

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно–технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
“ ” 2025 р.
Зав. кафедри професор
(науковий ступінь, вчене звання)
В.В.Дідур
(підпис) (ініціали, прізвище)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломної роботи
магістр
(освітній рівень)

**тема роботи: «Дослідження технологічного процесу технічного
обслуговування і ремонту автомобілів з розробкою способу відновлення
деталей рульового керування»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 21м–ім
освітньої програми магістр
спеціальності Н7
«Агроінженерія»
Паламарчук Владислав Васильович
(прізвище та ініціали)

Керівник: доцент, Петриченко Є.А.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно–технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Освітня програма магістр
Спеціальність Н7 «Агроінженерія»
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

В.В. Дідур
“ ” 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

студенту Паламарчуку Владиславу Васильовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження технологічного процесу технічного обслуговування і ремонту автомобілів з розробкою способу відновлення деталей рульового керування»

керівник роботи доцент Петриченко Є.А.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
“14” листопада 2025 р. № 01–06/261

2. Строк подання студентом роботи 25.11.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: способи зниження коливань машинно–тракторних агрегатів; літературні джерела; шляхи підвищення тягово–зчіпних показників колісних тракторів.

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

- провести всебічний аналіз існуючих конструкцій та технологічних схем рульових механізмів сучасних автомобілів;
- розглянути типові дефекти й причини виходу з ладу елементів рульового керування, зокрема кульових шарнірів, тяг і наконечників;
- виконати дослідження технологічного процесу технічного обслуговування та ремонту рульових систем;
- на основі теоретичних розрахунків і практичних експериментів обґрунтувати методику підвищення довговічності та відновлення зношених деталей рульового керування;
- оцінити працездатність відновлених деталей, проаналізувати їх триботехнічні характеристики;
- подано комплекс заходів з охорони праці, спрямований на забезпечення

безпечних умов під час проведення ремонтних операцій;
- провести техніко-економічне обґрунтування запропонованого способу
відновлення.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
 підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 20 слайдів) як
 додаток до доповіді за темою дипломної роботи: мета і завдання дослідження;
конструктивне рішення встановлення здвоєних коліс на тракторі ХТЗ–242К;
показники економічної ефективності;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		
Техніко–економічне обґрунтування	Петриченко Є.А., доцент		

7. Дата видачі завдання 23 квітня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	При– мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	30.04.2025 р.	
2.	Розділ 1.	14.05.2025 р.	
3.	Розділ 2.	28.05.2025 р.	
4.	Розділ 3.	11.06.2025 р.	
5.	Розділ 4.	25.06.2025 р.	
6.	Розділ 5.	24.09.2025 р.	
7.	Виконання ілюстративної частини роботи	23.10.2025 р.	
8.	Представлення роботи керівнику на перевірку	25.11.2025 р.	

Студент _____
 (підпис)

Паламарчук В.В.
 (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
 (підпис)

Петриченко Є.А.
 (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота виконана на тему: «Дослідження технологічного процесу технічного обслуговування і ремонту автомобілів з розробкою способу відновлення деталей рульового керування»

У дипломній роботі проведено всебічний аналіз існуючих конструкцій та технологічних схем рульових механізмів сучасних автомобілів. Розглянуто типові дефекти й причини виходу з ладу елементів рульового керування, зокрема кульових шарнірів, тяг і наконечників.

Виконано дослідження технологічного процесу технічного обслуговування та ремонту рульових систем. На основі теоретичних розрахунків і практичних експериментів обґрунтовано методику підвищення довговічності та відновлення зношених деталей рульового керування.

Особливу увагу приділено оцінці працездатності відновлених деталей, аналізу їх триботехнічних характеристик, а також розробці пропозицій щодо вдосконалення технологічного процесу ремонту.

Крім того, у роботі подано комплекс заходів з охорони праці, спрямований на забезпечення безпечних умов під час проведення ремонтних операцій. Проведено техніко-економічне обґрунтування запропонованого способу відновлення, що підтвердило його ефективність і доцільність упровадження у виробництво.

Дипломна робота містить пояснювальну записку обсягом 69 сторінки та 12 презентаційних слайдів, підготовлених у середовищі Microsoft PowerPoint.

