

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

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерії машин, споруд та технологій

(назва факультету)

Автомобілів

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Удосконалення методів оцінки технічного стану гальмівної системи легкових автомобілів категорії "М1 з гідравлічним приводом" шляхом використанням узагальнених діагностичних параметрів

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МAM-61
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

	<hr/>	<u>Климчук І.Р.</u> (прізвище та ініціали)
	(підпис)	
Керівник	<hr/>	<u>Міронов Д.В.</u> (прізвище та ініціали)
	(підпис)	
Нормоконтроль	<hr/>	<u>Левкович М.Г.</u> (прізвище та ініціали)
	(підпис)	
Зав. кафедри	<hr/>	<u>Цьонь О.П.</u> (прізвище та ініціали)
	(підпис)	
Рецензент	<hr/>	<u>Пилипець О.М.</u> (прізвище та ініціали)
	(підпис)	

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

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«20» листопада 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

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

студенту Климчуку Івану Руслановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення методів оцінки технічного стану гальмівної системи легкових автомобілів категорії "М1 з гідравлічним приводом" шляхом використанням узагальнених діагностичних параметрів

Керівник роботи Міронов Дмитро Вікторович, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 20 » листопада 2023 року № 4/7-1071

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22 грудня 2023

3. Вихідні дані до роботи Діагностичні параметри гальмівної системи легкових автомобілів категорії "М1 з ГП".

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)

Кількість ДТП в залежності від причин їх виникнення за 2017 – 2023 рр. – 1А1.

Динаміка зміни кількості ДТП в Україні за період 2017-2023 рр. – 1А1.

Фрагмент кодової матриці планування повного факторного експерименту – 1А1.

Статистична обробка показників аварійності на автомобільних дорогах України за період 2017-2023 рр. – 1А1.

Види контрольованих параметрів гальмівної системи автомобіля і гранично допустимі – 1А1.

Базові значення функцій бажаності і відповідні значення контрольованих параметрів – 1А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н. доц. Ткаченко І.Г.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	ст. викл. Клепчик В.М.		

7. Дата видачі завдання

20.11.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	08.11.2023	
2	Технологічний розділ	22.11.2023	
3	Конструкторський розділ	28.11.2023	
4	Науково-дослідний розділ	06.12.2023	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	13.12.2023	
6	Оформлення графічної частини	18.12.2023	
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра	25.12.2023	

Студент

(підпис)

Климчук І.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Міронов Д.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Удосконалення методів оцінки технічного стану гальмівної системи легкових автомобілів категорії "М1 з гідравлічним приводом" шляхом використанням узагальнених діагностичних параметрів».

Метою кваліфікаційної роботи магістра є удосконалення методів оцінки технічного стану гальмівної системи легкових автомобілів категорії «М1 з ГП» з використанням узагальнених діагностичних параметрів.

Основні завдання, які необхідно вирішити у роботі:

- розробити теоретичні передумови багатофакторної оцінки технічного стану окремих вузлів гальмівної системи легкових автомобілів категорії "М1 з ГП";
- розробити методику багатофакторної оцінки технічного стану гальмівної системи легкових автомобілів категорії "М1 з ГП";
- провести експериментальне підтвердження одержаних теоретичних залежностей щодо визначення технічного стану вузлів гальмівної системи легкових автомобілів категорії "М1 з ГП";
- розробити методику оцінки залишкового ресурсу вузлів гальмівної системи легкових автомобілів категорії "М1 з ГП";
- навести рекомендації, які направлені на поліпшення охорони праці та безпеки життєдіяльності на виробництві.

Перший розділ кваліфікаційної роботи магістра «Загально-технічний розділ» включає в себе аналіз поточного стану питання технічної діагностики гальмівної системи легкових автомобілів.

Другий розділ кваліфікаційної роботи магістра «Технологічний розділ» містить аналіз конструкції та видів гальмівних систем автомобіля та вимоги до її діагностування і експлуатації.

У третьому розділі кваліфікаційної роботи магістра «Конструкторський розділ» проведено аналіз методів та засобів діагностування гальмівної системи автомобілів і розроблено теоретичні передумови розрахунку узагальненого діагностичного параметру.

Четвертий розділ кваліфікаційної роботи магістра «Науково-дослідний розділ» містить методику оцінки технічного стану гальмівної системи легкових автомобілів категорії "М1 з ГП" на основі узагальнених діагностичних параметрів та методику оцінки залишкового ресурсу вузлів гальмівної системи автомобілів.

У розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» розглянуто основні принципи та функції управління охороною праці на виробництві та основні положення концепції захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій.

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 66 сторінок формату А4 та 6 аркушів формату А1 графічної частини і 6 сторінок додатків.

Ключові слова: гальмівна система, діагностика, технічне обслуговування, узагальнені показники, технічний стан.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	10
1.1 Аналіз поточного стану питання технічної діагностики гальмівної системи транспортних засобів	10
1.2 Висновки та постановка завдання на магістерську роботу	15
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	17
2.1 Призначення, конструкція та види гальмівних систем автомобіля	17
2.2 Вимоги до гальмівних систем автомобіля	29
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	32
3.1 Методи та засоби діагностування гальмівної системи автомобілів	32
3.2 Узагальнена та часткова функція бажаності Харінгтона	34
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ	39
4.1 Розробка методики оцінки технічного стану гальмівної системи легкових автомобілів	39
4.2 Методика оцінки фактичного залишкового ресурсу вузлів гальмівної системи на основі узагальненого показника технічного стану	49
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	53
5.1 Основні принципи та функції управління охороною праці на виробництві	53
5.2 Концепція захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій	57
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	62
БІБЛІОГРАФІЯ	63
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Статистика показує, що автомобільний транспорт є найнебезпечнішим видом транспорту. За даними Європейської економічної комісії Організації Об'єднаних Націй, дорожньо-транспортні пригоди спричиняють смерть і травми понад 25 мільйонів осіб щороку, а економічні втрати перевищують 600 мільярдів доларів.

За даними Національної поліції України [1], у 2022 році в Україні було скоєно 18 628 ДТП, у результаті яких 2791 людина загинула та 23145 отримала травми. В цьому році сталося 15041 дорожньо-транспортних пригод, що призвело до загибелі 1870 осіб і 18986 травм. Наслідки ДТП залишаються серйозною проблемою соціального, економічного та морально-психологічного характеру через їхню важливість.

Підвищення безпеки в умовах експлуатації є однією з найважливіших проблем, що стоять перед автомобільним транспортом. Автомобільна промисловість може вирішити цю проблему, випускаючи автомобілі, які є більш безпечними. З іншого боку, прогрес у технічній експлуатації та контролі систем, які гарантують безпеку автомобілів, є одним із способів вирішення цієї проблеми.

Понад 64% ДТП з технічних причин відбуваються через несправності гальмівних систем і кермового керування. Згідно з дослідженнями, несправності гальмівних систем автомобілів становлять від сорока до п'ятдесяти відсотків усіх технічних несправностей автомобілів [2].

Контроль стану гальмівних систем автомобіля в основному здійснюється на силових стендах з біговими барабанами, які вимірюють параметри під час роботи і використовують ці вимірювання для визначення технічного стану гальмівних систем.

Незважаючи на очевидні переваги стендового методу контролю, він не може гарантувати достовірність результатів діагностування та контролю гальмівних систем автомобілів відповідно до ДСТУ 3649:2010 [3]. Різноманітність вимірних значень силових параметрів свідчить про технічний стан гальмівних систем автомобілів.

Дослідження показало, що хоча сучасні силові гальмівні стенди продемонстрували хороші результати випробувань автомобілів, половина з них не забезпечила нормативну величину уповільнення та перевищила лінійне відхилення при гальмуванні в дорожніх умовах.

З іншого боку, стандарт ДСТУ 3649:2010 не встановлює процедур вимірювання силових параметрів на стендах з біговими барабанами.

У результаті дослідження повторюваності результатів контролю гальмівної системи на сучасних силових стендах було виявлено, що:

- навантаження з його осі може становити до 8,8%.
- гальмівні сили становлять 40%;
- відносна різниця гальмівних сил становить 20%, а питома гальмівна сила становить 20,6%.

Підвищення інтелектуалізації діагностики гальмівної системи є основним завданням, оскільки методи та засоби технічного контролю та діагностики, які використовуються в широкому та різноманітному парку транспортних засобів, глобалізуються. Підвищення рівня діагностичного забезпечення автомобілів необхідне для забезпечення оперативного визначення залишкового ресурсу, зниження ризиків експлуатації та мінімізації впливу обслуговуючого персоналу на процес прийняття рішень. На сучасному етапі розвитку систем технічного обслуговування та ремонту (ТО та Р) автомобілів особлива увага приділяється методам, спрямованим на індивідуальне відстеження та прогнозування змін у технічному стані вузлів автомобілів під час їхньої експлуатації [4]. Розробка методів збору даних для діагностики та математичних алгоритмів, які показують основні фактори, які впливають на технічний стан автомобіля, є життєво важливими.

У процесі оцінки технічного стану окремих частин автомобіля необхідно враховувати різноманітні параметри, такі як механічні, вібраційні, теплові, електричні та інші, оскільки кожен із цих параметрів визначається своїми фізико-хімічними характеристиками. Ці параметри впливають на певні характеристики вузлів автомобіля. Крім того, через фізичні відмінності параметрів і відсутність прямого корелятивного зв'язку між ними, хоча деякі властивості можна оцінити достатньо точно окремо, комплексна оцінка стає складною. Для об'єктивної

оцінки експлуатаційних характеристик необхідно використовувати узагальнені показники функціонування. Застосування узагальненого діагностичного критерію покращує точність визначення реального технічного стану вузлів агрегатів.

Таким чином, задача удосконалення методів оцінки технічного стану гальмівних систем автомобілів є важливим завданням. Її рішення значно підвищить активну безпеку автомобілів в умовах експлуатації, що призведе до зниження кількості пошкоджень і відмов вузлів гальмівної системи.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз поточного стану питання технічної діагностики гальмівної системи транспортних засобів

Несправності гальмівних систем і кермового керування є основними причинами 64% ДТП в Україні. За даними статистики, несправності гальмівної системи автомобілів становлять від сорока до п'ятдесяти відсотків усіх технічних причин ДТП.

Аналіз причин дорожніх пригод в Україні був проведений за допомогою помісячних значень кількості дорожніх пригод за період з січня 2017 по серпень 2023 року на основі статистики ДТП Національної поліції України [1]. Табл. 1.1 містить частину результатів аналізу кількості та причин ДТП. На рис. 1.1 показано динаміку зміни кількості ДТП за 2017–2023 роки та основні причини цих змін.

Таблиця 1.1. Кількість ДТП в залежності від причин їх виникнення за 2017 – 2023 рр.

	Загальна к-ть ДТП	Перевищення безпечної швидкості	Порушення правил користування зовнішніми світловими приладами транспортних засобів	Порушення правил проїзду перехресть	Порушення правил проїзду пішохідних переходів	Недотримання дистанції	Керування транспортним засобом у стані сп'яніння	Перехід пішохідів у невстановленому місці	Перевищення встановленої швидкості	Вїзд на смугу зустрічного руху	Порушення правил надання безперешкодного проїзду	Неочікуваний вихід на проїзну частину	Невиконання водіями вимог сигналів регулювання
січень 2023	1672	656	293	124	209	73	54	104	43	29	9	24	13
лютий 2023	1372	567	230	98	122	55	53	84	31	36	25	15	18
березень 2023	1496	565	335	121	104	78	64	61	32	36	16	23	12
квітень 2023	1556	615	339	123	80	79	70	55	54	34	23	16	23
травень 2023	1951	721	547	161	95	78	85	45	41	34	33	20	21
червень 2023	2173	824	543	209	108	123	75	50	76	43	29	20	13
липень 2023	2375	924	577	200	110	116	118	33	80	48	33	23	35
серпень 2023	2430	940	597	222	128	115	101	48	63	49	35	29	32
...
грудень 2017	10731	151	2472	98	83	12	43	43	00	21	45	21	119

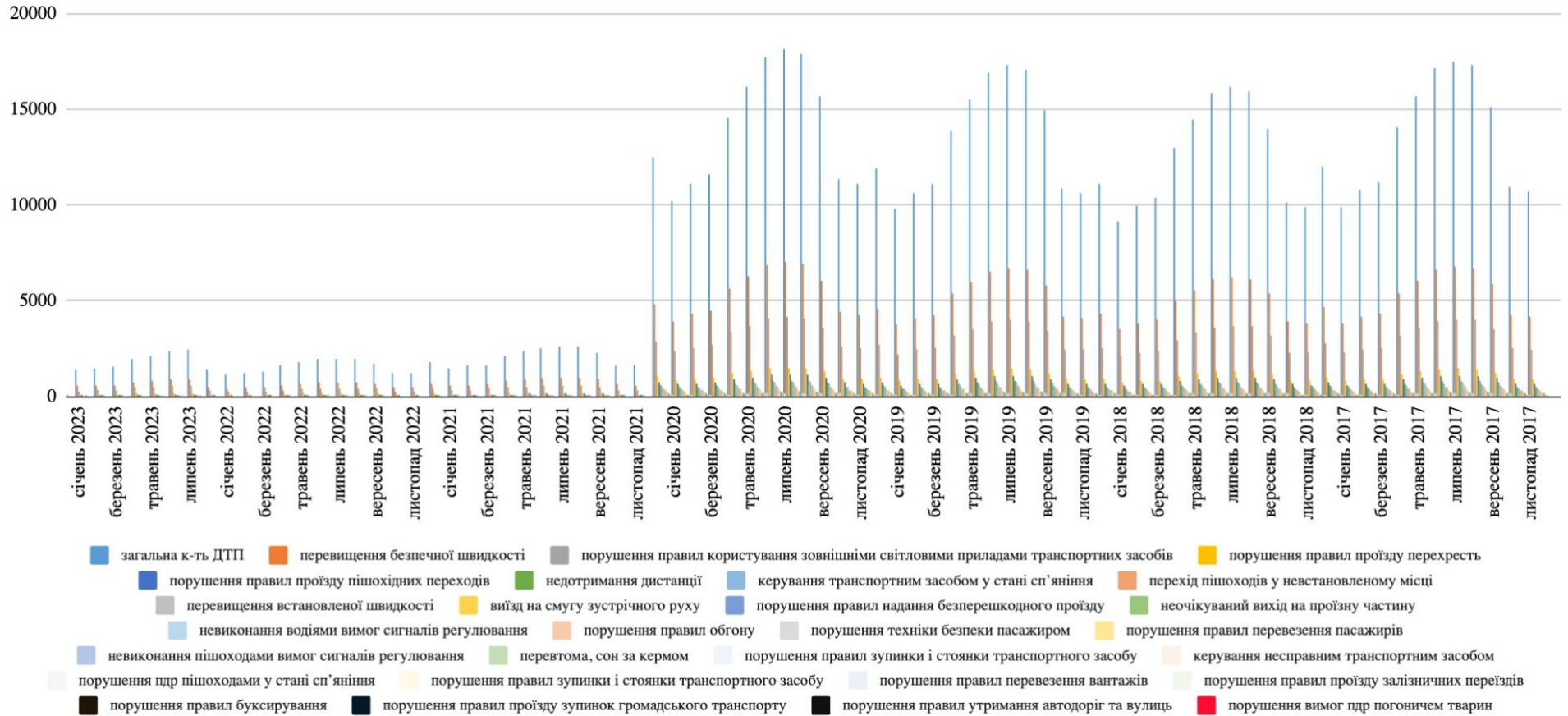


Рис. 1.1. Динаміка зміни кількості ДТП в Україні за період 2017-2023 рр.

