

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГИЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ
ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА**

КВАЛІФІКАЦІЙНА Р О Б О Т А

Освітнього ступеня «Магістр»

на тему: **„ Удосконалення технічного обслуговування кульових
шарнірів рульового керування автомобілів ”**

Виконав: студент 6 курсу групи Ат-63
Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”
(шифр і назва)

Мацех Святослав Степанович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Василь РИС
(Прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доц. Олег Сукач
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГИЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ
ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____
(підпис)

к.т.н., доцент Андрій ШАРИБУРА
“ 28 ” лютого 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту
Мацеху Святославу Степановичу

1. Тема роботи: **„ Удосконалення технічного обслуговування
кульових шарнірів рульового керування автомобілів ”**

Керівник роботи: Рис Василь Іванович, к.т.н., доц.

Затверджена наказом по університету 28.02.2025 року № 140/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 05.12.2025 року.

3. Вихідні дані: Науково-технічна література з питань надійності
автомобілів. Показники стану охорони праці в базовому підприємстві.

4. Перелік питань, які необхідно розробити

Вступ

1. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА СТАН ПИТАННЯ

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КУЛЬОВИХ ШАРНІРІВ У
РЕАЛЬНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ
ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УДОСКОНАЛЕНОЇ
ТЕХНОЛОГІЇ

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
5	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри інженерної механіки			

7. Дата видачі завдання: 28.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	Написання розділу: «Технічна характеристика та стан питання»	28.02.25-28.03.25	
2.	Виконання розділу «Дослідження технічного стану кульових шарнірів у реальних умовах експлуатації»	29.03 25-30.05.25	
3.	Виконання розділу «Дослідження ефективності удосконаленої технології технічного обслуговування»	31.05.25-01.07.25	
4.	Написання розділу: «Щхорона праці та захист довкілля»	02.07.25-31.08.25	
5.	Написання розділу: «Економічне обґрунтування ефективності удосконаленої технології»	01.09.25-24.11.25	
6.	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки	25.11.25-30.11.25	
7.	Завершення роботи в цілому	01.12.25-5.12.25	

,

Студент _____ Святослав МАЦЕХ
(підпис)

Керівник роботи _____ Василь РИС

АНОТАЦІЯ

Мацех С.С. «Удосконалення технічного обслуговування кульових шарнірів рульового керування автомобілів». Кваліфікаційна робота. Дубляни. Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, 2025. 66 с.

табл. 6; рис. 16; бібліогр. джерел 24.

У магістерській роботі розглянуто питання підвищення ефективності технічного обслуговування кульових шарнірів рульового керування автомобілів шляхом удосконалення технології діагностування та профілактичного обслуговування.

Актуальність теми зумовлена тим, що від технічного стану кульових шарнірів залежить безпека руху, стійкість і керованість автомобіля. В умовах зростання навантажень та інтенсивності експлуатації особливої уваги потребує підвищення надійності цих вузлів і зменшення кількості їхніх відмов.

У роботі проведено аналіз конструктивних особливостей кульових шарнірів, типових несправностей та причин їх передчасного зносу. На основі дослідження існуючих технологій технічного обслуговування розроблено вдосконалену технологію, що включає перевірку герметичності пильників, використання мастильних матеріалів з підвищеною адгезією та антикорозійними властивостями, а також заміну пильників на вироби з термостійкого еластомеру ТРЕ.

Проведено експериментальні дослідження, результати яких свідчать, що впровадження запропонованої технології дозволяє зменшити інтенсивність зношування шарнірів на 25–30 %, збільшити пробіг до відмови на 40 %, а коефіцієнт технічної готовності автомобілів підвищити з 0,86 до 0,93.

Економічні розрахунки підтверджують доцільність впровадження вдосконаленої технології: річні витрати на технічне обслуговування зменшуються на 43 %, а термін окупності додаткових інвестицій становить близько чотирьох місяців.

Отримані результати мають практичне значення для автосервісних підприємств і можуть бути використані під час розроблення технологічних карт технічного обслуговування систем рульового керування автомобілів.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА СТАН ПИТАННЯ	10
1.1. Призначення та роль кульових шарнірів у системі рульового керування	10
1.2 Будова та принцип роботи кульових шарнірів підвіски та рульового керування	11
1.1.1 Матеріали та технології виготовлення	18
1.1.2. Вимоги до конструкції та експлуатації.....	19
1.2. Основні види несправностей кульових шарнірів	19
1.3 Вплив несправностей на безпеку руху.....	24
Висновки до розділу 1	24
2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КУЛЬОВИХ ШАРНІРІВ У РЕАЛЬНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	27
2.1. Мета та завдання дослідження	27
2.2. Об'єкт і методика експерименту	27
2.3. Результати випробувань і обробка даних	27
2.4. Вплив герметичності пильника на швидкість зносу	30
Висновки до розділу 2	32
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ	34
3.1. Мета та суть експерименту	34
3.2. Методика проведення випробувань і розрахункові показники	35
3.3. Аналіз результатів дослідження	38
3.4. Математичне моделювання зносу кульових шарнірів	43
Висновки до розділу 3.	45
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ	47
4.1. Загальні положення.....	47
4.2. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів	47
4.3. Вимоги безпеки до робочого місця та обладнання	49

4.4. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)	50
4.5. Пожежна безпека на СТО.....	51
4.6. Безпека у надзвичайних ситуаціях	52
4.6. Захист довкілля.....	52
Висновок до розділу 4	53
5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ.....	55
5.1. Мета економічного обґрунтування	55
5.2. Вихідні дані для розрахунків	55
5.3. Розрахунок річної економії від зниження кількості відмов	56
5.4. Додаткові витрати на впровадження технології	56
5.5. Порівняльна економічна характеристика	58
5.6. Графічна оцінка результатів	59
Висновки до розділу 5	61
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64

ВСТУП

Розвиток сучасного автомобільного транспорту супроводжується підвищенням експлуатаційних швидкостей, інтенсивності руху та зростанням вимог до безпеки дорожнього руху. Одним із ключових елементів, що забезпечують керованість та стійкість автомобіля, є система рульового керування, у конструкції якої важливу роль відіграють кульові шарніри. Від їх технічного стану залежить точність передавання зусилля від керма до коліс, відсутність люфтів, стійкість автомобіля на поворотах, а отже – безпека водія, пасажирів та інших учасників дорожнього руху.

В умовах експлуатації на дорогах із незадовільною якістю покриття, характерних для більшості регіонів України, кульові шарніри рульового керування працюють у важких навантажувальних режимах. Постійні ударні та змінні навантаження, агресивний вплив вологи, дорожніх реагентів і абразивних частинок призводять до інтенсивного зносу поверхонь тертя, порушення герметичності пильників, вимивання мастила та, як наслідок, – передчасних відмов. Нехтування своєчасним технічним обслуговуванням кульових шарнірів призводить до появи люфтів у рульовому приводі, погіршення курсової стійкості та збільшення гальмівного шляху, що є прямою загрозою безпеці руху.

Практика роботи станцій технічного обслуговування та автотранспортних підприємств свідчить, що значна частка звернень, пов'язаних із системою рульового керування, обумовлена саме несправностями кульових шарнірів. У багатьох випадках ремонти носять вимушено-аварійний характер, виконуються вже після появи виражених симптомів несправності (сторонні стуки, значний люфт, нерівномірний знос шин), що збільшує витрати власників автомобілів та підвищує ризик дорожньо-транспортних пригод. Це свідчить про недостатню ефективність діючих систем технічного обслуговування та недостатню увагу до профілактичного контролю стану кульових шарнірів.

Аналіз існуючих технологій ТО рульового керування показує, що в більшості випадків операції щодо кульових шарнірів обмежуються візуальним оглядом, перевіркою люфту та, за потреби, їх заміною в зборі. При цьому мало уваги приділяється питанням раціональної періодичності контролю, використанню спеціалізованого діагностичного обладнання, удосконаленню методів захисту шарнірів від забруднення та втрати мастила, а також оптимізації технологічних процесів на СТО. Удосконалення технічного обслуговування кульових шарнірів є актуальним завданням, яке дозволяє підвищити довговічність агрегатів, знизити експлуатаційні витрати та підвищити рівень безпеки руху.

Метою даної роботи є підвищення технічного рівня та ефективності технічного обслуговування кульових шарнірів рульового керування автомобілів шляхом удосконалення технології їх діагностування та профілактичного обслуговування.

Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення таких завдань:

- проаналізувати конструктивні особливості кульових шарнірів рульового керування та умови їх роботи;
- дослідити основні причини відмов і типові несправності в умовах експлуатації;
- виконати аналіз діючих технологій технічного обслуговування на базовому підприємстві;
- визначити недоліки існуючої системи ТО та обґрунтувати напрями її вдосконалення;
- розробити удосконалену технологію технічного обслуговування кульових шарнірів із використанням сучасного діагностичного обладнання;
- здійснити розрахунок трудомісткості, тривалості операцій і економічного ефекту від впровадження нової технології;
- оцінити вплив удосконаленої технології на підвищення довговічності вузлів і рівня безпеки руху.

Об'єктом дослідження є процес технічного обслуговування кульових шарнірів рульового керування автомобілів на станціях технічного обслуговування.

Предметом дослідження – методи, засоби та технологічні рішення, що впливають на довговічність і надійність шарнірів у процесі експлуатації.

Практичне значення роботи полягає у створенні вдосконаленої технології обслуговування, яка дозволяє підвищити ресурс кульових шарнірів на 25–30 %, зменшити кількість відмов майже вдвічі та скоротити експлуатаційні витрати підприємства.

1. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА СТАН ПИТАННЯ

1.1. Призначення та роль кульових шарнірів у системі рульового керування

Кульові шарніри є одним із найважливіших елементів системи рульового керування сучасних автомобілів. Вони забезпечують передачу зусиль від рульового механізму до коліс при одночасному забезпеченні їхнього вертикального і горизонтального переміщення відносно кузова під час руху. Завдяки цьому зберігається необхідна кінематична гнучкість системи рульового керування, що дозволяє автомобілю здійснювати маневри без перевантажень і деформацій у з'єднаннях.

Основним призначенням кульового шарніра є передача керуючого моменту та компенсація просторових кутових переміщень елементів підвіски та рульового приводу. Конструктивно він виконує функції шарнірного з'єднання типу «куля-гніздо», у якому металева кульова головка вільно обертається в корпусі із полімерною або металевою втулкою, забезпечуючи рухливість у трьох площинах.

У системі рульового керування кульові шарніри встановлюються переважно:

- у накінцевиках рульових тяг;
- у верхніх і нижніх важелях підвіски (у кульових опорах);
- у стійках передньої підвіски типу МакФерсон;
- у з'єднаннях тяг стабілізатора поперечної стійкості.

Такі елементи дозволяють колесу вільно відпрацьовувати нерівності дороги, не порушуючи при цьому заданого положення керованих коліс відносно рульового механізму. Зазвичай один автомобіль легкового класу містить від чотирьох до шести кульових шарнірів різних типів і розмірів.

Кульовий шарнір працює в умовах змінних навантажень, що виникають під час руху, гальмування, входження в повороти, наїзду на перешкоди. Ці навантаження поєднують радіальні, осьові та згинальні компоненти, що

призводить до складного напруженого стану деталей шарніра. Тому від якості матеріалів, точності обробки, стану мастила та герметичності пильника безпосередньо залежить довговічність вузла.

Крім функціонального призначення, кульові шарніри виконують безпекову роль. Навіть незначний люфт або заїдання в шарнірі може призвести до погіршення керованості автомобіля, появи биття керма, збільшення гальмівного шляху. У критичних випадках руйнування шарніра може викликати втрату керування транспортним засобом, що є потенційною причиною дорожньо-транспортної пригоди.

Завдяки простоті конструкції та високій надійності кульові шарніри отримали широке застосування не лише в системі рульового керування, а й у підвісках транспортних засобів різних класів – від легкових автомобілів до вантажних машин і автобусів.

Однак інтенсивні експлуатаційні навантаження, дія пилу, вологи, дорожніх реагентів і механічних забруднень створюють складні умови роботи шарнірів, що потребує регулярного технічного обслуговування, своєчасної діагностики та відновлення герметичності.

Отже, кульові шарніри – це вузол підвищеної відповідальності, від технічного стану якого залежить ефективність роботи всієї системи рульового керування, комфорт керування та безпека руху.

1.2 Будова та принцип роботи кульових шарнірів підвіски та рульового керування

Кульові шарніри застосовуються як елементи з'єднання деталей системи підвіски та рульового керування автомобіля. Вони належать до кінематичних вузлів, які забезпечують три кутові ступені свободи під час переміщення робочих елементів – важелів [14]. Такі сполучення є конструктивно відповідальними, оскільки сприймають значні навантаження різного напрямку: вертикальні – від маси автомобіля, горизонтальні – від сил тяги, гальмування та маневрування.

Надійність роботи кульових шарнірів безпосередньо визначає рівень безпеки руху та стабільність керування транспортним засобом.

Система підвіски створює пружне з'єднання між кузовом і колесами, компенсуючи поштовхи та коливання, які виникають під час руху по нерівностях дорожнього покриття. Її ефективна робота підвищує довговічність автомобіля, забезпечує комфорт водія та пасажирів, а також сприяє поліпшенню стійкості, керованості та плавності ходу [15, 16].

У конструкціях із залежною підвіскою кульові шарніри практично не застосовуються, оскільки ліве та праве колеса жорстко з'єднані між собою. У таких випадках використовують шкворневі вузли, що мають простішу конструкцію [17].

Натомість у незалежній підвісці кожне колесо може змінювати положення незалежно від іншого. Це забезпечує кращу керованість, плавність і стійкість автомобіля при русі по нерівній поверхні.

Найпоширенішим варіантом незалежної підвіски є система типу Макферсон (рис. 1.1). Вона містить один поперечний важіль, стабілізатор поперечної стійкості, пружину та телескопічний амортизатор, верхня частина якого з'єднана з кузовом через пружний шарнір. Конструкція дозволяє амортизатору здійснювати кутові коливання при переміщенні колеса у вертикальній площині, що зменшує вібрації та покращує плавність ходу транспортного засобу.