Ключові слова: рульове керування, технічне обслуговування, ремонт, кульова опора, наконечник тяги, відновлення деталей, довговічність, надійність.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	10
1.1. Коротка характеристика базового підприємства	10
1.2. Аналіз технічних несправностей механізмів автомобілів, що забезпечують безпеку руху	13
1.3. Будова та принцип роботи кульових шарнірів підвіски та рульового керування	17
2. ТЕОРИТИЧНА ЧАСТИНА.....	30
2.1. Обґунтування оптимального методу підвищення довговічності кульового шарніру.....	30
2.2. Досліджувані мастильні композиції.....	34
2.3. Вивчення втрат на тертя в кульових парах.....	37
2.4. Фізична модель взаємодії наноалмазів з поверхневим шаром сферичної опори пальця та поверхнею втулки	39
3. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	41
3.1. Методика експериментальних досліджень.....	41
3.2. Випробування кульової опори на знос.....	43
3.3. Фізико-хімічні властивості ультрадисперсного порошку алмазографіта.....	44
3.4. Визначення ефективної концентрації ультрадисперсного порошку алмазографіта в пластичному мастильному матеріалі	45
3.5. Дослідження антифрикційних властивостей мастильних композицій при терті - ковзані.....	46
4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	52
4.1. Загальні відомості про охорону праці на підприємстві.....	52
4.2. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів у зоні поточного ремонту	

.....	53
4.3. Заходи по забезпеченню захисту працівників від дії шкідливих та небезпечних факторів	54
4.4. Правила безпечного виконання робіт слюсарем механоскладальних робіт	55
4.5. Дії у разі настання надзвичайної ситуації (Прогнозування вибуху газоповітряних сумішей при руйнуванні газопроводу з газом)	60
5. ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	63
ВИСНОВОК.....	69
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	71

ВСТУП

Серед численних вузлів підвіски та рульового керування автомобілів кульовий шарнір займає одне з провідних місць, оскільки є важливим несучим елементом, працездатність якого безпосередньо залежить від умов експлуатації. Від технічного стану кульових шарнірів значною мірою визначається надійність функціонування автомобіля та безпека руху [1].

Кульові шарніри застосовуються для з'єднання елементів підвіски й рульового керування, утворюючи кінематичні з'єднання з трьома кутовими ступенями свободи під час переміщення робочих елементів (важелів) [2]. Такі вузли сприймають значні навантаження: вертикальні – від маси автомобіля, горизонтальні – від сил тяги, гальмування та повороту. Тому їхній технічний стан безпосередньо впливає на стабільність руху та безпечну експлуатацію транспортного засобу.

У більшості випадків кульові шарніри виконуються нерозбірними, що значно ускладнює оцінку їх технічного стану в умовах автосервісного підприємства [3]. Одним з найбільш ефективних методів контролю є стендові лабораторні дослідження, які дозволяють визначати ступінь зношування та оцінювати залишковий ресурс вузла. Для отримання достовірних результатів стенд повинен відтворювати реальні умови роботи шарнірів, зокрема зусилля та траєкторії руху, що виникають у процесі експлуатації.

Достовірність лабораторних випробувань підтверджується порівнянням їх результатів із даними, отриманими під час виробничих випробувань [4]. Таким чином, дослідження, спрямовані на розробку ефективних методів і засобів оцінювання технічного стану кульових шарнірів безпосередньо в умовах автосервісного підприємства, залишаються актуальними.

Граничним станом кульового шарніра вважається момент, коли осьовий і радіальний зазори пальця в корпусі досягають 0,7 мм за осьового та радіального навантаження ± 981 Н. Такі параметри відповідають типорозмірам автомобільних шарнірів із діаметром кульової поверхні $d = 25\text{--}35$ мм [5–7].

Враховуючи це, постає необхідність у підвищенні ефективності

технологічного процесу технічного обслуговування та ремонту рульових шарнірів, що забезпечить стабільність експлуатаційних характеристик і безпечність руху автомобілів.

Серед провідних науковців, які зробили вагомий внесок у дослідження кульових шарнірів, слід відзначити І. Г. Гуна, В. В. Лапчинського, А. М. Фролова, В. О. Шулигіна, Ю. В. Калмиківа, А. В. Волкова, Г. Б. Куликова, А. Є. Стрешнєва, Д. В. Чаплигіна, а також іноземних дослідників Е. А. Осса, С. Поле, К. Джеюнга та інших. У їхніх роботах розглянуто питання підвищення якості виготовлення, довговічності та діагностування кульових шарнірів, проте проблеми організації їх технічного сервісу на ремонтних підприємствах залишаються недостатньо дослідженими.

Результати аналізу науково-технічних джерел свідчать, що існуючі методики контролю технічного стану та ремонту шарнірних з'єднань не повною мірою відповідають сучасним вимогам ринку технічного обслуговування. Тому виникає потреба у впровадженні інноваційних технологій діагностики та відновлення деталей рульового керування із застосуванням комп'ютерних засобів і цифрових систем контролю.

