

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Проектування технічного обслуговування та ремонту гальмівної системи автомобіля Honda Civic з дослідженням гальмівних властивостей автомобіля

Виконав: студент 6 курсу, групи МАм-62
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Олександр
НАКОНЕЧНИЙ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Керівник

Іван ГЕВКО

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Нормоконтроль

Михайло ЛЕВКОВИЧ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Зав. кафедри

Олег ЦЬОНЬ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Рецензент

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олег ЦЬОНЬ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«14» листопада 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Наконечному Олександру Віталійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування технічного обслуговування та ремонту гальмівної системи автомобіля Honda Civic з дослідженням гальмівних властивостей автомобіля

Керівник роботи Гевко Іван Богданович., д.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «14» листопада 2025 року № 4/7-972

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19 грудня 2025

3. Вихідні дані до роботи Базовий ТП Птехнічного обслуговування та ремонту гальмівної системи автомобіля Honda Civic

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ. 4 Науково-дослідний розділ. 5 Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Найбільш характерні несправності гальмівної системи автомобіля Honda Civic – 1A1. Технологічна карта операцій

заміни передніх гальмівних колодок автомобіля Honda Civic – 1A1.

Технологічна карта діагностування гальмівної системи – 1A1.

Гальмівний стенд – 1A1.

Привідний механізм стенду – 2A1.

Планування зони діагностики гальмівної системи автомобілів – 1A1.

Результати наукових досліджень – 1A1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Посада, ім'я та прізвище консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н. доц. Ткаченко І.Г.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	ст. викл. Стручок В.С.		

7. Дата видачі завдання 14.11.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	18.11.25	
2	Технологічний розділ	25.11.25	
3	Конструкторський розділ	02.12.25	
4	Науково-дослідний розділ	09.12.25	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	16.12.25	
6	Оформлення графічної частини	16.12.25	
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра		

Студент

(підпис)

Олександр НАКОНЕЧНИЙ

(ім'я та прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Іван ГЕВКО

(ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Проектування технічного обслуговування та ремонту гальмівної системи автомобіля Honda Civic з дослідженням гальмівних властивостей автомобіля».

Робота виконана на кафедрі автомобілів ТНТУ ім. І. Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи магістра д.т.н. професор Гевко Іван Богданович.

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 61 сторінки формату А4 та 8 аркушів формату А1 графічної частини сторінок додатків.

Ключові слова: тертя, ефективність, гальмівний шлях, ремонт, технологія.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Узагальнені відомості про гальмівну систему автомобіля.....	8
1.2 Гальмівні накладки.....	9
1.2.1 Азбестові та органічні матеріали гальмівних накладок.....	10
1.2.2 Напівметалеві та малометалеві композиційні матеріали.....	12
1.2.3 Керамічні фрикційні матеріали гальмівних колодок.....	13
1.2.4 Вибір оптимального типу гальмівних колодок.....	14
1.3 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу магістра.....	15
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	17
2.1 Поширені несправності гальмівної системи автомобіля Honda Civic.....	17
2.2 Перелік операцій з технічного обслуговування гальмівної системи транспортного засобу.....	18
2.3 Технологічна карта обслуговування гальмівної системи.....	20
2.4 Розрахунок вартості виконання операції заміни передніх гальмівних колодок автомобіля Honda Civic.....	21
2.5 Технічне оснащення.....	24
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	31
3.1 Розроблення елементів гальмівної системи автомобіля.....	31
3.1.1 Розрахунок передніх дискових гальмівних механізмів.....	31
3.1.2 Розрахунок міцності елементів дискового гальмівного механізму.....	36
3.1.3 Розрахунок гідравлічного приводу гальмівної системи.....	40
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ.....	44
4.1 Характеристика гальмових властивостей автомобіля.....	44
4.2 Діаграма гальмування автомобіля.....	46
4.3 Сповільнення при гальмуванні автомобіля.....	49
4.4 Практичні дослідження гальмівних властивостей автомобіля.....	51
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	53

5.1 Забезпечення безпечної експлуатації обладнання, технологічних процесів, виробничих будівель, споруд та прилеглих територій.....	53
5.2 Забезпечення санітарно-гігієнічних умов праці та організація медико-профілактичного обслуговування персоналу.....	54
5.3 Специфіка прогнозування масштабів аварійного хімічного забруднення в умовах міського середовища.....	55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	59
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	60
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Гальмівна система автомобіля є однією з найважливіших складових активної безпеки, оскільки її технічний стан безпосередньо впливає на здатність транспортного засобу ефективно знижувати швидкість та зупинятися у визначений інтервал часу та відстані. Інтенсивний розвиток автомобільного транспорту, зростання густоти руху та посилення вимог до безпеки експлуатації машин обумовлюють необхідність удосконалення технологій технічного обслуговування й ремонту гальмівних систем.

Автомобілі марки Honda Civic посідають значну частку в структурі світового та українського автопарку, що зумовлює високий попит на якісне та своєчасне сервісне обслуговування цих транспортних засобів. Особливе значення має підтримання в належному стані гальмівної системи, яка включає гідравлічний привід, дискові гальмівні механізми, електронні системи стабілізації гальмування та інші елементи, що забезпечують керованість і безпечність руху.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розроблення технологічних процесів технічного обслуговування та ремонту гальмівної системи автомобіля Honda Civic із поглибленим дослідженням її гальмівних властивостей, що дозволить забезпечити підвищення ефективності та надійності експлуатації транспортного засобу. У рамках роботи виконується оцінювання гальмівної динаміки, аналіз можливих несправностей і причин їх виникнення, а також обґрунтовуються інженерні рішення щодо забезпечення нормативних показників безпеки.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Узагальнені відомості про гальмівну систему автомобіля

Гальмівна система легкового автомобіля Honda Civic є ключовим елементом забезпечення активної безпеки транспортного засобу, оскільки саме вона відповідає за ефективне уповільнення руху та гарантовану зупинку в широкому діапазоні експлуатаційних умов. Конструктивно система побудована на базі гідравлічного приводу із двома незалежними контурами, розділеними за осями автомобіля, що підвищує надійність функціонування навіть у разі відмови одного з контурів.

Гальмівні механізми виконано у вигляді дискових гальм:

передня вісь оснащена вентильованими дисковими механізмами, які забезпечують інтенсивне охолодження робочих поверхонь та високу стійкість до теплових перевантажень;

задня вісь має невентильовані дискові гальма, що гарантують достатню стабільність створюваного гальмівного моменту.

З метою зниження фізичного навантаження на водія у приводі використано вакуумний підсилювач, який дозволяє отримати необхідний рівень гальмівного зусилля за мінімального тиску на педаль. Додатковим елементом активної безпеки виступає електронна антиблокувальна система ABS, що запобігає повному блокуванню коліс під час інтенсивного гальмування і, відповідно, сприяє збереженню керованості автомобіля.

Стоянкове гальмо реалізоване як механічний привід тросового типу, який діє на задні колеса та гарантує фіксацію автомобіля на місці, у тому числі на схилах.

Для контролю технічного стану приводу передбачено датчик рівня гальмівної рідини з відповідною світловою індикацією на панелі приладів, що дозволяє своєчасно виявляти можливі відхилення від норми та підвищує загальний рівень безпеки експлуатації.

Особливості гальмівної системи автомобіля Honda Civic. Гальмівна система автомобіля Honda Civic вирізняється комплексом технічних рішень,

спрямованих на досягнення високих показників безпеки та надійності під час експлуатації транспортного засобу. Серед основних переваг можна виділити такі:

Підвищена теплостійкість передніх гальмівних механізмів. Використання вентильованих дискових гальм на передній осі забезпечує ефективне відведення тепла від робочих поверхонь, що запобігає втраті гальмівних властивостей у режимах інтенсивного гальмування.

Оптимальний розподіл гальмівних зусиль по осях автомобіля. Конфігурація гідравлічного приводу та конструкція дискових механізмів сприяють стабільності та рівномірності створення гальмівного моменту, що позитивно впливає на керованість і стійкість під час сповільнення.

Інтеграція системи ABS. Наявність антиблокувальної системи забезпечує автоматичне регулювання тиску в приводі гальм, запобігаючи блокуванню коліс на покриттях із низьким коефіцієнтом зчеплення, що дозволяє зберігати траєкторну стійкість та скорочує гальмівний шлях.

Технологічна зручність технічного обслуговування. Конструктивні рішення забезпечують легкодоступність основних елементів гальмівної системи, а поширеність моделі Honda Civic на ринку обумовлює доступність витратних матеріалів, зокрема гальмівних колодок, дисків та робочих рідин, що знижує експлуатаційні витрати.

1.2 Гальмівні накладки

Конструкція фрикційних накладок гальмівних колодок формується сукупністю кількох функціональних груп компонентів, серед яких основними є полімерні зв'язувальні матеріали, армувальні волокна, мінеральні чи органічні наповнювачі, протизношувальні та фрикційно-активні добавки, а також абразивні елементи. Такий багатокомпонентний склад забезпечує необхідний комплекс механічних, теплових та трибологічних властивостей виробу.

Полімерні зв'язувальні системи виконують роль матриці композиту, фіксуючи й стабілізуючи частки інших складових у процесі роботи гальма. Вони відповідають за збереження геометричної форми й опір термічному руйнуванню

при високих навантаженнях, займаючи орієнтовно 20–40 % загальної маси матеріалу.

Армувальні волокна забезпечують підвищення жорсткості та межі міцності накладки, визначають її структурну стабільність і опір втомним навантаженням. Їх кількість може коливатися у межах від 6 до 35 % залежно від призначення виробу та вимог до міцності.

Функція наповнювачів полягає у контролі теплових потоків, зниженні шумових характеристик під час гальмування, а також у поліпшенні технологічності виготовлення та економічної ефективності виробництва. Питома масова частка наповнювачів є найбільш варіативною й може становити 15–70 % композиції.

Фрикційні модифікатори та змащувальні компоненти застосовуються для корекції інтенсивності зношування, а також для стабілізації коефіцієнта тертя у широкому діапазоні температур і швидкостей ковзання. Їх вміст зазвичай знаходиться в межах 5–29 % маси готового матеріалу.

Абразивні інгредієнти у складі фрикційних матеріалів відіграють важливу роль у стабілізації процесу гальмування. Вони сприяють підвищенню рівня тертя, видаляють продукти зношування з робочих поверхонь контакту та перешкоджають накопиченню вторинних термоплівок, які можуть знижувати ефективність гальмівної системи. Зазвичай їх частка в композиційному матеріалі є обмеженою та становить не більше 10 % від загальної маси накладки.

У сучасних легкових автомобілях застосовують широкий спектр фрикційних матеріалів, серед яких найбільш поширені чотири категорії: органічні безазбестові (NAO), керамічні, напівметалеві та металеві склади. Кожен із них має власний набір характеристик, що визначає сферу їх використання та експлуатаційні властивості.

1.2.1 Азбестові та органічні матеріали гальмівних накладок

Протягом тривалого періоду розвитку автомобільної техніки основою гальмівних накладок слугували азбестові волокна. Такі накладки демонстрували

високу механічну надійність, витримували значні температурні навантаження та були економічними у виробництві.

Згодом було встановлено серйозний негативний вплив азбесту на здоров'я людини. У процесі тертя та зношування колодок мікроскопічні азбестові волокна переходять у повітря у вигляді пилу. Ці частинки відзначаються голкоподібною формою, малою масою та здатністю тривалий час залишатися у повітряному середовищі, легко потрапляючи в дихальні шляхи.

Через надзвичайно малі розміри волокна оминають природні фільтраційні бар'єри організму та накопичуються у глибоких шарах легеневої тканини. Їх стійкість до біорозкладу та механічне подразнення провокують розвиток хронічних захворювань дихальної системи, зокрема онкопатологій.

Унаслідок цього більшість держав світу законодавчо обмежили або повністю заборонили використання азбесту у виробництві гальмівних накладок, що стимулювало перехід на безпечніші органічні фрикційні матеріали без азбестових волокон.

Органічні фрикційні матеріали стали логічним етапом еволюції гальмівних колодок після відмови від азбесту. У технічній літературі вони класифікуються як безазбестові органічні композиції (NAO – Non-Asbestos Organic), що підкреслює їхню екологічну та санітарну безпечність. На початковому етапі розвитку автомобільної промисловості такі колодки широко застосовувалися на транспортних засобах із заднім або повним приводом, тобто до домінування передньопривідних конструкцій.

До складу органічних накладок входить комплекс армувальних волокон різного походження – від традиційного скловолокна та каучукових волокон до сучасних високомодульних матеріалів на зразок вуглецевих ниток і арамідних волокон типу Kevlar. Їх використання забезпечує достатній рівень міцності, стабільність роботи та прийнятні акустичні характеристики.

Сучасне виробництво таких колодок вирізняється відносною простотою технологічних операцій і доступністю сировини. Саме тому органічні матеріали й досі переважають у бюджетному та середньому сегментах автомобільного ринку: статистично понад 70 % нових легкових автомобілів на ринку США комплектуються саме NAO-колодками під час заводського складання.



Рис. 1.1. Зразок органічних гальмівних колодок.

Органічні фрикційні накладки характеризуються відносно м'якою структурою, що зумовлює зменшені шумові прояви під час гальмування та менш інтенсивний вплив на робочу поверхню гальмівного диска. На відміну від металовмісних композицій, вони утворюють незначну кількість пилу, а сам процес їхнього виготовлення є економічно вигідним. Завдяки зазначеним властивостям такі колодки вважаються доцільним вибором для повсякденної експлуатації в помірних режимах руху та широкому спектрі дорожніх умов.

Проте органічні колодки мають і суттєві експлуатаційні обмеження. Їхній ресурс є нижчим порівняно з керамічними матеріалами, а робочий температурний діапазон – значно вужчим. За умов перегрівання коефіцієнт тертя істотно падає, що призводить до різкого зниження стабільності гальмівного процесу. Саме тому даний тип накладок не рекомендується застосовувати на транспортних засобах спортивного призначення або при інтенсивних режимах гальмування.

1.2.2 Напівметалеві та малометалеві композиційні матеріали

Напівметалеві гальмівні накладки займають провідні позиції на ринку, особливо в країнах Північної Америки, де вони широко використовуються у штатному обладнанні легкових автомобілів. Вони містять 30–65 % металевих компонентів – стружку сталі чи відрізки металевого дроту, залізний порошок, мідь або графіт, які поєднуються з наповнювачами неорганічного походження та фрикційними модифікаторами, формуючи міцну багатокомпонентну структуру.