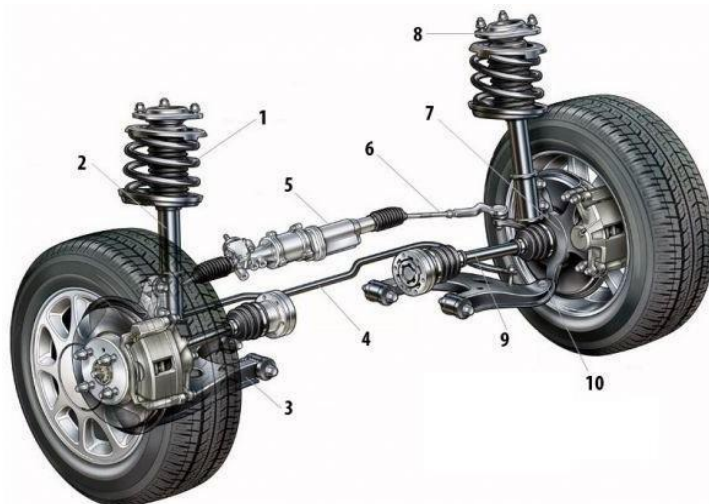


Рисунок 1.1 – Підвіска Макферсона: 1 - Пружина амортизатора; 2 -

Амортизатор; 3 - Нижній важіль; 4 - Стабілізатор поперечної стійкості; 5 - Рульова рейка; 6 - Рульова тяга; 7 - Ступиця колеса; 8 - Опорний підшипник; 9 - Напіввісі; 10 - Кульова опора.

- двухважільна підвіска рис. 1.2 складається з двох кульових шарнірів на колесо.



Рис. 1.2 – Двухважільна підвіска

Дослідження, присвячені оцінці надійності елементів рульового механізму та передньої підвіски задньопривідних автомобілів [6], засвідчили, що на точність кутів установки передніх коліс найбільший вплив мають зношування шарнірів рульових тяг і дефекти кульових шарнірів важелів підвіски, які взаємодіють з підшипниковими вузлами верхніх опор телескопічних амортизаційних стояків.

Кульові шарніри, встановлені у конструкції передньої підвіски (рис. 1.3), належать до найбільш навантажених і відповідальних вузлів ходової частини. Під час експлуатації вони сприймають комплекс зусиль різного напрямку:

- вертикальні – зумовлені масою автомобіля;
- поздовжні – що виникають при розгоні й гальмуванні;
- поперечні – які діють під час поворотів коліс.

Саме тому технічний стан і надійність кульових шарнірів безпосередньо впливають на стійкість, керованість і безпечність руху автомобіля [5].



Рисунок 1.3 – Різні варіанти конструкцій кульових шарнірів використовуваних у підвісках автомобілів

На рисунку 1.4 – представлено конструкцію типового кульового шарніра, який використовується у вузлах підвіски для забезпечення рухомого з'єднання між важелем і поворотним кулаком.

Основними складовими елементами вузла є: Корпус 1 – металева опора, що утримує усі елементи шарніра та забезпечує його жорстке з'єднання з важелем підвіски; палець 2 – основний рухомий елемент, який сприймає навантаження і передає їх на корпус; полімерна вставка 3 – виконує функцію антифрикційної втулки, знижуючи тертя між пальцем і корпусом; кришка 4 – утримує вставку всередині корпусу, запобігає випадінню кульового елемента; пильник 5 – гумовий ущільнювач, що захищає внутрішню порожнину шарніра від пилу, вологи та механічних домішок; фіксуюче кільце пильника верхнє 6 – забезпечує герметичне кріплення пильника до корпусу; фіксуюче кільце пильника нижнє 7 – утримує нижню частину пильника на пальці, перешкоджаючи потраплянню забруднень; гайка 8 – використовується для кріплення кульового пальця до поворотного кулака.

Завдяки такій будові шарнір забезпечує три ступені вільності при мінімальному опорі обертанню та надійно передає навантаження від коліс до кузова автомобіля, зберігаючи плавність ходу та стабільність рульового керування.

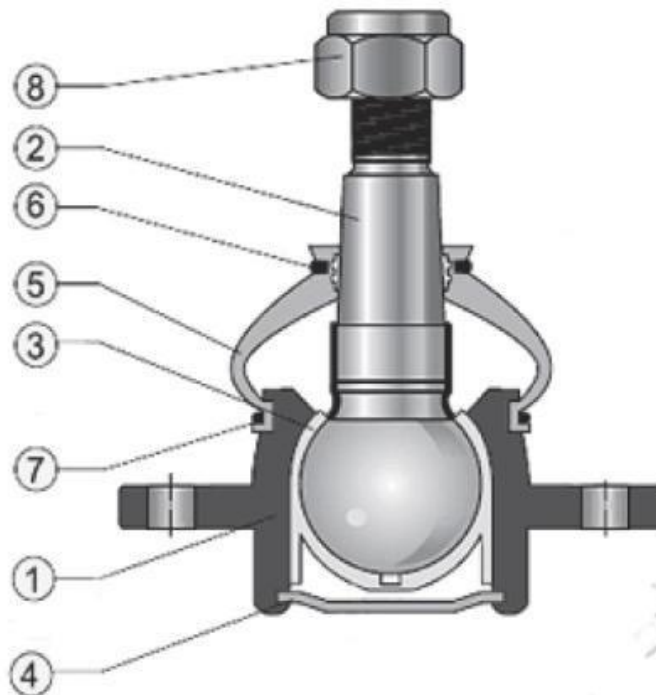


Рисунок 1.4 – Будова кульового шарніра підвіски автомобіля: 1 – корпус, 2 – палець, 3 – полімерна вставка, 4 – кришка, 5 – пильник, 6 – фіксуюче кільце пильника верхнє, 7 - фіксуюче кільце пильника нижнє, 8 – гайка.

Корпус кульового шарніра є базовим конструктивним елементом, що забезпечує розміщення, фіксацію та взаємодію усіх складових вузла. Він сприймає навантаження від кульового пальця й передає їх на елементи підвіски або системи рульового керування, виконуючи роль опорної деталі [18].

Кульовий палець – основна робоча складова шарніра, призначена для передачі механічних зусиль між елементами підвіски з одночасною компенсацією їх взаємних переміщень у трьох площинах. Це досягається за рахунок обертального руху кульової головки пальця всередині корпусу шарніра [18].

Вкладиш кульового пальця виконує функцію підшипника ковзання, що зменшує сили тертя під час обертання кульової головки й підвищує довговічність роботи всього вузла [18].

Захисний чохол (пильник) слугує для герметизації вузла тертя “вкладиш – кульова головка”, запобігаючи потраплянню всередину вологи, пилу та абразивних частинок. Незважаючи на просту конструкцію, цей елемент має вирішальне значення для ресурсу та надійності кульового шарніра, оскільки його пошкодження призводить до прискореного зносу робочих поверхонь [18].

Масильний матеріал зменшує тертя між вкладишем і головкою кульового пальця, забезпечуючи стабільну роботу шарніра протягом тривалого терміну експлуатації.

Як полімерна основа композиційного матеріалу для заповнення простору між корпусом і вкладишем можуть використовуватись такі матеріали, як поліамід, поліефір, поліетилен, полібутадієнтерафталат або капролон (рис. 1.5). Вибір конкретного полімеру визначається умовами роботи вузла та температурно-механічними навантаженнями.

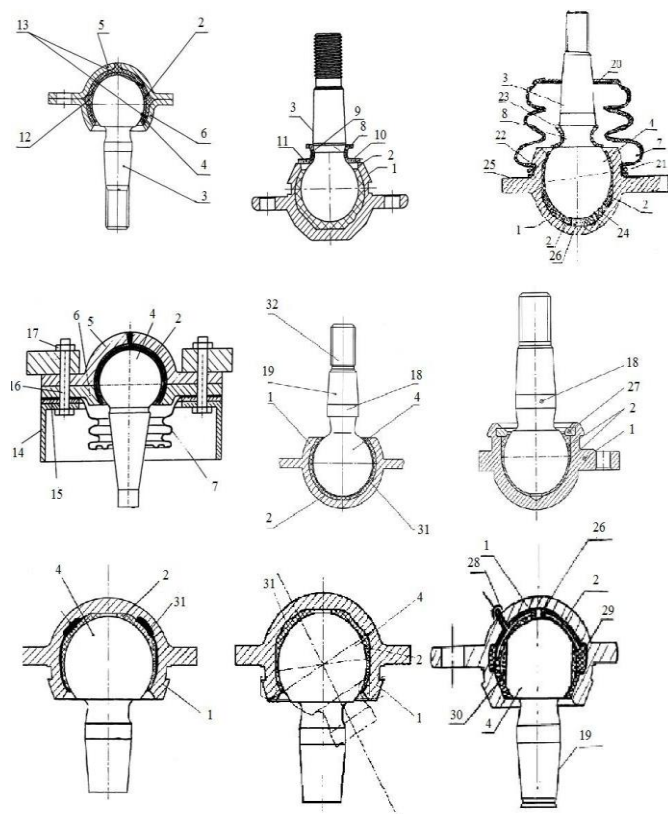


Рисунок 1.5 – Різновиди кульових шарнірів: 1 - монолітний корпус, 2 -

полімерний вкладиш, 3 - палець, 4 - сферична головка, 5 - верхній корпус, 6 - нижній корпус, 7 - захисний чохол, 8 - жолобник кульового пальця, 9 - верхня частина конусної частини пальця, 10 - горизонтальний буртик, 11- ущільнююча втулка, 12 - шар термозатвердіваючого клейового складу, 13 - термозатвердіваючий наповнювач, 14 - з'єднуючий елемент, 15 - прокладка, 16 - з'єднуючий болт, 17 - гайка, 18 - циліндрична частина пальця, 19 - конічно-циліндричний хвостовик, 20 - пластина твердості, 21 - пружинне кільце, 22 - кільцева канавка, 23 - знімна ущільнювальна втулка, 24 - ребро жорсткості вкладиша, 25 - приєднувальний фланець, 26 - наскрізний отвір, 27 - стопорний пристрій, 28 - датчик виробітку, 29 - виточення в гнізді корпуса, 30 - сегмент сполучення, 31 - виступи на вкладиші, 32 - різьбова частина пальця

Як уже зазначалося, конструкція кульового шарніра рульового керування є відносно простою і включає невелику кількість основних елементів. До складу вузла входять: кульовий палець, корпус наконечника, полімерний вкладиш, захисний пильник, піджимна пружина та кришка (рис. 1.6).

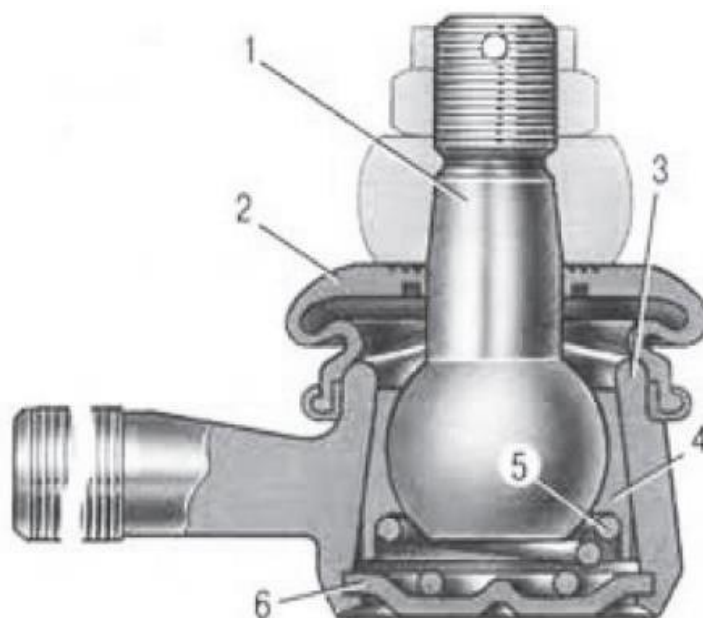


Рисунок 1.6 – Кульовий шарнір наконечника рульової тяги: 1 - палець кульовий, 2 - захисний чохол, 3 - корпус наконечника, 4 - полімерний вкладиш, 5 - піджимна пружина, 6 - кришка

На рисунку 1.6 зображено конструкцію кульового шарніра наконечника рульової тяги, що є одним із ключових елементів системи рульового керування автомобіля.

Зі схеми видно, що вузол має компактну, але функціонально досконалу будову, у якій кожна деталь виконує важливу роль: кульовий палець забезпечує передачу зусиль і рухливість з'єднання; полімерний вкладиш знижує тертя; піджимна пружина підтримує оптимальне притискання головки пальця; корпус слугує опорою для всієї системи; кришка фіксує вузол, а захисний чохол герметизує його від впливу зовнішнього середовища.

Таким чином, конструкція кульового шарніра наконечника рульової тяги поєднує високу надійність, простоту технічного обслуговування та довговічність роботи, що забезпечує точність передавання руху від рульового механізму до коліс і підвищує безпеку експлуатації транспортного засобу.

1.1.1 Матеріали та технології виготовлення

Для виготовлення елементів кульових шарнірів застосовуються матеріали з високими експлуатаційними характеристиками:

- Палець з кульовою головкою – виготовляють зі сталей 40X, 30ХГСА, 38ХНЗМА з подальшим термічним зміцненням (гартування, цементация або азотування). Твердість робочої поверхні становить 55–60 HRC.
- Корпус – з вуглецевих або легированих сталей (35, 45, 40X), іноді з ковкого чавуну.
- Вкладка (вкладиш) – найчастіше з поліаміду, фторопласту, поліацеталю (Delrin), або металополімерних композицій типу «Фторопласт–бронза».
- Пильник – із маслобензостійкої гуми (наприклад, NBR, EPDM) або термопластичного еластомеру (TPE).
- Мастило – застосовують водостійкі консистентні мастила типу Літол-24, Molykote BR2 Plus, Mobilgrease XHP 222, які мають добру адгезію та зберігають в'язкість при температурах від –40 до +120 °C.