Розподіл кількості ДТП за аналізований період показано на рис 1.2 в розрізі типів доріг державного значення з найвищою аварійністю

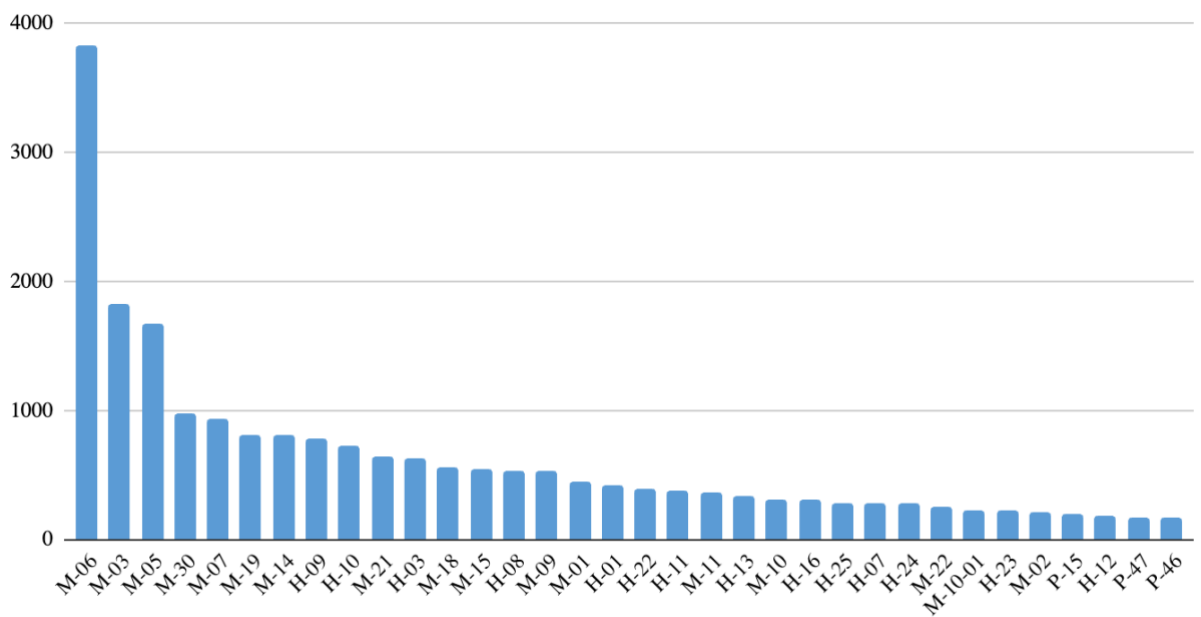


Рис. 1.2. Динаміка кількості ДТП на дорогах державного значення в Україні за період 2017-2023 рр.

Однак така велика кількість ДТП за аналізований період, наведена в табл. 1.1, ускладнює якісну ідентифікацію та оцінку основних факторів, які сприяють дорожнім пригодам.

Існує багато сучасних підходів до теорії оцінки якості процесів, які можна використовувати для вирішення цієї проблеми. Фактично, вони є ефективними інструментами для оперативного контролю якості завдяки простоті, наочності та візуалізації різних статистичних методів. Закон Парето (80/20), принцип якого базується на відокремленні важливих факторів від малозначущих і несуттєвих, дозволяє зосередити зусилля та ресурси на вирішенні найбільш важливих проблем.

Побудована діаграма Парето з причин скоєння ДТП, які наведені у табл. 1.1, представлена на рис. 1.3.

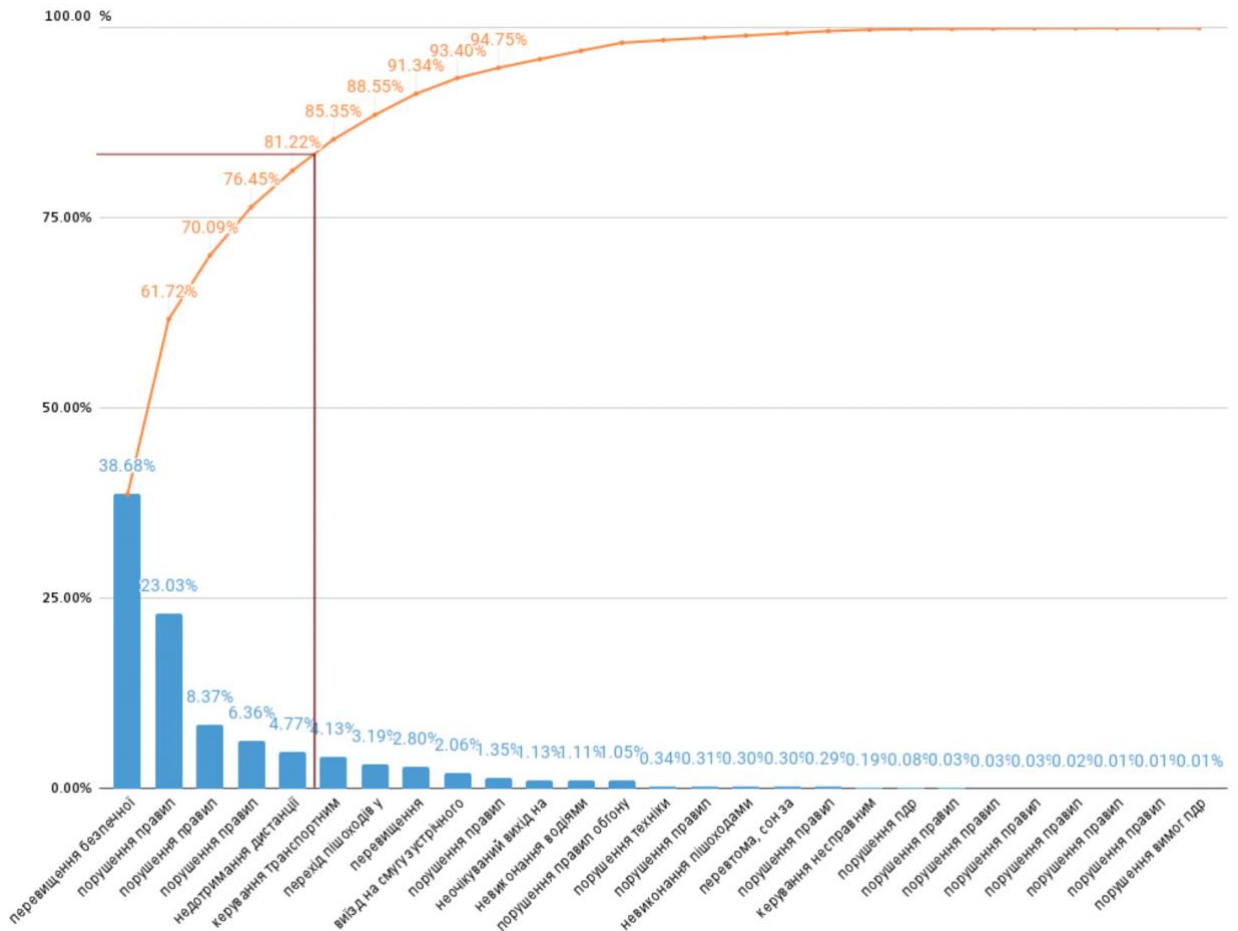


Рис. 1.3. Причини скоєння ДТП в Україні за період 2017-2023 рр.

Як показано на діаграмі, перевищення безпечної швидкості, порушення правил користування зовнішніми світловими приладами транспортного засобу, порушення правил проїзду перехресть, порушення правил проїзду пішохідних переходів, недотримання дистанції та керування транспортним засобом у стані сп'яніння становлять 80% причин ДТП, які сталися на території України протягом досліджуваного періоду. 38,5% з них припадає на перевищення безпечної швидкості.

Гальмівна система в свою чергу спричинила 5799 випадків, або 17,06 % усіх відмов, згідно зі статистичними даними. Відмови гальмівних систем є надзвичайно небезпечними в умовах експлуатації. ДТП, викликані відмовами гальмівних систем, є зазвичай найтяжчими. Як результат – необхідно підтримувати гальмівні системи автомобілів у справному стані, щоб зменшити кількість ДТП.

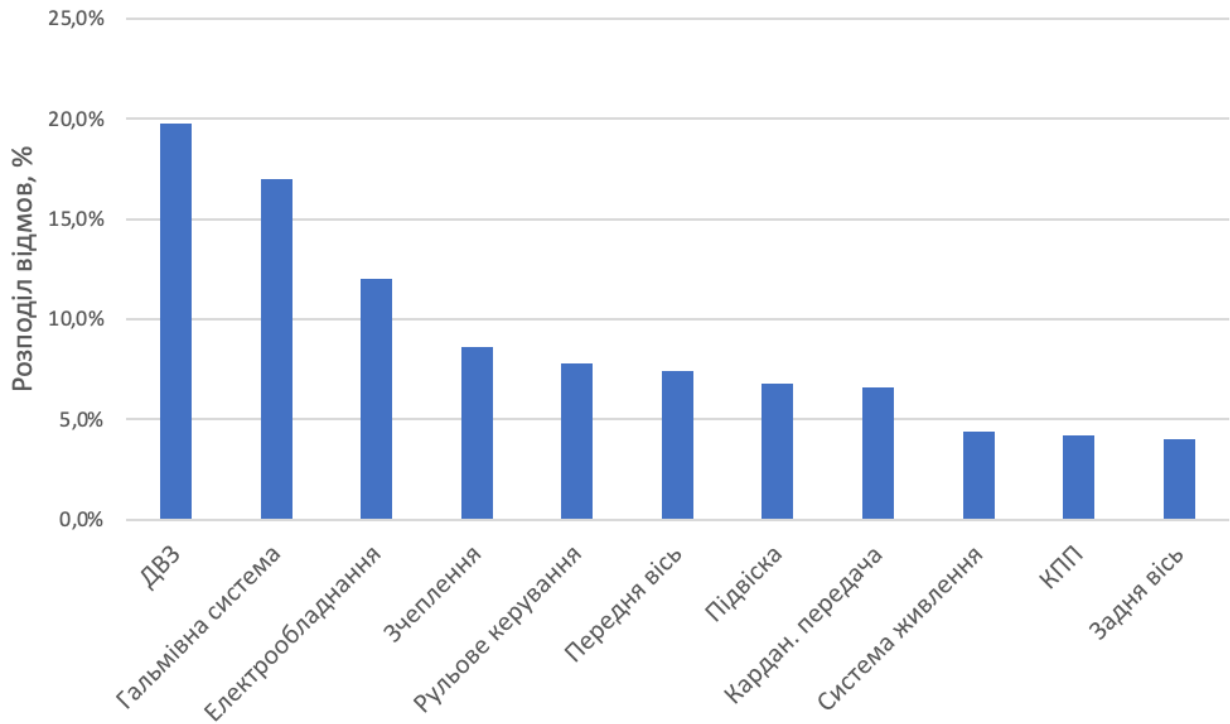


Рис. 1.4. Розподіл відмов агрегатів, систем та механізмів транспортних засобів в умовах експлуатації

Технічна діагностика призначена для оцінки загального стану транспортного засобу та його агрегатів. Технічна діагностика – це галузь знань, яка вивчає ознаки несправностей автомобілів, методи, засоби та алгоритми для визначення технічного стану автомобіля без розбирання, а також технології та організацію використання систем діагностики під час процесів технічної експлуатації.

1.2 Висновки та постановка завдання на магістерську роботу

1. Провести вивчення стану питання щодо діагностики технічного стану гальмівної частини легкових автомобілів категорії "М1 з ГП".
2. Розробити теоретичні передумови багатофакторної оцінки технічного стану окремих вузлів гальмівної системи легкових автомобілів категорії "М1 з ГП".
3. Розробити методику багатофакторної оцінки технічного стану гальмівної системи легкових автомобілів категорії "М1 з ГП".

4. Провести експериментальне підтвердження одержаних теоретичних залежностей щодо визначення технічного стану вузлів гальмівної системи легкових автомобілів категорії "М1 з ГП".

5. Розробити методику оцінки залишкового ресурсу вузлів гальмівної системи легкових автомобілів категорії "М1 з ГП".

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Призначення, конструкція та види гальмівних систем автомобіля

Гальмівні системи автомобіля служать для зниження швидкості руху до повної зупинки й утримання його у нерухомому стані. Легкові автомобілі обладнуються робочою, запасною та стоянковою гальмівними системами. Гальмівна система автомобіля включає керуючий пристрій, гальмівний привід і гальмівні механізми [5].

Керуючий пристрій включає орган управління, який приводиться в дію водієм (педаль або важіль), а також додатковий пристрій для зменшення зусиль, що передаються водієм до органу управління при гальмуванні автомобіля.

Гальмівні приводи використовуються для передачі зусилля від керуючого або енергопостачального пристрою до гальмівних механізмів. Це можуть бути механічні, гідравлічні, пневматичні, вакуумні, електричні або комбіновані приводи. Легкові автомобілі мають гідравлічні приводи для робочої та запасної гальмівної систем, а також механічні приводи для робочої та запасної гальмівної систем. Набуває поширення електричний привід гальм з електронним керуванням.

Гальмівні механізми використовуються для перетворення зусиль, переданих на них гальмівним приводом, у гальмівні сили, які протидіють руху автомобіля. Гальмівні механізми, які застосовуються в гальмівних системах легкових автомобілів, відомі як колісні фрикційні колодкові гальмівні механізми, забезпечують загальмовування коліс автомобіля за рахунок сил тертя, що виникають між гальмівними колодками, встановленими в нерухомо закріпленому гальмівному механізмі, і обертовим разом з колесом гальмівним диском. Тепло, що утворюється під час роботи гальмівних механізмів, а також продукти зносу гальмівних механізмів (здебільшого накладки гальмівних колодок) виходять в навколишнє середовище [6].

Робоча гальмівна система працює для зниження швидкості руху автомобіля та зупинки його на короткий період часу, коли машина працює в звичайному режимі. Педаль 22 гальма (рис. 2.1) і вакуумний підсилювач 8

складають керуючу систему робочої гальмівної системи. Гідравлічний привід робочої гальмівної системи складається з головного гальмівного циліндра 4 з бачком 7, регулювальника 19 тиску, робочих гальмівних циліндрів гальмівних механізмів 1 і 12 коліс, а також трубопроводів, які з'єднуються з арматурою та гнучкими шлангами 2 і 1.

Головний гальмівний циліндр 4 заповнює систему гідравлічного приводу гальмівною рідиною після того, як він отримує тиск від вакуумного підсилювача. Потім він розподіляє тиск між робочими гальмівними циліндрами гальмівних механізмів коліс. Двоконтурний гідравлічний привід робочої гальмівної системи досягається за допомогою двокамерного головного гальмівного циліндра та двокамерного бачка 7, що підвищує надійність системи. Головний гальмівний двокамерний циліндр має дві камери та дві поршні, щоб створити необхідний тиск для гальмування.