Підвищена концентрація металу забезпечує покращені тепловідвідні властивості та значну зносостійкість, що дозволяє застосовувати такі колодки в умовах підвищених навантажень, зокрема на спеціалізованому транспорті: спортивних автомобілях, машинах швидкої медичної допомоги, патрульних автомобілях тощо.

Водночас, наявність металевих часток має і негативні наслідки: прискорене зношування гальмівних дисків, підвищений рівень шуму при гальмуванні та зниження ефективності роботи при низьких температурах. Крім того, вартість напівметалевих накладок є вищою від органічних аналогів, хоча й нижчою за ціну керамічних виробів.



Рис. 1.2. Зразки напівметалевих гальмівних колодок

Малометалеві фрикційні матеріали розглядають як підгрупу напівметалевих накладок, де органічна матриця поєднана з обмеженою часткою металевих домішок (приблизно 10–30 %). До складу зазвичай вводять мідні або сталеві компоненти, що підвищують теплопровідність та забезпечують покращення динаміки гальмування. Однак присутність металевих волокон водночас спричиняє збільшення утворення пилу та підвищення шумових характеристик порівняно з повністю органічними матеріалами.

1.2.3 Керамічні фрикційні матеріали гальмівних колодок

Керамічні гальмівні накладки формуються на основі високоміцних керамічних волокон у поєднанні з неметалевими модифікаторами, термостійкими сполуками-зв'язувачами та, за потреби, мінімальними кількостями металевих частинок. З початку 1980-х років вони активно

заміщують органічні й напівметалеві матеріали завдяки покращеним акустичним і екологічним показникам.

До ключових експлуатаційних переваг керамічних накладок належать:

- низький рівень шуму та механічних вібрацій;
- утворення сухого світлого пилю, що майже не осідає на дисках коліс;
- стабільність фрикційних властивостей у широкому температурному діапазоні;
- збільшений ресурс та знижена інтенсивність зношування.

Перераховані властивості забезпечують кращу естетичну та функціональну збереженість гальмівної системи упродовж тривалого часу експлуатації.

Попри значні переваги, такі матеріали не позбавлені обмежень. Керамічні колодки мають найвищу вартість серед доступних типів, а також характеризуються нижчим коефіцієнтом тертя на «холодному» гальмі, що погіршує показники ефективності на початку гальмування. Крім того, їхня здатність до теплопоглинання є гіршою, ніж у напівметалевих аналогів, що потенційно може спричинити перегрів елементів гальмівного механізму. Саме тому застосування таких колодок у наднизькотемпературних умовах або в режимах надмірних теплових навантажень не є оптимальним.



Рис. 1.3. Керамічні фрикційні накладки гальмівних механізмів.

1.2.4 Вибір оптимального типу гальмівних колодок

Порівняльний аналіз матеріалів гальмівних накладок свідчить, що кожен із поширених типів – органічний, напівметалевий або керамічний – має специфічний комплекс переваг та обмежень. Тому в сучасній інженерній

практиці немає універсального рішення, яке було б найефективнішим для абсолютно всіх транспортних умов та стилів керування.

Величезне різноманіття продукції на ринку aftermarket вимагає індивідуального підходу до підбору фрикційних матеріалів. Водій повинен орієнтуватися на власні експлуатаційні потреби, особливості автомобіля та характер дорожнього середовища.

Напівметалеві гальмівні накладки займають лідируючі позиції у світовій практиці завдяки універсальності: вони демонструють високі показники термостійкості, здатні до роботи у широкому температурному діапазоні та забезпечують надійне гальмування навіть з «холодного» стану. Це робить їх оптимальним вибором для транспортних засобів, що працюють на підвищених навантаженнях – під час швидкісного руху, спортивного водіння або гальмування на складних ділянках рельєфу.

Для повсякденного користування автомобілем, особливо в умовах міського трафіку або змішаних режимів руху, частіше рекомендують керамічні чи органічні матеріали. Забезпечуючи достатній рівень уповільнення, вони знижують віброакустичні прояви, виділяють мінімальну кількість пилу й характеризуються збільшеним ресурсним потенціалом. Такі накладки спрямовані передусім на комфорт і стабільність гальмівної системи у звичайних умовах експлуатації.

1.3 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу магістра

Метою даної роботи є комплексне дослідження технічного стану та ефективності гальмівної системи автомобіля Honda Civic, обґрунтування технології її обслуговування, виконання конструкційних розрахунків окремих елементів і аналіз гальмівних властивостей транспортного засобу в умовах практичної експлуатації.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

2 Технологічний розділ. Провести аналіз найпоширеніших несправностей гальмівної системи автомобіля Honda Civic та виявити причини їх виникнення.

Сформуванати перелік операцій з технічного обслуговування гальмівної системи транспортного засобу згідно нормативних вимог та рекомендацій виробника. Розробити технологічну карту виконання робіт із технічного обслуговування гальмівної системи з урахуванням трудомісткості та послідовності операцій. Виконати розрахунок вартості операції заміни передніх гальмівних колодок автомобіля Honda Civic з визначенням витрат на матеріали, робочу силу та використання обладнання. Обґрунтувати вибір технологічного обладнання та інструменту для виконання робіт з обслуговування гальмівної системи.

3 Конструкторський розділ. Виконати розрахунок передніх дискових гальмівних механізмів із визначенням гальмівних моментів та навантажень. Провести розрахунок міцності основних елементів дискового гальмівного механізму на відповідність вимогам експлуатаційної безпеки. Провести гідравлічний розрахунок приводу гальмівної системи для забезпечення необхідного рівня гальмівного зусилля.

4 Науково-дослідний розділ. Надати характеристику гальмівних властивостей автомобіля Honda Civic на основі теоретичних та нормативних показників. Побудувати діаграму гальмування транспортного засобу з урахуванням зміни сповільнення під час зупинки. Визначити величину сповільнення під час гальмування та оцінити відповідність вимогам безпеки руху. Провести практичні дослідження гальмівних властивостей автомобіля, здійснити порівняння розрахункових та експериментальних результатів та сформуванати висновки.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Поширені несправності гальмівної системи автомобіля Honda Civic

У процесі експлуатації автомобілів Honda Civic можливе виникнення низки характерних порушень у роботі гальмівної системи, пов'язаних як із природним зношуванням елементів, так і з впливом зовнішніх факторів. До найтиповіших несправностей належать відхилення в роботі гідравлічного приводу, деградація гальмівних колодок і дисків, поява сторонніх шумів, зниження ефективності гальмування, а також пошкодження або вихід з ладу електронних систем контролю та регулювання.

З метою систематизації найбільш поширених дефектів та спрощення процесу діагностування у таблиці 1.1 наведено основні типи несправностей гальмівної системи Honda Civic, можливі причини їх виникнення та загальні рекомендації щодо усунення.

Таблиця 1.1. Найбільш характерні несправності гальмівної системи автомобіля Honda Civic.

Виявлена несправність	Імовірні технічні причини	Наслідки для роботи гальмівної системи та безпеки
Подовження гальмівного шляху	Вироблення фрикційних накладок; зниження рівня, старіння або забруднення гальмівної рідини; мікропротікання в гідравлічних магістралях	Падіння ефективності гальмування, зростання ризику дорожньо-транспортної пригоди
Вібрації чи биття під час гальмування	Деформація робочих поверхонь гальмівних дисків; нерівномірний знос фрикційних накладок; невірна установка коліс	Погіршення курсової стабільності, зниження керованості автомобіля

Сторонній шум (скрегіт, скрип) при пригальмовуванні	Надмірне забруднення тертьових поверхонь пилом або корозійними частинками; відсутність мастила напрямних супорта; критичний знос колодок	Акустичний дискомфорт, нерівномірний розподіл гальмівних сил
Підвищене зусилля на педалі	Несправність вакуумного підсилювача або його шлангів; зниження вакууму в системі	Погіршення комфорту керування, у критичних ситуаціях – значне зростання часу реакції водія
«Провалювання» гальмівної педалі або її м'який хід	Завоздушення гідроприводу; витік гальмівної рідини; зношення ущільнювальних елементів головного гальмівного циліндра	Різде падіння гальмової сили, імовірність повної відмови гальм
Відведення автомобіля убік при гальмуванні	Заїдання або нерівномірна робота супортів; відмінність тиску в шинах; неоднакова товщина накладок на осях	Порушення стійкості руху, небезпека виникнення заносу
Зниження утримувальної здатності стоянкового гальма	Розтягнення або пошкодження тросів; зношення задніх гальмівних механізмів	Неможливість утримання транспортного засобу на ухилі, особливо під час стоянки

2.2 Перелік операцій з технічного обслуговування гальмівної системи транспортного засобу

Контроль технічного стану та заміна фрикційних елементів. Характеристика операції. Під час проведення періодичного технічного обслуговування здійснюється детальна діагностика передніх і задніх гальмівних

колодок. Оцінюється залишкова товщина робочого шару фрикційної накладки та перевіряється рівномірність зношування на одній осі. Якщо товщина фрикційного матеріалу наближається до гранично допустимого значення (зазвичай 2–3 мм, згідно з технічними вимогами виробника), колодки підлягають негайній заміні. Додатково здійснюється перевірка стану напрямних елементів супорта на предмет корозійних ушкоджень, забруднення або заїдання.

Профілактичні вимоги. З метою забезпечення стабільних характеристик гальмування та запобігання аварійним ситуаціям доцільно виконувати контроль ступеня зносу колодок через кожні 10–15 тис. км пробігу або раніше – у разі появи скрипів, шумів чи відчутних вібрацій під час гальмування. Рекомендовано проводити заміну виключно парно на обох колесах осі та застосовувати сертифіковані фрикційні елементи, що відповідають вимогам безпеки й температурної стійкості.

Контроль якості та періодична заміна гальмівної рідини. Сутність операції. Проводиться оцінювання рівня робочої рідини у компенсаційному бачку та аналіз її фізичного стану – прозорості, наявності продуктів старіння, зміни кольору чи вологи. За виявленням ознак деградації або недостатнього об'єму виконується доливання або повна заміна з обов'язковим видаленням повітря із гідравлічного приводу шляхом прокачування контуру. Це дозволяє відновити оптимальні реологічні властивості та стабільність передавання тиску.

Періодичність і вимоги. Рекомендовано здійснювати повну заміну не рідше ніж один раз на два роки або після 40–50 тис. км пробігу транспортного засобу (залежно від умов експлуатації). Застосування гальмівної рідини має відповідати специфікації, зазначеній виробником автомобіля, переважно класу DOT-4 із гарантованою стійкістю до абсорбції вологи та перегріву.

Технічний огляд та регулювання приводу стоянкового гальма. Сутність операції. Під час регламентного обслуговування контролюється стан елементів механічного приводу стоянкового гальма: перевіряється натяг та відсутність пошкоджень тросів, працездатність важільного механізму, а також синхронність створення гальмівного зусилля на задніх колесах. У разі виявлення розтягнення чи заїдання елементів виконується регулювання або заміна тросів для забезпечення їхньої надійної роботи.

Періодичність і вимоги. Діагностика й налаштування повинні проводитися під час кожного планового ТО. Стоянкове гальмо має гарантувати фіксацію транспортного засобу на ухилі не менше 16 % згідно з вимогами дорожньої безпеки.

2.3 Технологічна карта обслуговування гальмівної системи

З метою ілюстрації організації регламентних робіт розглянемо один із найбільш поширених видів технічного обслуговування – заміна передніх фрикційних накладок дискових гальм на прикладі легкового автомобіля Honda Civic. На основі послідовності виконання операцій складено технологічну карту процесу, що регламентує вимоги до обладнання, інструментів, трудових витрат і заходів безпеки.

Таблиця 7.2. Технологічна карта операції заміни передніх гальмівних колодок автомобіля Honda Civic.

№	Найменування операції	Зміст виконуваних дій	Обладнання й інструмент	трив., хв
1	Підготовчий етап	Розмістити автомобіль на підйомному обладнанні або рівному майданчику з надійною фіксацією. Забезпечити безпечне відключення запалення, зняти колесо для доступу до гальмівного механізму	Підйомник/ домкрат, опори-штативи, балонний ключ	10
2	Демонтаж гальмівного супорта	Виконати відкручування кріпильних елементів супорта, обережно зняти вузол із гальмівного диска без пошкодження гальмівного шланга	Набір ріжкових/головкових ключів, викрутка або монт. інструмент	15

3	Видалення зношених фрикційних елементів	Демонтувати колодки; провести візуальний контроль напрямних і пильників на наявність корозії, деформацій або забруднення	Плоский монтажний інструмент	10
4	Підготовка супорта до встановлення нових колодок	За допомогою спеціального пристрою утопити поршень у циліндр, забезпечивши достатній монтажний простір. Перевірити чистоту контактних поверхонь	Спеціальний інструмент для стиснення поршня супорта	10
5	Монтаж нових гальмівних колодок	Установити комплект нових фрикційних елементів з контролем правильності їх позиціонування; при потребі нанести жаростійке мастило на напрямні	Новий комплект гальмівних колодок, мастило для супортів	15
6	Зворотний монтаж супорта та колеса	Виконати фіксацію супорта з дотриманням моменту затягування кріплень; встановити колесо та затягнути гайки/болти у правильній послідовності	Динамометричний ключ, кріпильний інструмент	15
7	Функціональний контроль	Провести декілька натискань педалі для підведення колодок; перевірити відсутність люфтів, шумів і витоків; виконати випробувальне гальмування на малих швидкостях	Візуальний контроль, тестовий заїзд	10

2.4 Розрахунок вартості виконання операції заміни передніх гальмівних колодок автомобіля Honda Civic

Переведемо у нормо-години:

$$T_{\text{заг}} = \frac{85}{60} = 1,42 \text{ н.-год.}$$

Визначення тарифної (робочої) ставки. Для реальних СТО України беруть такі середні тарифні ставки:

Середня ставка автомеханіка: 250–350 грн/н.-год.

Для навчальних розрахунків найчастіше використовується 300 грн/н.-год.

Приймаємо:

$$C_{\text{н/год}} = 300 \text{ грн}$$

Прямі витрати на заробітну плату:

$$C_{\text{зарп}} = T_{\text{заг}} \cdot C_{\text{н/год}}$$

$$C_{\text{зарп}} = 1,42 \cdot 300 = 426 \text{ грн}$$

Нарахування на заробітну плату.

Враховуємо нормативи (ЄСВ, внутрішні нарахування), для навчальних робіт зазвичай приймають ЄСВ – 22 %.

Додаткові нарахування (адміністративні, внутрішні) – 5 %. Разом: 27 %.

$$C_{\text{нар}} = 426 \cdot 0,27 = 115,0 \text{ грн}$$

Витрати на утримання обладнання (КОЗ). КОЗ включає амортизацію підйомника, інструменту, енерговитрати. Типове значення: 15–20 % від зарплати.