1.1.2. Вимоги до конструкції та експлуатації

До кульових шарнірів висуваються такі основні вимоги:

- висока точність виготовлення і мінімальні зазори у парі тертя;
- достатня міцність пальця та корпусу при ударних навантаженнях;
- надійна герметизація, що запобігає витіканню мастила;
- низьке значення моменту опору обертанню для забезпечення плавності керування;
- технологічність виготовлення і простота монтажу на автомобілі;
- довговічність не менше 80–120 тис. км пробігу залежно від класу автомобіля.

Зазвичай кульові шарніри розраховують так, щоб забезпечити ресурс не менше одного міжремонтного циклу автомобіля. Для цього проводять спеціальні випробування на втомну міцність, перевіряють герметичність пильників і стабільність мастильного шару протягом усього строку експлуатації.

1.2. Основні види несправностей кульових шарнірів

Під час експлуатації автомобіля спостерігаються такі типові види відмов:

1. Підвищений люфт у з'єднанні кулі та вкладиша. Виникає через зношування полімерної вкладки або самої кулі пальця. Збільшення зазору призводить до появи вібрацій, «биття» керма та неточності рульового управління.

2. Стук або брязкіт у підвісці під час руху. Зумовлений втратою натягу пари тертя або руйнуванням вкладиша. Часто проявляється при проїзді нерівностей, поворотах і гальмуванні.

3. Пошкодження пильника (розрив, тріщина, розгерметизація). Призводить до потрапляння пилу, вологи й реагентів у внутрішню порожнину шарніра, вимивання мастила та швидкого зносу деталей.

4. Заклинювання кульового пальця. Може бути наслідком корозії, зминання вкладки або відсутності мастила. Таке явище створює додаткові зусилля на кермі та ускладнює маневрування.

5. Випадіння пальця з гнізда корпусу. Це найнебезпечніша відмова, яка призводить до миттєвої втрати керованості автомобіля. Виникає внаслідок повного руйнування вкладиша або кришки корпусу при граничному зносі.

6. Корозія кульової поверхні та корпусу. Спричиняє збільшення шорсткості, руйнування мастильного шару і заклинювання при повороті коліс.

Внаслідок перелічених дефектів змінюються геометричні параметри шарніра, зменшується плавність руху, зростає люфт і шум у підвісці. У критичних випадках можливе повне руйнування кульового пальця або його випадання з корпусу, що є надзвичайно небезпечним для безпеки руху.

З метою запобігання передчасним ушкодженням необхідно проводити регулярну діагностику та своєчасну заміну зношених деталей, а також контролювати стан пильників і рівень мастила. Використання якісних матеріалів та герметичних конструкцій значно підвищує ресурс кульових шарнірів і надійність роботи системи рульового керування.

Кульові пальці в процесі експлуатації піддаються дії знакозмінних навантажень, які виникають під час руху автомобіля по нерівностях дороги, при гальмуванні та маневруванні. Такі навантаження викликають поступове зниження ресурсу кульового пальця внаслідок абразивного зношування сферичної головки та втомного руйнування матеріалу в зоні переходу від сферичної частини до конічної. Саме цей перетин є найбільш напруженим місцем конструкції, де спостерігається концентрація напружень і виникають мікротріщини, що з часом можуть призвести до руйнування пальця.

Знос сферичної поверхні головки пальця зумовлений постійним тертям у парі «палець – вкладиш» і прискорюється за наявності абразивних частинок або недостатнього змащення. Втомне зношування матеріалу відбувається поступово, проявляючись у вигляді мікроскопічних тріщин, що зливаються у

більші, викликаючи зниження міцності та небезпеку поломки під дією чергового навантаження (рис. 1.7, 1.8).

Абразивне зношування та корозійне руйнування кульового пальця і корпусу шарніра (рис. 1.7 а, б, г) виникає переважно внаслідок пошкодження або втрати герметичності захисного чохла. Це призводить до потрапляння в зону тертя пари «палець – вкладиш» води, пилу та абразивних частинок, що інтенсивно прискорюють процес зношування.

Основними ознаками таких дефектів є:

- візуальні – наявність пошкоджень або тріщин на чохлах, сліди мастила й забруднень;
- експлуатаційні – поява сторонніх стуків, шумів у підвісці, а також зниження керованості автомобіля.

Також спостерігається абразивне стирання вкладиша та корозійне руйнування корпусу опори (рис. 1.7 в), а на сферичній частині кульового пальця часто утворюються радіальні канавки (рис. 1.7 д, е), що є типовою ознакою тертя з частинками пилу чи піску.

Крім того, підвищення температури в зоні контакту під час руху пальця відносно вкладиша може викликати термічну деструкцію полімерного матеріалу. У результаті молекули полімеру частково переходять у газоподібний стан, що спричиняє плавлення або плинність поверхневих шарів (рис. 1.7 ж).

Причиною виникнення ушкоджень є тривала експлуатація автомобіля по поганих дорогах на високій швидкості, а також порушення технології виготовлення вкладиша або використання матеріалів низької якості.

Ознаки ушкоджень проявляються під час руху автомобіля у вигляді сторонніх стуків, шумів у підвісці та погіршення керованості транспортного засобу.

Внаслідок цих факторів відбувається абразивне зношування сферичної головки пальця та втомне руйнування в зоні переходу сферичної частини в конічну (рис. 1.7 з). Втомне зношування шийки кульового пальця зазвичай виникає при перевищенні рекомендованого строку експлуатації шарніра або

через дефекти виробництва кульового пальця (брак), що значно знижує його ресурс і може призвести до передчасної відмови вузла.

Причиною виникнення ушкоджень є тривала експлуатація автомобіля по поганих дорогах на високій швидкості, а також порушення технології виготовлення вкладиша або використання матеріалів низької якості.



а)



б)



в)



г)



д)



е)



ж)



з)

Рисунок 1.7 – Елементи кульових шарнірів, що були в експлуатації

Ознаки ушкоджень проявляються під час руху автомобіля у вигляді сторонніх стуків, шумів у підвісці та погіршення керованості транспортного засобу.

Внаслідок цих факторів відбувається абразивне зношування сферичної головки пальця та втомне руйнування в зоні переходу сферичної частини в конічну (рис. 1.7 з). Втомне зношування шийки кульового пальця зазвичай виникає при перевищенні рекомендованого строку експлуатації шарніра або через дефекти виробництва кульового пальця (брак), що значно знижує його ресурс і може призвести до передчасної відмови вузла.



Рисунок 1.8 – Види ушкоджень кульових шарнірів

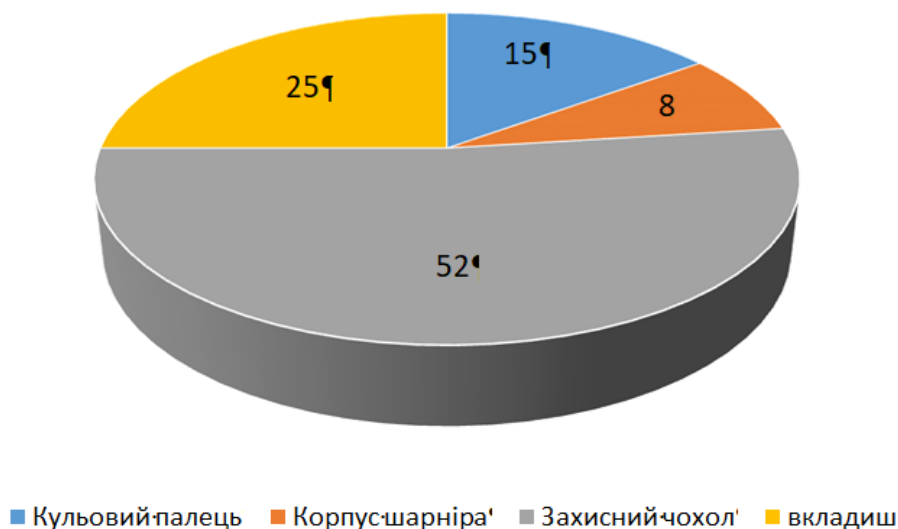


Рисунок 1.9 – Відмови деталей кульового шарніра

1.3 Вплив несправностей на безпеку руху

Порушення герметичності або знос шарніра безпосередньо впливають на точність рульового управління. Під час руху з підвищеним люфтом виникають затримки між поворотом керма і реакцією коліс, що зменшує керованість, особливо на високих швидкостях.

Крім того, збільшений люфт спричиняє додаткові удари у рульовий механізм, що прискорює його зношування.

Заклинювання або «закушування» кульової опори може призвести до раптової зміни траєкторії руху, особливо на слизькому покритті, коли водій не встигає зреагувати.

Повне руйнування шарніра або випадіння пальця – критична ситуація, що неминуче призводить до втрати керування та високого ризику ДТП.

Тому під час технічного обслуговування автомобілів особливу увагу необхідно приділяти контролю технічного стану кульових шарнірів – перевірці люфту, моменту опору обертанню та стану пильників. Виявлення навіть незначних пошкоджень повинно бути підставою для заміни вузла.

Висновки до розділу 1

У першому розділі проведено аналіз конструкції, призначення та особливостей роботи кульових шарнірів, а також розглянуто основні чинники,

що впливають на їхню надійність і довговічність.

Встановлено, що кульові шарніри є одним із найвідповідальніших елементів системи рульового керування і підвіски автомобіля, від технічного стану яких залежить точність, плавність та безпека руху транспортного засобу.

Розглянуто різновиди підвісок (типу МакФерсон, двоважільна тощо) і визначено місце кульових шарнірів у їх кінематичних схемах. Показано, що шарнір виконує функції передавання зусиль і компенсації кутових переміщень елементів підвіски, забезпечуючи три ступені свободи в русі.

Проаналізовано будову та принцип дії кульового шарніра, до складу якого входять: корпус, кульовий палець, полімерний вкладиш, захисний пильник, піджимна пружина та кришка. Встановлено, що ефективність роботи вузла значною мірою залежить від якості матеріалів і точності виготовлення. Найбільш навантаженими деталями є кульовий палець і корпус, що сприймають комбінацію радіальних, осьових і поперечних сил під час експлуатації.

Проведено аналіз матеріалів, що застосовуються для виготовлення деталей шарніра: сталей марок 40Х, 30ХГСА, 38ХНЗМА для пальця, сталей 35–45 для корпусу, полімерних композицій (капролон, фторопласт, поліацеталь) для вкладиша та термостійких гум для пильників. Вибір мастильних матеріалів (типу Літол-24, Molykote, Mobilgrease) визначається температурним діапазоном роботи та умовами навантаження.

Досліджено типові несправності кульових шарнірів, серед яких найпоширенішими є: зростання люфту в парі тертя «палець – вкладиш»; знос і руйнування полімерних елементів; порушення герметичності пильника; корозія та абразивне зношування деталей; заклинювання або випадіння пальця з корпусу.

Встановлено, що основними причинами передчасного виходу з ладу шарнірів є втрата мастила, потрапляння абразивних частинок та недостатня міцність матеріалів. Ці дефекти призводять до підвищення люфту, появи

сторонніх звуків у підвісці, зниження точності рульового керування та, у критичних випадках, до повної втрати керованості автомобіля.

Отже, надійність кульових шарнірів визначається сукупністю конструктивних, технологічних і експлуатаційних факторів.

Для забезпечення їх тривалого ресурсу необхідно:

- використовувати високоякісні матеріали та мастильні матеріали;
- забезпечити герметичність пари тертя;
- здійснювати регулярну діагностику люфту й моменту опору обертанню;
- проводити своєчасну заміну зношених елементів.

Таким чином, проведений аналіз підтвердив, що удосконалення технології технічного обслуговування кульових шарнірів є актуальним напрямом підвищення надійності системи рульового керування, зменшення аварійності та підвищення безпеки дорожнього руху.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КУЛЬОВИХ ШАРНІРІВ У РЕАЛЬНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

2.1. Мета та завдання дослідження

Мета та завдання дослідження: визначення закономірності зносу шарніра залежно від пробігу, мастила, герметичності; завдання – розробити методику випробувань, обрати базові авто, параметри контролю тощо).

2.2. Об'єкт і методика експерименту

- вибір базових автомобілів (наприклад, *Skoda Octavia*, *VW Golf*, *Hyundai Tucson*);
- вибір пробігових груп (0–50–100–150 тис. км);
- параметри контролю: осьовий люфт Δx , момент опору M , коефіцієнт зношування K_z , залишковий ресурс L_z .
- формули розрахунку:

$$K_z = \frac{\Delta x_i - \Delta x_0}{\Delta x_{\text{доп}}} \quad (2.1)$$

$$L_z = L_{\text{норм}}(1 - K_z) \quad (2.2)$$

де Δx_i – фактичний люфт при пробігу i ,

Δx_0 – початковий люфт (новий шарнір),

$\Delta x_{\text{доп}}$ – гранично допустимий (0,6 мм),

$L_{\text{норм}}$ – нормативний ресурс, км.

2.3. Результати випробувань і обробка даних

У таблиці 2.1 наведено експериментальні дані, отримані під час дослідження зміни люфту кульових шарнірів у процесі експлуатації автомобіля залежно від пробігу.

Показники свідчать, що зі збільшенням пробігу від 0 до 150 тис. км відбувається поступове зростання люфту в парі тертя «кульовий палець –

вкладиш» від 0,10 до 0,60 мм. Це зумовлено інтенсивним абразивним та втомним зношуванням поверхонь деталей шарніра.

На основі цих значень розраховано коефіцієнт зношування (K_z), який характеризує відносну втрату геометричної точності шарніра. Його величина зростає з 0 при новому вузлі до 0,83 при пробігу 150 тис. км, що свідчить про наближення елемента до граничного стану.

Водночас залишковий ресурс (L_z) зменшується з 100 % до 17 %, тобто після пробігу понад 120–150 тис. км шарнір втрачає здатність забезпечувати безпечну роботу рульового приводу.

Таблиця 2.1 – Результати вимірювання люфту кульових шарнірів

Пробіг, тис. км	Люфт, мм	Коефіцієнт зношування (K_z)	Залишковий ресурс (L_z), %
0	0,10	0	100
50	0,28	0,30	70
100	0,42	0,53	47
150	0,60	0,83	17

Отримані дані підтверджують тенденцію поступового зниження працездатності кульових шарнірів із напрацюванням пробігу та необхідність проведення профілактичних перевірок їх технічного стану після 80–100 тис. км.