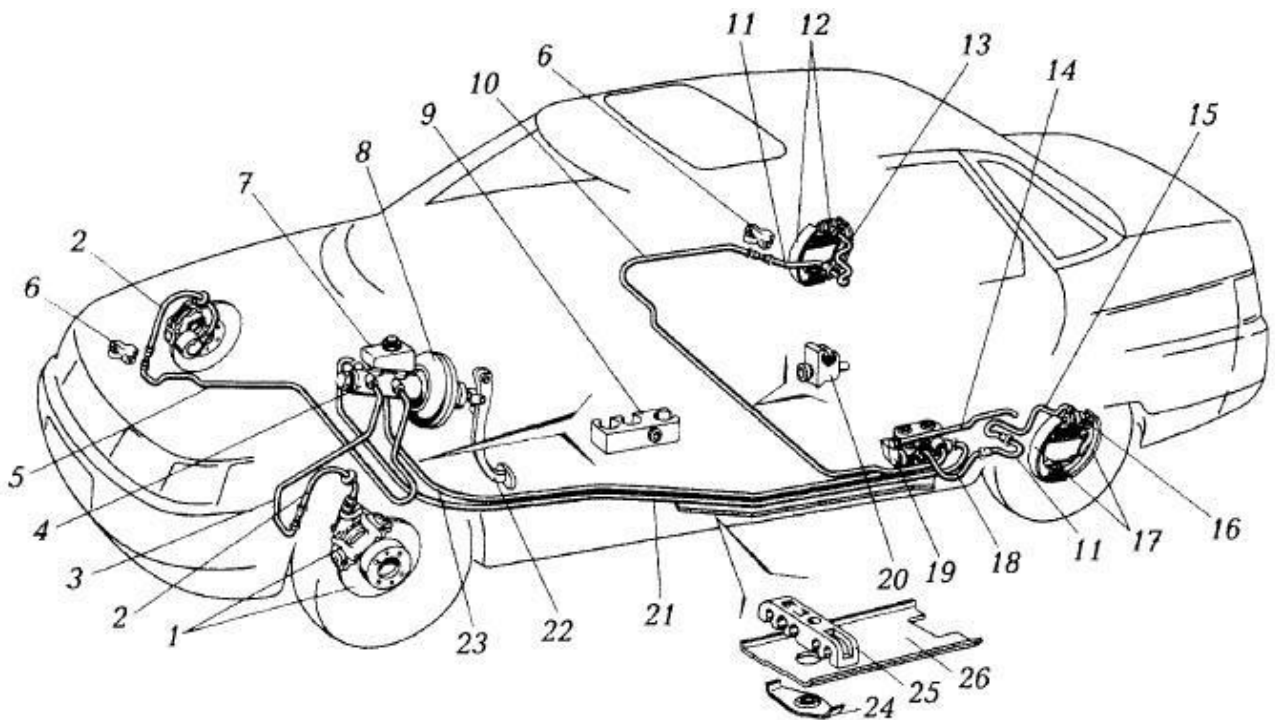


Рис. 2.1. Схема компонування робочої гальмівної системи передньопривідного автомобіля ВАЗ

Двоконтурні приводи на досліджуваних автомобілях виконані за однією з трьох схем: діагональна (застосовується на передньопривідних автомобілях ВАЗ), «гальмівні механізми передніх коліс — гальмівні механізми задніх коліс» (застосовується на автомобілях ВАЗ з класичною схемою компонування та

автомобілях ГАЗ) і «гальмівні механізми всіх коліс — гальмівні механізми передніх коліс» (застосовується на повнопривідних автомобілях ВАЗ).

Діагональна схема гідравлічного приводу використовує кожен контур для приведення в дію гальмівного механізму одного переднього та одного заднього колеса з діагональної сторони автомобіля. Наприклад, на передньопривідних автомобілях ВАЗ використовується діагональна схема гідроприводу «гальмівні механізми правого переднього та лівого заднього – гальмівні механізми лівого переднього та правого заднього коліс». Таким чином, гальмівні механізми правого переднього і лівого заднього колеса автомобіля керуються двома контурами гідроприводу. Перший контур з'єднаний з першою камерою головного циліндра, а другий контур з'єднаний з другою камерою головного циліндра, який керує лівим переднім і правим заднім колесами.

У схемі «гальмівні механізми передніх коліс – гальмівні механізми задніх коліс» перший контур гідроприводу керує гальмівними механізмами обох передніх коліс, а другий контур з'єднаний з другою камерою головного гальмівного циліндра, керуючого гальмівними механізмами обох задніх коліс [7].

При схемі «гальмівні механізми всіх коліс – гальмівні механізми передніх коліс» перший контур гідроприводу з'єднаний з першою камерою головного гальмівного циліндра, що приводить у дію гальмівні механізми передніх коліс за допомогою одного з блоків робочих циліндрів, а другий контур гідроприводу з'єднаний з другою камерою головного гальмівного циліндра, що приводить у дію тільки гальмівні механізми задніх. На цій схемі гальмівний механізм кожного переднього колеса складається з двох робочих циліндрів, а іноді навіть трьох (на повнопривідних ВАЗ) автомобілях. Ці циліндри з'єднуються з відповідними контурами гідроприводу за допомогою двох шлангів.

У будь-якій схемі двоконтурного гідроприводу робочих гальмівних систем, розглянутих вище, у випадку порушення герметичності або виходу з ладу одного з контурів гальмівної системи, другий контур продовжує працювати, дозволяючи автомобілю гальмувати колісними гальмівними механізмами справного контуру, але з меншою ефективністю.

Регулятор тиску 9 зменшує тиск, що подається до робочих гальмівних циліндрів гальмівного механізму задніх коліс відповідно до навантаження на них. Це запобігає передчасному блокуванню задніх коліс і руху їх юзом під час різких гальмувань автомобіля, що зменшує ймовірність його занесення. Зменшення навантаження, що відбувається при цьому, на передню та задню осі автомобіля, вимагає зменшення тиску в гальмівних механізмах задніх коліс під час гальмування. Коли ви гальмуєте, частка маси автомобіля, що припадає на передню вісь, збільшується, зчеплення передніх коліс з дорогою зростає, а зчеплення задніх коліс зменшується, що може призвести до блокуванню задніх коліс.

Колісні гальмівні механізми працюють на робочих гальмівних циліндрах 16 гальмівних механізмів задніх і передніх коліс, коли тиск гальмівної рідини подається на головний гальмівний циліндр. Поршні робочих гальмівних циліндрів 16 впливають на гальмівні колодки 17, притискаючи їх до гальмівного барабана або диска, що обертається разом з колесом, тим самим уповільнюючи його обертання. Після ремонту або заміни гальмівної рідини у верхній частині корпусу гальмівних робочих циліндрів спеціальний отвір, закритий клапаном випуску повітря, використовується для виходу повітря з системи гідроприводу під час прокачування гальм.

Клапан випуску повітря в 9-му гальмівному робочому циліндрі складається з різьбового штуцера з отворами для випуску повітря, запірнього конуса і шестигранника під ключ. Коли клапан загортається в корпус гальмівного робочого циліндра, запірний конус щільно сідає в конусове сидло циліндра. Це перекриває отвір каналу для випуску повітря з циліндра. Коли клапан відвертається під час прокачування гальм, його запірний конус відходить від сидла, утворюючи кільцевий зазор. Через отвори клапана внутрішня порожнина робочого циліндра контактує з атмосферою, що дозволяє гідроприводу випускати повітря під час прокачування гальм. Клапан закривається зовні гумовим захисним ковпачком, щоб запобігти забрудненню та пилу.

Бачок 7 забезпечує затікання в систему гідроприводу гальмівної рідини та компенсує зміни обсягу рідини в процесі експлуатації через знос гальмівних

колодок, зміни температури рідини та витоки. При зносі гальмівних колодок рівень у бачку поступово знижується. Щоб підтримувати необхідний рівень, періодично додається гальмівна рідина, а надлишок гальмівної рідини відбирається з бачка при встановленні нових гальмівних колодок.

Більшість сучасних легкових автомобілів мають антиблокувальні системи гальм [8]. Антиблокувальна система гальм, також відома як ABS, є додатковою електронною системою управління гальмівними механізмами коліс зі зворотним зв'язком. Це запобігає ковзанню коліс під час гальмування, що зберігає керованість і стійкість автомобіля під час гальмування, а також скорочує гальмівний шлях. Система ABS є частиною контуру приводу робочої гальмівної системи автомобіля, яка працює таким чином, щоб основна частина контуру робочої гальмівної системи продовжувала працювати, якщо вона відмовить.

Конструкція, складність і ефективність ABS різних автомобілів може відрізнятись, але вони працюють однаково. Електронний блок управління (ЕБУ) 7, який показано на рис. 2.2, складається з датчика кутової швидкості (частоти) обертання коліс 1 і виконавчого пристрою, а також модулятора тиску 12.

Датчик частоти 1 обертання колеса розташований поблизу колеса. Це можна побачити на поворотному кулаку, цапфі ступичного вузла, щиті гальма та балці моста. Для відстеження частоти обертання колеса він використовує обертове синхронно з колесом сигнальне зубчасте або магнітне кільце (ротор) на зовнішньому шарнірі валу приводу колеса, гальмівному диску або барабані, ступиці колеса або підшипнику.

АБС отримує керуючі сигнали від датчиків швидкості обертання коліс і передає їх на модулятор тиску. Модулятор тиску 12 вбудований у систему гідравлічного приводу робочої гальмівної системи та керує керуючими сигналами від ЕБУ. За допомогою системи електромагнітних клапанів він регулює тиск, який подається до робочих циліндрів механізмів гальмівних коліс таким чином, щоб уникнути їх блокування.

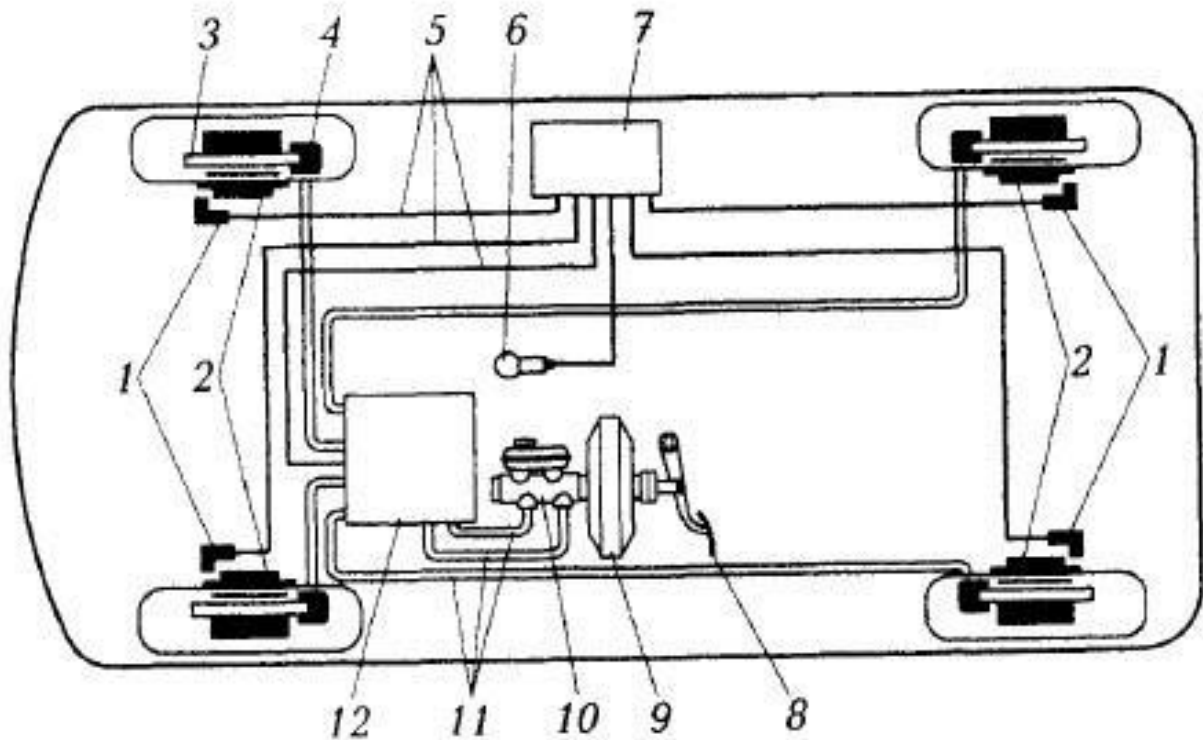


Рисунок 2.2. Схема робочої гальмівної системи з АБС легкового автомобіля

Коли ви гальмуєте і колесо автомобіля починає прослизувати, частота обертання коліс автомобіля знижується, і система зупиняє подачу тиску на гальмівний механізм. Це розгальмовує колесо, не допускаючи його повного блокування. При збільшенні частоти обертання колеса та відновленні його нормального кочення (без прослизання) система відновлює подачу тиску в його гальмівний механізм. Після цього колесо загальмовується, щоб почати кочення з прослизанням. Після цього процес повторюється ще раз. Система АБС дозволяє колесам автомобіля при різкому гальмуванні котитися на межі блокування з мінімальним ковзанням завдяки швидкій зміні тиску в гальмівних механізмах коліс. Це зберігає керованість і стійкість автомобіля під час гальмування та часто дозволяє скоротити гальмівний шлях (особливо на слизькій дорозі), що значно підвищує активну безпеку автомобіля [8].

Сучасні автомобілі можуть мати АБС, а також інші автоматичні системи керування гальмами, об'єднані з АБС:

- система електронного розподілу гальмівних сил по осях автомобіля (EBD) – використовується замість регулятора тиску та забезпечує більш точне

регулювання тиску у робочих гальмівних циліндрах задніх гальмівних механізмів порівняно з регулятором тиску;

- протибуксувальні системи ASR (Anti-spin regulation), ETS та TCS забезпечують підвищення сили тяги на колесах при торканні та розгоні автомобіля на слизькій дорозі за рахунок автоматичного підгальмовування колеса, ведучої осі та регулювання обертового моменту двигуна;
- електронні системи забезпечення курсової стійкості (ESP), EBS та ELB підвищують курсову стійкість автомобіля на поворотах за допомогою автоматичного регулювання гальмівних сил, а також сили тяги на ведучих колесах.

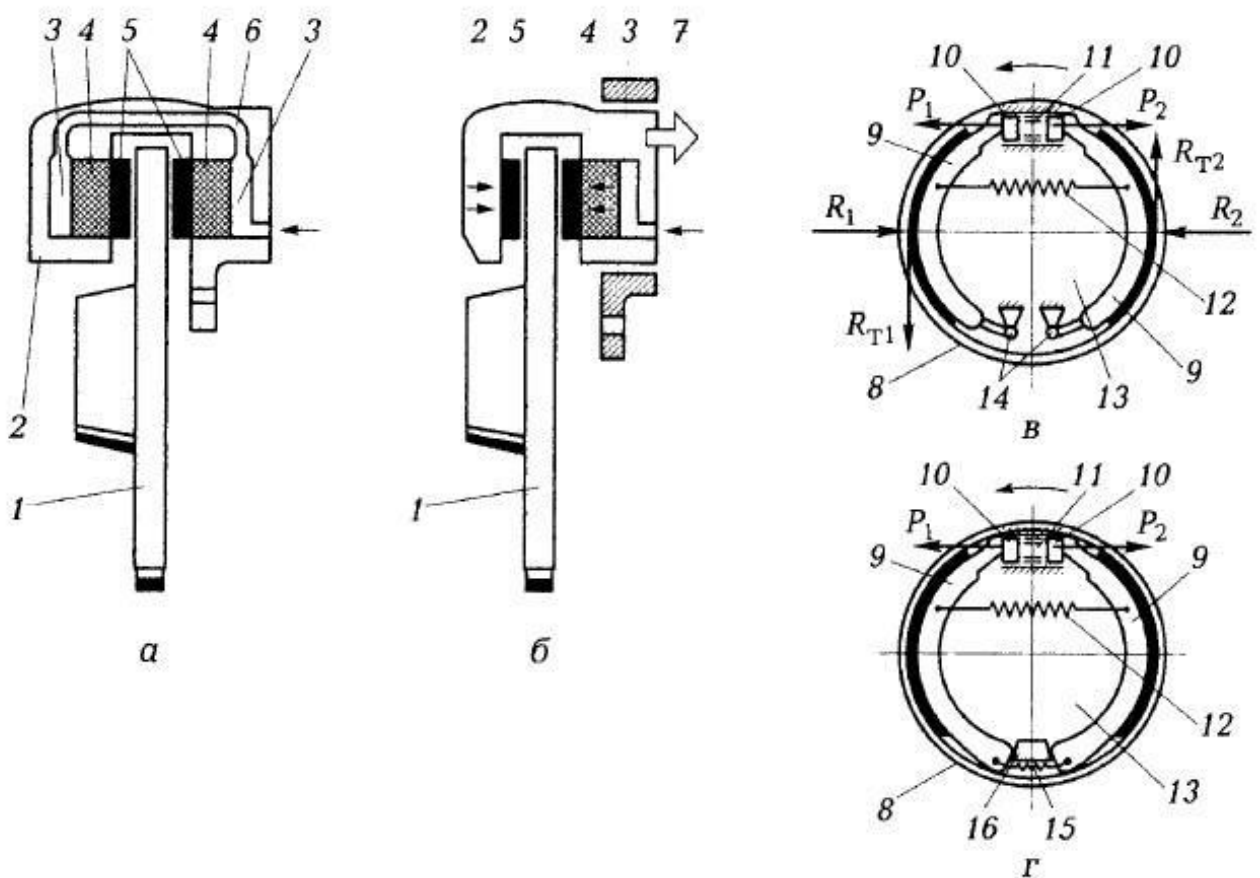
Зазначені системи значно покращують керування автомобілем, особливо на слизьких дорогах. Вони також певною мірою компенсують некомпетентність водія та помилкові дії. На досліджуваних моделях автомобілів не використовувалися АБС або інші електронні системи автоматичного управління гальмами. Це пояснюється досить високою складністю та вартістю подібних систем.