Приймаємо:

$$C_{\text{КОЗ}} = 426 \cdot 0,18 = 76,7 \text{ грн}$$

Витрати на матеріали та допоміжні засоби.

До робіт входять змазка напрямних супорта, очищувач гальм, вода/електрика, дрібний інструмент.

В середньому розрахунком приймають $C_{\text{мат}} = 30$ грн.

Адміністративні витрати та накладні витрати СТО. Для сервісних підприємств зазвичай становлять 30–40 % від прямої зарплати. Приймаємо:

$$C_{\text{накл}} = 426 \cdot 0,35 = 149,1 \text{ грн}$$

Загальна собівартість операції:

$$C_{\text{соб}} = C_{\text{зарп}} + C_{\text{нар}} + C_{\text{КОЗ}} + C_{\text{мат}} + C_{\text{накл}}$$

$$C_{\text{соб}} = 426 + 115 + 76.7 + 30 + 149.1 = 796.8 \text{ грн}$$

Формування кінцевої ціни (з урахуванням прибутку). Типова рентабельність СТО: 20–25 %.

Приймаємо 20 %:

$$C_{\text{кінц}} = C_{\text{соб}} \cdot 1.20$$

$$C_{\text{кінц}} = 796.8 \cdot 1.20 = 956.2 \text{ грн}$$

Округлюємо Цінароботи $\approx$ 960 грн

ПІДСУМКОВА ВАРТІСТЬ ОПЕРАЦІЇ

Стаття витрат	Значення, грн
Пряма зарплата	426
Нарахування (27 %)	115
Утримання обладнання	76.7
Матеріали та дрібні витрати	30
Накладні витрати (35 %)	149.1
Собівартість	796.8
Кінцева ціна з рентабельністю 20 %	960 грн

Вартість виконання операції заміни передніх гальмівних колодок Honda Civic становить приблизно 960 гривень без вартості самих колодок.

На рисунку 2.1. представлено розподіл основних статей витрат, які формують собівартість проведення операції з технічного обслуговування – заміни передніх гальмівних колодок легкового автомобіля Honda Civic. Аналіз структури витрат показує, що найбільша частка припадає на пряму заробітну плату виконавця (понад 50 %), що пояснюється значною трудомісткістю ручних операцій та необхідністю залучення кваліфікованого персоналу.

Вагомим компонентом є також накладні витрати підприємства, пов'язані з організаційним забезпеченням процесу: потребою у приміщенні, енергопостачанні, управлінських послугах, утриманні інфраструктури тощо. Їх частка становить близько 19 % від загальної суми витрат.

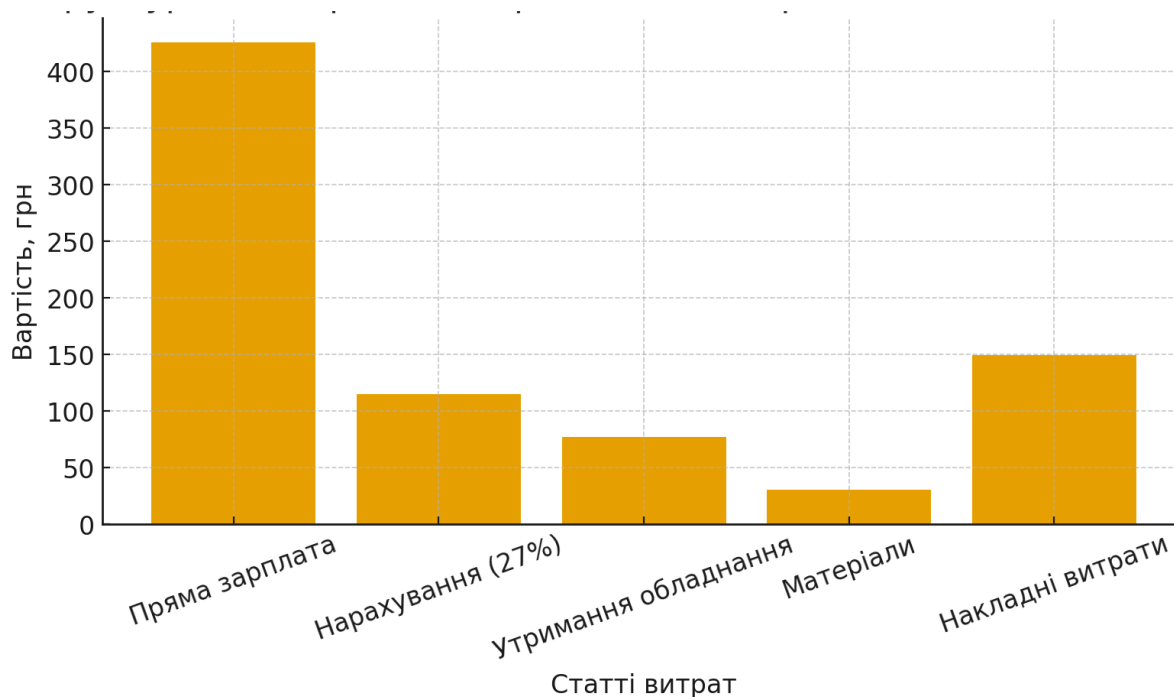


Рис. 2.1. Структура собівартості операції ТО гальмівної системи.

Нарахування на заробітну плату (податки та соціальні внески) формують близько 14 % загальної собівартості робіт, що є нормативно обумовленими витратами.

Внесок утримання обладнання та інструменту складає близько 10 %, що відповідає середнім значенням для операцій із застосуванням підйомника та спеціального інструменту.

Найменшу частку займають витрати на матеріали та допоміжні засоби (близько 4 %), оскільки основним матеріальним елементом операції є самі гальмівні колодки, вартість яких до калькуляції робіт не включається.

Таким чином, загальний економічний аналіз підтверджує, що ключовими факторами формування вартості послуги є людські ресурси та витрати з утримання сервісного підприємства. Оптимізація цих складових може суттєво вплинути на кінцеву ціну технічного обслуговування.

2.5 Технічне оснащення

Для забезпечення якісного та безпечного виконання операцій технічного обслуговування гальмівної системи автомобіля необхідне використання спеціалізованого технологічного оснащення, пристроїв, інструментів і засобів

контролю. Технічне оснащення повинно гарантувати точність операцій, мінімізувати ризик пошкодження деталей і забезпечувати комфортні умови праці виконавця.

До основного оснащення, яке застосовується під час заміни передніх гальмівних колодок, відноситься:

Підймальне обладнання (рис. 2.2) (гідравлічний підйомник або домкрат з надійними підставками) – для створення доступу до гальмівних механізмів підвіски.



Рис. 2.2. Домкрат гідравлічний підкатний Ronix RH-4911 (2 т Floor Jack).

Загальна характеристика. Професійний мобільний домкрат гідравлічної дії призначений для піднімання легкових автомобілів під час виконання операцій технічного обслуговування та ремонту. Низькопрофільна конструкція забезпечує зручний доступ до точок піддомкрачування транспортних засобів з невеликим дорожнім просвітом, зокрема автомобіля Honda Civic. Відзначається підвищеною стійкістю та надійністю у роботі.

Основні технічні характеристики:

Параметр	Значення
Номінальна вантажопідйомність	2,0 т
Мінімальна висота підхвату	135 мм
Максимальна висота підймання	340 мм

Функціонально-експлуатаційні особливості. Домкрат вирізняється компактністю та малою масою, що полегшує його транспортування і розміщення в робочій зоні. Оснащений задніми поворотними роликами для високої маневровості. Наявність вбудованої системи захисту від перевантаження

запобігає перевищенню допустимого навантаження та сприяє підвищенню безпеки під час роботи. Конструкція опорного майданчика забезпечує стабільне фіксування піднятої частини автомобіля та мінімізує ймовірність ковзання або зміщення.

Ключі та монтажний інструмент (набори торцевих, ріжкових та шестигранних ключів, монтажні лопатки) – для демонтажу колеса, кріпильних елементів супорта та зняття колодок.

Пристрій для утоплення поршнів супорта – забезпечує коректне розміщення нових фрикційних елементів без пошкодження ущільнень циліндра.



Рис. 2.3. Пристрій для стискання поршнів супорта (сервісний прес) OFBAND brake caliper compression tool.

Механічний пристрій універсального типу, призначений для контрольованого переміщення поршнів гальмівного супорта в робочий циліндр під час встановлення нових фрикційних накладок. Двостороння система ущільнення з «двозубим» захватом забезпечує надійний контакт з опорною частиною поршня, що дозволяє уникнути перекошення та пошкодження гумових ущільнень.

Функціонально-експлуатаційні особливості. Інструмент характеризується підвищеною зносостійкістю та плавністю ходу різьбового механізму, що забезпечує рівномірний розподіл зусилля на торець поршня. Завдяки універсальній конструкції пристрій застосовується для супортів різних конструктивних типів і моделей автомобілів. Компактні габарити дозволяють здійснювати маніпуляції навіть у обмеженому монтажному просторі.

Основні технічні характеристики.

Параметр	Значення
Матеріал виготовлення	Високоміцна сталь з антикорозійним покриттям
Тип різбового механізму	Прецизійне гладке різблення
Ширина пазів захвату	16 мм та 28 мм
Сумісність	Переважає більшість легкових автомобілів із дисковими гальмами

Використання цього інструмента підвищує технологічну якість операції заміни гальмівних колодок, мінімізує ризики пошкодження гальмівного циліндра та сприяє збереженню герметичності системи.

Динамометричний ключ рис. 2.4 – для точного дотримання моментів затягування кріпильних деталей, що впливає на надійність та безпеку подальшої експлуатації.



Рисунок 2.4. Ключ динамометричний Craftsman 3/8" Micro-Clicker, модель 9-31424 (10–75 ft-lb).

Динамометричний ключ із механізмом «clicker» призначений для високоточного контролювання моменту затягування різбових з'єднань під час виконання робіт з технічного обслуговування та ремонту автомобіля. Конструкція з фіксацією попередньо встановленого значення забезпечує відтворюваність моменту та мінімізує ризик пошкодження кріпильних елементів. Інструмент оптимально підходить для монтажу гальмівних супортів, колісних кріплень та інших вузлів, що потребують суворого дотримання регламентованих моментів затягування.

Основні технічні характеристики:

Параметр	Значення
Діапазон вимірюваного моменту	10–75 ft·lb ($\approx 13,6$ –101 Н·м)
Похибка вимірювання	$\pm 4 \%$
Подвійна шкала	ft·lb та Н·м
Маса виробу	$\approx 2,25$ lb ($\approx 1,0$ кг)

Функціонально-експлуатаційні особливості. Динамометричний ключ характеризується ергономічною рукояткою, що забезпечує надійний хват та знижує втому під час тривалого використання.

Очищувальні засоби та мастильні матеріали (очищувач гальмівних механізмів, високотемпературне мастило) – використовуються для обслуговування напрямних і контактних поверхонь супорта.

Додатково необхідне оснащення. Засоби візуального вимірювального контролю (штангенциркуль, мікрометр, індикатор годинникового типу) – для визначення ступеня зносу робочих поверхонь дисків та фрикційних накладок.

Пневмо- або електрогайковерти – для пришвидшення монтажно-демонтажних операцій.

Системи освітлення робочої зони – для зручності виконання робіт та контролю стану елементів гальм.

Оснащення повинно відповідати вимогам охорони праці, надійно фіксуватися у процесі експлуатації та періодично підлягати технічній перевірці або калібруванню. Забезпечення працівника засобами індивідуального захисту (рукавиці, захисні окуляри) є обов'язковою складовою процесу. Механізм регулювання моменту вирізняється високою точністю та інтуїтивністю налаштування, а характерний «клік» при досягненні встановленого моменту гарантує чіткий зворотний зв'язок для виконавця. Завдяки цим характеристикам інструмент є оптимальним засобом для забезпечення правильного зусилля затягування гальмівних компонентів, що безпосередньо впливає на безпеку експлуатації транспортного засобу.

Випробувальний стенд моделі К-208М. Опорна рама стенда (рисунок 2.5) являє собою жорстку зварну конструкцію, геометричні параметри якої адаптовані під ширину стандартних оглядових колій для легкових автомобілів з

порогами, що мають відбортовку. Таке конструктивне виконання забезпечує сумісність із більшістю транспортних засобів даної категорії.

Функціональна частина стенда включає дві пари приводних роликів, що слугують опорною поверхнею для коліс автомобіля під час тестування. У проміжках між роликами змонтовані підйомні платформи, за допомогою яких здійснюється піднімання автомобіля під час його з'їзду зі стенда, що підвищує зручність і безпечність виконання операцій.

Основні технічні параметри обладнання:

Гранична вантажопідйомність – 1800 кг

Висота завантаження – 450 мм

Повна маса стенда (автопричепа) – 1580 кг



Рис.2.5. Випробувальний стенд моделі К-208М.

Стенд для вимірювання гальмівних характеристик автомобілів К-486. Конструкція стенда передбачає наявність міцної рамної основи, яка забезпечує стабільне горизонтальне положення робочої платформи завдяки системі направляючих опор. Усі елементи обладнання змонтовані таким чином, що навантаження ефективно сприймається несучою рамою, що гарантує достатню жорсткість під час проведення випробувань.

Під час виконання тестування автомобіль переміщується поперек підтримувальних елементів, які одночасно виконують функцію силового каркаса конструкції. Це дає змогу точно передавати навантаження від коліс до

вимірювального обладнання та отримувати достовірні результати оцінки гальмівних якостей транспортного засобу (рисунок 2.6).



Рис. 2.6. Стенд К-486.

Технічні характеристики стенда:

Максимальна допустима маса транспортного засобу – 1600 кг;

Висота розташування зони завантаження відносно опорної поверхні – 310 мм;

Власна маса конструкції – 1100 кг.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розроблення елементів гальмівної системи автомобіля

3.1.1 Розрахунок передніх дискових гальмівних механізмів

Для аналітичного обґрунтування параметрів гальмівних механізмів було обрано легковий автомобіль Honda Civic, обладнаний пневматичними шинами типорозміру 205/65 R15 (літня експлуатація). У подальших розрахунках враховуються такі технічні характеристики транспортного засобу:

Максимальна повна маса автомобіля: 1673 кг

Споряджена маса: 1248 кг

Граничне статичне навантаження на передню вісь: 887 кг

Граничне статичне навантаження на задню вісь: 786 кг

Максимальне навантаження на тягово-зчіпний пристрій: 85 кг

Альтернативний розмір шин (у випадку модернізації): 195/75 R16

Оскільки основна частка гальмівних зусиль під час інтенсивного уповільнення припадає саме на передню вісь, подальші розрахунки виконуються для передніх односторонніх гальмівних механізмів.