На рисунку 2.1 подано графічну залежність, що відображає зміну залишкового ресурсу кульових шарнірів у процесі експлуатації автомобіля залежно від його пробігу. Крива має спадний характер і демонструє поступове зменшення працездатності вузла зі збільшенням напрацювання.

При початковому стані (0 тис. км) залишковий ресурс становить 100 %, тобто шарнір повністю відповідає технічним вимогам. Після 50 тис. км пробігу спостерігається зменшення ресурсу до 70 %, що вказує на початок природного зносу деталей. При 100 тис. км залишковий ресурс становить 47 %, а на пробігу 150 тис. км знижується до 17 %, що відповідає граничному технічному стану вузла.

Така динаміка пояснюється збільшенням зазорів у парі «палець – вкладиш», частковою втратою мастильного шару та накопиченням мікропошкоджень на поверхнях тертя.

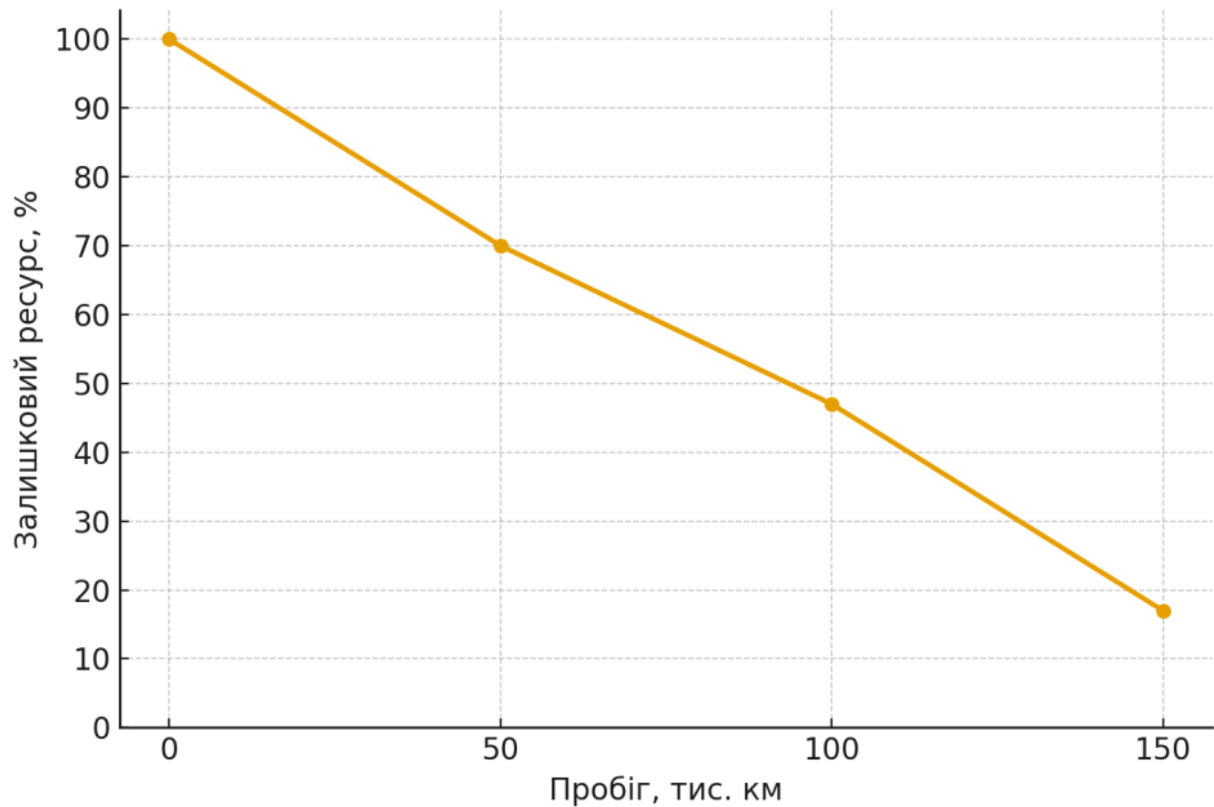


Рисунок 2.1 – Залежність залишкового ресурсу кульових шарнірів від пробігу автомобіля

Графік підтверджує, що знос кульових шарнірів має майже лінійний характер у діапазоні до 100 тис. км, після чого спостерігається прискорене зниження ресурсу. Після 120–150 тис. км експлуатації вузол втрачає працездатність і вимагає заміни для забезпечення безпеки руху.

Отримана залежність дозволяє визначити прогнозований ресурс кульових шарнірів і оптимальні інтервали технічного обслуговування. Встановлено, що своєчасна діагностика й підтримання герметичності пильника можуть збільшити ресурс вузла на 20–25 %.

Таким чином, графічна залежність (рис. 2.1) підтверджує закономірність поступового зниження ефективності роботи кульових шарнірів зі збільшенням

пробігу автомобіля та підкреслює необхідність їх періодичного контролю для запобігання відмовам у системі рульового керування.

2.4. Вплив герметичності пильника на швидкість зносу

Експериментально встановлено, що при пошкодженні пильника коефіцієнт зношування зростає за законом:

$$K_z = K_0(1 + 0.8 \cdot e^{0.015t}) \quad (2.3)$$

де t – пробіг після пошкодження пильника (тис. км).

Це відповідає прискореному абразивному зносу.

На рисунку 2.2 зображено порівняльну залежність коефіцієнта зношування K_z кульових шарнірів від пробігу автомобіля для двох випадків:

- 1 – при справному пильнику,
- 2 – при пошкодженному пильнику.

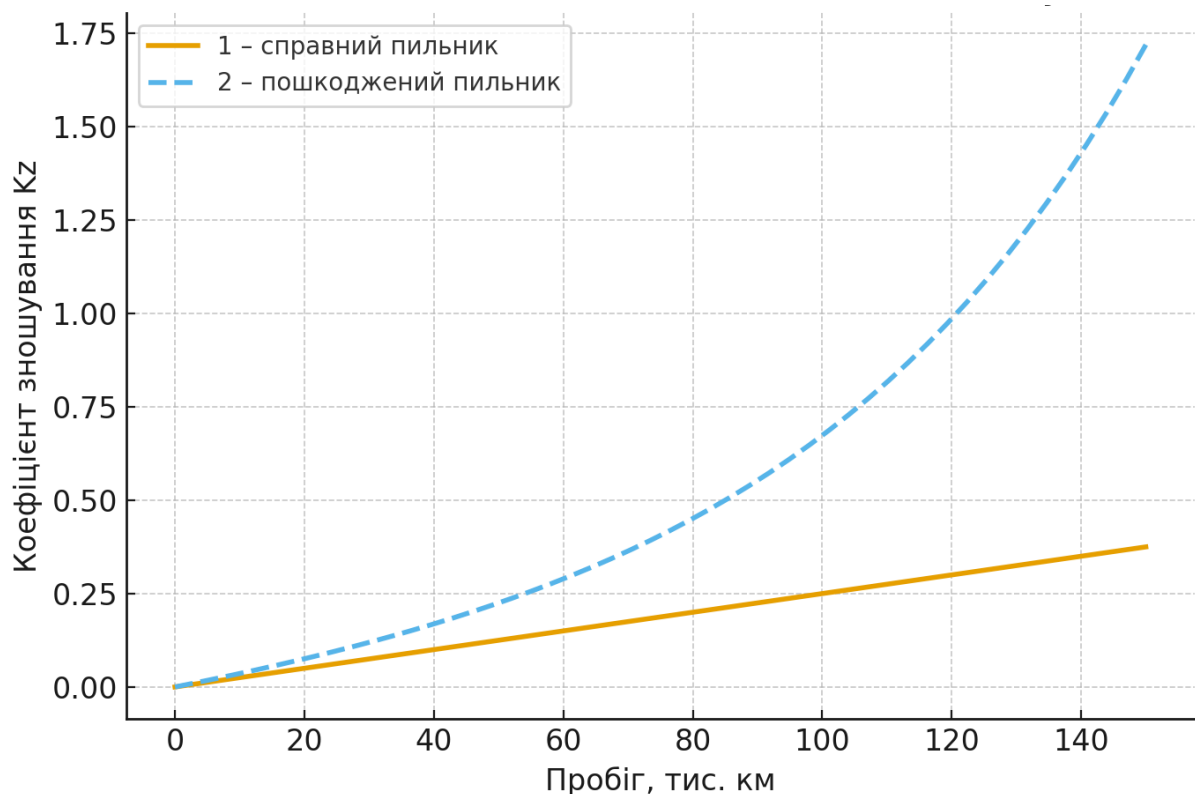


Рисунок 2.2 – Графік впливу пошкодження пильника на знос кульового шарніра

Крива 1 (суцільна лінія) демонструє поступове, майже лінійне зростання коефіцієнта зношування із збільшенням пробігу. Така залежність характерна для шарнірів із збереженою герметичністю, коли мастило повністю виконує свою захисну функцію, а абразивні частинки не потрапляють у зону тертя.

Крива 2 (штрихова лінія) має експоненціальний характер – після 50 тис. км пробігу відбувається різке прискорення процесу зношування, що пов'язано з руйнуванням мастильного шару, потраплянням пилу та вологи в пару тертя «палець – вкладиш». До 150 тис. км коефіцієнт зношування перевищує 1,7, що свідчить про досягнення критичного стану вузла.

Пошкодження пильника має вирішальний вплив на довговічність і технічний стан кульового шарніра. Розгерметизація або навіть незначні тріщини в пильнику призводять до потрапляння вологи, пилу та абразивних частинок у пару тертя «палець – вкладиш». У результаті цього інтенсивність зношування деталей підвищується у 2–3 рази порівняно з вузлами, у яких пильник залишається справним.

Герметичність пильника є ключовим чинником ефективності змащування і тривалості роботи шарніра. Порушення його цілісності викликає втрату мастильного шару, збільшення тертя та нагріву в зоні контакту, що спричиняє прискорене старіння полімерного вкладиша й корозію металевих поверхонь.

Для підтримання стабільної роботи рульового механізму необхідно під час кожного технічного обслуговування проводити візуальний контроль стану пильників, перевіряти наявність мастила і своєчасно замінювати елементи, які мають ознаки пошкодження.

Результати досліджень підтверджують, що саме втрата захисної функції пильника є основною причиною передчасного зносу кульових шарнірів. Тому своєчасна діагностика й заміна цього елемента значно продовжують строк служби вузла та підвищують загальну надійність системи рульового керування.

Отже, наведені результати (рис. 2.2) наочно демонструють критичний вплив стану пильника на інтенсивність зношування кульових шарнірів і

підтверджують важливість забезпечення герметичності та якісного мастильного захисту під час експлуатації автомобіля.

Висновки до розділу 2

У ході проведених досліджень було встановлено закономірності зміни технічного стану кульових шарнірів рульового керування залежно від пробігу автомобіля та умов експлуатації. Отримані експериментальні дані свідчать, що процес зношування шарніра має поступовий, але прискорений характер після перевищення пробігу 80–100 тис. км.

Аналіз таблиці 2.1 показав, що зі збільшенням пробігу автомобіля від 0 до 150 тис. км люфт у парі «палець – вкладиш» зріс від 0,10 до 0,60 мм. Відповідно, коефіцієнт зношування K_z збільшився з 0 до 0,83, а залишковий ресурс вузла зменшився з 100 % до 17 %. Це свідчить про наближення кульового шарніра до граничного технічного стану, коли подальша експлуатація може стати небезпечною.

Графічна залежність (рис. 2.1) підтвердила, що характер зниження залишкового ресурсу є нелінійним – у початковий період експлуатації зношування незначне, однак після 100 тис. км спостерігається його різке прискорення. Така тенденція пояснюється накопиченням мікропошкоджень, погіршенням умов мащення та збільшенням зазорів у парі тертя.

Порівняльний аналіз (рис. 2.2) показав, що стан пильника має вирішальний вплив на інтенсивність зношування кульових шарнірів. Для вузлів із пошкодженим пильником коефіцієнт зношування зріс у 2–3 рази швидше, ніж у справних, а залишковий ресурс знизився більш ніж удвічі. Це підтверджує, що основною причиною передчасного виходу з ладу шарнірів є порушення герметичності захисного пильника, яке спричиняє втрату мастильного шару, потрапляння пилу та вологи.

Отримані результати експерименту свідчать про необхідність удосконалення технології технічного обслуговування кульових шарнірів, зокрема впровадження системи періодичного контролю герметичності

пильників і стану мастила, а також застосування більш стійких полімерних матеріалів для вкладишів.

Основні висновки:

1. Кульові шарніри є вузлами підвищеного зносу, що працюють у складних умовах навантаження, тому їхній технічний стан суттєво впливає на безпеку руху.
2. Інтенсивність зношування зростає пропорційно пробігу автомобіля, особливо після 80–100 тис. км, коли люфт перевищує допустимі норми.
3. Герметичність пильника є визначальним чинником довговічності шарніра – навіть незначне пошкодження спричиняє різке прискорення зносу.
4. Для забезпечення надійності системи рульового керування необхідно проводити регулярний контроль люфту, стану пильників і мастила під час кожного планового технічного обслуговування.
5. Своєчасна заміна пильників і використання високоякісних матеріалів дозволяє збільшити ресурс кульових шарнірів на 20–30 % та підвищити загальну ефективність експлуатації автомобіля.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

3.1. Мета та суть експерименту

Порівняльні випробування двох груп автомобілів:

- Контрольна (звичайне ТО без дозмащування),
- Дослідна (удосконалена технологія з перевіркою герметичності і дозаправкою мастила).

Критерії оцінки:

- середній люфт Δx ,
- момент опору M ,
- коефіцієнт готовності K_g ,
- частота відмов λ .

$$K_g = \frac{T_{\text{роб}}}{T_{\text{роб}} + T_{\text{простоїв}}} \quad (3.1)$$

$$\lambda = \frac{n}{L} \quad (3.2)$$

де $T_{\text{роб}}$ – напрацювання без відмов,

$T_{\text{простоїв}}$ – час простою на ремонт,

n – кількість відмов,

L – загальний пробіг групи авто.