Коли робоча гальмівна система автомобіля працює, гальмівні механізми загальмовують кожне з коліс одночасно. Таким чином, робоча гальмівна система працює найкраще порівняно з іншими гальмівними системами. У сучасних легкових автомобілях гальмівні механізми передніх коліс працюють краще порівняно з задніми через перерозподіл навантаження по осях автомобіля під час гальмування. З цієї причини, наприклад, у автомобілях з передніми та задніми дисковими гальмівними механізмами передні гальмівні механізми мають більші розміри дисків, робочих гальмівних циліндрів і гальмівних колодок, ніж задні. На досліджуваних автомобілях використовуються дискові гальмівні механізми передніх коліс і барабанні гальмівні механізми задніх коліс.

Дискові гальмівні механізми передніх коліс складаються з гальмівного диска 1, який кріпиться до ступиці колеса і обертається разом з колесом під час руху автомобіля, і скоби, яка кріпляється до поворотного кулака 2, з двома плоскими гальмівними колодками 5, а також одним, двома, рідше трьома робочими гальмами.

Дисковий гальмівний механізм розташований всередині обода колеса, що захищає його від вологи та бруду ззовні. Щит гальма, який не показано на схемі, кріпиться до поворотного кулака. Це захищає гальмівний механізм від вологи та бруду з внутрішньої сторони.

У дисковому гальмівному механізмі з нерухоною скобою (рис. 2.3) скоба 2 не крениться до поворотного кулака і має два спарені симетрично розташованих робочих циліндри 3 і гальмівного диска 1. Поршні 4 стискають гальмівний диск з двох сторін однаковою силою через гальмівні колодки 5, що призводить до загальмовування гальмівного диска.



а і б – дискові гальмівні механізми з нерухоною та плаваючою скобою; в і г – барабанні гальмівні механізми з поворотними та плаваючими колодками

Рис. 2.3. Типи колісних гальмівних механізмів

У дисковому гальмівному механізмі з плаваючою скобою (рис. 2.3, б) скоба має складову конструкцію з основою 7 (або напрямної колодки), яка нерухомо кріпиться до поворотного кулака. Скоба 2 може переміщатися в підставі 7 до гальмівного диска 1 разом із гальмівними колодками 5 і робочим циліндром 3, встановленим тільки з одного (внутрішнього) боку. Під тиском

гальмівної рідини в циліндрі 3 поршень 4 притискає внутрішнє гальмо 1. Одночасно скоба 2 переміщується на підставу 7 у протилежному напрямку. У результаті скоба 2 переміщується, щоб притиснути зовнішню гальмівну колодку до диска. Це дозволяє диску затискатися між гальмівними колодками та ефективно загальмовувати.

Будь-які дискові гальмівні механізми гальмуються пружністю кілець ущільнювачів поршнів їх робочих циліндрів.

Гальмівний дисковий механізм з нерухомою скобою має головну перевагу в тому, що він дуже жорсткий. Але при сильному гальмуванні він швидше перегрівається. Це пов'язано з тим, що поршні 4, які у цьому механізмі вдвічі більші, ніж у гальмівному механізмі з плаваючою скобою, передають тепло від гальмівних колодок 5 і диска 1 до робочих циліндрів 3. Крім того, з'єднувальний канал 6, який знаходиться в несприятливій точці нагріву верхньої зони гальмівного диска, сприяє підвищенню температури рідини в циліндрах. При перегріві гальмівної рідини в циліндрах скоби утворюються парові пробки, що призводить до значного зниження ефективності гальмування.

Дисковий гальмівний механізм з плаваючою скобою має багато переваг порівняно з механізмами з нерухомою скобою. Крім меншої схильності до перегріву, він також має меншу кількість ущільнювальних деталей через меншу кількість робочих циліндрів, що робить механізм більш надійним.

Гальмівний диск механізму може бути суцільним або вентильованим. Використовувані на ВАЗ-2110 і ГАЗ-3110 вентильовані гальмівні диски мають спеціальні радіальні вентиляційні отвори між робочими поверхнями дисків і гальмівними колодками. Ці отвори збільшують площу контакту диска з повітрям, що робить його кращим [9].

Гальмівні колодки як дискових, так і барабанних гальмівних механізмів виготовлені зі сталі та мають фрикційні накладки на робочій поверхні. Фрикційні накладки гальмівних колодок виготовляють із спеціальних матеріалів, які збільшують силу тертя в гальмівних механізмах і, отже, підвищують їх ефективність. Порівняно з колодками, які вимагають періодичної заміни під час експлуатації, гальмівні колодки зношуються значно швидше, ніж робочі поверхні гальмівних дисків або барабанів.

Барабанні гальмівні механізми задніх коліс показані на рис. 2.3, в, г. Ці механізми складаються з гальмівного барабана, який кріпиться до колеса на фланці або на ступиці колеса, і гальм, які кріпляться до нерухомого щиту 13 для гальм двох колодок 9 і робочого циліндра 11 з двома поршнями 10. За допомогою робочого гальмівного гальма 1 барабанний гальмівний механізм гальмує за рахунок тертя фрикційних накладок гальмівних колодок по внутрішній поверхні гальмівного барабана.

Щит 13 барабанного гальмівного механізму заднього колеса відрізняється від щита дискового гальмівного механізму переднього колеса тим, що він захищає гальмівний механізм від вологи та бруду. Крім того, через те, що на ньому монтуються гальма та циліндр, щит виготовлений з більш товстого сталевого листа.

Робочий гальмівний циліндр 11 барабанного гальмівного механізму досліджуваних двопоршневих автомобілів діє одночасно на обидві гальмівні колодки та має пристрій, який автоматично регулює мінімальний зазор між колодками та барабаном, щоб забезпечити швидке спрацьовування гальмівного механізму.

На досліджуваних автомобілях застосовуються барабанні гальмівні механізми наступних двох типів. Ці механізми відрізняються способом кріплення колодок на щиті гальма: з плаваючими колодками або поворотними.

У барабанному гальмівному механізмі з поворотними колодками, який використовується на автомобілях ГАЗ, колодки 9 кріпляться на опорних пальцях 14 до щита 13 гальма. У процесі гальмування поршні 10 робочого гальмівного циліндра 11 тиснуть на передню і задню вісь, створюючи різноспрямовані крутні моменти. Ці крутні моменти призводять до повороту колодок 9 на опорних пальцях і притискання їх до внутрішньої робочої поверхні гальмівного барабана 8. Таким чином виникають сили тертя між колодками та барабаном, що загальмовує обертання барабана.

Коли гальмівні колодки барабанного гальмівного механізму встановлюються на опорних пальцях, накладки зношуються нерівномірно, оскільки сила притискання до гальмівного барабана збільшується, а нижні частини зменшуються, що призводить до того, що верхні частини зношуються

швидше. Таким чином, для того, щоб накладки гальмівних колодок зношувалися більш рівномірно по довжині конструкції гальмівних механізмів цього типу, можуть бути передбачені спеціальні регулювальні пристрої у вигляді ексцентриків, які встановлюються на опорних пальцях колодок.

Крім того, у барабанних гальмівних механізмів з поворотними колодками передня гальмівна колодка зношується швидше, ніж задня, як це показано нижче.

Момент тертя R_{T1} передньої гальмівної колодки при гальмуванні збігається з моментом приводної сили $P1$ і прагне повернути її до опорного пальця у бік гальмівного барабана. Це збільшує силу притискання передньої гальмівної колодки до барабана та відповідно силу тертя та зношування. Коли задня гальмівна колодка гальмується силою тертя R_{T2} , її момент протидіє моменту приводної сили $P2$. Це зменшує силу притискання задньої гальмівної колодки до барабана та силу тертя, що призводить до її зносу.

Таким чином, передня гальмівна колодка барабанного гальмівного механізму, який розглядається, зношується інтенсивніше, ніж задня. Тому у гальмівних механізмах цього типу передня гальмівна колодка може відрізнитися від задньої збільшеною довжиною накладки, щоб продовжити термін служби гальмівних колодок до заміни.

Зусилля розтягнутої стяжної пружини 12 гальмує гальмівний механізм. Після припинення натискання на педаль гальма та падіння тиску в робочому циліндрі гальмівні колодки 9 повертаються на опорні пальці 14 у зворотному напрямку, всуваючи запор від гальмівного барабана 8.

Більшість легкових автомобілів (крім автомобілів ГАЗ) використовують барабанні гальмівні механізми з плаваючими колодками (рис. 2.3, г). У цих механізмах гальмівні колодки підтискаються основною великою стяжною пружиною 12 до поршня 10 робочого гальмівного циліндра, а додаткова мала стяжна пружина щиту 13 до упору 16. При гальмуванні гальмівні колодки можуть переміщатися до упору 16, самовстановлюючись до барабанів у таке положення. Таким чином, в порівнянні з гальмівними механізмами з поворотними колодками, барабанні гальмівні механізми з плаваючими колодками мають більш просту конструкцію, не потребують регулювання

положення колодок під час роботи та мають більш рівномірний знос накладок колодок по довжині.

Але з тих же причин, що й у гальмівних механізмів з колодками, що плавають, передня гальмівна колодка зношується швидше, ніж задня, ніж у гальмівних механізмів з поворотними колодками. Конструкція робочих гальмівних циліндрів барабанних гальмівних механізмів задніх коліс дозволяє автоматично регулювати необхідний мінімальний зазор між колодками та барабаном. Порівняно з іншими існуючими типами барабанних гальмівних механізмів, розглянуті типи барабанних гальмівних механізмів застосовуються на досліджуваних моделях автомобілів через їх більш просту конструкцію та більшу надійність.

У порівнянні з дисковими гальмівними механізмами барабанні гальмівні механізми дешевші, мають кращий захист від вологи, пилу та бруду, і, незважаючи на те, що гальмівні колодки зношуються нерівномірно, вони довго служать. Вони повільніше охолоджуються, але менш схильні до перегріву. Відмінність робочих гальмівних циліндрів барабанних гальмівних механізмів від робочих гальмівних циліндрів дискових гальмівних механізмів полягає в тому, що їхні манжети ущільнювачів зношуються швидше та потребують заміни частіше.

Дискові гальмівні механізми перевершують барабанні механізми компактністю, кращим охолодженням і, найважливіше, більшою чутливістю до керованих впливів і стабільністю роботи при різних швидкостях руху автомобіля. Це робить гальмування автомобіля більш точним і ефективним у критичних ситуаціях і при високій швидкості. Зазначені переваги мотивували використання гальмівних дискових механізмів на передніх осях автомобіля, оскільки вони відповідають за більше навантаження та активну безпеку керованих коліс. Недоліками дискових гальмівних механізмів порівняно з барабанними є те, що вони дорожчі та що гальмівні колодки потрібно замінювати частіше. Але заміна колодок у дискових гальмівних механізмах складніша, ніж у барабанних.

Завдяки тому, що запасна гальмівна система є частиною робочої гальмівної системи, вона дозволяє автомобілю гальмувати за допомогою механізмів

справного контуру гідравлічного приводу, але це робить його менш ефективним [10].

Стоянкова гальмівна система допомагає автомобілю залишатися нерухомим під час стоянки та за відсутності водія. Вона також запобігає тому, щоб автомобіль відкочувався назад, коли він стоїть на підйомі. У разі несправності обох контурів гідравлічного приводу вона також може бути використана для аварійної зупинки автомобіля. Незважаючи на те, що стоянкова гальмівна система легкових автомобілів має керуючий пристрій і привід, які відрізняються від робочої гальмівної системи, гальмівні механізми задніх коліс все ще суміщені з гальмівною системою. Важливою частиною гальмівної системи стоянки є важіль, який приводиться в дію за рахунок м'язової сили руки водія, що робить систему м'язовою. Цей тип гальмівної системи іноді називають ручним гальмом.

Механічний тросовий привід стоянкової гальмової системи з'єднує важіль управління з гальмівними механізмами задніх коліс автомобіля. У конструкції барабанних гальмівних механізмів задніх коліс є спеціальний механічний розтискний пристрій, який розтискає гальмівні колодки, щоб загальмувати задні колеса автомобіля, коли гальмівна система стоянки використовується. Порівняно з гідравлічним приводом, механічний привід гальмівних механізмів потребує регулювання під час роботи, щоб забезпечити достатню ефективність роботи при зносі гальмівних колодок. Тим не менш, він має значну перевагу порівняно з гідравлічним і, особливо, пневматичним приводом, оскільки він зберігає зусилля, що прикладається до колодок гальмівних механізмів, протягом практично необмеженого періоду часу. Механічний привід був обраний для використання в гальмівних стоянкових системах досліджуваних автомобілів через його переваги, простоту та високу надійність.

2.2 Вимоги до гальмівних систем автомобіля

У зв'язку з тим, що гальмування має вирішальне значення для забезпечення безпеки руху автомобіля, гальмівні системи повинні бути справними та працювати ефективно під час експлуатації. Правила дорожнього руху забороняють керувати автомобілем, якщо є проблеми з робочою

гальмівною системою. Також забороняється керувати автомобілем, якщо ефективність робочої та стоянкової гальмівних систем не відповідає стандартам, а також якщо гідравлічний гальмівний привід не герметичний.

Випробування гальмівних систем автомобілів проводяться відповідно до ДСТУ 3649:2010 [3].

Найточніше визначення ефективності гальмівних систем можна отримати під час випробування автомобіля на спеціальному стенді діагностики барабанного типу. Величина питомої гальмівної сили гальмівної системи на колесах автомобіля (не менше 64 %) визначає ефективність робочої гальмівної системи. Питома гальмівна сила для передньої та задньої осей автомобіля визначається як відношення розвитку гальмівної сили на кожній осі гальмівної сили до маси автомобіля, що припадає на неї. У цьому випадку питома гальмівна сила колеса однієї осі не повинна відрізнятися від 9%, а зусилля, що подається до педалі гальма, не повинно перевищувати 50 кг.

При випробуванні на стенді стоянкова гальмівна система повинна забезпечувати загальну питому гальмівну силу на задніх колесах 16%, не рахуючи нерівномірної дії гальмівної системи на кожному колесі. При цьому зусилля важеля управління гальмівної системи стоянки не повинно перевищувати сорока кілограмів.

При проведенні технічного огляду автомобіль також може бути випробуваний на спеціальному майданчику, щоб визначити ефективність його гальмівних систем. Випробування робочої гальмівної системи проводиться шляхом одноразового натискання на педаль гальма. Автомобіль гальмується на ділянці з рівним, сухим і чистим цементно-або асфальтобетонним покриттям при швидкості 40 км/год. При цьому гальмівний шлях легкового автомобіля повинен становити не більше 14,7 м, а уповільнення – не менше 5,8 м/с² за показами спеціального пристрою, відомого як деселерометр [10, 11].