Гальмівний момент (M_g), який розвиває односторонній механізм, залежить від притискної сили на колодки та їх геометричних параметрів і обчислюється за загальною залежністю:

$$\begin{aligned} M_g &= 2\mu \cdot F_s \cdot r_s; \\ r_s &= \frac{R+r}{2}m; \\ r_s &= \frac{0,137 + 0,085}{2} = 0,11m; \end{aligned} \quad (3.1)$$

де r_s – середній радіус прикладання сили тертя, що визначає положення рівнодіючої сил у зоні контакту колодки з гальмівним диском, м;

R і r – зовнішній та внутрішній радіуси робочої поверхні гальмівної накладки відповідно, м;

M_g – гальмівний момент, що створюється фрикційною взаємодією колодок та диска, Н·м;

F_s — нормальна сила притиснення гальмівних колодок до робочої поверхні диска, Н;

μ — коефіцієнт тертя в контактній парі «колодка–диск», значення якого залежить від складу фрикційного матеріалу, температурних умов і режиму гальмування (–).

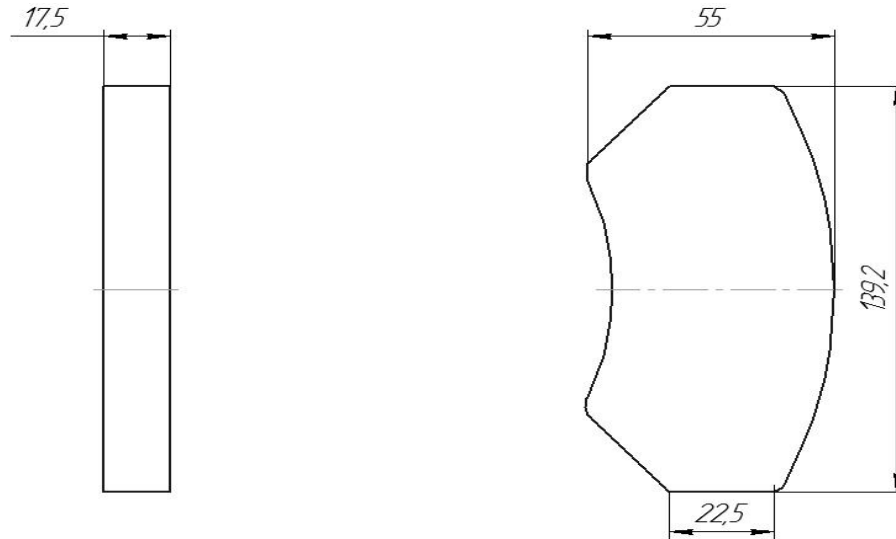


Рис. 3.1. Гальмівна накладка гальмівного механізму.

Питомий тиск на поверхні гальмівних накладок визначають за допомогою залежності:

$$q = \frac{G_{A1}}{\sum F_n} \text{ МПа} \quad (3.2)$$

$$q = \frac{8701.4}{0,0296} = 0,3 \text{ МПа}$$

Максимальне вертикальне навантаження, яке сприймається передньою віссю транспортного засобу в умовах повного завантаження:

$$G_{A1} = 887 \text{ кг} \cdot 9,81 \text{ м/с}^2 = 8701.4 \text{ Н};$$

Сумарна ефективна площа робочих поверхонь фрикційних накладок передніх гальмівних механізмів, що безпосередньо контактують із гальмівним диском під час спрацювання:

$$\sum F_n = 0,0074 \text{ м}^2 \cdot 4 = 0,0296 \text{ м}^2;$$

Значення питомого тиску q залежить від конструкції гальмівного механізму, типу транспортного засобу та властивостей фрикційного матеріалу. Для легкових автомобілів із барабанними або дисковими гальмами нормативно рекомендовані значення знаходяться в межах $q = 0,12 \dots 0,50 \text{ МПа}$.

Причому верхня межа діапазону властива для дискових гальмівних механізмів та вантажних автомобілів, де спостерігаються підвищені експлуатаційні навантаження.

Для аналізованого автомобіля отримано $q = 0,47 \text{ МПа} \leq 0,50 \text{ МПа}$ що повністю задовольняє умови працездатності й забезпечує необхідний запас міцності фрикційних елементів.

Подальше оцінювання теплово-навантажувальної здатності гальмівного диска здійснюється через визначення питомої роботи тертя, яку обчислюють за формулою:

$$L_i = \frac{m_i V^2}{2F_n} \text{ МДж/м}^2 \quad (3.3)$$

$$L_i = \frac{443 \cdot (22,2)^2}{2 \cdot 2 \cdot 0,0074} = 4,9 \text{ МДж/м}^2$$

$$L_i = \frac{393 \cdot (22,2)^2}{2 \cdot 2 \cdot 0,0074} = 4,7 \text{ МДж/м}^2$$

де $m_i = \frac{887}{2} = 443 \text{ кг}$; – частка маси автомобіля, що припадає на одне переднє колесо в умовах максимального навантаження передньої осі.

$m_i = \frac{786}{2} = 393 \text{ кг}$; – еквівалентна частина повної маси транспортного засобу, що розподіляється на одне колесо передньої осі під час навантаження автомобіля.

$V = 80 \text{ км/ч} = 22,2 \text{ м/с}$ – швидкість руху автомобіля в момент ініціювання процесу гальмування.

$F_n = 0,0074 \text{ м}^2$ – ефективна площа контакту фрикційної накладки з робочою поверхнею гальмівного диска.

$$R_{zi} = \frac{2gF_nL_i}{V^2} \text{ Н}; \quad (3.4)$$

$$R_{zi} = \frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,0074 \cdot 4,9 \cdot 10^6}{22,2^2} = 1562 \text{ Н};$$

$$M_{\tau i} = r_{\partial} \cdot \varphi_{\max} \cdot R_{zi} \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3.5)$$

$$M_{\tau i} = 0,27 \cdot 0,8 \cdot 1673 = 361,4 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$\varphi_{\max} = 0,8;$$

$$r_{\partial} = 0,5d + \Delta\lambda_{cm}B \text{ м}; \quad (3.6)$$

$$r_{\partial} = 0,5 \cdot 0,361 + 0,65 \cdot 0,85 \cdot 0,185 = 0,28 \text{ м};$$

де $d = 16 \cdot 0,0205 \text{ м} = 0,328 \text{ м}$ – діаметр посадкового місця колісного обода, що використовується для встановлення пневматичної шини типорозміру 205/55 R16;

$\Delta = \frac{H}{B} = 0,26$ – співвідношення висоти профілю пневматичної шини до її номінальної ширини, що характеризує ступінь її низькопрофільності;

$\lambda_{cm} = 0,8$ – коефіцієнт, який враховує деформаційне змінання пневматичної шини під дією вертикального навантаження; для радіальних шин легкових автомобілів його значення зазвичай лежить у межах $\lambda_{cm} = 0,80 \dots 0,85$;

$B = 205 \text{ мм} = 0,205 \text{ м}$ – ширина профілю шини;

Отримане значення питомої роботи тертя L повинно відповідати нормативному діапазону, прийнятому для дискових гальмівних механізмів легкових автомобілів. Згідно з експлуатаційними вимогами, допустимі значення цього параметра знаходяться в межах $L = 5 \dots 20 \text{ МДж / м}^2$

Дотримання даного інтервалу гарантує, що фрикційні елементи здатні ефективно відводити тепло та зберігати робочу здатність при інтенсивних режимах гальмування.

Для вибраного автомобіля $L_i = 5,5 \text{ МДж/м}^2 \leq 20 \text{ МДж/м}^2$, що відповідає умовам.

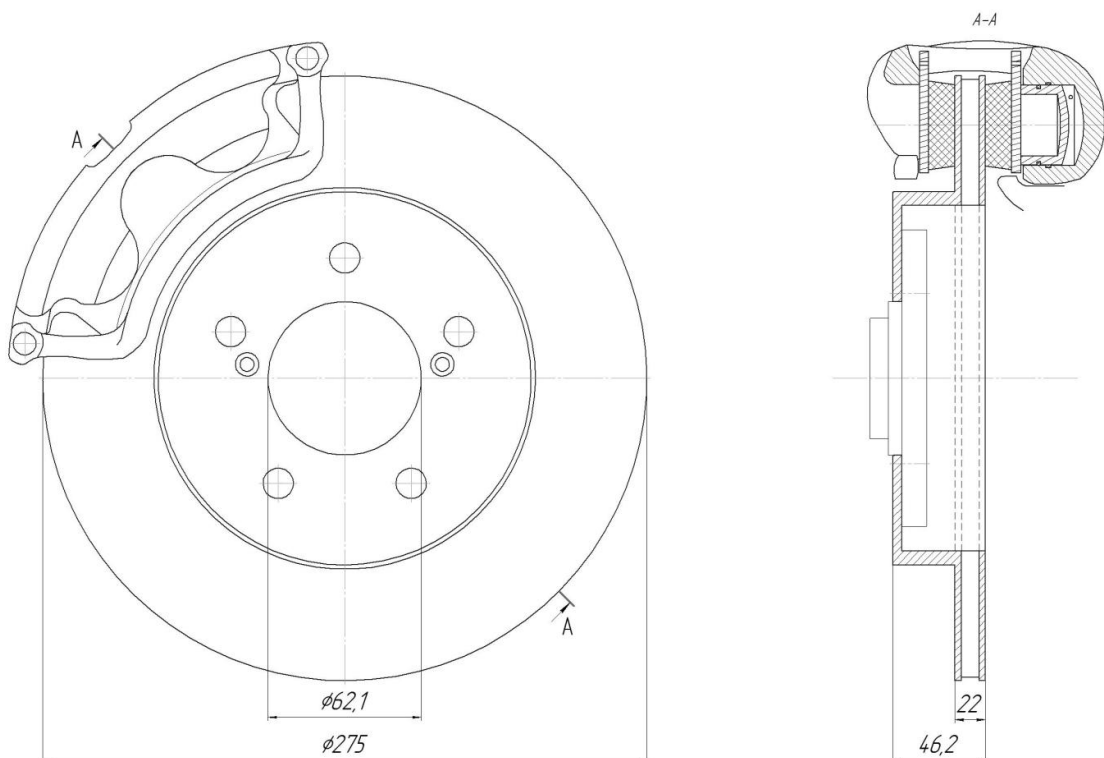


Рис. 3.2. Гальмівний диск автомобіля.

$$\Delta t_i = \frac{m_i V^2}{2Q_{mi}C} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.7)$$

$$\Delta t_i = \frac{443 \cdot (22,2)^2}{2 \cdot 2,8 \cdot 500} = 77,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$Q_{mi} = \rho_q \cdot v = 7000 \cdot 0,00054 = 3,78 \text{ кг}$ маса тієї частини гальмівного диска, яка безпосередньо бере участь у процесі тертя, контактує з гальмівними колодками та сприймає основне теплове навантаження.

$C = 500 \text{ Дж/кг} \cdot \text{K}$ - масова теплоємність сірого чавуну

$\rho_q = 7000 \text{ кг/м}^3$ - щільність чавуну;

Об'єм тієї частини гальмівного диска, яка перебуває в безпосередньому контакті з фрикційними накладками та бере участь у відведенні тепла під час гальмування

$$v = \left(\left(\frac{0,275}{2} \right)^2 \pi - \left(\frac{0,158}{2} \right)^2 \pi \right) 0,0137 = 0,00054 \text{ м}^3 -$$

Граничне теплове навантаження на гальмівний диск при одному циклі інтенсивного гальмування регламентується вимогами безпечної експлуатації. Підвищення температури робочої поверхні не повинно перевищувати **80 °C**, що дає змогу уникнути погіршення фрикційних властивостей та появи термічних деформацій.

Для легкових транспортних засобів у технічних розрахунках приймають початкову швидкість гальмування 80 км/год, оскільки саме цей режим є типовим для критичних ситуацій на дорозі.

За проведеними розрахунками для вибраного автомобіля отримано $\Delta t_i = 77,9 \leq 80$ Це підтверджує, що теплонапруженість конструкції дискового механізму не перевищує допустимих значень, а отже – гальмівний диск працює в безпечному режимі та відповідає встановленим вимогам.

Оцінювання контактних напружень у зоні фрикційної взаємодії гальмівного диска та накладок здійснюють за залежністю:

$$q_s = \frac{F_s}{F_{\text{нак}}} \text{ МПа} \quad (3.8)$$

$$q_s = \frac{14394}{0,0074} = 1,94 \text{ МПа}$$

$$F_s = \frac{M_\tau}{2\mu \cdot r_s} H \quad (3.9)$$

$$F_s = \frac{950}{2 \cdot 0,3 \cdot 0,110} = 14394 \text{ Н}$$

де $\mu = 0,3 \dots 0,35$ коефіцієнт тертя фрикційних накладок по робочій поверхні гальмівного диска;

$M_\tau = 950 \text{ Н} \cdot \text{м}$ - гальмівний момент;

$r_s = 0,110 \text{ м}$ - середній радіус докладання зусиль тертя;

Значення питомого контактного тиску q_s для дискових гальмівних механізмів має обмежуватися нормативним діапазоном. Відповідно до вимог експлуатаційної надійності, його граничне значення не повинно перевищувати 5 МПа, оскільки надмірні контактні навантаження можуть спричинити прискорений знос накладок та перегрів робочих поверхонь. Для обраного автомобіля $q_s = 1.94 \text{ МПа} \leq 5 \text{ МПа}$, що відповідає умовам.

3.1.2 Розрахунок міцності елементів дискового гальмівного механізму

Скоба (супорт) дискового гальмівного механізму під час гальмування сприймає значні сили реакції фрикційної взаємодії між накладками та гальмівним диском. У процесі навантаження елемент зазнає вигину та часткового розкриття плечей, що вимагає виконання перевірки на міцність.

Для аналізу напружено-деформованого стану скобу приймають у вигляді криволінійного бруса, який працює під дією сили $Q = F_s$ що є рівнодієюю притискної сили від гальмівних колодок.

Схематичне зображення розрахункової моделі наведено на рисунку 3.

Згинальний момент у характерному перерізі визначається відповідно до загальної залежності:

$$M_i = Q(h + r \cdot \sin(\pi - \alpha)); \quad (3.10)$$

За умов максимального навантаження найбільше значення згинального моменту в криволінійному елементі скоби спостерігається при кутовому параметрі $\alpha = \frac{\pi}{2}$ що відповідає найнебезпечнішому перерізу конструкції. У цьому перерізі виникає максимальна напруга вигину, яка може стати визначальною для оцінювання працездатності гальмівного механізму.

