

На даний час відсутній міжнародний стандарт який регулює викиди в результаті зношування гальмівних колодок, але в майбутньому очікується, що ці викиди будуть частково обмежуватися.

Хороша трибологічна поведінка неорганічного матеріалу гальмівних колодок була підтверджена у порівнянні з органічним комерційним матеріалом. Висока швидкість зносу диска лише на першому етапі випробування неорганічного матеріалу може бути пояснена більшим часом припрацювання нових матеріалів. Трибосистема вимагала більше часу для формування стабільного шару на межі тормозних колодок/дисків, саме тому на другому етапі випробування, коли компоненти припрацювались, їх знос був значно нижчим. Ці результати слід враховувати для майбутнього нормування викидів шкідливих частинок з гальмівних систем в оточуюче середовище. Різна триботехнічна поведінка нових та «припрацьованих» матеріалів може суттєво змінити класифікацію різних матеріалів. Крім того, окрім викидів у повітрі частинок, використання процедури аналізу при випробуванні на стенді, як це було зроблено для виробничого процесу, може показати хімічні викиди гальмівної системи під час експлуатації.

Для випробування також використовувався неорганічний матеріал без міді, оскільки деяких країнах Західної Європи мідь у фрикційних матеріалах повинна бути обмежена до 5% після 1 січня 2021 року та до 0,5% після 1 січня 2025 року.

Згідно отриманими даними, неорганічні матеріали здатні витримувати також важкі термомеханічні умови випробування на знос та фрикційні властивості, необхідні для застосування в складних умовах експлуатації,

забезпечуючи більш ніж прийнятні характеристики незважаючи на іноваційність прийнятих рішень

Отримані результати вважаються особливо перспективними з огляду на подальший розвиток цього нового класу фрикційних матеріалів.

Висновки по розділу 3

В результаті проведених лабораторних та експлуатаційних досліджень встановлено, що використання неорганічних матеріалів для виробництва гальмівних колодок дозволить суттєво зменшити викиди в навколишнє середовище в процесі експлуатації.

Неорганічні матеріали володіють необхідними фрикційними та триботехнічними характеристиками і здатні в майбутньому замінити шкідливі органічні матеріали, які використовуються для виробництва накладок на гальмівні колодки.

ВИСНОВКИ

В результаті аналізу апріорної інформації встановлено, що сучасні гальмівні колодки складаються з композитних фрикційних матеріалів, що містять смолу, вони спеціально розроблені для забезпечення хороших характеристик тертя та зносу в умовах гальмування при ковзанні. В основу складу матеріалу з якого виготовляють тормозні колодки, в переважній більшості, входить фенольна смола з додаванням компонентів, що забезпечують механічну міцність, необхідну для протистояння при створених силах тертя та хорошу ефективність тертя під час гальмування при різних умовах.

Метою магістерської роботи було дослідити можливість виробництва нових та альтернативних фрикційних матеріалів для дискових гальмівних колодок легкових автомобілів з низьким впливом на навколишнє середовище порівняно з традиційними фрикційними матеріалами на основі органічних в'язучих речовин.

Ідея полягала в тому, щоб замінити органічні фрикційні матеріали, зосередившись на розробці нових гальмівних матеріалів на основі інноваційних фрикційних сумішей та неорганічних гідравлічних в'язучих речовин з підвищеними фрикційними властивостями, а потім перевірити їх фрикційні характеристики в лабораторних та експлуатаційних умовах.

Використання неорганічних в'язучих речовин можна вважати більш екологічно чистим порівняно з використанням традиційної органічної терморективної смоли для виробництва гальмівних колодок.

В ході дослідження встановлено, що запропоновані матеріали володіють кращими фрикційними властивостями порівняно з матеріалами на основі фенольної смоли.