Установка автомобіля на спеціальній похилій естакаді може бути використана для випробування гальмівної системи стоянки. На ухилі повна маса автомобіля повинна бути близькою до 16 %, а споряджена маса до 23 %.

Заміна гальмівних колодок проводиться в два етапи під час експлуатації автомобіля: або одночасно на обох гальмівних механізмах передніх коліс, або

одночасно на обох гальмівних механізмах задніх коліс. Це робиться для того, щоб автомобіль був більш стійким при гальмуванні.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Методи та засоби діагностування гальмівної системи автомобілів

Існує низка недоліків у процесі оцінки технічних параметрів гальмівної системи легкових автомобілів. Зокрема, більшість методів оцінки технічного стану окремих вузлів гальмівної системи були розроблені понад 30 років тому і були орієнтовані на автомобілі, вироблені в 70-80-ті роки минулого століття. Цей підхід неефективний для оцінки окремих характеристик технічного стану агрегатів автомобіля. Це пов'язано насамперед з тим, що поточні методи не враховують низку експлуатаційних факторів, які впливають на ефективність постановки діагнозу, що може вплинути на кінцевий висновок про технічний стан гальмівної системи транспортного засобу [9].

Загальні та диференціальні методи діагностування використовуються для оцінки технічного стану гальмівних систем автомобілів відповідно до вимог ДСТУ 3649:2010 [3]. Ці методи можуть проводитися в реальних (дорожніх) або випробувальних (стендових) умовах.

Розглянемо основний поелементний метод діагностики гальмівної системи транспортного засобу, під час якого визначають:

- питомі гальмівні сили та їх співвідношення на колесах осей транспортного засобу;
- час роботи гальмівної системи.

Функціональне діагностування гальмівних систем автомобілів проводиться на роликівих гальмівних стендах як в Україні, так і за кордоном [10]. Однак вони мають деякі недоліки, які знижують точність результатів діагностики, наприклад:

- нездатність виміряти звичайні реакції на бігових барабанах стенду;
- гірші умови контакту шин з роликами (площа контакту з дорогою на 20-35% менша).

Відповідно до ДСТУ 3649:2010, перевірка технічного стану гальмівних систем автомобілів проводиться в реальному часі. Цей стандарт передбачає

проведення технічної оцінки стану гальмівних систем автомобілів як на стенді, так і в реальних (дорожніх) умовах.

Використовуючи різні силові параметри, ефективність робочої гальмівної системи оцінюється за ефективністю гальмування та стійкістю автомобіля при гальмуванні.

Питома гальмівна сила є одним із найбільш інформативних параметрів. Відповідно до стандарту ДСТУ 3649:2010 [3] питома гальмівна сила на колесах осей визначається за допомогою гальмівних сил, які вимірюються в момент автоматичного відключення мотор-редукторів стенду або в момент досягнення гранично допустимого зусилля на органі управління гальмівної системи, згідно з формулою, наведеною нижче:

$$\gamma_k = \frac{\sum F_{xi}}{m_0 \cdot x} = \frac{\sum F_{xi}}{G_k} \quad (3.1)$$

де $\sum F_{xi}$ – сума гальмівних сил на колесах осі, що діагностується;

m_0 – маса, що припадає на вісь, що діагностується;

g – прискорення вільного падіння;

G_k – вага автомобіля, що припадає на вісь, що діагностується [7].

Коли автомобіль гальмується на стенді з біговими барабанами, зусилля на педаль гальма збільшується за час приведення 46 секунд, якщо в посібнику з експлуатації стенда не вказано інше значення.

У той же час ДСТУ 3649:2010 не регулює спосіб вимірювання нормального навантаження на колесах осі, що діагностуються, на стендах з біговими барабанами.

На роликівих стендах встановлені датчики вимірювання гальмівних сил на колесах автомобіля (поздовжніх реакцій) і ваги автомобіля, що припадає на діагностовану вісь (нормальну реакцію), щоб вимірювати контрольовані параметри.

У результаті перевірки значення гальмівних сил кожного з коліс автомобіля використовуються для визначення відносної різниці гальмівних сил, яка показує стійкість автомобіля при гальмуванні.

Багато вчених вважають, що чинний стандарт ДСТУ 3649:2010 є хибним щодо вимірювання часу спрацьовування гальмівної системи автомобіля при його діагностуванні на стендах.

Виходячи з вищенаведеної інформації, оцінка технічного стану гальмівної системи автомобіля вимагає врахування великої кількості критеріїв, які мають різне значення та масштаби. Це пов'язано з тим, що поняття технічного стану об'єкта є складним і складається з великої кількості часткових параметрів оцінки. Окремі діагностичні показники стану вузлів гальмівної системи входять до таких часткових показників технічного стану транспортного засобу. Це означає, що кожен параметр має якісні та кількісні одиниці виміру. Наприклад, час спрацьовування гальм при швидкості 50 км/год вимірюється в секундах, а стан шин визначається двома якісними значеннями «справні/несправні». Таким чином, оцінка загального технічного стану гальмівної системи транспортного засобу є складним завданням, яке вимагає інтегральної оцінки за допомогою спеціальної математичної техніки. Метод побудови функцій бажаності, один із методів теорії нечітких множин, може бути використаний для вирішення цієї проблеми.

3.2 Узагальнена та часткова функція бажаності Харінгтона

Методика теорії нечітких множин, яка базується на об'єднанні часткових показників якості в узагальнений, або узагальнену функцію бажаності, є однією з найбільш зручних для практичного використання методів математичного моделювання під час аналізу технічного стану енергетичного обладнання [12].

Для побудови узагальненої функції бажаності D пропонується перетворити вимірні значення різних критеріїв у безрозмірну шкалу бажаності d . Безрозмірна психофізична шкала є шкалою бажаності, яка перетворює значення часткових критеріїв. Вона визначає відповідність між значеннями критеріїв у фізичних шкалах і психофізичних параметрах, тобто суб'єктивними оцінками бажаності відповідних значень. У шкалі значення бажаності більше, ніж значення критерію. Для перетворення значень кожного критерію в шкалу бажаності множина цих значень поділяється на підмножини, за допомогою яких

дослідник може сказати, що якість об'єкта близька до оцінки «добре», «задовільно» або «погано» (можливі додаткові градації) [13].

Побудова шкали бажаності, яка встановлює співвідношення між значенням критерію y і відповідним йому значенням d (частковою функцією бажаності), є суб'єктивною і відображає ставлення дослідника до окремих критеріїв.

Побудова шкали бажаності, яка визначає зв'язок між значенням критерію y та відповідним значенням d , також відомим як часткова функція бажаності, є суб'єктивною і відображає ставлення дослідника до різних критеріїв.

Хоча існують різні варіанти побудови шкали бажаності, метод кількісних оцінок зручно використовувати, коли інтервал значень бажаності d становить від нуля до одиниці. Значення $d = 0$ (або $D = 0$) вказує на найгірше значення критерію, а значення $d = 1$ ($D = 1$) вказує на найкраще значення. Отже, подальше поліпшення критерію або неможливе, або не має значення [14]. Табл. 3.1 містить середні значення бажаності та відповідні числові значення.

Таблиця 3.1. Базові позначки шкали бажаності

Кількісна відмітка на шкалі бажаності d	Бажаність значення критерію y
0,80 - 1,00	Дуже добре
0,63 - 0,80	Добре
0,37 - 0,63	Задовільно
0,20 - 0,37	Погано
0,00 - 0,20	Дуже погано

Найпростіший тип перетворення — це коли значення критеріїв мають верхню і (або) нижню межі, які не можуть змінюватися. Значення d , яке знаходиться поза встановленими межами, дорівнює 1, а значення d , яке знаходиться між ними, рівне 0 [15].

При односторонньому обмеженні часткова функція бажаності виглядає наступним чином:

$$\begin{aligned}
 d &= 0, y < y_{\min} \\
 d &= 1, y \geq y_{\min}
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Аналогічним чином можна отримати часткову функцію бажаності, якщо задано обмеження критерію зверху.

Якщо для даного параметру існує обмеження з двох сторін, то:

$$\begin{aligned} d &= 0, y < y_{\min} \text{ і } y > y_{\max}, \\ d &= 1, y_{\min} \leq y \leq y_{\max}. \end{aligned} \quad (3.2)$$

Рис. 3.1 і 3.2 показують приклади функцій бажаності при односторонньому та двосторонньому обмеженню критерію.

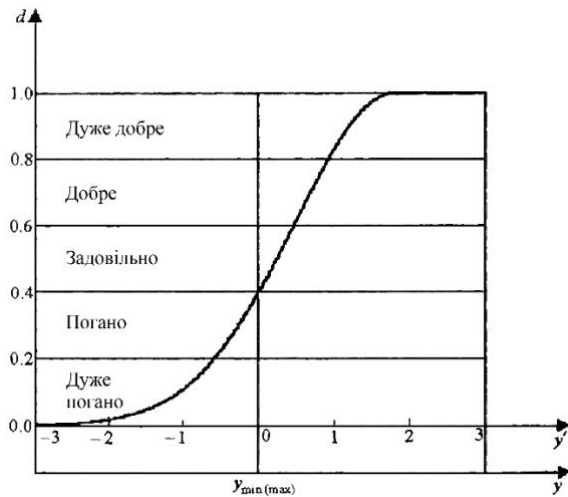


Рисунок 3.1. Функція бажаності для критерію, обмеженого з однієї сторони

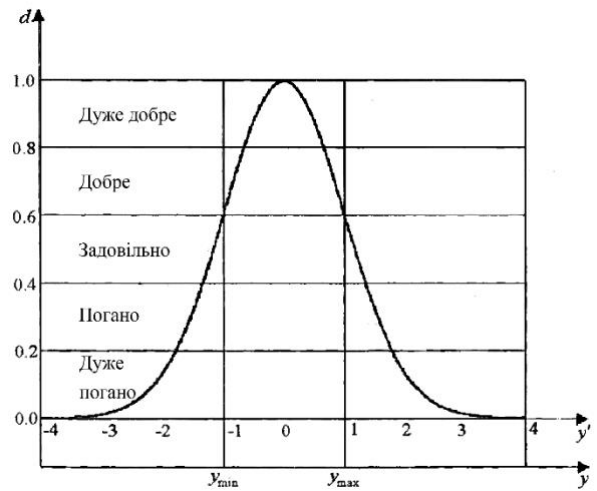


Рисунок 3.2. Функція бажаності для критерію, обмеженого з двох сторін

Завжди бажано, щоб значення відгуку знаходилися не тільки між граничними значеннями, але й на певній відстані від них через випадкові коливання, які виникають під час виробничого процесу. Для двостороннього обмеження вимірний критерій y перетворюється в шкалу d за допомогою виразу:

$$d = \exp(-|y'|^n), \quad (3.3)$$

де n - додатне число, не обов'язково ціле;

$$y' = \frac{2y - (y_{\max} + y_{\min})}{y_{\max} - y_{\min}} \quad (3.4)$$

За допомогою наступної формули можна обчислити показник ступеня n , задавши вимірному значенню y відповідне значення бажаності, яке переважно знаходиться в інтервалі $0,6 < d' < 0,9$:

$$n = \frac{\ln(\ln \frac{1}{d'})}{\ln|y'|} \quad (3.5)$$

Інша експоненціальна залежність може використовуватися для односторонніх обмежень виду $y \leq y_{\max}$ або $y \geq y_{\min}$ для більш зручної форми перетворення у в d [16]:

$$d = \exp[-\exp(-y')] \quad (3.6)$$

де d - часткова функція бажаності, а y' обчислюється за формулою:

$$y' = b_0 + b_1 y \quad (3.7)$$

Коефіцієнти b_0 і b_1 можна можна знайти, якщо задати відповідні значення бажаності для двох значень y , переважно в інтервалі 0,2–0,8.

Загальний показник якості процесу D можна вивести, як згортку часткових функцій бажаності, перетворивши кілька критеріїв в шкалу бажаності. Використовуючи цю шкалу, можна створити середню геометричну згортку:

$$D_G = \prod_{1 \leq i \leq q} d_i^{\alpha_i} = \exp[-\sum_{i=1}^q \alpha_i \exp(-y'_i)], \quad (3.8)$$

де i – число аналізованих параметрів;

α_i – вагові коефіцієнти, які вказують на значимість часткових критеріїв:

$$0 \leq \alpha_i \leq 1, \quad \sum_{i=1}^q \alpha_i = 1.$$

Для α_i рекомендується використовувати метод часткових статистик [17]. Завдяки цьому методу можна отримати значення вагових коефіцієнтів, які базуються на статистиці по частковим критеріям y_i . Для цього по кожному критерію розраховуються оцінки середнього квадратичного відхилення.

$$s_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{ji} - \bar{y}_j)^2}{n-1}}. \quad (3.9)$$

Обчислення α_i виконується за допомогою співвідношення:

$$\alpha_i = \frac{s_j}{\sum_{j=1}^q s_j}. \quad (3.10)$$

Число параметрів систем або об'єктів, які мають бути оцінені та порівняні за допомогою функції бажаності, може бути різним. Це дозволяє порівнювати

узагальнені коефіцієнти навіть у випадках, коли параметри або їхні значення відсутні. Корінь n -го ступеню «згладжує» виникаючі відхилення [18, 19]. Результат, який він дає, дозволяє оцінити систему або об'єкт досить точно. Таким чином, узагальнена функція бажаності D повинна дорівнювати нулю, незалежно від значення інших відгуків, якщо один із відгуків є абсолютно незадовільним [20, 21].

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Розробка методики оцінки технічного стану гальмівної системи легкових автомобілів

Для апробації методики оцінки технічного стану гальмівної системи було виконано перетворення показників технічного стану вузлів легкового автомобіля категорії М1 у часткові функції бажаності з подальшим розрахунком інтегрального узагальненого показника бажаності D . Зроблено припущення, що залежність між контрольованим параметром і частковою функцією бажаності є лінійною. Таким чином, найкраще значення параметра є найбільшим значенням бажаності d , а гранично допустиме значення параметра відповідає найменшому рівню бажаності. Табл. 4.1 містить види контрольованих параметрів гальмівної системи автомобіля і гранично допустимі значення згідно з [22, 23].

Таблиця 4.1. Види контрольованих параметрів гальмівної системи автомобіля і гранично допустимі

№	Фактор	Од. вимірювання	Норматив
1	Сумарний кутовий зазор, y_1	град	<10
2	Максимальне зусилля, y_2	Н	<13
3	Стан рульових тяг, y_3	б/р	справні
4	Тиск повітря в шинах, y_4	bar	2,0 – 2,5
5	Висота рисунку протектора, y_5	мм	>1,6
6	Стан шин, y_6	б/р	без пошкоджень
7	Час спрацювання, передні колеса, y_7	с	<0,2
8	Осьова нерівномірність, передні колеса, y_8	%	<20
9	Час спрацювання, задні колеса, y_9	с	<0,2
10	Осьова нерівномірність, задні колеса, y_{10}	%	<20
11	Загальна питома гальмівна сила, y_{11}	б/р	>0,59
12	Еквівалентний гальмівний шлях, y_{12}	м	<21,6
13	Еквівалентне сповільнення, сухе покриття, y_{13}	м/с ²	>6,7
14	Еквівалентне сповільнення, мокре покриття, y_{14}	м/с ²	>5,0
15	Час наростання сповільнення, сухе покриття, y_{15}	с	<0,4

16	Час наростання сповільнення, мокре покриття, y_{16}	с	<0,3
17	Антиблокувальна система, y_{17}	б/р	справна

Одностороннє обмеження мають контрольовані параметри наступного типу:

- сумарний кутовий зазор
- еквівалентний гальмівний шлях
- максимальне зусилля
- еквівалентне сповільнення, сухе покриття
- стан рульових тяг
- еквівалентне сповільнення, мокре покриття
- висота рисунку протектора
- час наростання сповільнення, сухе покриття
- стан шин
- час спрацювання, передні колеса
- час наростання сповільнення, мокре покриття
- осьова нерівномірність, передні колеса
- час спрацювання, задні колеса
- осьова нерівномірність, задні колеса
- антиблокувальна система
- загальна питома гальмівна сила

Вираз (3.6) використовувався для перетворення значень контрольованих параметрів виду $y \leq y_{\max}$, $y \geq y_{\min}$ в частковій бажаності d . Для визначення коефіцієнтів b_0 і b_1 , які входять до виразу (3.7), було встановлено наступні співвідношення: гранично допустиме значення контрольованого параметра згідно з [22, 23] відповідає рівню бажаності, рівному 0,2, що означає «погано», а найвище значення бажаності становить 0,8, що означає «дуже добре» (табл. 4.2).