Граничне значення напруження в матеріалі скоби визначається за наступною залежністю:

$$\sigma_u = \frac{Q(h+r)}{W} \leq [\sigma]; \quad (3.11)$$

де $W = \frac{bh^2}{6} = \frac{0,08 \cdot 0,06^2}{6} = 0,000028, \text{м}^3$ – момент опору вигину перетину скоби.

$[\sigma] = 250 \dots 450 \text{ МПа}$ - для чавунних і сталевих скоб.

$[\sigma] = 200 \dots 300 \text{ МПа}$ - для алюмінієвих скоб.

$$\sigma_u = \frac{14394 \cdot (0,06 + 0,05)}{0,000028} = 65 \text{ МПа} \leq [200 \text{ МПа}];$$

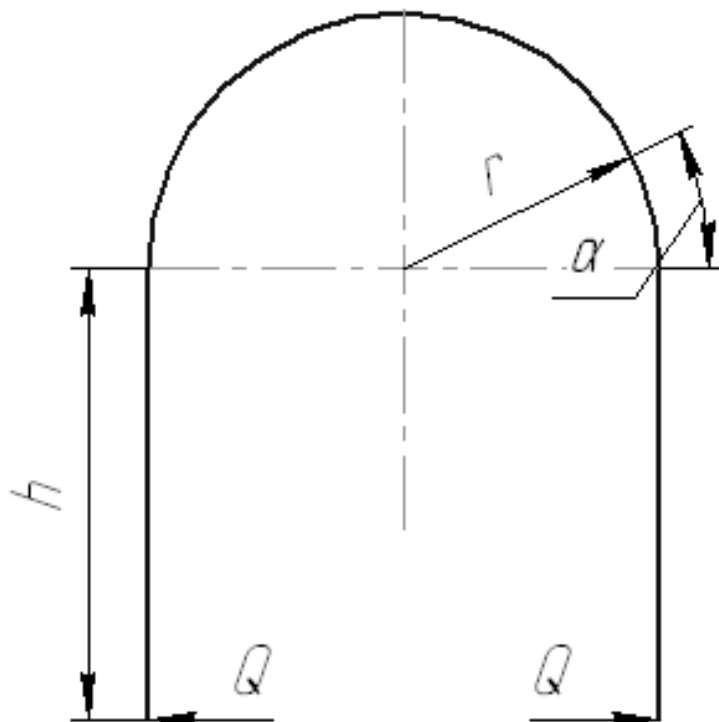


Рис. 3.3. Скоба дискового гальмівного механізму.

Проведений аналіз напружено-деформованого стану елемента підтверджує, що міцність скоби гальма забезпечено і її конструкція містить достатній запас опору зовнішньому навантаженню.

Розрахунок на зріз болтів кріплення гальмівного диска. Болти, що з'єднують гальмівний диск з маточиною колеса, сприймають тангенціальні сили, які виникають у процесі передавання гальмівного моменту. Для оцінки їх міцності на зріз використовується залежність:

$$F_{cp} = \frac{M_{\tau}}{R_{\delta}}; \quad (3.12)$$

Напруження зрізу, що виникає в болтах кріплення під дією тангенціального навантаження, визначають за наступною залежністю:

$$\tau_{cp} = \frac{F_{cp}}{n \cdot S_0} \leq [\tau] \quad (3.13)$$

де $R_0=0,1$ м – радіус кола по якій розташовані болти;

$n = 5$ - число болтів;

$S_0 = \pi \cdot 0,005^2 = 0,00008 \text{ м}^2$ - ефективна площа поперечного перерізу стрижня колісного болта розміру М12×1,5×23,5 мм, яка визначається по внутрішньому діаметру різьби та використовується при розрахунках напружень зрізу й розтягування;

$M_\tau = 950 \text{ Н} \cdot \text{м}$ - гальмівний момент;

$[\tau] = 90 \dots 110 \text{ МПа}$ - допустиме значення дотичного напруження зрізу для матеріалів колісних болтів, яке встановлюється залежно від механічних характеристик сталі та класу її міцності; використовується як критерій оцінювання працездатності різьбового з'єднання під дією гальмівних навантажень.

$$\tau_{cp} = \frac{950}{0,1 \cdot 5 \cdot 0,00008} = 35 \text{ МПа} \leq 90 \text{ МПа};$$

Проведена перевірка різьбового з'єднання засвідчила, що болти кріплення гальмівного диска мають достатній запас міцності при зрізувальному навантаженні, а отже – їхня працездатність у процесі інтенсивного гальмування гарантована.

Гальмівний момент, який здатен розвивати дисковий гальмівний механізм унаслідок взаємодії фрикційних накладок з гальмівним диском, визначають за залежністю:

$$M_\tau = 2\mu \cdot F_s \cdot r_s; \quad (3.14)$$

де $\mu = 0,3 \dots 0,35$ коефіцієнт тертя накладок про гальмівний диск;

$r_s = 0,103 \text{ м}$ - середній радіус докладання зусиль тертя (м);

F_s – притискна сила (Н).

Максимально можливий гальмівний момент, який може бути реалізований без втрати зчеплення шини з дорожнім покриттям, визначають за умовою

використання повних зчіпних можливостей колеса. Його розрахунок здійснюється за залежністю:

$$M_{\tau \max} = \varphi R_z r_k; \quad (3.15)$$

де $r_k = 1,06 (0,5d + \Delta\lambda_{cm}B) = 1,06 \cdot r_{\partial} = 1,06 \cdot 0,27 = 0,286 \text{ м}$ - радіус кочення гальмівного колеса.

$\varphi = 0,8$ - коефіцієнт зчеплення колеса з дорогою;

$$R_z = \frac{m_{A1} \cdot g}{2} \cdot m_{mp}; \quad (3.16)$$

де $m_{A1} = 775 \text{ кг}$ - вертикальна складова максимальної повної маси транспортного засобу, що сприймається передньою віссю в умовах найбільшого допустимого навантаження.

$$m_{mp} = 1 + \varphi \frac{h_g}{L}; \quad (3.17)$$

де $h_g = r_k = 0,27 \text{ м}$ - висота центру ваги автомобіля;

$L = 2,573 \text{ м}$ - колісна база автомобіля;

Коефіцієнт розподілу навантаження між осями транспортного засобу, який враховує зміну вертикальних реакцій під час гальмування та визначає частку маси, що бере участь у реалізації гальмівних зусиль на передній осі:

$$m_{mp} = 1 + 0,8 \frac{0,286}{2,573} = 1,08$$

$$R_z = \frac{786 \cdot 9,81}{2} \cdot 1,1 = 4241 \text{ Н};$$

$$R_z = \frac{887 \cdot 9,81}{2} \cdot 1,1 = 4785 \text{ Н};$$

$$M_{\tau \max} = 0,8 \cdot 4241 \cdot 0,297 = 1008 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\tau \max} = 0,8 \cdot 4785 \cdot 0,297 = 1137 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$F_{s \max} = \frac{M_{\tau \max}}{2\mu r_s} = \frac{1008}{2 \cdot 0,3 \cdot 0,103} = 16311 \text{ Н};$$

$$F_{s \max} = \frac{M_{\tau \max}}{2\mu r_s} = \frac{1137}{2 \cdot 0,3 \cdot 0,103} = 18398 \text{ Н};$$

Діаметр робочого гальмівного циліндра переднього дискового механізму визначають виходячи з необхідності забезпечення розрахункової притискної сили колодок до гальмівного диска. Розрахунок виконується за залежністю:

$$d_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{4F_{s \max i}}{\pi P_{\text{жс}}}}; \quad (3.18)$$

де $i = 2$ - дві колодки на один диск;

$P_{жс} = 15 \cdot 10^6$ – тиск рідини в контурі при екстреному гальмуванні;

$$d_u = \sqrt{\frac{4 \cdot 16311 \cdot 2}{3,14 \cdot 15 \cdot 10^6}} = 0,042 \text{ м};$$

$$d_u = \sqrt{\frac{4 \cdot 18398 \cdot 2}{3,14 \cdot 15 \cdot 10^6}} = 0,048 \text{ м};$$

У ході виконання конструктивних розрахунків було отримано декілька можливих значень діаметра поршня робочого циліндра – 42 мм та 48 мм. Обидва варіанти конструктивно узгоджуються з типовими параметрами передніх гальмівних супортів, де фактичний діаметр поршня становить 50 мм, що підтверджує правильність прийнятих інженерних припущень.

3.1.3 Розрахунок гідравлічного приводу гальмівної системи

Гідравлічний привід є найпоширенішим у легкових автомобілях, а також застосовується на вантажних транспортних засобах малої та середньої вантажопідйомності (із повною масою до 7–7,5 т). Популярність даного типу приводу зумовлена його суттєвими експлуатаційними та конструктивними перевагами, серед яких:

мінімальний час спрацьовування, що позитивно впливає на ефективність гальмування;

симетричний розподіл гальмівних зусиль між лівими й правими колесами;

компактність та технологічність монтажу магістралей і робочих органів;

високий коефіцієнт корисної дії (до 0,95), що забезпечує ефективну передачу тиску;

гнучкість у керуванні розподілом гальмівних сил через застосування циліндрів різного діаметра на передній та задній осях;

простота технічного обслуговування за рахунок відсутності складних вузлів.

Разом із тим, гідравлічний привід має й певні конструктивно-експлуатаційні обмеження:

ризик повної втрати працездатності системи у разі розгерметизації окремої ділянки;

зниження ефективності за умов низьких температур через зміну в'язкості гальмівної рідини.

Вимоги до фрикційних накладок дискових гальм. Пара тертя «накладка – диск» повинна забезпечувати стабільний рівень коефіцієнта тертя, незважаючи на зміну режимів гальмування. До матеріалу накладок висувають такі вимоги:

коефіцієнт тертя має знаходитись у межах 0,30–0,35, зі слабою залежністю від температури, швидкості ковзання та наявності вологи;

висока жорсткість, міцність і зносостійкість, що забезпечують стійкість до механічного руйнування;

збереження фізико-механічних властивостей при нагріванні до 400 °С без оплавлення та деструкції зв'язуючих компонентів.

У процесі службового (звичайного) гальмування тиск у гідравлічному приводі гальм зазвичай знаходиться в діапазоні 4–6 МПа (40–60 кгс/см²). За умов екстреного уповільнення, коли водій прикладає до педалі максимальні зусилля, тиск у системі може зростати до 10 МПа (100 кгс/см²), що є розрахунковою межею для більшості легкових автомобілів.

Розрахункове зусилля, яке повинен прикласти водій до педалі гальма (без урахування підсилення вакуумним сервоприводом), визначають згідно з залежністю:

$$P_n = \frac{\pi \cdot d^2 r \cdot P_0}{4 \cdot \eta_n \cdot u_n}; \quad (3.19)$$

де $P_0 = 10 \text{ МПа}$ - тиск рідини в приводі;

$dr = 30 \text{ мм}$ - діаметр головного циліндра;

$dp = 30 \text{ мм} = (0,9 \dots 1,2) dr$ - діаметр робочого циліндра;

$u_n = 4$ - передавальне число педального приводу, рівне a / v

$\eta_n = 0,92 \div 0,95$ - ККД приводу;

$$P_n = \frac{3,14 \cdot 0,030^2 \cdot 10 \cdot 10^6}{4 \cdot 0,95 \cdot 4} = 850 \text{ Н}$$

З урахуванням дії вакуумного підсилювача гальм, який зменшує фізичне навантаження на водія за рахунок створення додаткової сили на штоку головного

циліндра, ефективне зусилля на педалі знижується пропорційно коефіцієнту підсилення. Для легкових автомобілів середній коефіцієнт підсилення становить $k_{\text{вп}} \approx 2,5$.

Тоді з урахуванням роботи підсилювача розрахункове зусилля на педалі визначається за формулою:

$$P = \frac{P_n}{2,5} = 425H = 42 \text{ кгс}; \quad (3.20)$$

Відповідно до вимог ДСТУ щодо ергономічних параметрів органів керування транспортних засобів, максимальне допустиме зусилля на педалі гальма для легкових автомобілів і мікроавтобусів не повинно перевищувати 50 кгс ($\approx 500 \text{ Н}$). Результати проведеного розрахунку свідчать про те, що отримане значення фактичного зусилля на педалі не перевищує нормативного обмеження, що підтверджує відповідність параметрів конструкції вимогам стандартів безпеки.

Силове передавальне відношення характеризує здатність приводу трансформувати зусилля, прикладене водієм до педалі, у вихідну гідравлічну силу на робочих циліндрах. Його значення визначають залежністю:

$$U_c = \frac{\Sigma(P' + P'')}{P_n}; \quad (3.21)$$

де $\Sigma(P' + P'')$ – сума сил, прикладених до колодок.

Сила, що діє на гальмівні колодки з боку робочих циліндрів та забезпечує притискання їх до поверхні диска, визначається згідно з такою залежністю:

$$P = P' = P'' = \frac{P_n \cdot u_n \cdot d^2 p}{d^2 r} = p_0 \frac{\pi d^2 p}{4} H; \quad (3.22)$$

$$P = 10 \cdot 10^6 \frac{3,14 \cdot 0,003}{4} = 23550 \text{ Н};$$

Хід педалі гальма для двовісного автомобіля визначають виходячи з необхідного переміщення поршнів головного гальмівного циліндра та передавальних характеристик педального механізму. Розрахунок виконується за залежністю:

$$S = \frac{2 \cdot d_3^2 \cdot (\delta'_3 + \delta''_3) + 2 \cdot d_n^2 \cdot (\delta'_n + \delta''_n)}{d_r^2} \cdot u_n \cdot \eta_a + \delta_0; \quad (3.23)$$

де $d_3=21 \text{ мм}$ - діаметр робочих циліндрів гальм задніх коліс;

$d_n=54 \text{ мм}$ - діаметр робочих циліндрів гальм передніх коліс;

$\delta'_z; \delta''_z \delta'_n; \delta''_n$ – переміщення поршнів і колодок (0,1 і 2,0 мм)

η_a – коефіцієнт, що враховує додаткове збільшення об'єму гідравлічної рідини та еластичні деформації елементів приводу (трубок, шлангів, ущільнень) під час аварійного гальмування, коли тиск у системі досягає максимальних значень ($\eta_a = 1,05 - 1,1$)

$\delta_0 = 12 - 16$ мм – зазор в педальному приводі.

$$S = \frac{(2 \cdot 0,0004 \cdot 0,004) + (2 \cdot 0,029 \cdot 0,0002)}{0,00048} \cdot 3 \cdot 1,05 + 0,012$$

$$= \frac{0,0000032 + 0,000012}{0,00048} = 0,11 \text{ м} = 110 \text{ мм.}$$

Крім робочого ходу, педальний механізм повинен мати додатковий резерв переміщення, що компенсує поступове зменшення товщини фрикційних накладок у процесі їхнього зношування. Цей запас гарантує, що навіть у разі значного спрацювання гальмівних елементів ефективність приводу залишатиметься на нормативному рівні.