Метою роботи є підвищення ефективності технологічного процесу технічного обслуговування та ремонту рульових систем автомобілів шляхом розроблення способу відновлення кульових шарнірів і суміжних деталей рульового керування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні завдання:

- провести аналіз конструкцій і типових дефектів кульових шарнірних з'єднань;
- дослідити закономірності тертя та зношування шарнірних вузлів із використанням різних мастильних матеріалів;
- розробити методику та план експериментальних досліджень для оцінювання їх працездатності;
- визначити коефіцієнт тертя та момент опору кульових шарнірів під

час роботи;

- розробити заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності в умовах сервісного підприємства;
- здійснити техніко-економічне обґрунтування запропонованих інженерних рішень.

Об’єкт дослідження – процес технічного обслуговування та ремонту рульових систем автомобілів.

Предмет дослідження – технологічні методи та способи відновлення деталей рульового керування, зокрема кульових шарнірів.

1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Коротка характеристика базового підприємства

Усі дослідження та практичні роботи виконувалися на базі ремонтної майстерні рухомого складу газопромислового управління «Шебелинкагазвидобування» та на кафедрі надійності і ремонту машин.

Газопромислове управління «Шебелинкагазвидобування» є одним із провідних підприємств України у сфері видобутку природного газу. Підприємство забезпечує понад 40% загальнонаціонального видобутку блакитного палива, що робить його стратегічним об'єктом енергетичного комплексу держави.

У 2020 році обсяги видобутку підприємства становили 7,552 млрд м³ природного газу, а також понад 128,04 тис. тонн газового конденсату та нафти.

Філія здійснює розробку 57 нафтогазоконденсатних родовищ, розташованих у східних регіонах України – Полтавській, Харківській, Донецькій, Луганській та Дніпропетровській областях. Експлуатаційний фонд підприємства налічує 1 644 свердловини, а загальна кількість виробничих об'єктів, до яких входять установки комплексної підготовки газу (УКПГ), установки підготовки газу (УПГ), дожимні компресорні станції (ДКС) та газорозподільчі станції (ГРС), становить 101 одиницю.

Протяжність міжпромислових трубопроводів та шлейфів сягає понад 4 000 км, що забезпечує стабільну транспортну інфраструктуру для відбору, збору та переробки вуглеводнів.

За час своєї діяльності газопромислове управління «Шебелинкагазвидобування» забезпечило видобуток:

- природного газу – понад 1 233 млрд м³;
- газового конденсату та нафти – близько 31 млн тонн.

Завдяки потужній технічній базі, сучасному парку ремонтного обладнання та висококваліфікованому персоналу підприємство підтримує безперервну експлуатацію родовищ і виконує роботи з технічного обслуговування, ремонту та діагностики обладнання, у тому числі систем рульового керування

транспортних засобів, що використовуються у виробничому процесі.



Рисунок 1.1 – Управління «Шебелинкагазвидобування»

У межах реалізації Стратегії розвитку «20/20» акціонерного товариства «Укргазвидобування» здійснюється масштабна програма модернізації та оновлення автопарку спеціальної техніки.

З метою підвищення ефективності виконання виробничих завдань та забезпечення стабільного функціонування виробничих об'єктів було закуплено 39 самоскидів марки МАЗ, що дозволило оновити парк самоскидів на 25%, а також 64 повнопривідні сідельні тягачі КрАЗ, чим забезпечено 50% оновлення відповідної техніки.

Нова спецтехніка була раціонально розподілена між основними філіями товариства – «Львівгазвидобування», «Полтавагазвидобування» та «Шебелинкагазвидобування». Крім того, частина придбаної техніки передана для задоволення потреб найбільшого бурового підприємства України – «Укрбургаз», а також нового структурного підрозділу «УГВ-СЕРВІС», що спеціалізується на сервісному обслуговуванні бурових робіт.

Додатково, у білоруського виробника «Фідмаш» було придбано шість сучасних насосних установок, розрахованих на максимальний робочий тиск 700

та 1050 атм, що дозволяє виконувати високонапірні технологічні операції під час експлуатації газових родовищ.

Реалізація програми оновлення та технічної модернізації автоспецтехніки до 2020 року передбачає, що 90% водіїв ПАТ «Укргазвидобування» працюватимуть на нових сучасних транспортних засобах, що відповідають європейським стандартам безпеки, екологічності та енергоефективності.



Рисунок 1.2 – Автомобілі КраЗ для ПАТ «Укргазвидобування»



Рисунок 1.3 – Оновлення парку автомобілів

Протягом останніх років підприємство активно реалізує програму модернізації та оновлення автотранспорту. Станом на 2020 рік автопарк було оновлено на 30%, що дало змогу суттєво підвищити технічний рівень та надійність експлуатації транспортних засобів.