Таблиця 4.2. Базові значення функцій бажаності і відповідні значення контрольованих параметрів

Вид контрольованого параметра	Значення контрольованого параметра	Значення часткової функції бажаності	Бажаність значення параметра
Сумарний кутовий зазор, y_1 , град	1	0,8	добре
	10	0,2	погано
Максимальне зусилля, y_2 , Н	1	0,8	добре

	13	0,2	погано
Стан рульових тяг, у3, б/р	справні	0,8	добре
	несправні	0,2	погано
Висота рисунку протектора, у5, мм	3,2	0,8	добре
	1,6	0,2	погано
Стан шин, у6, б/р	без пошкоджень	0,8	добре
	з пошкодженнями	0,2	погано
Час спрацювання, передні колеса, у7, с	0,01	0,8	добре
	0,5	0,2	погано
Осьова нерівномірність, передні колеса, у8, %	1	0,8	добре
	20	0,2	погано
Час спрацювання, задні колеса, у9, с	0,01	0,8	добре
	0,5	0,2	погано
Осьова нерівномірність, задні колеса, у10, %	1	0,8	добре
	20	0,2	погано
Загальна питома гальмівна сила, у11, б/р	1,0	0,8	добре
	0,59	0,2	погано
Еквівалентний гальмівний шлях, у12, м	0,1	0,8	добре
	21,6	0,2	погано
Еквівалентне сповільнення, сухе покриття, у13, м/с ²	8,0	0,8	добре
	5,8	0,2	погано
Еквівалентне сповільнення, мокре покриття, у14, м/с ²	6,8	0,8	добре
	4,0	0,2	погано
Час наростання сповільнення, сухе покриття, у15, с	0,3	0,8	добре
	0,6	0,2	погано
Час наростання сповільнення, мокре покриття, у16, с	0,2	0,8	добре
	0,5	0,2	погано
Антиблокувальна система, у17, б/р	справна	0,8	добре
	несправна	0,2	погано

Згідно з (3.6) маємо:

$$\begin{aligned}
 0.8 &= \exp[-\exp(-y')], \text{звідси } y' = 1.5; \\
 0.2 &= \exp[-\exp(-y')], \text{звідси } y' = -0.4759.
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

Коефіцієнти b_0 і b_1 для сумарного кутового зазору y_1 можна знайти за допомогою наступної системи рівнянь:

$$\begin{cases} b_0 + 1 \cdot b_1 = 1.5, \\ b_0 + 10 \cdot b_1 = -0.4759. \end{cases} \quad (4.2)$$

Відповідно до даних табл. 4.2 після розв'язання даної системи отримаємо $b_0 = 1.72, b_1 = -0.22$. Аналогічно за даними табл. 4.2 визначено коефіцієнти b_0 і b_1 для максимального зусилля y_2 , стану рульових тяг y_3 , висоти рисунку протектора y_5 , стану шин y_6 , часу спрацювання гальм для передніх колес y_7 , осьової нерівномірності для передніх колес y_8 , часу спрацювання гальм для задніх колес y_9 , осьової нерівномірності для задніх колес y_{10} , загальної питомої гальмівної сили y_{11} , еквівалентного гальмівного шляху y_{12} , еквівалентного сповільнення при сухому покритті y_{13} , еквівалентного сповільнення при мокрому покритті y_{14} , часу наростання сповільнення при сухому покритті y_{15} , часу наростання сповільнення при мокрому покритті y_{16} та стану антиблокувальної системи y_{17} .

В результаті було встановлено залежності часткових функцій бажаності від стандартних значень контрольованих параметрів гальмівної системи легкового автомобіля:

$$d_1 = \exp\left[-\exp(-1.72 + 0.22 \cdot y_1)\right], \quad (4.3)$$

$$d_2 = \exp\left[-\exp(-1.665 + 0.165 \cdot y_2)\right], \quad (4.4)$$

$$d_3 = \exp\left[-\exp(0.476 - 1.976 \cdot y_3)\right], \quad (4.5)$$

$$d_5 = \exp\left[-\exp(2.459 - 1.235 \cdot y_5)\right], \quad (4.6)$$

$$d_6 = \exp\left[-\exp(0.476 - 1.976 \cdot y_6)\right], \quad (4.7)$$

$$d_7 = \exp\left[-\exp(-1.54 + 4.032 \cdot y_7)\right], \quad (4.8)$$

$$d_8 = \exp\left[-\exp(-1.604 + 0.104 \cdot y_8)\right], \quad (4.9)$$

$$d_9 = \exp\left[-\exp(-1.54 + 4.032 \cdot y_9)\right], \quad (4.10)$$

$$d_{10} = \exp\left[-\exp(-1.604 + 0.104 \cdot y_{10})\right], \quad (4.11)$$

$$d_{11} = \exp\left[-\exp(3.319 - 4.819 \cdot y_{11})\right], \quad (4.12)$$

$$d_{12} = \exp\left[-\exp(-1.509 + 0.092 \cdot y_{12})\right], \quad (4.13)$$

$$d_{13} = \exp\left[-\exp(5.685 - 0.898 \cdot y_{13})\right], \quad (4.14)$$

$$d_{14} = \exp\left[-\exp(3.299 - 0.706 \cdot y_{14})\right], \quad (4.15)$$

$$d_{15} = \exp\left[-\exp(-3.476 + 6.586 \cdot y_{15})\right], \quad (4.16)$$

$$d_{16} = \exp\left[-\exp(-2.817 + 6.586 \cdot y_{16})\right], \quad (4.17)$$

$$d_{17} = \exp\left[-\exp(-1.68 + 0.087 \cdot y_{17})\right]. \quad (4.18)$$

Вираз (3.3) використовувався для перетворення значень контрольованих параметрів у частковій бажаності d , коли були наявні двосторонні обмеження на контрольовані параметри виду $y_{\min} \leq y \leq y_{\max}$. З урахуванням лінійної залежності між значенням часткової функції бажаності та значенням контрольованого параметра встановлені наступні співвідношення, щоб визначити показник ступеню n , який входить до виразу (3.3): гранично допустиме значення контрольованого параметра (y_{\max} , y_{\min}) становить 0,2, а найкраще значення – 0,8 (табл. 4.3).

Таблиця 4.3. Базові значення функцій бажаності і відповідні значення контрольованих параметрів

Вид контрольованого параметра	Значення контрольованого параметра	Значення часткової функції бажаності	Бажаність значення параметра
Тиск повітря в шинах, y_4 , bar	2,3	0,8	добре
	1,9	0,2	погано
Коефіцієнт зчеплення, y_{18} , б/р	0,8	0,8	добре

	0,2	0,2	погано
--	-----	-----	--------

За формулою (3.5) визначимо коефіцієнт n для величини тиску повітря в шинах автомобіля y_4 , попередньо визначивши коефіцієнт y' за формулою (3.4):

$$y' = \frac{2 \cdot 2.1 - (2.3 + 1.9)}{2.3 - 1.9} = 0,25; \quad (4.19)$$

$$n = \frac{\ln[\ln(\frac{1}{0.757})]}{\ln|y'|} = 0.922. \quad (4.20)$$

Таким чином, часткова функція бажаності буде залежати від стандартних значень тиску повітря в шинах транспортного засобу, і матиме наступний вигляд:

$$d_4 = \exp[-\exp(y'_4)^{0.922}] \quad (4.21)$$

Аналогічно було отримано залежність часткової функції бажаності від нормативних значень коефіцієнта зчеплення шин з поверхнею:

$$d_{18} = \exp[-\exp(y'_{18})^{0.875}] \quad (4.22)$$

В табл. 4.4 наведено фрагмент масиву значень контрольованих параметрів п'яти легкових автомобілів категорії М1 – ВАЗ 2107, ВАЗ 2108, ВАЗ 2109 і ВАЗ 2121, які були отримані під час проходження ТО і діагностики транспортних засобів. Ці значення перераховані в частковій функції бажаності d за виразами (4.3-4.18, 4.21-4.22) (табл. 4.5). Розраховані вагові коефіцієнти α для кожного з критеріїв, з урахуванням яких обчислено узагальнену функцію бажаності D за формулою (8).

Таблиця 4.4. Значення контрольованих діагностичних параметрів легкових автомобілів

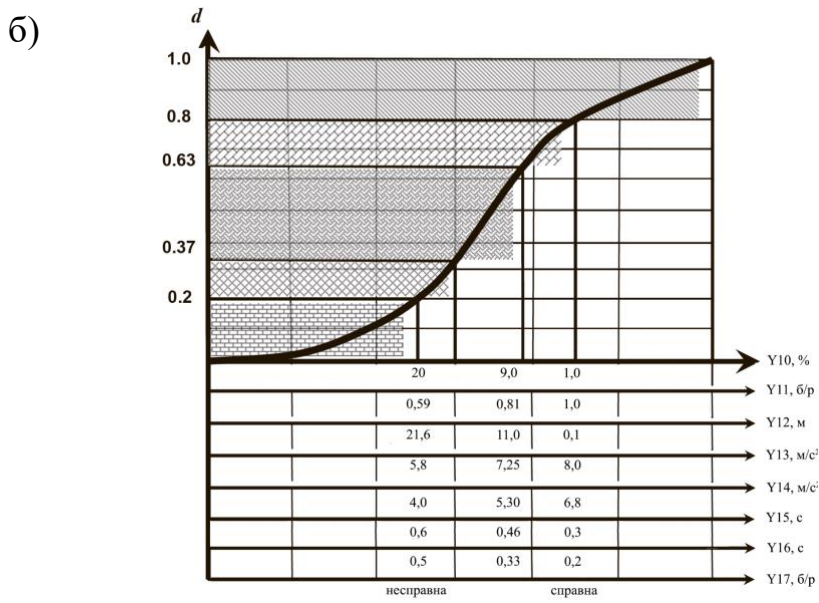
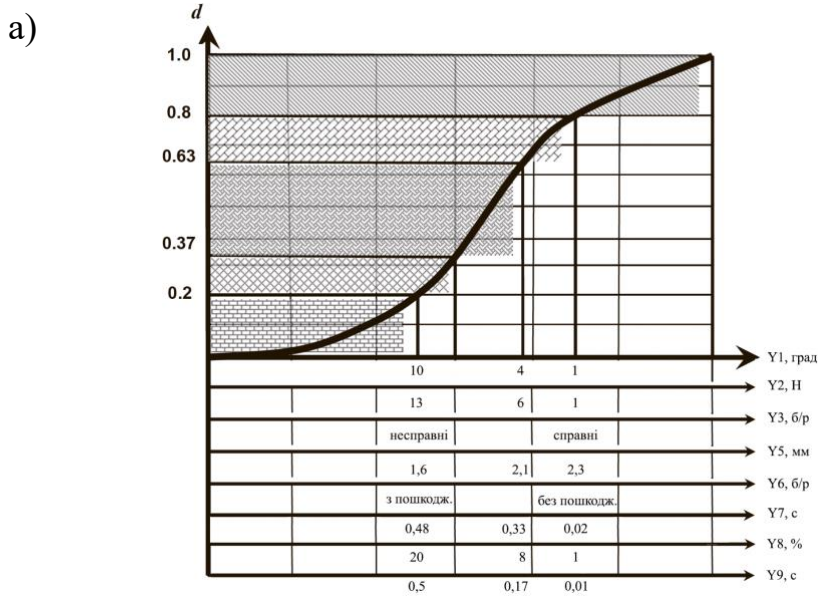
№	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9	y_{10}	y_{11}	y_{12}	...	y_{16}	y_{17}	y_{18}
1	9,00	10,00	справні	2,30	3,20	б/п	0,02	17,00	0,03	14,00	0,98	11,00	⋮	0,2	справна	0,75
2	10,00	4,00	несправн	2,00	3,00	б/п	0,10	5,00	0,14	9,00	0,81	15,00	⋮	0,25	справна	0,6

5	4	3
4,00	6,00	5,00
10,00	11,00	6,00
справні	несправні	справні
1,90	2,20	2,00
1,70	2,50	2,80
з/п	з/п	б/п
0,31	0,48	0,11
8,00	6,00	9,00
0,32	0,41	0,17
15,00	14,00	14,00
0,76	0,61	0,74
18,00	12,00	18,00
:	:	:
0,48	0,4	0,33
справна	несправна	справна
0,25	0,65	0,5

Таблиця 4.5. Функції бажаності

	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8	d_9	d_{10}	d_{11}	d_{12}	...	d_{16}	d_{17}	d_{18}	D	
α	0,06	0,05	0,06	0,07	0,07	0,06	0,07	0,05	0,06	0,03	0,06	0,03	...	0,07	0,06	0,08		
1	0,273	0,373	0,718	0,800	0,799	0,718	0,793	0,308	0,785	0,422	0,782	0,544	...	0,800	0,718	0,785	0,744	добре
2	0,199	0,693	0,338	0,464	0,750	0,718	0,726	0,713	0,686	0,599	0,573	0,415	...	0,733	0,718	0,687	0,592	задов.
3	0,584	0,601	0,718	0,464	0,692	0,718	0,716	0,599	0,653	0,422	0,458	0,314	...	0,591	0,718	0,611	0,631	добре
4	0,512	0,313	0,338	0,711	0,587	0,338	0,227	0,687	0,326	0,422	0,432	0,513	...	0,435	0,338	0,713	0,365	погано
5	0,649	0,373	0,718	0,200	0,239	0,338	0,473	0,630	0,459	0,384	0,492	0,314	...	0,244	0,338	0,245	0,358	задов.

На основі отриманих часткових функцій бажаності побудовано графіки критеріїв бажаності, зображені на рис. 4.1.



в)

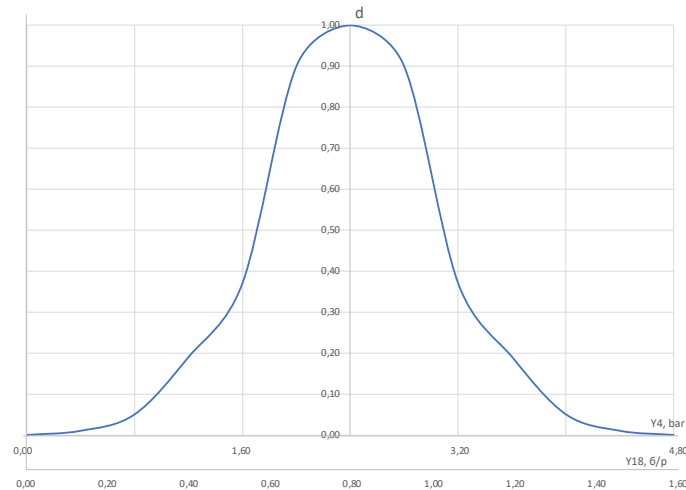


Рисунок 4.1. Графіки функцій бажаності для параметрів з одностороннім (а, б) і двостороннім обмеженням (в)

Проаналізуємо результати для легкового автомобіля №4 моделі ВАЗ 2109. Таблиця 4.5 показує, що значення функції D для цього транспортного засобу дорівнює 0,369, що вказує на загальний незадовільний технічний стан автомобіля. Проаналізуємо часткові функції бажаності контрольованих параметрів конкретного автомобіля, щоб визначити окремі вузли та агрегати, які вплинули на загальну оцінку технічного стану автомобіля. З табл. 6 видно, що значення d_2 , d_3 , d_6 , d_7 , d_9 і d_{22} відповідають рівню бажаності «погано», що означає, що значення контрольованих параметрів «максимальне зусилля», «стан рульових тяг», «стан шин», «час спрацювання гальм, передні колеса», «осьова нерівномірність, задні колеса» та «антиблокувальна система» не відповідають встановленим в [22, 23]. Отже, загальний технічний стан автомобіля №4, отриманий під час проходження ТО, свідчить про те, що несправності та передаварійний стан вищезазначених вузлів можуть стати причиною ДТП.