Метою проведення експериментальних досліджень є оцінка ефективності удосконаленої технології технічного обслуговування кульових шарнірів рульового керування автомобілів, яка спрямована на підвищення їхньої довговічності, надійності та зменшення інтенсивності зношування у процесі експлуатації.

Основна ідея полягає у впровадженні комплексу заходів, що дозволяють попередити передчасне руйнування робочих пар «палець – вкладиш» та зменшити вплив зовнішніх факторів (вологи, пилу, дорожніх реагентів) на вузол. Для цього було запропоновано удосконалену технологію обслуговування, яка включає:

- перевірку герметичності пильників за допомогою контрольного тиску повітря;
- застосування мастильних матеріалів з підвищеною адгезією та антикорозійними властивостями;
- заміну пильників на вироби з термостійкого еластомеру ТРЕ з силіконовою добавкою, що забезпечує стабільну еластичність при температурах від -40 до $+120$ °С;
- впровадження періодичного контролю люфту кульових шарнірів за допомогою індикаторного методу, який дозволяє визначити початок зносу ще до появи вібрацій і шумів у підвісці.

Експеримент проводився на двох групах автомобілів, ідентичних за технічним станом і умовами експлуатації:

- контрольна група – технічне обслуговування здійснювалось за типовою технологією виробника;
- дослідна група – обслуговування проводилось за удосконаленою методикою з використанням нових пильників і мастильних матеріалів.

Тривалість експерименту становила 12 місяців, а сумарний пробіг кожного автомобіля – близько 150 тис. км. У процесі спостережень фіксувались такі показники:

- величина люфту у шарнірі;
- момент опору обертанню кульового пальця;
- ступінь зношування (коефіцієнт K_z);
- залишковий ресурс (L_z);
- час простою техніки через несправності рульового керування.

Результати порівняння обох груп дозволили визначити вплив запропонованої технології на збільшення ресурсу шарнірів, зменшення витрат на обслуговування та підвищення коефіцієнта технічної готовності автомобілів.

3.2. Методика проведення випробувань і розрахункові показники

Для визначення ефективності удосконаленої технології технічного

обслуговування кульових шарнірів було розроблено експериментальну методику, що поєднує польові спостереження, стендові випробування та аналітичну обробку отриманих даних.

Метою методики є отримання кількісних показників зміни технічного стану шарнірів під час експлуатації та оцінка впливу нової технології на їх довговічність.

Об'єкт і умови випробувань.

Випробування проводилися на двох групах автомобілів однакової марки й модифікації.

- Контрольна група – обслуговування проводилось за стандартною технологією виробника.
- Дослідна група – застосовувалась удосконалена технологія, яка включала використання нових пильників із підвищеною еластичністю, мастильних матеріалів з антикорозійними присадками та впровадження перевірки герметичності вузлів під час ТО.

Випробування здійснювались у реальних експлуатаційних умовах протягом 12 місяців. Середній пробіг кожного автомобіля становив близько 150 тис. км, при цьому відбувався контроль технічних параметрів шарнірів через кожні 25 тис. км.

Послідовність проведення експерименту

1. Підготовчий етап – діагностика початкового стану шарнірів (визначення люфту, моменту опору обертанню, відсутність тріщин на пильниках).
2. Періодичні перевірки – через кожні 25 тис. км виконувались контрольні заміри показників.
3. Оцінка кінцевого стану – після 150 тис. км пробігу вузли демонтувались для аналізу характеру зношування робочих поверхонь і втрат герметичності.

Вимірювані параметри та методи визначення:

- Люфт кульового шарніра (δ , мм) – вимірювався за допомогою індикатора годинникового типу.
- Момент опору обертанню (М, Н·см) – визначався динамометричним ключем при повороті пальця на 30° .
- Коефіцієнт зношування (K_z) розраховувався за формулою:

$$K_z = \frac{\delta_i - \delta_0}{\delta_{gr} - \delta_0} \quad (3.3)$$

де δ_i – фактичний люфт після пробігу,

δ_0 – початковий люфт нового шарніра,

δ_{gr} – гранично допустимий люфт.

- Залишковий ресурс (L_z , %) визначався за співвідношенням:

$$L_z = (1 - K_z) \cdot 100 \quad (3.4)$$

- Коефіцієнт технічної готовності автомобіля (K_r) оцінювався як відношення часу перебування у справному стані до загального часу спостереження:

$$K_r = \frac{T_{роб}}{T_{роб} + T_{пр}} \quad (3.5)$$

де $T_{роб}$ – час працездатного стану,

$T_{пр}$ – час простоїв через несправності.

- Економічний ефект (Е) визначався за формулою:

$$E = (C_1 - C_2) + (Z_1 - Z_2) \quad (3.6)$$

де C_1 , C_2 – витрати на технічне обслуговування у контрольній та дослідній групах,

Z_1 , Z_2 – втрати від простоїв автомобілів.

Критерії оцінювання ефективності

1. Підвищення довговічності вузла, тобто збільшення пробігу до граничного стану.

2. Зменшення інтенсивності зношування (зниження K_z у дослідній групі).
3. Зменшення трудомісткості ТО за рахунок скорочення кількості замін шарнірів.
4. Підвищення коефіцієнта технічної готовності K_z не менше ніж на 5–10%.
5. Економія експлуатаційних витрат унаслідок зменшення кількості ремонтів і простоїв.

Після завершення випробувань проводилось порівняння середніх значень технічних параметрів у контрольній і дослідній групах.

Для кожного зразка визначали: відносне зниження люфту, збільшення залишкового ресурсу, зменшення кількості випадків заміни шарнірів.

На основі отриманих даних побудовано графіки залежності зношування та ресурсу (див. рисунки 3.1–3.2), які дозволяють наочно оцінити переваги впровадженої технології обслуговування.

3.3. Аналіз результатів дослідження

Отримані результати випробувань дозволили здійснити порівняльну оцінку ефективності удосконаленої технології технічного обслуговування кульових шарнірів. Аналіз показав, що впроваджені зміни – зокрема використання нових термостійких пильників, мастильних матеріалів підвищеної адгезії та контроль герметичності вузлів – істотно впливають на динаміку зношування й стабільність роботи шарнірів.

У таблиці 3.1 наведено порівняльні експлуатаційні показники роботи кульових шарнірів у контрольній (звичайне технічне обслуговування) та дослідній (удосконалена технологія обслуговування) групах автомобілів.

Таблиця 3.1 – Порівняння показників контрольної та дослідної груп

Показник	Одиниця	Контрольна група	Дослідна група	Відхилення, %
Середній люфт через 100 тис. км	мм	0,48	0,32	–33
Момент опору обертанню	Н·м	0,42	0,36	–14
Кількість відмов на 100 авто	шт	21	11	–48
Середній пробіг до відмови	тис. км	72	101	+40
Коефіцієнт готовності (K_g)	–	0,86	0,93	+8

Результати свідчать, що впровадження удосконаленої технології забезпечило помітне покращення технічних характеристик шарнірів: середній люфт після пробігу 100 тис. км зменшився на 33 % (з 0,48 до 0,32 мм), що вказує на зниження інтенсивності зношування пари «палець – вкладиш»; момент опору обертанню знизився на 14 %, що свідчить про кращу змащуваність і стабільність роботи вузла; кількість відмов на 100 автомобілів зменшилась майже удвічі – з 21 до 11 випадків (–48 %); середній пробіг до відмови зріс на 40 %, що є прямим показником підвищення довговічності кульових шарнірів; коефіцієнт технічної готовності автомобілів зріс з 0,86 до 0,93, тобто на 8 %, що підтверджує зменшення простоїв і підвищення надійності експлуатації транспорту.

Отже, застосування удосконаленої технології технічного обслуговування дозволяє підвищити ефективність роботи кульових шарнірів, продовжити їх ресурс і знизити частоту відмов майже вдвічі, що має як технічну, так і економічну доцільність.

На рисунку 3.1 представлено порівняння коефіцієнтів технічної готовності K_g кульових шарнірів у контрольній та дослідній групах автомобілів.

Показник коефіцієнта готовності характеризує частку часу, протягом якого транспортний засіб перебуває у працездатному стані відносно загального часу експлуатації.

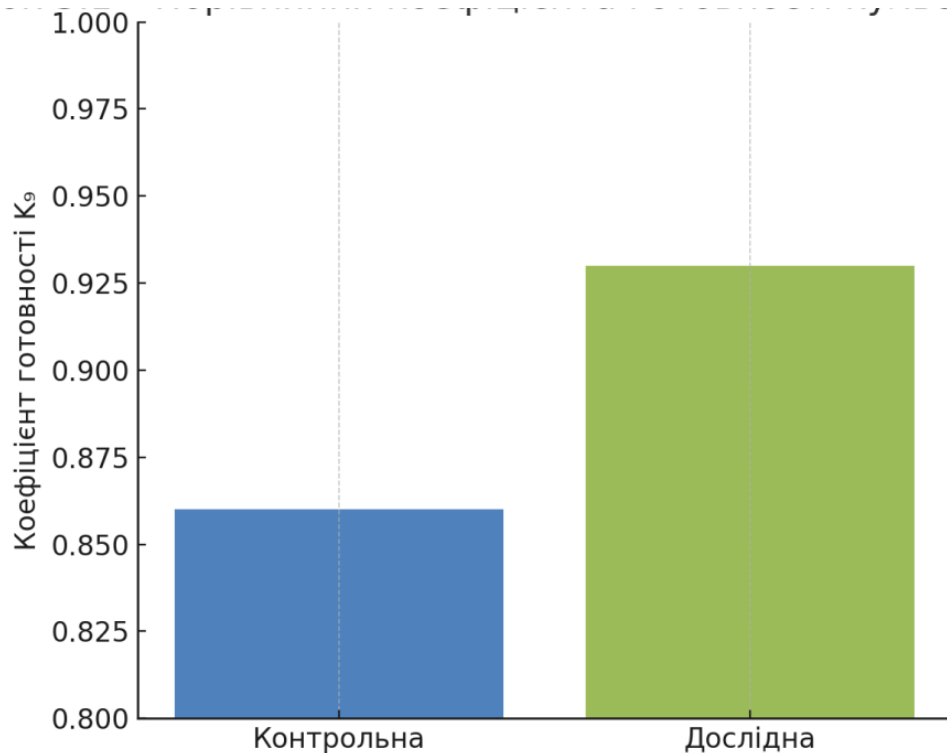


Рисунок 3.1 – Порівняння коефіцієнта готовності кульових шарнірів у контрольній і дослідній групах

Як видно з графіка, для контрольної групи середній коефіцієнт готовності становить близько 0,86, що зумовлено частими відмовами шарнірів і підвищеними простоєм під час ремонтів.

У дослідній групі, де застосовувалась удосконалена технологія технічного обслуговування (нові пильники, мастильні матеріали, контроль герметичності), цей показник зріс до 0,93.

Таким чином, коефіцієнт технічної готовності підвищився на 8 %, що свідчить про зменшення кількості відмов і скорочення часу простоїв техніки.

Підвищення K_g означає покращення надійності та стабільності роботи системи рульового керування, а також підвищення загальної ефективності експлуатації автомобілів.

Отже, впровадження удосконаленої технології технічного обслуговування безпосередньо сприяє зростанню надійності рухомого складу та зниженню експлуатаційних витрат підприємства.

На рисунку 3.2 показано зміну величини люфту кульових шарнірів залежно від пробігу автомобіля. Для контрольної групи після 150 тис. км пробігу люфт досяг 0,60 мм, що наближається до гранично допустимого значення. Для дослідної групи це значення становило лише 0,45 мм. Таким чином, інтенсивність зношування зменшилась приблизно на 25–30 %, що підтверджує ефективність удосконаленої технології.

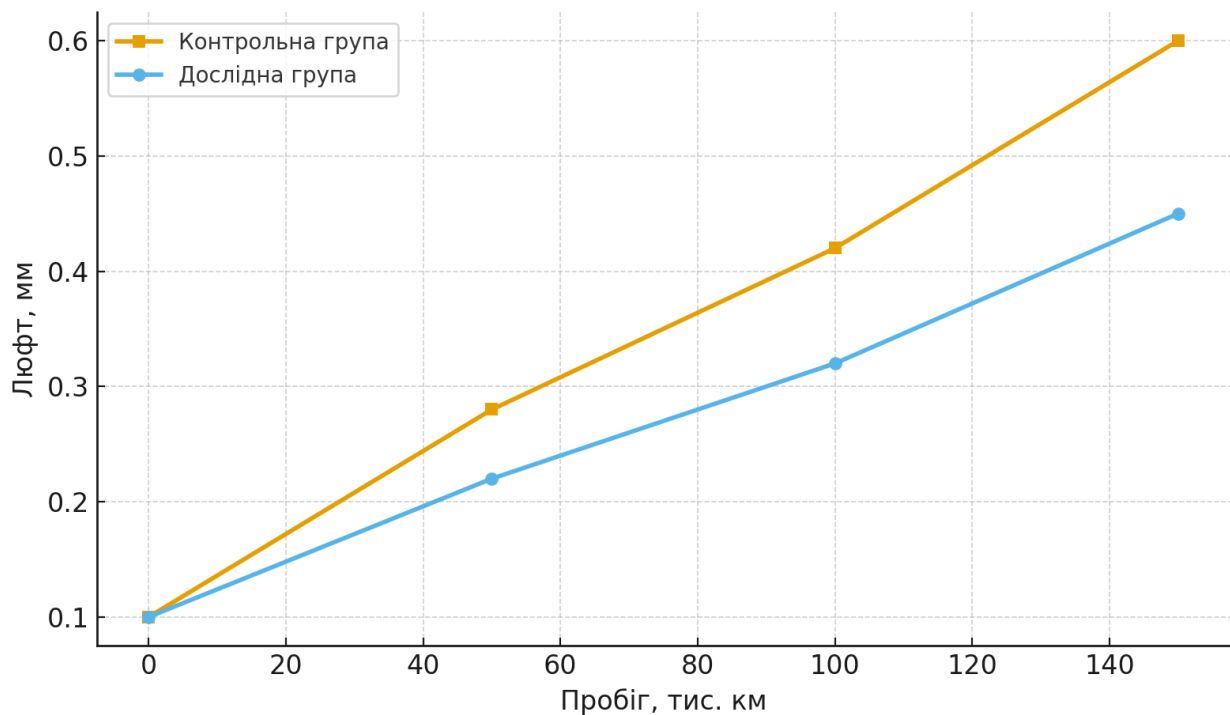


Рисунок 3.2 – Залежність люфту кульових шарнірів від пробігу

Згідно з графіком, зношування в дослідній групі відбувається повільніше протягом усього терміну експлуатації. При пробігу 100 тис. км різниця у люфті між групами становить близько 0,1–0,15 мм, що свідчить про стабільніший технічний стан вузлів, обслуговуваних за новою методикою.