У рамках цієї програми було закуплено 178 одиниць нової техніки, до складу якої входять різні типи автомобілів, призначених для виконання виробничих, транспортних і сервісних завдань (рис. 1.4).

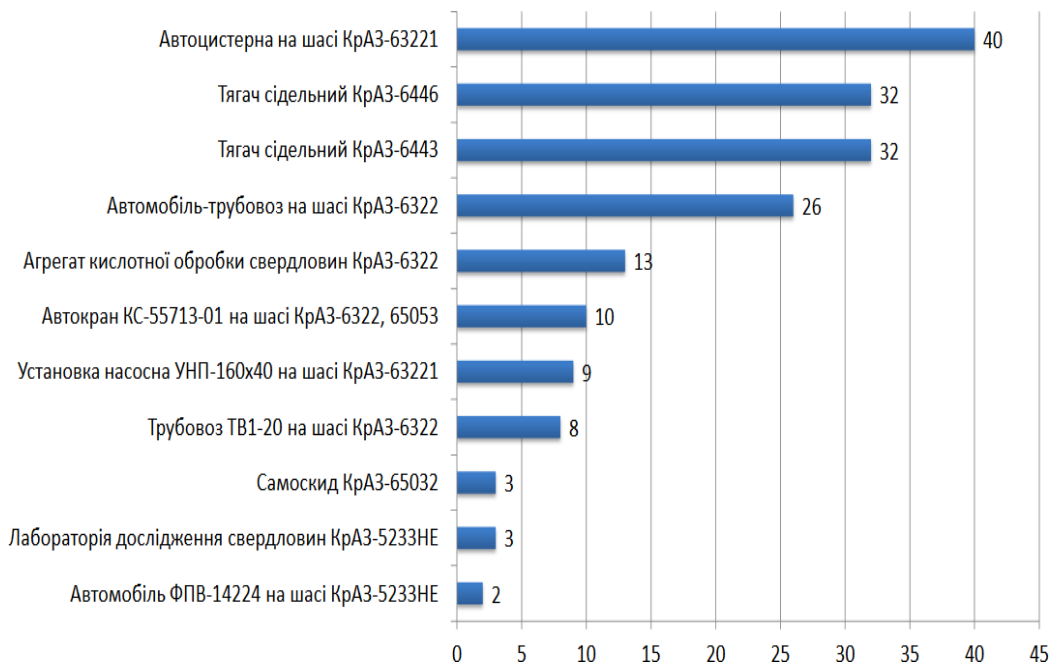


Рисунок 1.4.— Оновлення автопарку у 2020 році

1.2. Аналіз технічних несправностей механізмів автомобілів, що забезпечують безпеку руху

Згідно зі статистичними даними про дорожньо-транспортні пригоди (ДТП), більшість випадків пов'язані з людським фактором, зокрема з порушеннями правил дорожнього руху та помилками водіїв. Їхня частка становить приблизно 70–75% від загальної кількості аварій.

Водночас технічні несправності транспортних засобів є причиною 2–4% ДТП, тоді як незадовільний стан дорожнього покриття спричиняє близько 4–11% аварій (рис. 1.5) [8].

Такі показники підтверджують, що, хоча технічні несправності становлять меншу частку у структурі причин аварій, їхній вплив на безпеку руху є

надзвичайно вагомим, адже більшість із них стосується відмов систем рульового керування, гальмівних механізмів, підвіски та рульових тяг, що безпосередньо визначають керованість автомобіля.