У процесі технічної діагностики можна використовувати узагальнену функцію бажаності D , щоб детально оцінити технічний стан транспортного засобу [24]. Це дозволяє зробити діагностичний висновок про вплив технічного стану окремих вузлів транспортного засобу на його загальний технічний стан, а саме:

- для $D < 0,37$ – окремі агрегати транспортного засобу знаходились у передаварійному стані. Несправність конкретних вузлів автомобіля стала причиною його загального незадовільного технічного стану;

- для $0,37 < D < 0,63$ – вузли автомобіля були у справному стані. Однак, важливо звернути увагу на ті агрегати транспортного засобу, які демонструють початкові ознаки незадовільного технічного стану. Їх більш детальне діагностування може дати додаткові дані про те, як дані агрегати впливають на погіршення загального технічного стану транспортного засобу. Крім того, технічний стан цих вузлів автомобіля може вказувати на проведення позапланового технічного обслуговування або заміни, щоб зменшити ймовірність того, що вони будуть причиною виходу з ладу у майбутньому;
- для $D > 0,63$ – вузли транспортного засобу знаходяться у справному стані. Агрегати автомобіля не потребують проведення додаткового діагностування та ТО.

4.2. Методика оцінки фактичного залишкового ресурсу вузлів гальмівної системи на основі узагальненого показника технічного стану

Вирішення проблеми оцінки індивідуального ресурсу на практиці ускладнюється з наступних причин:

- поточний контроль стану вузлів гальмівної системи обмежений певною кількістю показників, тоді як прийняття рішення про продовження ресурсу вимагає поточної оцінки всієї множини діагностичних показників
- необхідно враховувати не лише локальні часткові показники ресурсу, але й узагальнені агреговані показники, щоб показати стан агрегату в цілому. За допомогою цих показників можна було б приймати обґрунтовані рішення щодо планування додаткових ТО і ремонтних робіт.

Таким чином, для реалізації індивідуального підходу до планування профілактичних робіт необхідні не тільки діагностичні системи контролю стану вузлів транспортних засобів, але й відповідні методичні та алгоритмічні основи для оцінки залишкового ресурсу агрегатів відповідно до їх поточного стану, які базуються на систематизації інформації про діагностичні показники експлуатації [25]. Результати обстежень під час ремонтних робіт, результати поточного контролю з використанням різних методів, статистика аварій і експертні оцінки є кількома

джерелами інформації, які повинні використовуватися для визначення показників процесу зміни ресурсу вузлів автомобіля під час експлуатації.

Для складних агрегатів можна контролювати десятки і більше діагностичних показників. Таким чином, частковий ресурс кожного параметра оцінюється окремо від інших. Як результат – контрольований агрегат характеризується великою кількістю часткових ресурсів:

$$\{r_i(t): i \in I_r\}, \quad (4.33)$$

де $r_i(t)$ - частковий ресурс агрегату по i -му показнику працездатності; I_r - індексна множина часткових ресурсів.

У наш час існує багато різних методів оцінки та контролю технічного стану вузлів транспортних засобів, але їх основна мета полягає в тому, щоб знайти найбільш проблемні частини діагностованого агрегату [26]. Цей метод оцінки ресурсу вимагає встановлення таких показників працездатності, за яких частковий ресурс контрольованих вузлів автомобіля є мінімальним. Аналітично, цей метод можна описати таким чином:

$$r_{\min}(t) = \min_{(i \in I_r)} \{r_i(t)\}, \quad (4.34)$$

де $r_{\min}(t)$ - оцінка критичного ресурсу агрегату.

Для окремих вузлів автомобіля такий підхід, безсумнівно, є виправданим, оскільки він дозволяє одночасно вирішувати проблему діагностики технічного стану та проводити профілактичні ТО і ремонти, спрямовані на запобігання аваріям. Отже, деталізований контроль часткових показників є обов'язковим для всіх методів оцінки передаварійних ситуацій.

Але цей метод має недоліки. По-перше, контрольовані показники ефективності завжди обмежені. Непрогнозована аварія може виникнути через неконтрольовані параметри. Отже, оцінка критичного ресурсу контрольованого агрегату є неповною і повинна розглядатися в якості однієї з можливих, але досить репрезентативних оцінок, яка потребує подальшого уточнення. По-друге, традиційні методи діагностики всієї множини вузлів гальмівної системи часто неможливі одночасно. З цієї причини вирішення завдання моніторингу загального технічного стану агрегатів автомобіля в реальному часі особливо важливе для виявлення окремих одиниць, які потребують більш детального обстеження відомими методами.

У цьому випадку оцінка надійності всього технологічного комплексу в цілому можлива за допомогою знання загального технічного стану вузлів гальмівної системи автомобіля. Крім того, це дозволяє правильно розподілити ресурси на проведення ремонтно-профілактичних робіт за типами вузлів гальмівної системи.

Для вирішення зазначених вище проблем було розроблено підхід до оцінки загального залишкового ресурсу вузлів гальмівної системи легкових автомобілів, який наведено нижче. Цей метод передбачає проведення додаткової оцінки залишкового ресурсу агрегату за допомогою узагальненого індикатора технічного стану D .

У процесі експлуатації на вузли гальмівної системи впливають багато експлуатаційних факторів, кожен з яких певною мірою впливає на її технічний стан. Припустимо, що на агрегати гальмівної системи в реальних умовах впливає N різних експлуатаційних факторів, які характеризуються величиною y_i . Фактор може бути комплексом величин, які описують характер досліджуваного експлуатаційного фактору, або будь-яким одиничним параметром, який можна виміряти. Припустимо, що на конкретний вузол гальмівної системи діє деякий фактор y_i . Коли інтенсивність впливу фактору збільшується, фактичний залишковий ресурс електрообладнання зменшується в k_i разів, а коли інтенсивність зменшується – він збільшується в рази. Таким чином, залежно від зміни величини y_i можна записати наступний вираз, щоб визначити реальний залишок ресурсу вузла шальмівної системи.

$$R_{\text{зал}}(t) = R_0 \cdot k_i(t), \quad (4.35)$$

де $R_{\text{зал}}(t)$ - реальний залишковий ресурс вузла; R_0 - нормативний ресурс вузла при $y_i = y_{\text{ном}}$; $k_i(t)$ - параметричний показник зміни діагностичного параметру y_i . Параметричний показник $k_i(t)$ можна обчислити за допомогою наступного виразу:

$$k_i(t) = \frac{y_{\text{доп}}^{\text{ав}} - y_i(t)}{y_{\text{доп}}^{\text{ав}} - y_{\text{ном}}}, \quad (4.36)$$

де $y_i(t)$ - поточне значення діагностичного параметру; $y_{\text{доп}}^{\text{ав}}$ - граничне (аварійне) значення $y_i(t)$; $y_{\text{ном}}$ - номінальне (робоче) значення $y_i(t)$.

Формула (4.35) справедлива, коли лише один i -й фактор впливає на вузли гальмівної системи автомобіля. В реальних умовах експлуатації на зміну

технічного стану агрегатів гальмівної системи впливає багато факторів. Щоб проаналізувати результати діагностичних вимірювань, уніфікувати інформацію та отримати загальну оцінку технічного стану рекомендується використовувати стратегію, описану в [27, 28]. З огляду на це, вираз (4.36) можна представити таким чином:

$$R_{\text{зал}}^i(t) = R_0 \cdot \frac{D_{\text{доп}}^{\text{ав}} - D_i(t)}{D_{\text{доп}}^{\text{ав}} - D_{\text{ном}}} \quad (4.37)$$

де $D_i(t)$ – значення поточного узагальненого показника технічного стану; $D_{\text{доп}}^{\text{ав}}$ – граничне (аварійне) значення $D_i(t)$ ($D_{\text{доп}}^{\text{ав}} = 0,37$); $D_{\text{ном}}$ – номінальне (робоче) значення $D_i(t)$ ($D_{\text{ном}} = 0,8$).

Розроблений підхід можна використовувати для оцінки реального залишкового ресурсу різних вузлів гальмівної системи легкових автомобілів.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Основні принципи та функції управління охороною праці на виробництві

Системність, оптимальність, динамічність, наступність і стандартизація є основними принципами теорії управління, на яких базується організація роботи управління охороною праці. Принцип системності передбачає, що процеси безпеки та технології повинні розглядатися одна з одною у взаємозв'язку [29].

Поєднання різноманітних заходів із безпеки праці в єдину систему постійно здійснюваних дій на всіх рівнях і стадіях управління виробництвом забезпечує системність виконання завдань управління охороною праці. Підприємство розробляє систему стандартів.

Управління охороною праці здійснюється шляхом збору та аналізу інформації для виявлення відхилень від встановлених стандартів і впливу на об'єкт управління за допомогою методів організаційно-розпоряджувальних, соціально-розпоряджувальних, соціально-психологічних і економічних.

Організаційно-функціональна схема УОП базується на координаційній ролі відділу охорони праці, який бере участь у всіх функціях управління безпекою праці.

Державні органи управління охороною праці інформують населення України відповідного регіону, працівників галузі та трудові колективи про реалізацію державної політики з охорони праці, виконання національних, територіальних чи галузевих програм із цих питань, рівень і причини аварійності, виробничого травматизму та професійних захворювань, а також про виконання своїх рішень щодо охорони життя та здоров'я працівників.

Єдина державна статистична звітність з питань охорони праці ведеться на державному рівні [30].

У системі управління охороною праці є керуючий орган, об'єкт управління та інформаційно-контрольні зв'язки. Об'єктом УОП є забезпечення найкращих умов праці та безпеки на робочих місцях, дільницях і цехах.

Служба охорони праці та керівники структурних підрозділів усіх рівнів керування галуззю, об'єднанням або підприємством є керівними органами. Управління об'єктом управління здійснюється шляхом збору та аналізу інформації, щоб виявити відхилення від встановлених стандартів і вжити заходів управління. Це досягається за допомогою методів організаційно-розпоряджувальних, економічних і соціально-психологічних.

УОП — це система з багатьох рівнів ієрархії, яка встановлює наступні рівні управління:

- галузь (управління, науково-технічний комітет, відділ охорони праці);
- організація, що складається з керівництва, науково-технічної ради та відділу охорони праці;
- виробничі компанії;
- цехи, частини цехів;
- робочі місця(конкретні виконавці) Начальник відділу охорони праці

здійснює наступні завдання:

- прогнозування та планування заходів безпеки праці;
- створити структуру організації;
- кількісна оцінка безпеки працівників;
- збір та обробка первинної інформації про стан умов праці та безпеки;
- розробка та створення списку керуючих впливів;
- стимулювання дотримання правил безпеки праці. Управління охороною праці в галузі та в підрозділах покладається на керівників в межах їх компетенції.

На підприємстві власник може створити службу охорони праці відповідно до статті 23 Закону України «Про охорону праці». Державний комітет України з нагляду за охороною праці затверджує типові положення про цю службу.

На підприємствах виробничої сфери з кількістю працівників менше 50 осіб працівники, які мають відповідну підготовку, можуть співпрацювати з працівниками, які мають відповідну підготовку.

Служба охорони праці прирівнюється до основних виробничо-технічних служб і підпорядковується безпосередньо керівникові підприємства.

Якщо підприємство мало працівників, старший інженер з охорони праці або призначена власником особа виконує організаційно-методичну роботу з усіх функцій і завдань управління охороною праці. Він також відповідає за підготовку управлінських рішень і контроль за їх виконанням.

Люди, які працюють у сфері охорони праці, не повинні покладатися на обов'язки, які не пов'язані з їхніми обов'язками. Працівники служби охорони праці працюють у тісній взаємодії з керівництвом компанії та її підрозділами під час виконання всіх заходів з охорони праці. Єдина державна система показників обліку умов і безпеки праці, затверджена наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 31.03.94 р., використовується для загальної оцінки стану умов праці та планування заходів щодо їх покращення.

Спеціалісти з охорони праці мають право надати керівникам структурних підрозділів підприємства обов'язкові вказівки щодо усунення недоліків, отримання від них необхідних відомостей, документації та пояснень з питань охорони праці. Вони також можуть вимагати відсторонення від роботи працівників, які не пройшли медичного огляду, навчання, інструктажу, перевірки знань і не мають допуску до відповідних робіт або не

Служба охорони праці може бути ліквідована лише в разі ліквідації підприємства.

Одним із основних методів економічного управління є планування заходів з охорони праці. Це включає постановку цілей, розробку програми, спрямованої на досягнення цих цілей, і оцінку того, наскільки це вдалося. Результати прогнозування повинні корелювати з основними методами вирішення проблем безпеки праці [31].

Галузеві плани визначають обсяг наукових досліджень у сфері охорони праці та очікувані результати їх впровадження. Вони також забезпечують впровадження єдиного підходу до вирішення проблем безпеки праці в галузі та визначають основні напрямки розвитку.

У масштабах об'єднань і підприємств планування включає вирішення проблем механізації та автоматизації виробничих процесів, ліквідацію ручної

праці, створення інструментів для часткової механізації, покращення вентиляції, впровадження систем контролю техніки безпеки, створення комфортних робочих місць і заходів щодо попередження професійних захворювань і травматизму.

Рішення трудового колективу з питань охорони праці може бути створено на підприємстві з кількістю працівників понад п'ятдесят осіб.

Комісія складається з представників власника, профспілок, уповноважених трудового колективу, спеціалістів із безпеки та гігієни праці та інших відділів компанії.

За погодженням з профспілками Держнагляд охорони праці затверджує типові положення комісії з питань охорони праці підприємства.

Рішення, прийняті комісією, мають рекомендаційний характер.

Контроль за станом умов і безпекою праці дозволяє виявити порушення законодавства про працю, стандартів безпеки праці та якості виконання службами та підрозділами своїх обов'язків щодо забезпечення відповідних умов і безпеки праці.

Ефективність контролю залежить від якості метрологічного забезпечення вимірювання параметрів небезпечних і шкідливих виробничих факторів; рівень безпеки технологічних процесів і обладнання; і коефіцієнти безпеки працівників.

Одним із найважливіших елементів охорони праці є фінансування та економічне стимулювання. У встановленому Кабінетом Міністрів України порядку створюються фонди охорони праці на підприємствах, в галузях і на державному рівні.

Для потреб регіону органи місцевого самоврядування можуть створювати подібні фонди.

Кошти з цього фонду використовуються на підприємстві лише для підвищення рівня безпеки праці на виробництві або дотримання нормативних вимог щодо безпеки праці.

Галузеві та державні фонди охорони праці фінансують галузеві та національні програми з питань охорони праці, наукові дослідження та проектно-конструкторські роботи, створення та розвиток спеціалізованих підприємств і виробництв, творчі групи, науково-технічні центри та експертні групи, а також

заохочення трудових колективів і окремих осіб, які плідно працюють над вирішенням проблем охорони праці.