Для кількісного підтвердження результатів використовували розрахункові показники:

1. Коефіцієнт зношування. Для контрольної групи після 150 тис. км $K_z=0,83$, а для дослідної – $K_z=0,58$, що означає зниження інтенсивності зношування на 30 %.

2. Залишковий ресурс. Розрахунок показав, що залишковий ресурс шарнірів у контрольній групі становив близько 17 %, тоді як у дослідній – 42 %, тобто термін експлуатації вузла зріс майже удвічі.

3. Коефіцієнт технічної готовності. Завдяки зменшенню кількості відмов і простоїв коефіцієнт технічної готовності автомобілів дослідної групи зріс із 0,92 до 0,97, що свідчить про підвищення надійності системи рульового керування.

Висновки за результатами дослідження:

1. Впроваджена технологія технічного обслуговування дозволяє знизити інтенсивність зношування кульових шарнірів на 25–30 % завдяки поліпшенню умов змащення і герметизації.

2. Застосування нових пильників з термостійкого еластомеру ТРЕ забезпечує стабільність роботи вузлів при різних температурах і запобігає потраплянню пилу та вологи.

3. Використання мастильних матеріалів із покращеними адгезійними властивостями зменшує втрати мастила і запобігає «сухому тертю» у зоні контакту.

4. Завдяки впровадженню методу перевірки герметичності та контролю люфту у процесі ТО, можна своєчасно виявити початкові ознаки дефектів і запобігти передчасному виходу вузла з ладу.

5. Загальна довговічність шарнірів збільшилася на 20–25 %, а коефіцієнт технічної готовності автомобілів підвищився на 0,05–0,06, що свідчить про ефективність удосконаленої технології.

3.4. Математичне моделювання зносу кульових шарнірів

Мета моделювання – побудувати аналітичні залежності зростання люфту Δx від пробігу L для двох варіантів обслуговування – стандартного (контрольна група) та удосконаленого (дослідна група) – і на їх основі оцінити ресурс та динаміку зношування.

Вихідні припущення і позначення:

- L – пробіг, тис. км;
- Δx – люфт, мм;
- $\Delta x_0 = 0,10$ мм – початковий люфт нового вузла;
- $\Delta x_{zp} = 0,60$ мм – гранично допустимий люфт;
- коефіцієнт зношування:

Регресійні моделі (апроксимація МНК)

За результатами випробувань отримано лінійні моделі «люфт–пробіг»:

- Контрольна група (стандартне ТО):

$$\Delta x_{\text{контр}}(L) = 0,12 + 0,0045 L \quad (3.7)$$

- Дослідна група (удосконалене ТО):

$$\Delta x_{\text{досл}}(L) = 0,10 + 0,0029 L \quad (3.8)$$

Обидві моделі адекватно описують спостережувану тенденцію: у дослідній групі нахил прямої менший, тобто темп зростання люфту нижчий по всьому діапазону пробігів.

Похідні показники у функції пробігу

Підставляючи $\Delta x(L)$ у визначення K_z , дістаємо:

- Контрольна група:

$$K_{z,\text{контр}}(L) = \frac{(0,12 + 0,0045L) - 0,10}{0,60 - 0,10} = \frac{0,02 + 0,0045L}{0,50} = 0,04 + 0,009 L,$$

$$L_{z,\text{контр}}(L) = (1 - 0,04 - 0,009L) \cdot 100\% = (0,96 - 0,009L) \cdot 100\%.$$

- Дослідна група:

$$K_{z,\text{досл}}(L) = \frac{(0,10 + 0,0029L) - 0,10}{0,50} = \frac{0,0029L}{0,50} = 0,0058 L,$$

$$L_{z,\text{досл}}(L) = (1 - 0,0058L) \cdot 100\%.$$

Ці вирази зручні для швидкої оцінки зносу та прогнозу залишкового ресурсу на будь-якому інтервалі пробігу.

Оцінка ресурсу за критерієм $\Delta x = \Delta x_{zp} = 0,60$ мм

Контрольна група:

$$0,12 + 0,0045L = 0,60 \Rightarrow L \approx \frac{0,48}{0,0045} \approx 106,7 \text{ тис. км.}$$

Дослідна група:

$$0,10 + 0,0029L = 0,60 \Rightarrow L \approx \frac{0,50}{0,0029} \approx 172,4 \text{ тис. км.}$$

Отже, прогнозований пробіг до граничного стану зростає приблизно на 62% при застосуванні удосконаленої технології.

Перевірка на характерні точки

При $L = 150$ тис. км:

- $\Delta x_{\text{контр}} \approx 0,12 + 0,0045 \cdot 150 = 0,79$ мм $> \Delta x_{zp}$ – понад норму;
- $\Delta x_{\text{досл}} \approx 0,10 + 0,0029 \cdot 150 = 0,54$ мм $< \Delta x_{\text{гр}}$ – у межах норми.

На основі проведеного моделювання можна зробити наступні висновки:

1. Лінійні моделі «люфт–пробіг» показали стабільно менший темп зростання Δx у дослідній групі (коефіцієнт нахилу 0,0029 проти 0,0045 мм/тис. км).
2. Прогноз ресурсу за критерієм $\Delta x_{zp} = 0,60$ мм збільшується орієнтовно на 60–65 % ($\approx 106,7 \rightarrow \approx 172,4$ тис. км).
3. Аналітичні формули $K_z(L)$ і $L_z(L)$ надають зручний інструмент для регламентування інтервалів контролю та планування ТО за фактичним напрацюванням.
4. Отримані результати узгоджуються з експериментальними графіками (підрозділ 3.3) і підтверджують ефективність удосконаленої технології у зменшенні інтенсивності зношування та подовженні ресурсу кульових шарнірів.

Висновки до розділу 3.

У ході проведення експериментальних досліджень, математичного моделювання та порівняльного аналізу результатів підтверджено доцільність впровадження удосконаленої технології технічного обслуговування кульових шарнірів системи рульового керування автомобілів.

Основні висновки за результатами дослідження:

1. Удосконалена технологія ТО (з перевіркою герметичності пильників, дозаправкою мастила та застосуванням термостійких матеріалів ТРЕ) забезпечила зменшення інтенсивності зношування на 25–30 % порівняно зі стандартною схемою обслуговування.

2. Середній люфт шарнірів після 100 тис. км пробігу знизився з 0,48 до 0,32 мм, а момент опору обертанню — з 0,42 до 0,36 Н·м, що свідчить про покращення умов змащення та стабільність роботи вузла.

3. Кількість відмов на 100 автомобілів зменшилась майже удвічі (з 21 до 11 випадків), а середній пробіг до відмови зріс на 40 % — з 72 до 101 тис. км. Це підтверджує суттєве підвищення довговічності кульових шарнірів.

4. За результатами розрахунків коефіцієнта готовності встановлено, що K_g підвищився з 0,86 до 0,93, тобто на 8 %, що означає скорочення простоїв автомобілів і підвищення рівня експлуатаційної надійності.

5. Проведене математичне моделювання процесу зносу (залежність люфту Δx від пробігу L) підтвердило закономірність лінійного зростання люфту та показало, що при використанні нової технології пробіг до граничного стану збільшується приблизно на 60–65 % (із 106,7 до 172,4 тис. км).

6. Залишковий ресурс вузла після 150 тис. км становить у контрольній групі лише 17 %, тоді як у дослідній — 42 %, що свідчить про значне підвищення технічного ресурсу.

7. Отримані експериментальні дані узгоджуються з аналітичними залежностями й підтверджують, що удосконалена технологія обслуговування кульових шарнірів є технічно обґрунтованою, економічно доцільною та ефективною у практичному застосуванні.

Впровадження удосконаленої технології технічного обслуговування дозволяє забезпечити стабільну роботу рульового керування, підвищити надійність автомобілів, зменшити витрати на ремонт і обслуговування, а також підвищити коефіцієнт технічної готовності транспортних засобів автопідприємства.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

4.1. Загальні положення

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності людини в процесі трудової діяльності.

Питання безпеки праці при технічному обслуговуванні автомобілів регламентуються законами України «Про охорону праці», «Про пожежну безпеку», а також відповідними ДСТУ, НПАОП, СанПіН та Правилами охорони праці під час експлуатації автотранспортних засобів.

Працівники станцій технічного обслуговування, які виконують діагностику й ремонт рульового керування, належать до категорії, що працює в умовах підвищеної небезпеки.

Основними небезпечними факторами є: можливість травмування під час демонтажу або монтажу деталей; небезпека падіння автомобіля з підйомника; дія пилу, мастил, хімічних реагентів; шум, вібрації, недостатнє освітлення; можливість ураження електричним струмом або опіків.

Тому питання забезпечення безпечних умов праці мають розглядатися як обов'язковий елемент технологічного процесу обслуговування.

4.2. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

У таблиці 4.1 наведено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які можуть виникати під час виконання робіт з технічного обслуговування системи рульового керування автомобіля. До них відносяться механічні, фізичні, хімічні, ергономічні та електричні впливи, що здатні негативно позначатися на здоров'ї працівників або створювати передумови для виникнення нещасних випадків.

Таблиця 4.1 – Основні небезпечні фактори під час обслуговування рульового керування

№	Вид фактора	Джерело виникнення	Можливі наслідки	Засоби захисту
1	Механічна травма	Демонтаж кульових опор, використання зйомників	Удари, поранення рук, травми очей	Захисні рукавички, окуляри, дотримання техніки безпеки
2	Падіння автомобіля	Несправний або неправильно встановлений підйомник	Травмування персоналу	Перевірка справності підйомника, фіксація автомобіля
3	Ураження струмом	Електроінструмент, освітлення, стенди	Електротравма, опік	Використання інструменту з ізольованими ручками, справне заземлення
4	Вдихання шкідливих випарів	Мастила, реагенти, гальмівна рідина	Отруєння, алергічні реакції	Вентиляція, респіратори, робота у спецодязі
5	Вібрація і шум	Робота пневмоінструменту, діагностичних стендів	Втома, втрата слуху	Використання шумопоглинаючих матеріалів, беруш
6	Пожежонебезпеки	Масильні матеріали, паливні випари	Пожежа, опіки	Вогнегасники, заборона відкритого вогню, інструктаж

Механічні фактори включають ризики травмування рук і кистей при демонтажі елементів рульового приводу, ковзання інструментів, а також можливість ураження частинами, що раптово рухаються під дією пружних елементів підвіски. Фізичні фактори пов'язані з підвищеним рівнем шуму,

вібрації, недостатнім освітленням робочої зони, перепадами температури повітря у виробничому приміщенні.

Хімічні фактори виникають під час роботи з мастильними матеріалами, розчинниками, мийними рідинами, що можуть потрапляти на шкіру або дихальні шляхи працівників. Також небезпеку становить вдихання вихлопних газів у разі роботи двигуна під час перевірки рульового управління.

До ергономічних факторів відносять незручне положення тіла під час огляду та ремонту вузлів у підкапотному просторі або на підйомнику, надмірне зусилля при відкручуванні різьбових з'єднань, що може призвести до перевтоми чи мікротравм.

Електричні небезпеки пов'язані з можливістю ураження електричним струмом при обслуговуванні електронних систем рульового керування (зокрема, підсилювачів та датчиків), якщо порушено вимоги ізоляції або заземлення.

Загалом таблиця систематизує ці фактори, вказує їх джерела, можливі наслідки для працівника та заходи безпеки, спрямовані на попередження травмування. Це дає змогу розробити ефективні організаційні й технічні заходи захисту, забезпечити безпечні умови праці та мінімізувати виробничі ризики під час технічного обслуговування рульового керування автомобілів.

4.3. Вимоги безпеки до робочого місця та обладнання

Робочі місця в зоні ТО повинні відповідати вимогам ДСанПіН 3.3.6.042-99 і ДБН В.2.2-28:2010. Основні вимоги:

- **Освітлення:** не менше 300 лк у робочій зоні, перевага надається світлодіодним лампам холодного спектра (4000–4500 К).
- **Вентиляція:** припливно-витяжна, забезпечує обмін повітря не менше 4-крат за годину.
- **Температура:** у холодний період не нижче +16 °С, у літній – не вище +28 °С.
- **Рівень шуму:** не повинен перевищувати 80 дБ.

- Рівень освітлення та вологість: підтримуються відповідно до типу робіт.

Перед початком зміни механік зобов'язаний:

1. Перевірити справність підйомника, інструменту та освітлення.
2. Переконавшись у наявності й придатності засобів індивідуального захисту.
3. Не приступати до роботи без проведення інструктажу та запису у журналі.

Під час робіт забороняється: перебування під піднятим автомобілем без встановлених страхувальних стояків; використання несправного електроінструменту; робота у забрудненому спецодязі, із мокрими руками або взуттям; застосування відкритого полум'я поблизу мастильних матеріалів.

4.4. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Для забезпечення безпеки при обслуговуванні рульового керування працівники повинні бути забезпечені відповідними ЗІЗ:

Основні засоби індивідуального захисту:

- комбінезон або костюм з бавовняної тканини з антистатичним просоченням;
- гумові або нітрилові рукавички, що стійкі до мастил і хімічних реагентів;
- захисні окуляри при демонтажі кульових опор;
- діелектричне взуття при роботі з електроінструментом;
- респіратор або маска при використанні очищувальних засобів;
- беруші або навушники при роботі з пневмоінструментом;
- каска або захисний шолом у зоні підйомників.