Згідно з вимогами, встановленими для легкових автомобілів, повний хід педалі гальма не повинен перевищувати 150 мм, що забезпечує ергономічність та оперативність керування. Отримане в розрахунках значення перебуває в межах допустимого діапазону, що підтверджує відповідність конструкції експлуатаційним нормам.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Характеристика гальмових властивостей автомобіля

Показники гальмівних властивостей транспортного засобу визначають рівень його безпеки під час руху, особливо в умовах раптової появи перешкод на траєкторії. Одним із ключових параметрів є сумарний час гальмування, що охоплює часовий інтервал від моменту виявлення водієм небезпеки до повного припинення поступального руху автомобіля.

Загальний час гальмування T_{Γ} можна представити у вигляді залежності, яка враховує як психофізіологічну реакцію водія, так і параметри роботи гальмівної системи:

$$T_{\Gamma} = t_{\text{рв}} + t_z + t_{\text{н}} + t_{\text{гал}} + t_{\text{зуп}}, \text{ с.} \quad (4.1)$$

Час реакції водія t_p характеризує інтервал між моментом візуального виявлення перешкоди та початком дії на органи керування, зокрема натисканням педалі гальма. Цей показник залежить від психофізіологічного стану людини, умов освітленості, складності дорожньої обстановки, а також рівня підготовки водія. У різних ситуаціях тривалість реакції може змінюватися в межах від 0,3 до 1,5 с. Для подальших розрахунків приймається усереднене значення $t_p = 0,4$ с.

Час запізнення приводу t_z характеризує період від моменту прикладання зусилля до педалі гальма до створення необхідного тиску у виконавчих механізмах гальмівної системи. Його значення визначається типом приводу та конструктивними особливостями гальмівних механізмів. Зокрема, для гідравлічних систем у поєднанні з барабанними гальмами цей параметр зазвичай становить 0,07 ... 0,15 с. За використання пневматичного приводу час спрацьовування збільшується до 0,15 ... 0,3 с, що пов'язано з інерційністю стисненого повітря. У межах даної роботи для розрахунків приймається узагальнене значення $t_z = 0,1$ с.

Час наростання сповільнення $t_{\text{н}}$ характеризує період, протягом якого уповільнення автомобіля змінюється від нульового значення до максимально

допустимого, що визначається умовами зчеплення шин із дорожнім покриттям. Прийнято вважати, що приріст сповільнення у цей період відбувається за лінійною залежністю, унаслідок чого графік зміни прискорення матиме вигляд прямолінійної функції. Відповідно, графічне зображення зміни швидкості на даному етапі описується параболічною кривою.

Тривалість часу t_n суттєво залежить від типу приводу гальмівної системи: для гідравлічних механізмів він зазвичай становить 0,05 ... 0,15 с, тоді як для пневматичних систем цей показник збільшується до 0,15 ... 0,4 с через більшу інерційність елементів приводу. У даному розрахунковому випадку приймаємо усереднене значення $t_n = 0,2$ с.

Сумарний показник $t_n + t_3 = t_c$ визначається як час спрацьовування гальмівної системи, тобто проміжок від моменту ініціювання гальмування до досягнення максимального сповільнення. Відповідно до вимог Правил № 13 ЄЕК ООН, цей час повинен бути меншим за 0,6 с, тобто має виконуватися умова $t_c < 0,6$ с.

Час гальмування при сталому сповільненні позначають як $t_{гал}$. На даній ділянці діюче уповільнення приймається постійним, тому графік його зміни зображується горизонтальною прямою, паралельною осі абсцис. У такому режимі зміна швидкості автомобіля відбувається лінійно, що графічно відображається похилою прямою, нахил якої визначається величиною сповільнення.

Час розгальмовування гальмівного приводу $t_{зуп}$ визначає інтервал від моменту зняття зусилля з педалі гальма до повного припинення дії гальмівних механізмів, тобто появи необхідних зазорів між фрикційними поверхнями. Тривалість цього процесу залежить від конструкції приводу, еластичності елементів системи та характеру повернення робочих органів у початковий стан. У межах виконуваних розрахунків приймається значення $t_{зуп} = 0,1$ с.

Найдовшою є фаза сталого сповільнення $t_{гал}$ – саме вона формує основну частину гальмового шляху.

Періоди реакції водія і спрацювання системи хоч і коротші, але їхня величина є критично важливою для безпеки, оскільки транспортний засіб продовжує рухатися з початковою швидкістю.

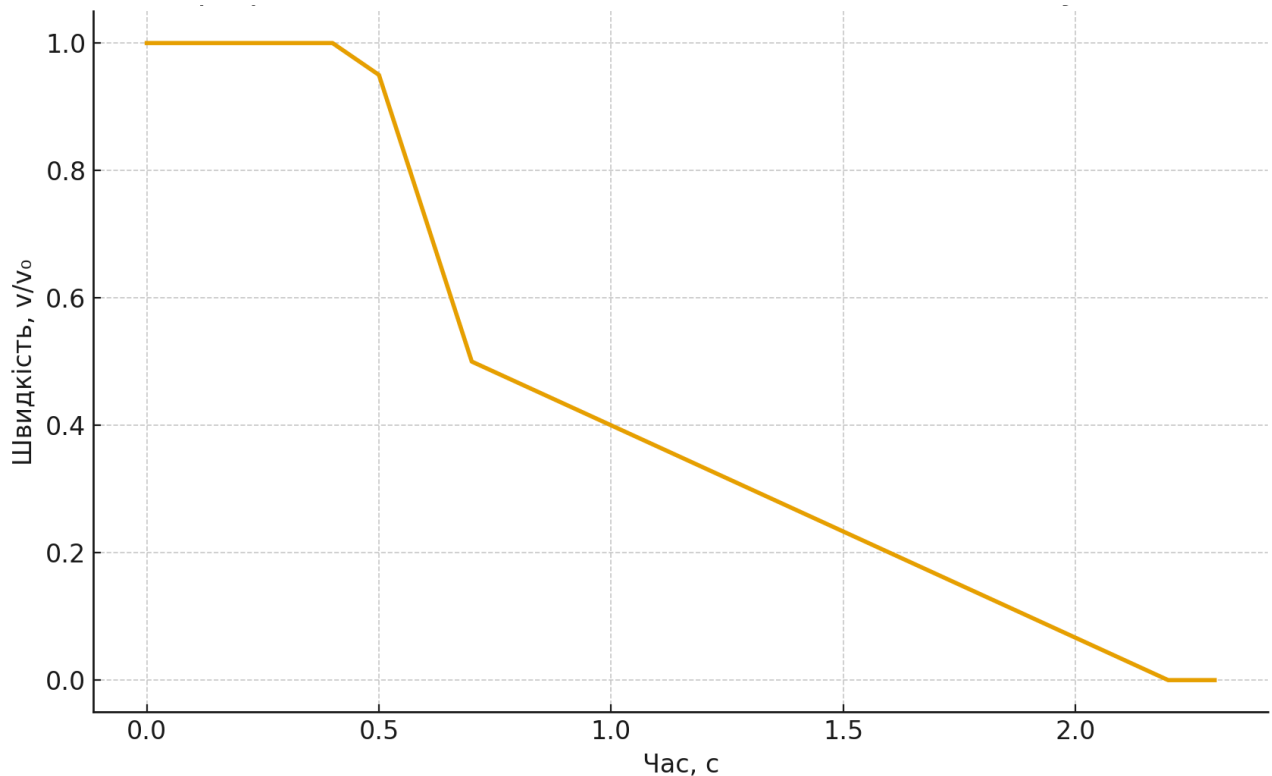


Рис. 4.1. Графік зміни швидкості автомобіля під час гальмування.

Збільшення часу $t_c = t_n + t_z$ призводить до затримки виникнення необхідного уповільнення, що негативно впливає на ефективність гальмування.

Параметри гальмування значною мірою залежать від конструкції приводу, технічного стану гальмівних механізмів та зчеплення коліс із дорогою.

4.2 Діаграма гальмування автомобіля

Діаграма гальмування є графічним відображенням процесу зміни кінематичних параметрів транспортного засобу під час уповільнення. На ній одночасно зображають залежності швидкості та сповільнення автомобіля від часу його гальмування. Така діаграма дозволяє наочно оцінити характер уповільнення, виділити окремі фази процесу гальмування та встановити вплив конструктивних і експлуатаційних факторів на ефективність роботи гальмівної системи.

У загальному вигляді діаграма включає такі характерні ділянки:

етап реакції водія – зміна швидкості відсутня, оскільки гальмування ще не розпочалося;

інтервал спрацьовування приводу – процес початку формування гальмівних сил;

фаза наростання сповільнення – прискорення зменшується за лінійною залежністю;

ділянка сталого уповільнення – ефективне гальмування зі сталою величиною сповільнення;

розгальмовування гальмівного приводу – поступове припинення дії фрикційних сил.

Графічний вигляд діаграми представлено на рисунку 2.1.



Рис. 4.2. Гальмова діаграма автомобіля.

Час гальмування зі сталим сповільненням визначається залежністю:

$$t_{\text{гал}} = V_0 \cdot g \cdot \varphi_x \cdot \frac{t_n}{2}, \text{ с}, \quad (4.2)$$

$$t_{\text{гал}} = 55,5 \cdot 9,81 \cdot 0,6 \cdot \frac{0,2}{2} = 32,7 \text{ с}.$$

де v_0 – початкова швидкість руху автомобіля на момент початку гальмування.

Побудову гальмівної діаграми виконано з урахуванням того, що транспортний засіб рухається на максимальній розрахунковій швидкості. У даному випадку:

$$v_0 = V_{\max} = 200 \text{ км/год} = 55,5 \text{ м/с.}$$

Прискорення вільного падіння приймається:

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2.$$

Коефіцієнт зчеплення шин з дорожнім покриттям, який визначає межу можливого сповільнення транспортного засобу, залежить від стану дороги та властивостей гуми. Для сухого асфальтобетонного покриття він зазвичай перебуває в межах:

$$\varphi_x = 0,6 \dots 0,8.$$

Задля забезпечення запасу безпеки та отримання більш консервативного результату у розрахунках приймаємо значення:

$$\varphi_x = 0,6.$$

Розрахунок сповільнення:

$$a_{\text{уст}} = \varphi_x \cdot g = 0,6 \cdot 9,8 = 5,88 \text{ м/с}^2$$

Час гальмування:

$$t_{\text{гал}} = \frac{v_0}{a_{\text{уст}}} = \frac{55,5}{5,88} = 9,44 \text{ с}$$

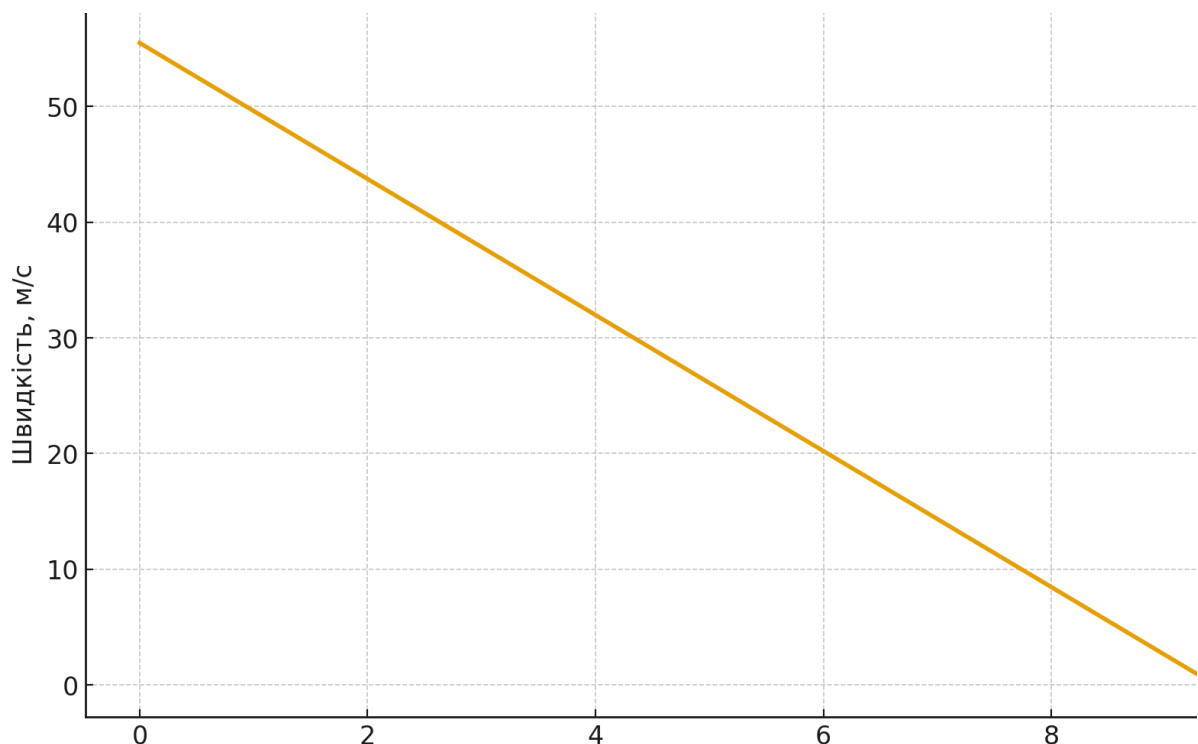


Рис. 4.3. Зміна швидкості автомобіля під час сталого гальмування.

4.3 Сповільнення при гальмуванні автомобіля

Сповільнення під час гальмування є одним з основних критеріїв оцінювання ефективності роботи гальмівної системи. Воно характеризує середню зміну швидкості транспортного засобу від моменту початку дії гальм до повної його зупинки.