До галузевих, регіональних і державних фондів охорони праці надсилаються кошти, отримані від відрахувань підприємств і інших джерел, а також кошти, отримані органами державного нагляду за застосування штрафних санкцій до власників згідно зі статтею 31 цього Закону, а також кошти, отримані цими органами від стягнення штрафів з працівників, які порушили правила охорони праці.

Фонд охорони праці не обкладається податками. Державний і місцевий бюджети відокремлені від витрат на охорону праці.

Працівники компанії можуть отримувати будь-які заохочення, щоб брати участь і брати участь у заходах, спрямованих на підвищення безпеки та поліпшення умов праці. Колективний договір, як-от угода чи трудовий договір, визначає види заохочень.

Чинне законодавство про оподаткування визначає, яким чином оподатковуються кошти, спрямовані на заходи щодо охорони праці.

Для підвищення продуктивності виробництва, зниження рівня травматизму та захворювань, поліпшення умов праці та безпеки працівників необхідні моральні та матеріальні стимули для працівників, які докладають зусиль для покращення умов праці та безпеки. Обсяг матеріального заохочення залежить від ролі службової особи та того, наскільки вона впливає на безпеку праці. Підприємство, об'єднання або галузь положення розробляє стимулювання.

5.2 Концепція захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій

Указ Президента України від 26 березня 1999 року No 284/99 затвердив концепцію захисту населення та території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій.

Концепція описує загальні цілі та завдання захисту громадян, які проживають на території України, земельного, водного та повітряного простору

в межах держави, об'єктів виробничого та соціального призначення, а також довкілля від надзвичайних ситуацій [32].

Виникнення надзвичайної ситуації та її класифікація Щодня в світі фіксуються тисячі подій, які порушують нормальне життя та діяльність людей. Ці події можуть призвести до смерті або значних матеріальних втрат. Такі ситуації називають надзвичайними.

Загальні характеристики НС

- наявність або загроза смерті людей або значне погіршення умов життєдіяльності людей
- загострення економічних проблем
- значне погіршення навколишнього середовища.
- аварії, катастрофи, стихійні лиха та інші події, такі як епідемії, терористичні акти, збройні конфлікти тощо, є типовими причинами надзвичайних ситуацій.

Аварії поділяються на дві групи:

1) До I категорії належать аварії, внаслідок яких загинуло 5 або травмовано 10 і більше осіб; відбувся викид отруйних, радіоактивних або біологічно небезпечних речовин у санітарно-захисну зону підприємства; концентрація забруднюючих речовин у навколишньому середовищі зросла більш як у 10 разів; зруйновано будівлі, споруди чи основні конструкції об'єкта, що поставило життя і здоров'я значної кількості працівників

2) До II категорії належать аварії, які призвели до: загибелі або травмування від 5 до 10 осіб; руйнування будівлі, споруди чи основних конструкцій об'єкта, що поставило життя чи здоров'я працівників цеху, дільниці (враховуються цехи, дільниці з більш ніж 100 працівниками).

До категорії аварій не належать порушення технологічних процесів, робота устаткування, тимчасові зупинки виробництва через спрацювання автоматичних захисних блокувань або інші локальні порушення роботи цехів, дільниць або окремих об'єктів, падіння опор і обрив дротів ліній електропередач.

Надзвичайні ситуації можуть мати різний масштаб за кількістю жертв, хворобами, моральними пошкодженнями, економічними збитками, територією, на якій вони виникли, тощо.

Надзвичайні ситуації оцінюються за кількістю жертв і ступенем впливу на оточуюче життєве середовище, тобто за рівнем системи «людина-життєве середовище». Надзвичайні ситуації на рівні індивіда можна класифікувати як надзвичайні ситуації на рівні мікроколективу, коли загроза їх виникнення чи розповсюдження впливає на сім'ю, виробничу бригаду, пасажирів тощо.

Як правило, більша площа охоплюється більшою кількістю людей, які тікають від надзвичайної ситуації. І навпаки, більше людей страждають від катастрофи чи стихійного лиха на більшій території. З цієї причини класифікації надзвичайних ситуацій за масштабом зазвичай базуються на територіальному принципі. За цим принципом надзвичайні ситуації поділяються на локальні, об'єктові, місцеві, регіональні, загальнодержавні (національні), континентальні та глобальні.

Наразі в Україні складна ситуація щодо небезпечних природних явищ, аварій і катастроф. Враховуючи тенденцію до зростання кількості надзвичайних ситуацій і тяжкість їхніх наслідків, їх розглядають як серйозну загрозу безпеці людини, суспільству та навколишньому середовищу, а також стабільності економічного зростання країни. Результати надзвичайної ситуації вимагають значної кількості людських, матеріальних і технічних ресурсів. Одним із найважливіших завдань органів виконавчої влади та управління всіх рівнів є запобігання надзвичайним ситуаціям, ліквідація їх наслідків і максимальне зниження масштабів втрат.

Згідно з Положенням про класифікацію надзвичайних ситуацій, надзвичайні ситуації класифікуються за походженням подій, які призвели до виникнення надзвичайної ситуації на території України: надзвичайні ситуації техногенного, природного, соціально-політичного та військового характеру. Кожен клас надзвичайних ситуацій поділяється на підкласи.

Транспортні аварії є надзвичайними ситуаціями техногенного характеру: катастрофи, пожежі, непередбачені вибухи та їх загроза, аварії з викидом небезпечних хімічних, радіоактивних або біологічних речовин, раптові руйнування будівель і споруд, аварії на інженерних мережах і спорудах життєзабезпечення, гідродинамічні аварії на греблях і дамбах, тощо.

Надзвичайні ситуації природного характеру включають небезпечні геологічні, метеорологічні, гідрологічні морські та прісноводні явища, деградацію ґрунтів або надр, природні пожежі, зміни стану повітряного басейну, інфекційні захворювання людей і тварин, масове ураження сільськогосподарських рослин хворобами чи шкідниками, зміни стану водних ресурсів і біосфери тощо.

Надзвичайні ситуації соціально-політичного характеру — це ситуації, пов'язані з діями, які є терористичними або антиконституційними, наприклад, здійснення або реальна загроза терористичного акту (збройний напад, захоплення і затримання важливих об'єктів, ядерних установок і матеріалів, систем зв'язку та телекомунікацій, напад чи замах на екіпаж повітряного чи морського судна), викрадення (спроба викрадення) чи знищення суден

Надзвичайні ситуації воєнного характеру — це ситуації, у яких застосування зброї масового ураження або звичайних засобів ураження призводить до вторинних факторів ураження населення. Ці фактори включають руйнування транспортних і інженерних комунікацій, атомних і гідроелектричних станцій, складів і сховищ радіоактивних і токсичних речовин і відходів, нафтопродуктів, вибухівки, сильнодіючих отруйних речовин, токсичних відход

Захист населення, об'єктів економіки та національного надбання від надзвичайних природних, техногенних або інших надзвичайних ситуацій має бути забезпечено на національному рівні.

Зовнішні та внутрішні загрози для життєво важливих інтересів громадян, держав і суспільств поділяються на зовнішні та внутрішні. Ці загрози виникають під час надзвичайних ситуацій техногенного та природного походження, а також воєнних конфліктів.

Основними завданнями під час надзвичайних ситуацій є захист населення та територій:

- розробка та впровадження законодавства, дотримання державних технічних правил і стандартів щодо захисту населення та територій від надзвичайних ситуацій;

- забезпечити готовність органів управління, сил і засобів реагування на надзвичайні ситуації;
- розробка та забезпечення планів реагування на надзвичайні ситуації;
- збирання та обробка даних про надзвичайні ситуації;
- передбачення та оцінка наслідків надзвичайної ситуації;
- оповіщення людей про загрозу або надзвичайну ситуацію;
- забезпечення персонального захисту та безкоштовної медичної допомоги;
- рятувальні та інші невідкладні операції, щоб зменшити наслідки надзвичайної ситуації та допомогти постраждалим;
- забезпечення соціального захисту населення;
- розробка та підтримка цільових і науково-технічних програм, спрямованих на запобігання надзвичайним ситуаціям і забезпечення сталого функціонування підприємств, установ, організацій незалежно від форм власності та підпорядкування, а також підвідомчих їм об'єктів виробничого та соціального захисту;
- міжнародна співпраця щодо захисту населення від надзвичайних ситуацій.

У разі надзвичайної ситуації необхідно вжити спеціальних заходів, щоб захистити населення та зменшити втрати та шкоду економіці. Він складається з повідомлень і інформування, спостереження та контролю, укриття в захисних спорудах, евакуації та інженерного, медичного, біологічного та радіаційного захисту.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дослідження, проведені у даній магістерській роботі, дають можливість зазначити наступне:

1. Доведено, що існуюча система ТО і діагностування гальмівної системи легкових автомобілів стала неадекватною економічним умовам функціонування галузі автомобільного транспорту і увійшла до протиріччя з ринковими механізмами виробничо-господарської діяльності об'єктів транспортних підприємств.

2. Проведено аналіз конструкції та методів діагностики технічного стану вузлів гальмівної системи легкових автомобілів категорії "М1 з ГП".

3. Сформовано загальні принципи моделювання та алгоритмів розрахунку узагальнених діагностичних показників технічного стану агрегатів автомобілів.

4. Розроблено алгоритм й проведено аналітичний розрахунок узагальненого діагностичного показника технічного стану гальмівної системи легкових автомобілів категорії "М1 з ГП".

5. Розроблено методику оцінки узагальненого залишкового ресурсу вузлів гальмівної системи легкових автомобілів, яка передбачає введення додаткової оцінки залишкового ресурсу агрегату на основі використання узагальненого показника технічного стану для урахування максимально можливого спектру експлуатаційних показників.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Статистика ДТП в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/>.
2. Ляшук О.Л., Гудь В.З., Пиндус Ю.І., Левкович М.Г., Хорошун Р.В. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи магістра за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр» галузі знань 27 «Транспорт» спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2020. – 66 с.
3. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. - К.: Держстандарт України, 2011. – 28 с.
4. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Гудь В.З., Левкович М.Г., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. - Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 544 с.
5. Конспект лекцій з курсу «Технології обслуговування автотransпортних засобів». / Р.В. Хорошун, О.Л. Ляшук, Н.Т. Навроцька. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2021. – 194 с.
6. Ляшук О.Л. Конспект лекцій з дисципліни «Технічна експлуатація автомобілів» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / О.Л. Ляшук, В.М.Клендій, Р.В.Хорошун. – Тернопіль: Вид. ТНТУ – 2018. – С. 302.
7. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник – К.: Знання. 2003. – 511 с.
8. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: організація і управління: Підручник – К.: Знання. 2004. – 478 с.
9. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Технологія [Текст]: Підручник. / О.А. Лудченко. - Київ: Знання-Прес, 2007. – 527 с.
10. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Левкович М.Г., Гудь В.З., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 544 с.

11. Sokil, B., Lyashuk, O., Sokil, M., Vovk, Y., Lebid, I., Hevko, I., Khoroshun R Matviyishyn, A. (2022). Methodology of Force Parameters Justification of the Controlled Steering Wheel Suspension. Communications, 24(3), B247-B258.
12. Harrington E. C. – The desirability function. Industrial Quality Control. 1965. V. 21(10). P. 124.
13. Жарков Ю., Цициліано О. Системи управління якістю: моніторинг роботи органів з оцінки відповідності з використанням методу Харінгтона // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2005. - №1. – С.24-27.
14. Жарков Ю., Цициліано О. Оптимізація критеріїв роботи органів з оцінки відповідності з використанням методу Харінгтона // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2004. - №4. – С.36-38.
15. Д. Міронов, “Удосконалення системи ТО і Р обладнання тягових підстанцій з використанням узагальнених критеріїв”, ЕНЕРГЕТИКА: економіка, технології, екологія, № 3 (41), с.107-116, 2015.
16. Грищенко І.М., Власюк Т.М., Макатьора Д.А Методичні підходи до оцінювання привабливості вищого навчального закладу // Актуальні Проблеми Економіки. – 2014. – № 3 (153). – С. 155-159.
17. Міронов Д.В., Ляшук О.Л., Гевко І.Б., Гупка А.Б., Слободян Л.М., Гевко Б.Р., Хорошун Р.В. Розробка моделі узагальненого діагностичного показника технічного стану ходової частини автомобіля з використанням математичних методів теорії планування експерименту // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. – 2023. – № 2 (21). – С. 135–144.
18. Федулова І. Підходи до оцінки рівня готовності підприємства щодо інноваційного розвитку // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2011. - № 124/125. – С. 36-40.
19. Чайка Т.Ю. Проблемы формирования интегрального показателя конкурентоспособности товаров (услуг) // БізнесІнформ. – 2014. - №8. – С. 198 – 204.
20. Castillo, E.D.Modified Desirability Functions for Multiple Response Optimization / E. D. Castillo, D. C. Montgomery, D. R. McCarville // Journal of Quality Technology. — 1996. — Vol.28, No.3. – P. 337-345.

21. Егоршин А.А. Моделирование интегрального показателя конкурентного статуса предприятия / А.А. Егоршин, Л.М. Малярец // Коммунальное хозяйство городов : научн.-техн. сб. – Вып. 50. Серия: Экономические науки. – К. : Техника, 2003. – С. 54–65.
22. Галаса П.В. Экспертний аналіз дорожньо-транспортних пригод [Текст]: Посібник для спеціалістів та водіїв-аматорів / П.В. Галаса, В.Б. Кисельов, А.С. Куйбіда та ін.; під заг. ред. П.В. Галаси; Український центр післяварійного захисту «ЕКСПЕРТ-СЕРВІС». — К., 1995. — 190 с.: іл.
23. Экспертизи у судовій практиці / [Арсенюк Т. М., Беляк Ю. М., Бояров В. І. та ін.]; за заг. ред. В. Г. Гончаренка. К. : Юрінком Інтер, 2004. □ 388 с.
24. О. Матусевич, Д. Міронов, “Математична модель ризик – аналізу технічного стану силового обладнання тягових підстанцій”, Гірнична електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб., № 93, с. 48-50, 2014.
25. Д. Міронов, В. Сиченко, О. Матусевич, “Автоматизована система моніторингу та прогнозування фактичного залишкового ресурсу обладнання тягових підстанцій”, Електротехніка і електромеханіка, №4, с. 51-63, 2016.
26. Henryk Maciejewski, George Anders, «Problem of model selection for Estimation of Equipment Remaining Life», Proc. of 2nd International Conference on Dependability of Computer Systems, 2007.
27. Henryk Maciejewski, «Reliability Centered Maintenance of Repairable Equipment», Proc. of the 4th International Conference on Dependability of Computer Systems, 2009.
28. J.F.Lawless, Statistical Models and Methods for Lifetime Data, Wiley, 1982.
29. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека»: навч. посібник / В.С. Стручок – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – 156 с.
30. Охорона праці в галузі та цивільний захист: навчальний посібник / Ю. А. Гасило, О. А. Крюковська. К. О. Левчук, Р. Я. Романюк. — Кам’янське : ДДТУ, 2017. — 369 с.
31. Безпека в надзвичайних ситуаціях : навч. посібник для студентів ЗВО України : у 2 ч. Ч. 1: Надзвичайні ситуації / М. Л. Лисиченко, В. В. Вамболь, С.

О. Вамболь, М. М. Кірієнко, І. А. Черепньов, В. М. Власовець ; за ред. М. Л. Лисиченка ; ХНТУСГ. – Харків : ТОВ “ПромАрт”, 2021. – 202 с.

32. Охорона праці на автомобільному транспорті : навчальний посібник / Пістун І. П., Хом’як Й. В., Хом’як В. В. - 2-ге вид., стер. - Суми : Університетська книга, 2015. - 374 с.