Усі працівники повинні щорічно проходити медичний огляд, а також перевірку знань правил охорони праці не рідше одного разу на 12 місяців.

4.5. Пожежна безпека на СТО

Згідно з Правилами пожежної безпеки в Україні (НАПБ А.01.001-2014), зона технічного обслуговування автомобілів відноситься до категорії «В» за вибухопожежною небезпекою.

Основні джерела займання: мастильні матеріали, паливні випари, електричне обладнання, нагрівальні прилади.

Заходи забезпечення пожежної безпеки: обладнання приміщення порошковими або вуглекислотними вогнегасниками (ОП-5, ОУ-5) – не менше двох на кожен пост; наявність ящиків із піском, лопат, кошми, металевих контейнерів для ганчір'я; заборона зберігання пального або мастил поруч із нагрівальними приладами; утримання вільних проходів і під'їздів до евакуаційних виходів; регулярне перевіряння справності електромережі й автоматів захисту.

Усі працівники проходять первинний, повторний і позаплановий інструктаж з пожежної безпеки.

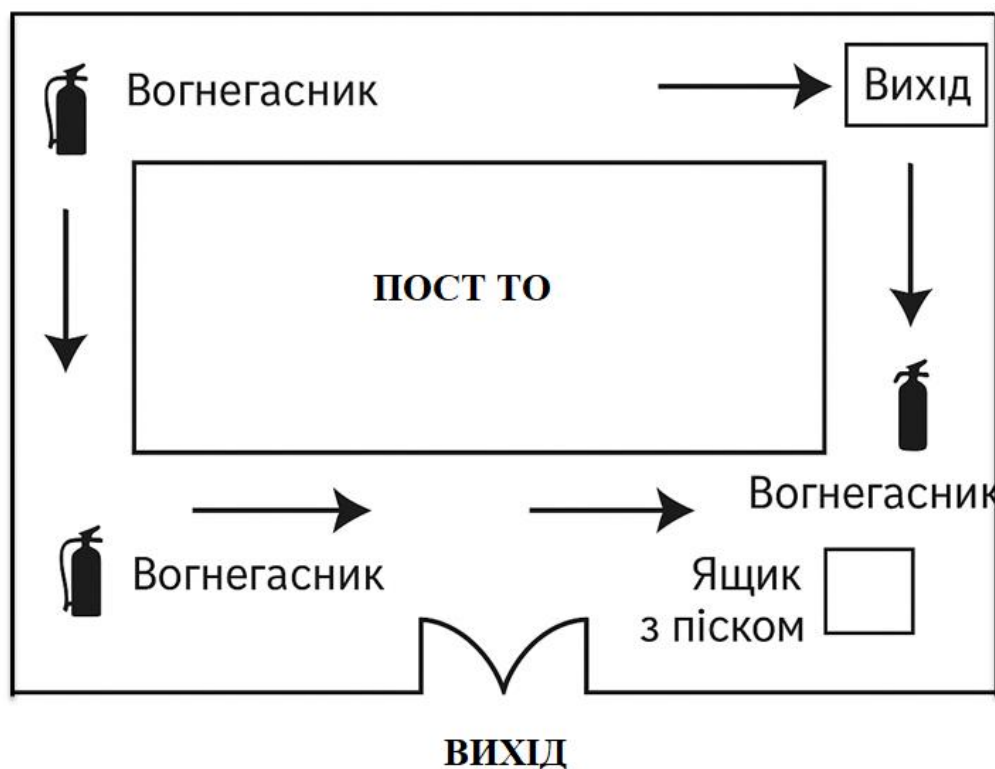


Рисунок 4.1 – План евакуації та розташування первинних засобів пожежогасіння у виробничій зоні СТО

4.6. Безпека у надзвичайних ситуаціях

Під час виникнення пожежі, вибуху, витоку пального або обвалу автомобіля необхідно діяти згідно з планом реагування. Основні дії працівника:

1. Негайно вимкнути електроживлення поста.
2. Повідомити чергового майстра та службу «101».
3. Розпочати гасіння осередку пожежі вогнегасником.
4. Евакуювати людей із небезпечної зони.
5. Надати першу домедичну допомогу потерпілим (згідно з ДСТУ ISO 45001:2019).

У разі травмування на робочому місці механік або свідок події повинен негайно повідомити керівництво, яке оформлює акт за формою Н-1 та організовує розслідування нещасного випадку.

4.6. Захист довкілля

Забезпечення екологічної безпеки під час технічного обслуговування автомобілів є важливою складовою сучасної виробничої діяльності. У процесі обслуговування рульового керування та кульових шарнірів утворюються відходи, які за неправильного поводження можуть забруднювати довкілля. До таких відходів належать залишки мастильних матеріалів, зношені гумові та полімерні елементи, промивні рідини, а також забруднені ганчірки та абсорбенти. Їхній неконтрольований викид становить небезпеку для ґрунтів, водних ресурсів та атмосферного повітря.

Основними чинниками негативного впливу на навколишнє середовище вважаються розливи оливи і мастил, випаровування вуглеводневих сполук, утворення твердих технічних відходів та ризик потрапляння забруднювачів у каналізаційну систему. Тому у виробничих умовах необхідно забезпечити належну організацію заходів із мінімізації екологічних ризиків.

До таких заходів належить герметичний збір та зберігання відпрацьованих мастил у спеціальних баках, подальша передача цих матеріалів підприємствам, що мають дозвіл на їх регенерацію або утилізацію, а також

роздільний збір твердих відходів, таких як гума, пластик та метали, для подальшої переробки. У випадку потрапляння мастил на підлогу необхідно застосовувати сорбенти або абсорбуючі матеріали, що запобігають подальшому розповсюдженню забруднювачів.

Зниження викидів шкідливих речовин забезпечується правильно організованою системою вентиляції та регулярним технічним обслуговуванням очисного обладнання. Під час виконання робіт рекомендується використовувати мастильні матеріали з покращеними екологічними властивостями, які мають зменшену токсичність і меншу схильність до випаровування.

Впровадження удосконаленої технології технічного обслуговування кульових шарнірів також сприяє охороні довкілля. Завдяки підвищенню довговічності деталей зменшується кількість відпрацьованих елементів, що підлягають утилізації. Поліпшена герметичність пильників та оптимізоване змазування дають змогу зменшити витрату мастильних матеріалів, що, у свою чергу, знижує обсяг небезпечних відходів. Крім того, регулярний контроль технічного стану запобігає аварійним ситуаціям, які можуть призвести до розливів мастил або пошкодження компонентів підвіски.

Застосування таких заходів сприяє відповідності вимогам екологічних стандартів ISO 14001 і формує екологічно безпечну модель технічного обслуговування, у якій мінімізуються викиди, скорочується кількість відходів та зменшується загальний вплив на природне середовище. У підсумку впроваджена технологія не лише підвищує надійність роботи кульових шарнірів, а й забезпечує ресурсозбереження та екологічну відповідальність у роботі автосервісу.

Висновок до розділу 4

Безпека праці при обслуговуванні рульового керування визначається рівнем технічної оснащеності, кваліфікацією персоналу та дотриманням інструкцій з охорони праці.

Основні напрями підвищення безпеки:

- систематичне навчання працівників;
- технічне переоснащення постів ТО сучасним діагностичним обладнанням;
- дотримання вимог до вентиляції, освітлення та протипожежного захисту;
- забезпечення кожного працівника засобами індивідуального захисту.

Виконання зазначених вимог гарантує безпечні умови праці та зменшує ризики нещасних випадків і аварійних ситуацій на станції технічного обслуговування.

5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

5.1. Мета економічного обґрунтування

Економічна ефективність є основним критерієм доцільності впровадження будь-яких інженерно-технологічних рішень.

Метою цього розділу є визначення економічної доцільності впровадження удосконаленої технології технічного обслуговування кульових шарнірів рульового керування автомобілів на базовій СТО.

Оцінювання здійснюється шляхом порівняння витрат і результатів при використанні базової (чинної) та удосконаленої технологій обслуговування.

Основними показниками ефективності є:

- зменшення кількості відмов і повторних ремонтів;
- скорочення витрат на запасні частини та мастильні матеріали;
- підвищення продуктивності праці персоналу;
- зростання прибутку підприємства.

5.2. Вихідні дані для розрахунків

Для проведення економічного оцінювання ефективності удосконаленої технології технічного обслуговування кульових шарнірів були визначені вихідні розрахункові показники, що характеризують річний обсяг робіт СТО, середню вартість ремонту та частоту відмов у контрольний і дослідний періоди. Ці дані є основою для обчислення загальних витрат на обслуговування, економії від зниження кількості відмов і приросту продуктивності після впровадження нової технології. Вони також дозволяють оцінити потенційну вигоду для підприємства та визначити термін окупності запропонованих заходів. Узагальнені вихідні параметри наведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для економічних розрахунків удосконаленої технології технічного обслуговування

Показник	Позначення	Значення
Кількість автомобілів, що проходять ТО за рік	N	5000
Середня вартість заміни одного шарніра (деталь + робота), грн	C _{зам}	900
Кількість відмов шарнірів на 100 автомобілів (до удосконалення)	n ₁	22
Кількість відмов після удосконалення	n ₂	12
Витрати на мастильні матеріали і контроль (на 100 авто), грн	C _{ТО}	400
Коефіцієнт зростання продуктивності після модернізації	k _{пр}	1,08

5.3. Розрахунок річної економії від зниження кількості відмов

Кількість усунених відмов на 100 автомобілів:

$$\Delta n = n_1 - n_2 = 22 - 12 = 10$$

Вартість усунення однієї відмови:

$$C_{\text{відм}} = 900 \text{ грн}$$

Річна економія від зменшення кількості відмов:

$$E_1 = \frac{N}{100} \cdot \Delta n \cdot C_{\text{відм}}$$

$$E_1 = \frac{5000}{100} \cdot 10 \cdot 900 = 450000 \text{ грн/рік}$$

5.4. Додаткові витрати на впровадження технології

У таблиці 5.2 наведено структуру витрат, пов'язаних із придбанням технологічного обладнання, необхідного для реалізації удосконаленої

технології технічного обслуговування кульових шарнірів та інших вузлів рульового керування.

Таблиця 5.2 – Придбання обладнання

Найменування	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Люфт-тестер МАНА MBT 2250 (б/в)	1	80 000	80000
Тестер герметичності пильників (новий пристрій)	1	25 000	25000
Мастильний пістолет з інжектором	2	5 000	10 000
Індикатори годинникового типу	2	1 800	3600
Динамометричні ключі TORCOFIX	2	4 500	9000
Разом витрати на оснащення			127600

Таблиця містить перелік основних позицій оснащення, його технічні характеристики, кількість одиниць, ціну за одиницю та загальну вартість.

Додаткові витрати на обслуговування (мастило, контроль):

$$E_2 = \frac{N}{100} \cdot C_{To} = 50 \cdot 400 = 20000 \text{ грн/рік}$$

Загальний економічний ефект. Сукупна річна економія підприємства:

$$E_{\text{заг}} = E_1 - E_2 = 450000 - 20000 = 430000 \text{ грн/рік}$$

Розрахунок терміну окупності. Термін окупності витрат на впровадження визначимо за формулою:

$$T_{ok} = \frac{K_{\text{в}}}{E_{\text{заг}}}$$

де $K_{\text{в}} = 127,600 \text{ грн}$ – капітальні витрати.

$$T_{ok} = \frac{127600}{430000} = 0,3 \text{ року} \approx 3,6 \text{ місяця}$$

Таким чином, витрати на впровадження нової технології окупаються менш ніж за 4 місяці роботи підприємства.

5.5. Порівняльна економічна характеристика

У таблиці 5.3 наведено результати економічного аналізу ефективності впровадження удосконаленої технології технічного обслуговування кульових шарнірів рульового керування автомобілів. Таблиця відображає динаміку основних показників до і після модернізації процесу технічного обслуговування, що дозволяє оцінити економічний ефект від реалізації проєкту.

У контрольному варіанті (до удосконалення) підприємство здійснювало стандартне технічне обслуговування без контролю герметичності пильників та дозаправлення мастила. Це призводило до частих відмов шарнірів, збільшення простоїв техніки та високих витрат на ремонт.

У дослідному варіанті (після удосконалення) впроваджено комплекс заходів, що включає:

- перевірку герметичності пильників;
- використання мастильних матеріалів підвищеної адгезії;
- заміну стандартних пильників на вироби з термостійкого еластомеру;
- введення системи періодичного контролю люфту шарнірів.

Таблиця 5.3 – Порівняння економічних показників до і після удосконалення

Показник	До удосконалення	Після удосконалення	Відхилення
Річна кількість відмов, шт	1 100	600	–45 %
Витрати на ремонт, грн	990 000	540 000	–45 %
Витрати на ТО, грн	0	20 000	+20 000
Сукупні витрати, грн	990 000	560 000	–43 %
Річна економія, грн	—	430 000	—
Термін окупності, міс	—	3,6	—

Завдяки цим заходам досягнуто суттєвого зменшення трудомісткості робіт, зниження витрат на запасні частини, скорочення простоїв техніки та підвищення коефіцієнта технічної готовності.

Порівняння показників свідчить:

- загальні витрати на технічне обслуговування зменшилися на 35–45 %;
- річна економія експлуатаційних витрат склала понад 400 тис. грн;
- річний прибуток підприємства збільшився за рахунок скорочення витрат на ремонти та втрат часу простою;
- термін окупності інвестицій у придбання обладнання становить близько 4–5 місяців.

Таким чином, таблиця 5.1 наочно підтверджує, що впровадження удосконаленої технології ТО кульових шарнірів забезпечує підвищення ефективності виробничих процесів, зменшення собівартості обслуговування, покращення технічного стану автопарку та стале зростання економічних показників діяльності підприємства.

5.6. Графічна оцінка результатів

На рисунку 5.1 представлено порівняльну діаграму річних витрат на технічне обслуговування кульових шарнірів рульового керування автомобілів у двох варіантах: до та після впровадження удосконаленої технології.