Середнє гальмівне сповільнення $a_{\text{ср}}$ визначають за залежністю:

$$a_z = \frac{V_0}{T_z}, \text{ м/с}^2, \quad (4.3)$$

$$a_z = \frac{55,5}{32,7} = 1,69 \text{ м/с}^2.$$

У реальних умовах експлуатації величина середнього гальмівного сповільнення може суттєво змінюватися залежно від стану дорожнього покриття, шин, типу приводу й режиму гальмування. За стандартних умов руху легкових автомобілів зазвичай досягається сповільнення в межах:

$$a_{\text{ср}} = 0,9 \dots 3,0 \text{ м/с}^2$$

За переходу до аварійного (екстреного) гальмування гальмівні механізми працюють на межі зчеплення шин з дорогою, і тоді сповільнення зростає до:

$$a_{\text{екст}} \geq 5,0 \text{ м/с}^2$$

що дозволяє максимально скоротити гальмовий шлях. Водночас такий режим супроводжується значними динамічними навантаженнями на пасажирів та обладнання, що може спричинити травмування.

На основі отриманих розрахункових параметрів побудовано гальмівну діаграму автомобіля, яка наведена на рисунку 4.4. Вона дозволяє візуально оцінити взаємозв'язок між швидкістю, сповільненням і часом гальмування, а також визначити критично важливі етапи процесу.

На основі визначених параметрів побудовано діаграму зміни швидкості та графік залежності сповільнення від часу під час гальмування (рисунки 4.5 та 4.6).

Аналіз діаграм демонструє, що найбільший внесок у зменшення швидкості має фаза сталого сповільнення, тоді як у період реакції водія та спрацьовування приводу транспортний засіб продовжує рухатися з початковою швидкістю, збільшуючи гальмовий шлях.

Графік сповільнення підтверджує поступове наростання гальмівної сили до максимально можливого значення, яке визначається зчіпними властивостями шин із дорожнім покриттям.

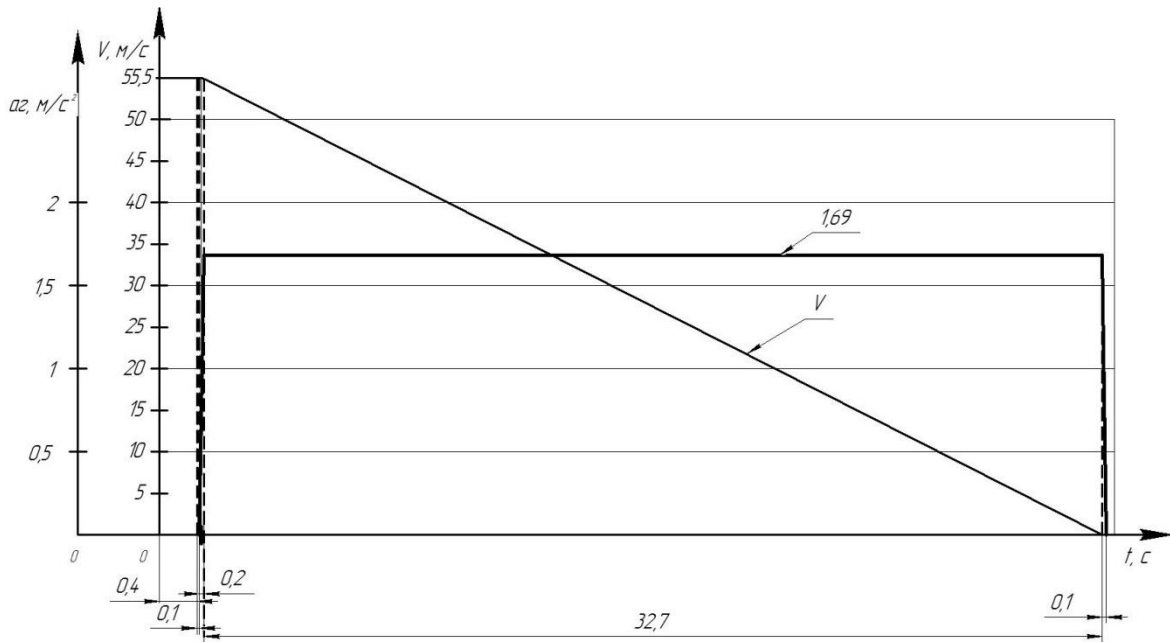


Рис. 4.4. Гальмівна діаграма автомобіля.

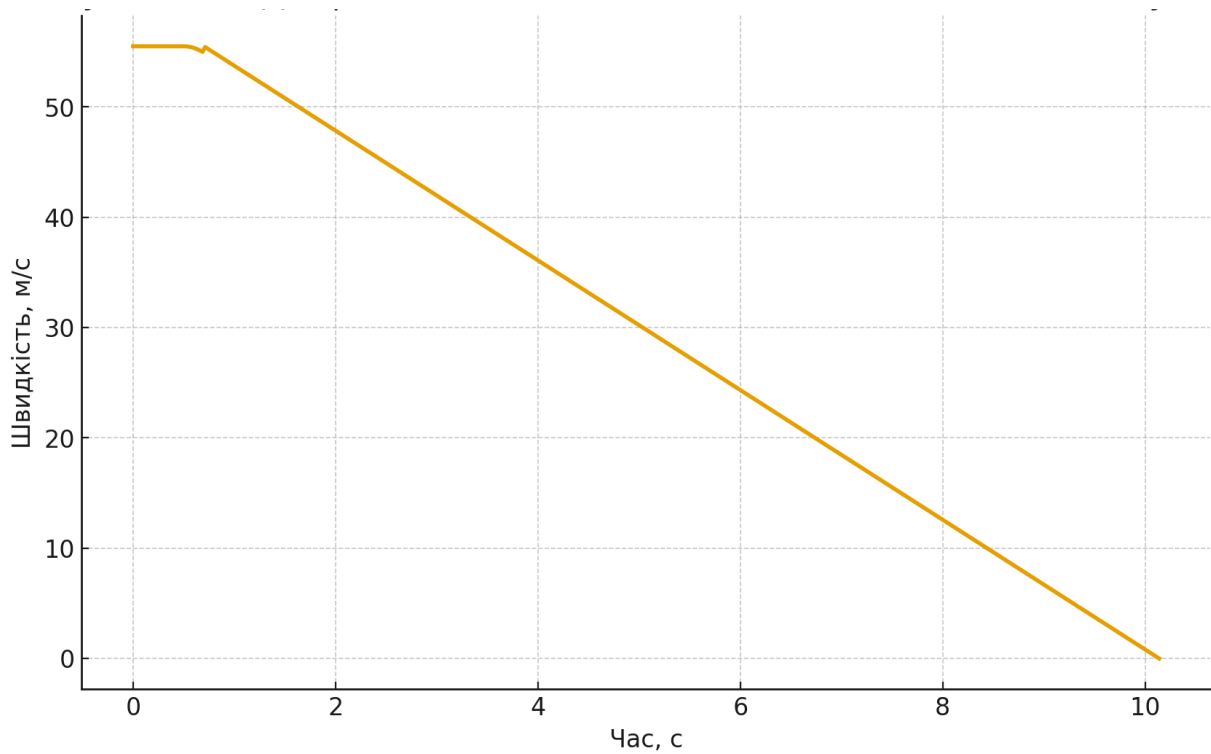


Рис. 4.5. Діаграма зміни швидкості автомобіля під час гальмування.

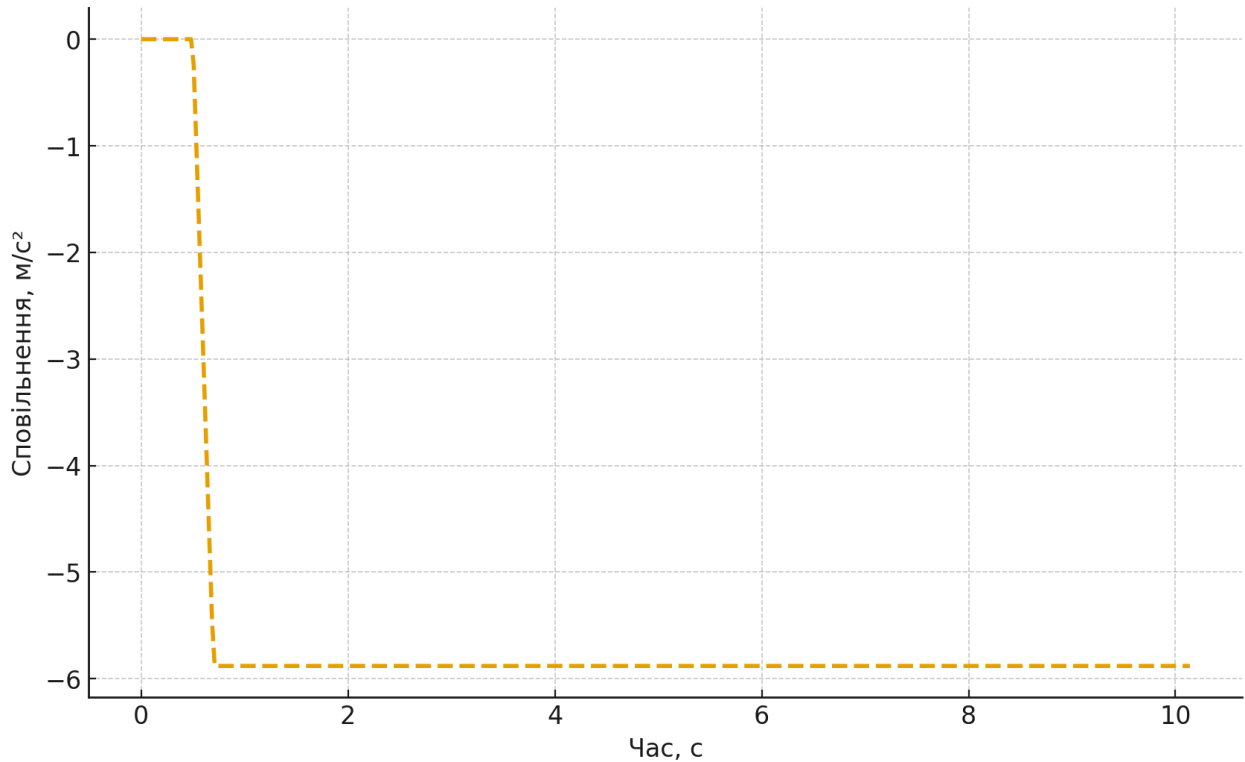


Рис. 4.6. Залежність сповільнення від часу під час гальмування.

4.4 Практичні дослідження гальмівних властивостей автомобіля

З метою оцінювання ефективності гальмівної системи було проведено розрахунково-графічне дослідження зміни кінематичних параметрів транспортного засобу під час різних етапів гальмування. У практичних розрахунках автомобіль рухається з максимальною швидкістю $V_0 = 200 \text{ км/год} = 55,5 \text{ м/с}$. Умови гальмування – сухе асфальтобетонне покриття, коефіцієнт зчеплення $\varphi_x = 0,6$.

Таблиця 4.1. Розрахункові параметри гальмування.

Показник	Позначення	Значення	Одиниця
Початкова швидкість	v_0	55,5	м/с
Прискорення вільного падіння	g_x	9,8	м/с ²
Коефіцієнт зчеплення	φ	0,6	—
Максимальне сповільнення	$a_{\text{уст}}$	5,88	м/с ²
Час сталого гальмування	$t_{\text{гал}}$	9,44	с
Загальний час гальмування	$T_{\text{г}}$	$\approx 10,2$	с

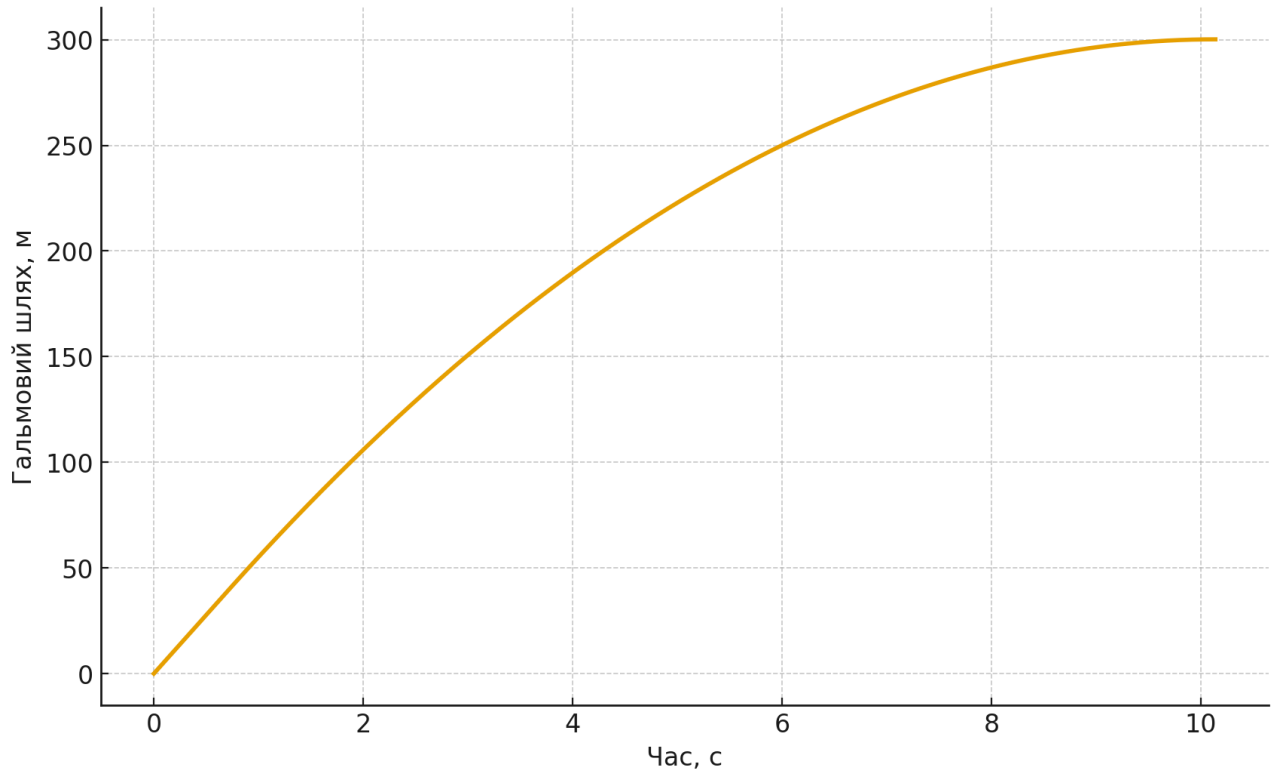


Рис. 4.7. Графік гальмового шляху від часу.

Найважливіший етап – зона сталого сповільнення, де формується понад 90% гальмового шляху.