Використання запропонованих матеріалів для виробництва гальмівних колодок дозволить покращити екологічну ситуацію за рахунок зменшення

викидів в навколишнє середовище в процесі виготовлення та експлуатації гальмівних колодок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Асадченко В.Р. Автоматические тормоза подвижного состава. Москва : Маршрут, 2006. 392 с.
2. Крылов В. И. Автоматические тормоза подвижного состава. Москва : Транспорт, 1983. 215 с.
3. Дервянко В. А. Тормозные системы легковых автомобилей. Москва : Петит, 2001. 248 с.
4. Мащенко А.Ф. Статические и статистические характеристики тормозов. *Автомобильная промышленность*. 1970. № 7. С. 17-21.
5. Гаршин А. П. Фрикционные материалы на основе волокнисто-армированных композитов с углеродной и керамической матрицей для систем торможения. *Новые огнеупоры*. 2008. № 9. С. 54–60.
6. Полимеры в узлах трения машин и приборов : справочник / под ред. А. В. Чичинадзе. Москва : Машиностроение, 1988. 328 с.
7. Krenkel W. C/C–SiC composites for hot structures and advanced friction systems. *Ceramic engineering and science proceedings*. 2003. 24. P. 583-592.
8. Старченко В. Н. Новые фрикционные углерод-углеродные композиты для тормозных устройств подвижного состава // *Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: 65-я Межд. научн.-практ. конф.*, Днепропетровск, ДНУЖТ им. акад. В. Лазаряна, 2005. С. 77.
9. Казаринов В. М. Теоретические основы проектирования и эксплуатации автотормозов. Москва : Транспорт, 1968 400 с.
10. Колесников В. И. Теплофизические процессы в металлополимерных трибосистемах. Москва : Наука, 2003. 279 с.
11. Вольченко А. И. Новый подход к тепловой динамике трения фрикционных узлов тормозных устройств (часть 2). *Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб.* 2011. Вип. 55. С.27–46.

12. Вольченко А. И. Новый подход к тепловой динамике трения фрикционных узлов тормозных устройств (часть 4). *Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб.* 2011. Вип. 55. С.47–64.
13. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / Под общ. Редакцией А. В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2003. 575 с.
14. Ревин А. Сравнительная оценка экологичности барабанных и дисковых колесных тормозных механизмов автотранспортных средств. *Science–future of Lithuania. Transport Engineering.* Vilniaus, 2009. Vol. 1. №6
15. Федорченко И. М., Крячек В. М., Панайоти И. И. Современные фрикционные материалы. Киев. 1975.
16. Гаркунов Д. Н. Триботехника (износ и безызносность). Москва : Изд-во МСХА, 2001. 616 с.
17. Бернадский В. В., Майоров А. Ф. Стендовое оборудование для испытаний тормозов автомобиля и его совершенствование для возможности оценки работоспособности элементов тормозной системы с АБС. *Журнал автомобильных инженеров.* 2014. № 2 (85). С. 36-39.
18. Горбунов М. І. Технічні рішення по стабілізації температури фрикційних елементів гальм. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.* 2013. № 4, (193). С. 68 – 72.
19. Rasch D. Schott D. *Mathematical Statistics.* Wiley, 2018. 688 p.
20. Shao J. *Mathematical Statistics: Exercises and Solutions.* Springer. 2005. 360 p.
21. Härdle W.K., Spokoiny V., Panov V., Wang W. *Basics of Modern Mathematical Statistics: Exercises and Solutions.* Springer. 2014. 185 p.
22. Hogg R., McKean J., Craig A. *Introduction to Mathematical Statistics* 8th Edition. Pearson Education, 2019. 762 p.
23. Miller I., Miller M., John E. *Freund's Mathematical Statistics with Applications.* N.-Y.: Pearson Education Limited, 2014. 477p.

24. Buchla D. M. Experiments in Digital Fundamentals. 10th edition. Pearson Prentice Hall, 2009. 275 p.
25. Antony J. Design of Experiments for Engineers and Scientists. 2nd Ed. Elsevier, 2014. 220 p.