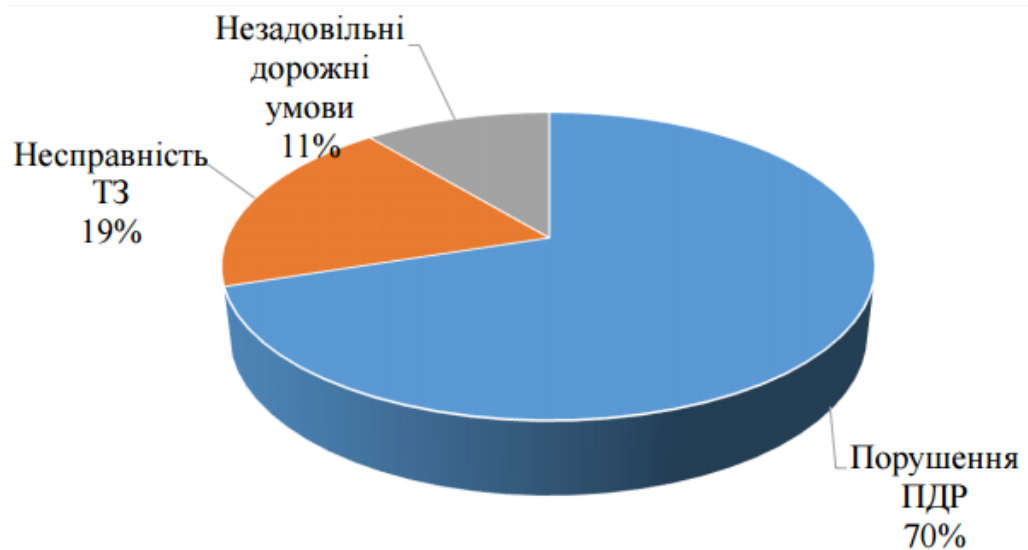


Рисунок 1.5 – Причини дорожньо-транспортних пригод (ДТП)

У більшості випадків несправність транспортних засобів (ТЗ) та незадовільні дорожні умови не враховуються в офіційній статистиці як головні причини ДТП. Це пов'язано з відсутністю у реальних умовах достатньої системи фіксації технічного стану автомобіля та оцінки дорожніх умов як безпосередньо на місці події, так і під час подальшого розслідування її обставин.

До статистичних звітів зазвичай потрапляють лише найочевидніші прояви технічних відмов – відрив колеса, руйнування елементів ходової частини, зміщення або випадання вантажу, від'єднання причепа чи напівпричепа. Навіть у таких випадках експертні органи часто фіксують лише можливість запобігання аварії діями водія, що занижує фактичну частку технічних причин у структурі ДТП.

Основна небезпека технічних несправностей та поганого стану дороги полягає не лише у прямому ризику поломки, а й у тому, що вони провокують підвищену психоемоційну напругу водія, спричиняють швидке стомлення і, як наслідок, збільшують ймовірність помилкових дій за кермом, що стають передумовою виникнення ДТП, формально віднесених до «людського фактора»

[9].

За результатами аналізу, несправності транспортних засобів, які безпосередньо стали причинами дорожньо-транспортних пригод, можна класифікувати за основними механізмами та вузлами (рис. 1.6):

1. Гальмова система – 20–50% (залежно від типу транспортного засобу);
2. Ходова частина, включаючи шини – 10–30%;
3. Рульовий привід – 10–15%;
4. Світлова сигналізація та освітлення – близько 10% [10].

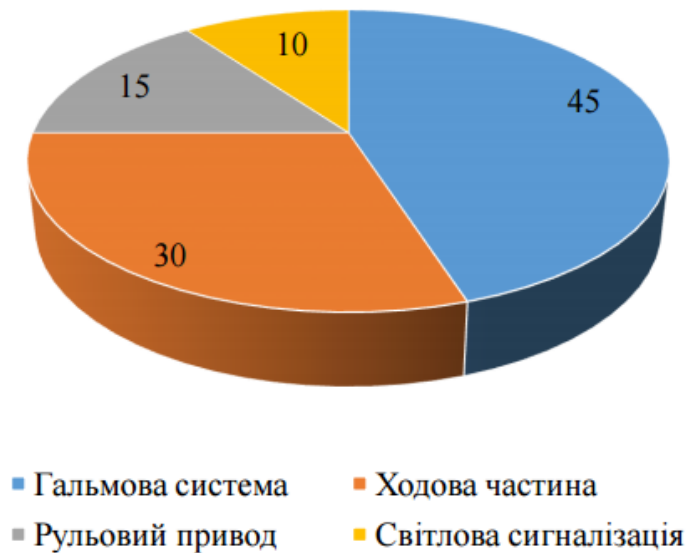


Рисунок 1.6 – Несправності транспортних засобів

Результати досліджень, проведених для визначення причинно-наслідкових зв'язків між технічним станом транспортного засобу та виникненням дорожньо-транспортних пригод (ДТП), свідчать про такі закономірності:

- Технічна несправність не є основною причиною більшості аварійних ситуацій. Від 66 до 89% ДТП трапляються за участю технічно справних автомобілів, де визначальним фактором виступає людський чинник.
- У більшості випадків водій має можливість виявити несправність ще до початку руху під час передрейсового огляду чи планового технічного обслуговування.
- Лише 3–5% аварій пов'язані з несправностями, які водій не може

самостійно виявити. Це, як правило, приховані дефекти у вузлах і механізмах, стан яких можна оцінити лише після демонтажу або розбирання відповідних агрегатів [11].