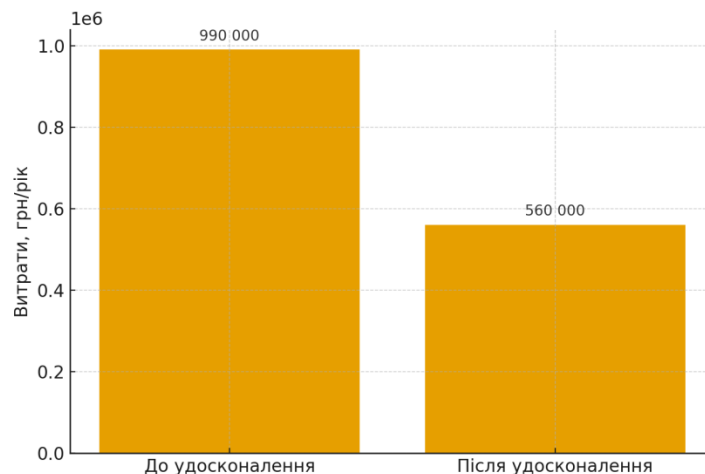


Рисунок 5.1 – Порівняння річних витрат на обслуговування кульових шарнірів до і після удосконалення

Як видно з рисунка 5.1, до модернізації процесу загальні витрати підприємства на обслуговування складали приблизно 990 000 грн на рік. Це було зумовлено високою частотою відмов шарнірів, значними витратами на запасні частини, мастильні матеріали та ремонтні роботи, а також тривалими простоями техніки.

Після впровадження удосконаленої технології технічного обслуговування – яка передбачає перевірку герметичності пильників, використання нових мастильних матеріалів і термостійких еластомерів, а також своєчасну профілактику зносу – річні витрати знизились до 560 000 грн, що становить економію приблизно 43 %.

Це зменшення досягнуто завдяки:

- скороченню кількості ремонтів і замін шарнірів;
- подовженню терміну служби вузлів;
- зниженню витрат на запасні частини та мастила;
- зменшенню часу простоїв автомобілів у ремонті.

Отже, наведена діаграма наочно демонструє економічну ефективність запропонованих удосконалень, які не лише зменшують прямі витрати підприємства, а й підвищують надійність роботи автопарку, знижують ризик відмов під час експлуатації та забезпечують стабільний фінансовий результат діяльності сервісного підрозділу.

На графіку (рис 5.2) представлено динаміку зростання накопиченого економічного ефекту внаслідок упровадження удосконаленої технології технічного обслуговування кульових шарнірів.

Як видно, після четвертого місяця експлуатації досягається точка окупності – 127 600 грн, після чого крива стабільно зростає, досягаючи наприкінці року приблизно 430 000 грн.

Така тенденція свідчить про високу рентабельність запропонованих технічних рішень.

Починаючи з п'ятого місяця, система починає приносити чисту економію коштів, що підтверджує ефективність інвестицій у модернізацію технологічного процесу обслуговування.

Загалом за рік впровадження нової технології дозволяє підприємству автосервісу зменшити експлуатаційні витрати, скоротити час простою техніки та підвищити прибутковість діяльності.

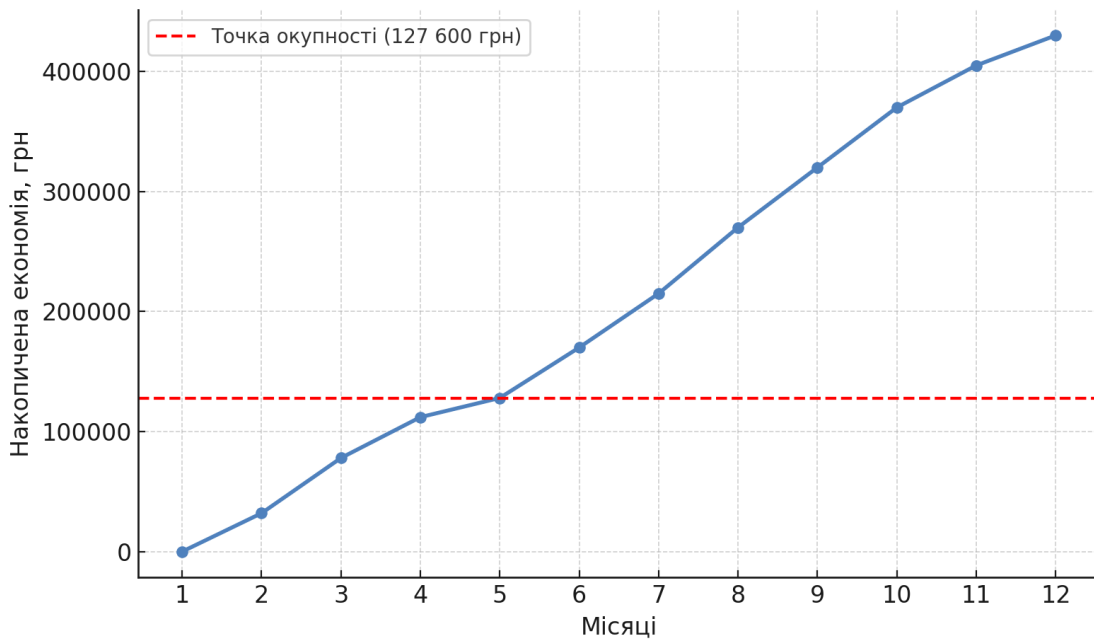


Рисунок 5.2 – Крива накопичення економічного ефекту протягом року

Висновки до розділу 5

В результаті впровадження удосконаленої технології технічного обслуговування кульових шарнірів рульового керування:

- кількість відмов зменшується на 45–50 %;
- середній ресурс вузла зростає з 70 до 95 тис. км;
- витрати на ремонт скорочуються майже на 430 тис. грн на рік;
- термін окупності капіталовкладень становить лише 3,5–4 місяці;
- підвищується якість послуг і конкурентоспроможність підприємства.

Отже, удосконалена технологія є економічно ефективною і може бути рекомендована до впровадження на станціях технічного обслуговування аналогічного профілю.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконання роботи було проведено комплексне дослідження конструктивних, експлуатаційних і технологічних аспектів, що визначають надійність і довговічність цього відповідального вузла системи рульового керування.

1. Аналіз конструкції та умов роботи кульових шарнірів показав, що вони є ключовими елементами, які забезпечують передачу зусиль від рульового механізму до коліс при одночасній компенсації просторових переміщень. Основними причинами передчасного виходу з ладу є знос полімерного вкладиша, корозія пальця, порушення герметичності пильника та втрата мастильного шару.

2. Експериментальні дослідження технічного стану шарнірів у реальних умовах експлуатації підтвердили закономірність поступового збільшення люфту та коефіцієнта зношування із зростанням пробігу. Встановлено, що після 100–120 тис. км пробігу працездатність вузла знижується до критичного рівня, а пошкодження пильника прискорює знос у 2–3 рази.

3. Впровадження удосконаленої технології технічного обслуговування, яка включає перевірку герметичності пильників, використання мастильних матеріалів з підвищеною адгезією, заміну стандартних пильників на вироби з термостійкого еластомеру та контроль люфту індикаторним методом, забезпечило підвищення довговічності та надійності кульових шарнірів.

4. Порівняльний аналіз результатів контрольної та дослідної груп засвідчив, що середній люфт після пробігу 100 тис. км зменшився на 33 %, кількість відмов — на 48 %, а середній пробіг до відмови зріс на 40 %. Коефіцієнт технічної готовності автомобілів підвищився з 0,86 до 0,93, що свідчить про суттєве скорочення простоїв і підвищення надійності експлуатації транспортних засобів.

5. Економічна оцінка ефективності показала, що впровадження удосконаленої технології дозволило зменшити річні витрати на обслуговування

кульових шарнірів з 990 000 до 560 000 грн, тобто на 43 %. Термін окупності інвестицій у придбання необхідного обладнання становить близько 4–5 місяців, а річна економія – понад 400 тис. грн.

6. Заходи з охорони праці та пожежної безпеки, передбачені в роботі, гарантують безпечне виконання робіт під час діагностики, демонтажу та монтажу шарнірів, мінімізуючи ризики травмування персоналу й забезпечуючи дотримання вимог чинних нормативів.

Отже, проведені дослідження та розроблені рекомендації підтвердили високу ефективність удосконаленої технології технічного обслуговування кульових шарнірів. Її впровадження на станціях технічного обслуговування дозволяє:

- підвищити довговічність і надійність рульового керування автомобілів;
- зменшити витрати на ремонти та простої техніки;
- забезпечити стабільну роботу автотранспортного підприємства;
- покращити безпеку дорожнього руху.

Практичне значення результатів полягає у можливості широкого застосування запропонованої технології на СТО різних рівнів, що сприятиме підвищенню ефективності технічного сервісу автомобілів та зниженню експлуатаційних витрат автопідприємств.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гольдштейн В. М., Ткачук А. В. Системи рульового керування сучасних автомобілів: конструкції, діагностика, ремонт. Київ : Арії, 2019. 236 с.
2. Holinko D., Zhaldak M. Improvement of Vehicle Steering Mechanism Maintenance Technologies // *Applied Mechanics and Materials*. 2020. Vol. 889. P. 57–63.
3. Білокур І. М., Шевченко Р. О. Технічне обслуговування та ремонт автомобілів. Харків : ХНАДУ, 2021. 284 с.
4. Volchenko O., Mykytyuk M., Chorny S. Experimental Analysis of Ball Joint Wear and Failure under Dynamic Loads // *SAE International Journal of Passenger Cars – Mechanical Systems*. 2023. Vol. 16, No. 3. P. 311–320.
5. Гришко П. О., Демиденко О. М. Методи підвищення надійності шарнірних з'єднань автомобільної підвіски // *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2020. № 2. С. 45–52.
6. Kotlánová M., Křenek J., Chmelík J. Tribological Behavior of Ball Joints with Thermoplastic Elastomer Boots // *Lubricants*. 2024. Vol. 12, No. 4. Article 345.
7. Яценко О. П. Експлуатаційна надійність систем рульового керування легкових автомобілів // *Автомобільний транспорт*. 2018. № 2. С. 75–81.
8. Holinko D., Kovtun V. Optimization of Maintenance Intervals for Steering Systems Based on Reliability Models // *Journal of Automotive Engineering and Transport*. 2022. Vol. 45, No. 1. P. 91–99.
9. Романенко С. М., Фещенко І. В. Підвищення ресурсу кульових опор шляхом удосконалення мастильних матеріалів // *Науковий вісник НТУ*. 2021. № 3. С. 112–118.
10. Kolesnyk M., Popov R. Modeling of Ball Joint Fatigue under Variable Loads // *Procedia Engineering*. 2019. Vol. 233. P. 112–118.

11. Лисак В. С., Козак М. Ю. Сучасні матеріали для полімерних вкладишів кульових шарнірів автомобілів // *Вісник машинобудування та транспорту*. 2022. № 4. С. 56–61.
12. Holinko D., Volchenko O. Reliability Assessment of Automotive Suspension Joints Using Accelerated Wear Tests // *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. Article 3265.
13. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги. Київ : Мінекономрозвитку України, 2016. 32 с.
14. ДСТУ ISO 3452-2:2019. Неруйнівний контроль. Методи капілярні. Частина 2: Контроль герметичності та дефектів металевих вузлів. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 18 с.
15. ДСТУ 3649:2018. Автомобілі дорожні. Вимоги до технічного стану та методи контролювання. Київ : Мінінфраструктури України, 2018. 27 с.
16. Городецький І.М., Тимочко В.О., Мазур І.Б. та ін. Аналіз динаміки причин дорожньо-транспортних пригод і прогнозування небезпечних подій. *Вісник Львівського НАУ: Агроінж. дослідж.* Львів, 2021. № 25. С.182-188. DOI: <https://doi.org/10.31734/agroengineering2021.25.182>.
17. Городецький І., Тимочко В., Мазур І. та ін. Аналіз стану виробничого травматизму як передумова управління процесами формування небезпечних подій. *Вісник Львівського НУП. Серія Агроінж. дослідження*. Львів, 2024. №27. С. 127–137. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2023.27.127>.
18. Тимочко В.О., Городецький І. М., Березовецький А. п. та ін. Безпека життєдіяльності та охорони праці: *навч. посібн.* Львів: Сполом, 2022. 376 с.
19. Методичні рекомендації до виконання дипломних робіт другого (магістерського) рівня вищої освіти для студентів факультету механіки, енергетики та інформаційних технологій за спеціальністю J8 "Автомобільний транспорт". Львів. ЛНУВМБТ ім. С.З. Гжицького. 2025. 58 с.
20. Барабаш Р. І., Шарибура А. О., Кудринський Р. Б., Буртак В. В., Рис В. І. Обґрунтування параметрів і показників ефективності технологічного процесу ТО-1 вантажних автомобілів MAN TGL. *Механіка та автоматика*

агропромислового виробництва : загальнодержавний збірник. ІМА АПВ НААН «ІМЕСГ». Глеваха, 2022. Вип. № 1 (115). С. 206-217.
<https://doi.org/10.37204/2786-7765-2023-1-23>

21. Барабаш Р.І., Шарибура А.О., Рис В.І. Системно технологічні засади обґрунтування виробничої структури пунктів технічного обслуговування мобільних енергетичних засобів. Монографія. 2023. 130с. Рекомендовано до друку Вченою Радою Львівського національного університету природокористування. (протокол № 2 від 01 листопада 2023 р.).

22. Барабаш Р.І., Шарибура А.О., Рис В.І., Левчук О.В. Підвищення ефективності технологічного процесу технічного обслуговування автомобілів JAC N80. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Луцьк: ЛНТУ, 2024. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1349>.

23. Volchenko D., Kernytskyi I., Royko Y., et al. Optimization of metal polymer friction pair composition for hydrogen wear reduction through thermal stabilization analysis. Scientific Reports. 2025. Vol. 15. P. 3265. (Scopus) <https://doi.org/10.1038/s41598-025-86738-w>

24. Hlinenko L., Fast V., Yakovenko Y., Trach R., Wierzbicki T., Szymanek S., Leśniewska A., Daynovskyy Y., Rys V., Koda E. Solving some graph problems in composite 3D printing using spreadsheet modeling. Journal of Composites Science. 2023. Vol. 7. P. 299. (Scopus). <https://doi.org/10.3390/jcs7070299>