Фази реакції водія та спрацювання приводу тривають лише 0,5–0,7 с, але в цей час автомобіль проходить довгий шлях без уповільнення, що критично для безпеки.

Отримане сповільнення відповідає вимогам екстреного гальмування і може призвести до стабілізації автомобіля на межі ковзання коліс.

Підвищення коефіцієнта зчеплення лише на 0,1 дає змогу скоротити гальмовий шлях на 8–12%.

Порушення тиску в шинах або зношення протектора знижують ефективність на 20–30%.

Проведений аналіз показує, що гальмівна система досліджуваного автомобіля забезпечує високий рівень активної безпеки. За умови справного технічного стану та належного зчеплення з дорогою транспортний засіб здатний швидко припинити рух навіть із максимально можливої швидкості. Використання діаграм дає змогу точно оцінити вплив кожного етапу гальмування та окреслити заходи щодо підвищення ефективності системи.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Забезпечення безпечної експлуатації обладнання, технологічних процесів, виробничих будівель, споруд та прилеглих територій

Гарантування належного рівня промислової безпеки вимагає комплексного підходу, що охоплює організаційні, технічні та контрольні заходи на всіх етапах життєвого циклу виробництва. Реалізація цих завдань забезпечується через:

високу якість проєктних рішень, які закладають безпечні умови праці під час розроблення нових об'єктів або модернізації існуючих виробничих систем;

приймання в експлуатацію новозбудованих і реконструйованих об'єктів спеціальними комісіями за участю органів державного нагляду та представників громадського контролю;

дотримання проєктних вимог під час монтажу технологічного обладнання та облаштування виробничих площ, що гарантує відповідність фактичного стану об'єкта проєктній документації;

проведення контрольних оглядів і аудитів безпеки, які виконуються органами державного нагляду перед видачею Державною службою України з питань праці дозволу на початок роботи підприємства;

організацію вхідного контролю технічних засобів, що передбачає перевірку нового обладнання на відповідність чинним вимогам безпеки до початку його експлуатації;

регулярне технічне оцінювання та кваліфіковане обстеження стану будівель, споруд, машин, механізмів і систем захисту для визначення можливості їх подальшого безпечного використання;

дотримання технічних регламентів та експлуатаційної документації, включаючи інструкції, технологічні карти, правила технічної експлуатації та стандарти охорони праці;

своєчасну діагностику й технічне обслуговування, що включає виконання періодичних оглядів, випробувань, ремонтів і заміну обладнання, яке зазнало фізичного або морального зношування;

відповідність кваліфікаційного рівня персоналу вимогам виробничого профілю, а також їх обізнаність у питаннях промислової безпеки та охорони праці.

Проведення технічної діагностики обладнання, експертиза стану будівель і споруд, а також виконання спеціальних технічних оглядів під час експлуатації котлів, посудин, що працюють під тиском, підйомних механізмів та електротехнічних установок покладається на експертно-технічні центри Державної служби України з питань праці.

5.2 Забезпечення санітарно-гігієнічних умов праці та організація медико-профілактичного обслуговування персоналу

Комплекс заходів у сфері санітарно-гігієнічної безпеки спрямований на мінімізацію негативного впливу виробничих чинників на працівників і створення умов, що сприяють збереженню працездатності та здоров'я персоналу. Основна функція системи охоплює:

а) регулювання умов праці та створення сприятливого виробничого середовища, зокрема:

- встановлення оптимального режиму праці й відпочинку;
- належне функціонування санітарно-промислових лабораторій;
- реалізацію заходів, спрямованих на полегшення виробничих навантажень і покращення мікроклімату робочих місць.

б) суворе дотримання вимог гігієнічних нормативів і регламентацій, що передбачає:

- контроль рівнів шкідливих фізичних, хімічних і біологічних факторів;
- обмеження застосування праці на роботах із підвищеною небезпекою або значними фізичними навантаженнями;
- регламентацію нічних і понаднормових робіт, а також праці в умовах шкідливих впливів.

У напрямі санітарно-побутового обслуговування функції системи зосереджені на забезпеченні працівників:

- справними санітарно-побутовими приміщеннями;

- спеціальним одягом, взуттям і засобами індивідуального захисту;
- мийними та знешкоджувальними засобами відповідно до характеру виконуваних робіт.

Діяльність у сфері лікувально-профілактичного супроводу має на меті зменшення впливу шкідливих виробничих факторів на людину та раннє попередження професійних захворювань. До таких заходів належать:

- організація пунктів безкоштовної видачі молока або еквівалентних харчових продуктів для працівників у шкідливих умовах;
- організація лікувально-профілактичного харчування за встановленими переліками професій і виробництв;
- створення спеціалізованих приміщень: інгаляторіїв, масажних кабінетів, фізіотерапевтичних кімнат, приміщень для лікувальної фізкультури тощо.

Для ефективного виконання зазначених функцій у структурі окремих служб охорони праці передбачається посада лікаря-гігієніста (санітарного лікаря), який здійснює професійний контроль за санітарно-гігієнічними умовами виробничого середовища.

5.3 Специфіка прогнозування масштабів аварійного хімічного забруднення в умовах міського середовища

Прогнозування наслідків аварій із викидом небезпечних хімічних речовин у межах міста є складним завданням, оскільки на поведінку токсичної хмари суттєво впливають особливості урбанізованого простору. Місто формує унікальний мікроклімат, який формується як сукупність постійних антропогенних і природних факторів.

Метеорологічна ситуація в межах міської території формується під впливом двох взаємодіючих груп атмосферних процесів:

Синоптичні (великомасштабні) процеси – зумовлені загальною циркуляцією атмосфери та проявляються у вигляді сильних повітряних потоків, фронтальних систем, опадів та інших явищ, що охоплюють значні площі;

Урбаністичні (локальні) процеси – виникають унаслідок впливу рельєфу, щільної забудови, транспортної інфраструктури й антропогенних теплових викидів, що істотно змінюють структуру приземного шару атмосфери.

Залежно від погодних умов домінування може переходити від однієї групи факторів до іншої. Так, при наявності сильного вітру та опадів вплив локальних ефектів зменшується, і процеси розповсюдження НХР наближаються до характерних для відкритої місцевості. У періоди штилю, безхмарної погоди вдень та вночі вирішальним стає саме міський мікроклімат.

Тепловий вплив міської забудови. Однією з найхарактерніших особливостей урбанізованого середовища є явище «міського теплового острова». Інтенсивне нагрівання твердих поверхонь забудови вдень спричиняє суттєві температурні контрасти між містом і його околицями, які:

найбільш виражений тепловий контраст спостерігається у вечірній період, приблизно через 2–3 години після заходу сонця;

у невеликих містах та селищах цей температурний ефект поступово зменшується і практично зникає до пізньої ночі;

у мегаполісах підвищена температура в центрі міста може зберігатися аж до ранкових годин, практично не зникаючи протягом усієї ночі.

Формування міського теплового острова призводить до суттєвої трансформації аеродинамічних властивостей приземного шару атмосфери, а саме до:

зниження середньої швидкості приземного вітру на 10–20 % порівняно з відкритою місцевістю, що сприяє застою повітряних мас;

збільшення тривалості та частоти штилів, підвищення ймовірності акумулювання шкідливих домішок у повітрі;

переорієнтації локальних потоків: у нічний час до центральних районів спрямовані холодніші повітряні маси з периферій, створюючи внутрішню циркуляцію та затримуючи забруднення над містом;

посилення турбулентності між будівлями — ефект “вітрових коридорів”, який спричиняє нерівномірний перенос домішок та утворення локальних зон високих концентрацій;

порушення вертикальної стійкості повітря — формування нічних інверсій, що перешкоджають підйому забруднених повітряних шарів і збільшують ризик їх тривалого утримання поблизу земної поверхні;

зменшення природної вентиляції міста, що ускладнює розсіювання небезпечних хімічних речовин у надзвичайних ситуаціях. Таке перерозподілення повітряних мас здатне викликати пульсаційні переміщення токсичної хмари, що ускладнює її прогнозування.

Вплив забудови й рельєфу на міграцію НХР.

У початковій фазі аварії напрямок руху хмари небезпечної речовини визначається рельєфом. Заглибини рельєфу, підвали, технічні коридори сприяють нагромадженню високих концентрацій токсичних речовин, створюючи критичну загрозу для людей, що перебувають у цих місцях.

Подальше переміщення токсичної хмари в умовах міста відбувається переважно у напрямках, зумовлених морфологією урбанізованого простору, зокрема:

орієнтацією магістральних вулиць і транспортних коридорів, які задають основні траєкторії поширення повітряних мас;

геометрією вулично-дорожньої мережі, що впливає на швидкість та нерівномірність перенесення хімічних речовин;

ефектом «аеродинамічних коридорів», сформованих щільною забудовою, де рух повітря прискорюється вздовж фасадів будівель, створюючи спрямовані потоки з потенційно високими концентраціями НХР. Вночі можливе блокування токсичної хмари в центрі міста через надходження прохолодних повітряних мас із периферії.

У випадках, коли напрямок перенесення хмари небезпечної хімічної речовини узгоджується з орієнтацією основних міських транспортних артерій, процес її поширення наближається до характерного для відкритих рівнинних територій. У такій ситуації для прогнозування параметрів зони ураження можуть застосовуватися моделі, адаптовані для рівнинного ландшафту, оскільки кількість аеродинамічних перешкод на шляху руху хмари є відносно незначною.

У випадку несумісності напрямків руху та вуличного планування розповсюдження оцінюється за сценарієм, подібним до лісистої або перешкодженої забудовою місцевості.

Міське середовище значно ускладнює прогнозування масштабів хімічного ураження, оскільки локальні атмосферні процеси, рельєф й архітектурна структура здатні докорінно змінювати параметри розсіювання токсичних речовин. У зв'язку з цим точність розрахунків повинна базуватися на спеціалізованих моделях розповсюдження НХР у міській інфраструктурі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі всебічно досліджено технічний стан, конструкцію та експлуатаційні властивості гальмівної системи автомобіля Honda Civic, а також обґрунтовано технологічні та конструктивні рішення, спрямовані на підвищення її ефективності та безпечності функціонування.

У технологічному розділі визначено та проаналізовано найбільш поширені несправності гальмівної системи, встановлено їхні причини та наслідки для безпеки дорожнього руху. Розроблено перелік операцій технічного обслуговування з урахуванням вимог нормативної документації та регламентів виробника. Складено технологічну карту обслуговування гальмівної системи та виконано економічний розрахунок вартості операції із заміни передніх гальмівних колодок.

У конструкторському розділі виконано розрахунки передніх дискових гальмівних механізмів, підтверджено достатність гальмівних моментів для забезпечення нормативних показників безпеки. Проведено аналіз напружено-деформованого стану основних елементів системи з позиції їх міцності та довговічності. Виконано розрахунок гідравлічного приводу, що забезпечує стабільне і кероване формування гальмівного зусилля за різних режимів експлуатації.

У науково-дослідному розділі охарактеризовано гальмівні властивості автомобіля Honda Civic, побудовано діаграму гальмування та визначено величину сповільнення при робочому гальмуванні. Проведено практичні експериментальні дослідження, результати яких підтвердили відповідність фактичних параметрів вимогам безпеки дорожнього руху та збіг із розрахунковими показниками.

Отримані результати свідчать про ефективність та надійність гальмівної системи автомобіля Honda Civic при правильному технічному обслуговуванні й своєчасній діагностиці її робочих елементів. Запропоновані технологічні та інженерні рішення можуть бути рекомендовані для впровадження в умовах автосервісних підприємств з метою підвищення експлуатаційної безпеки транспортних засобів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. О.Л. Ляшук, М.Г. Левкович, Д.В. Міронов, В.О. Тесля. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт» галузі знань 27 «Транспорт». – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2023. – 60 с.
2. Коробочка О.М. Основи розрахунків, проектування і експлуатації технологічного обладнання для автомобільного транспорту: Навч. посібник / Коробочка О.М., Скорняков Е.С., Сасов О.О. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007 – 252 с.
3. Кукурудзяк, Ю. Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів ТО і ПР навчальний посібник / Ю. Ю. Кукурудзяк, В. В. Біліченко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 198 с.
4. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. – К.: Мінтранс України, 1998. – 16 с. – (Нормативний документ Мінтрансу України).
5. Андрусенко С. І. Технологічне проектування автотранспортних підприємств: навч. посіб. / Андрусенко С. І., Білецький В. О., Бортницький П. І.; за ред. проф. С. І. Андрусенка. – К. : Каравела, 2009. – 368 с.
6. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. Книга 1 :теоретичні основи. Технологія: підручник / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигиринець – К. : "Вища школа", 1994. – 342 с.
7. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. Книга 2: організація, планування і управління : підручник / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигиринець – К.: "Вища школа", 1994. – 383 с.
8. Курніков І. П. Технологічне проектування підприємств автомобільного транспорту : навчальний посібник / І. П. Курніков, М. К. Корольов, В. М. Токаренко. – К. : Вища школа, 1993. – 191 с.
9. Автомобілі. Теорія : навч. посіб. / В.П. Сахно, В.І. Сирота, В.М. Поляков, В. Г. Головань, О.В. Лисий; Військ. акад. - Одеса: Військ. акад., 2017. - 412 с.

10. Кисликов В.Ф., Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. – 8-те вид. - К.: Либідь, 2018. – 400 с.
11. Кисликов В.Ф. Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів. – К.: Либідь, 2016. – 400 с. 5. Ю.А.
12. О.П. Строков, М.Г. Макаренко, В.Ф.Фролов Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів. Підручник: У 2 кн. К.: Грамота, 2005.
13. Ляшук, О., Гевко, І., Гупка, А., Слободян, Л., Гевко, Б., & Хорошун, Р. (2023). Розробка моделі узагальненого діагностичного показника технічного стану ходової частини автомобіля з використанням математичних методів теорії планування експерименту. сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, 2(21), 135-144.
14. Практикум з охорони праці. Навчальний посібник / За ред.. В.Ц. Жидецького. – Львів: Афіша, 2000. – 352 с.
15. Стручок В.С. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека»: навчальний посібник / В.С. Стручок.– Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. – 156 с.
16. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108.
17. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б., Гевко Ів. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.
18. Дикань С.А., Зима О.Є. Безпека в галузі та надзвичайних ситуаціях. Університетський курс [Текст]: підручник для студ. вищ. навч. закл. С.А. Дикань, О.Є. Зима. – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2015. – 273 с.: табл., іл.
19. Опис автомобіля Honda Civic / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://skobiz.com/info/skoda-favorit-felicia/>
20. Опис автомобіля Honda Civic / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://skobiz.com/info/skoda-favorit-felicia/>.