Одними з головних критеріїв оцінки працездатності транспортного засобу є його стійкість і керованість [12]. Порушення цих характеристик безпосередньо впливають на безпеку руху та здатність водія контролювати транспорт у складних дорожніх умовах.

Аналіз статистики дорожньо-транспортної аварійності в регіонах України показав (рис. 1.7), що найчастіше причинами аварій, пов'язаних із технічним станом автомобілів, є несправності системи рульового керування, гальмівних механізмів і ходової частини, що підтверджує необхідність систематичного контролю та вдосконалення технологій їх технічного обслуговування.



Рисунок 1.7 – Діаграма видів технічних несправностей автотransпортних засобів, що призводять до ДТП

Для забезпечення високої стійкості та керованості автомобіля, необхідно здійснювати комплексний аналіз впливу всіх систем і агрегатів транспортного засобу на безпеку руху. Такий підхід дозволяє своєчасно виявляти менш надійні вузли, визначати критичні фактори їх відмов і спрямовувати зусилля на удосконалення конструкції.

Результатом цієї роботи має стати створення ефективної системи

технічного забезпечення та підтримання працездатності автомобіля, що гарантує стабільну експлуатацію транспортних засобів у різних дорожніх і кліматичних умовах [13].

1.3. Будова та принцип роботи кульових шарнірів підвіски та рульового керування

Кульові шарніри є основними з'єднувальними елементами систем підвіски та рульового керування, що забезпечують кінематичні зв'язки між окремими компонентами. Вони дозволяють здійснювати три кутові ступені свободи під час переміщення робочих елементів (важелів) [14].

Ці шарніри належать до відповідальних сполучень, оскільки сприймають значні навантаження:

- вертикальні – від маси автомобіля;
- горизонтальні – від сил тяги, гальмування та повороту транспортного засобу.

Таким чином, надійність і технічний стан кульових шарнірів мають вирішальний вплив на безпеку руху та стабільність автомобіля під час експлуатації.

Підвіска автомобіля виконує функцію пружного зв'язку між кузовом і колесами, пом'якшуючи поштовхи та удари, які виникають при русі по нерівностях дорожнього покриття. Завдяки цьому підвищується довговічність вузлів автомобіля, а також покращується комфорт водія і пасажирів. Крім того, підвіска істотно впливає на плавність ходу, стійкість і керованість транспортного засобу [15, 16].

У конструкціях із залежною підвіскою кульові шарніри майже не застосовуються, оскільки обидва колеса з'єднані між собою жорстко. У таких системах використовується шкворневе з'єднання, яке є конструктивно простішим і більш жорстким [17].

Натомість у незалежних підвісках кожне колесо може змінювати своє

положення незалежно від іншого, що забезпечує кращу керованість, стійкість і плавність руху.

Найбільш поширеним типом є підвіска типу МакФерсона (рис. 1.8). Вона включає:

- один поперечний важіль,
- стабілізатор поперечної стійкості,
- пружину,
- телескопічний амортизатор, закріплений у верхній частині до брызговики кузова через пружний шарнір, що дозволяє елементу вільно коливатися під час вертикальних переміщень колеса.

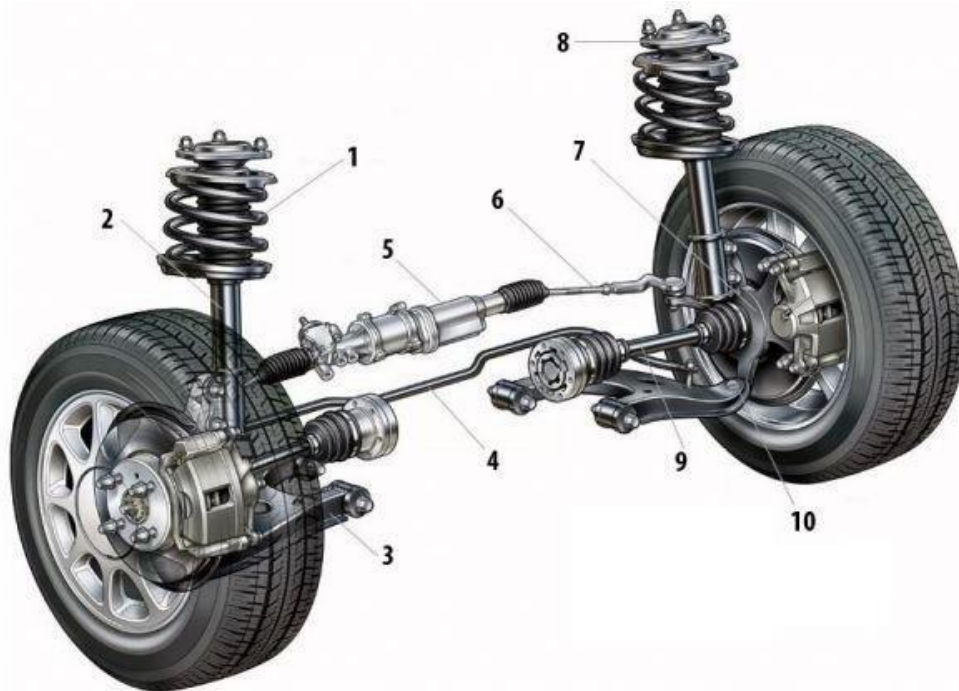


Рисунок 1.8 – Підвіска типу МакФерсона

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 – напіввісь; 10 – кульова опора.

Підвіска типу МакФерсона є однією з найпоширеніших конструкцій у сучасному автомобілебудуванні завдяки своїй простоті, компактності та ефективності. Вона забезпечує оптимальне поєднання механічної жорсткості, комфорту руху та надійності підвіски, що робить її придатною як для легкових,

так і для вантажних автомобілів.

Основним елементом конструкції є телескопічна стійка, яка поєднує в собі функції амортизатора та направляючого елемента підвіски. Верхня частина стійки кріпиться до кузова через опорний підшипник, а нижня – до поворотного кулака, де розташована кульова опора.

Таке компонування дозволяє зменшити кількість вузлів і масу підвіски, одночасно забезпечуючи високу плавність ходу й стабільність керування. Додатково, стабілізатор поперечної стійкості зменшує крени кузова під час поворотів, а нижній важіль слугує опорою для сприйняття горизонтальних навантажень.

Підвіска типу МакФерсона характеризується простотою обслуговування, ремонтпридатністю та низькою собівартістю виготовлення, тому її широко використовують у більшості сучасних автомобілів, включно з транспортними засобами виробничого призначення.

Двоважільна підвіска є однією з класичних і надійних конструкцій незалежної підвіски, яка забезпечує високий рівень керованості та стабільності автомобіля. Її особливістю є наявність двох поперечних важелів – верхнього та нижнього, що з'єднують маточину колеса з кузовом або підрамником.

Кожне колесо у двоважільній підвісці має два кульові шарніри (рис. 1.9), які забезпечують можливість вільного кутового переміщення при русі автомобіля та дозволяють підтримувати оптимальний кут нахилу коліс відносно дорожнього полотна.

Завдяки такій будові забезпечується:

- краща стійкість автомобіля під час поворотів;
- зменшення крену кузова;
- покращена плавність ходу;
- рівномірний розподіл навантаження між опорними елементами підвіски.

Двоважільна система відзначається високою точністю керування, що робить її популярною у спортивних та позашляхових автомобілях. Основним

недоліком є складність конструкції та більша кількість шарнірних з'єднань, однак це компенсується її довговічністю та ефективністю роботи в умовах значних навантажень.



Рисунок 1.9 – Двоважільна підвіска

Аналіз надійності елементів рульового механізму та підвіски передніх коліс задньопривідних автомобілів, проведений у роботі [6], показав, що на кути встановлення передніх коліс найбільше впливають дефекти шарнірів рулевих тяг і кульових шарнірів важелів підвіски, а також зношування підшипникових вузлів верхніх опор телескопічних амортизаційних стійок.

Кульові шарніри, які застосовуються в конструкції передньої підвіски автомобіля (рис. 1.10), належать до відповідальних вузлів, адже саме вони сприймають значні навантаження у всіх площинах:

- вертикальні – від маси автомобіля;
- поздовжні – під час розгону та гальмування;
- поперечні – під час поворотів і маневрування.

Надійність і технічний стан кульових шарнірів мають вирішальний вплив на безпеку руху транспортного засобу, оскільки будь-яке порушення їх працездатності може призвести до погіршення керованості, зміни кутів установки коліс або навіть втрати стійкості автомобіля [5].

Регулярна діагностика, технічне обслуговування та своєчасна заміна шарнірних з'єднань є необхідною умовою підтримання належного технічного

стану систем рульового керування і підвіски, що забезпечує безпечну експлуатацію автомобіля в різних дорожніх умовах.



Рисунок 1.10 – Кульові шарніри передньої підвіски автомобіля

Кульовий шарнір є важливим елементом системи рульового керування та підвіски, що забезпечує поворот коліс і передачу навантажень у різних напрямках без заклинювання або втрати рухливості.

Конструктивно кульові шарніри складаються з таких основних елементів (рис. 1.11):

1. Корпус шарніра – слугує опорою для всіх деталей вузла та забезпечує його жорсткість.
2. Кульовий палець – основний елемент, який передає навантаження; має сферичну головку, що взаємодіє з вкладишем.
3. Вкладиш (сферична втулка) – утримує кульову поверхню пальця, забезпечуючи плавне обертання та зниження тертя.
4. Пильник (захисний чохол) – призначений для запобігання попаданню пилу, бруду й води, що збільшує довговічність вузла.
5. Ущільнювальні елементи – зберігають мастило всередині шарніра і запобігають його витіканню.
6. Кришка або притискна шайба – фіксує вкладиш у корпусі, підтримуючи постійний контакт між робочими поверхнями.

7. Мазильний канал (у змащуваних моделях) – дозволяє проводити періодичне технічне обслуговування шляхом подачі мастила під тиском.

Завдяки такій будові кульовий шарнір забезпечує вільне кутове переміщення деталей у межах робочого ходу підвіски, зберігаючи при цьому жорсткість з'єднання і точність керування автомобілем.

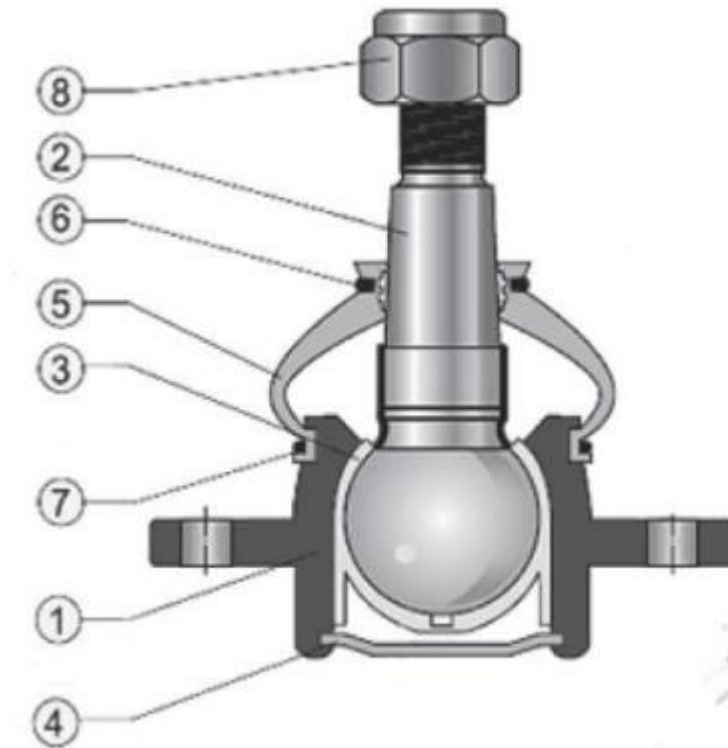


Рис. 1.11. Будова кульового шарніра

Корпус кульового шарніра є базовим конструктивним елементом, призначеним для розміщення, фіксації та взаємного узгодження всіх складових деталей вузла. Він забезпечує передачу навантажень від кульового пальця до елементів системи підвіски або рульового керування автомобіля, зберігаючи при цьому жорсткість і точність геометричних параметрів [18].

Кульовий палець виконує роль основного робочого елемента шарніра. Його завдання полягає у передачі силових навантажень між деталями підвіски та компенсації їх взаємних переміщень у різних площинах. Сферична головка пальця обертається всередині корпусу, забезпечуючи плавність руху та зниження динамічних навантажень [18].

Вкладиш кульового пальця виконує функцію підшипника ковзання. Його

основна мета – мінімізувати тертя між головкою кульового пальця та корпусом шарніра, що значно підвищує ресурс роботи вузла і зменшує ймовірність заїдання під час роботи [18].

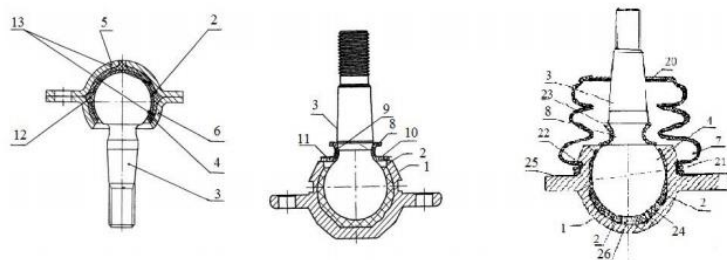
Захисний чохол (пильник) – важливий елемент, який запобігає потраплянню пилу, вологи, абразивних частинок і бруду у зону тертя «вкладиш – головка кульового пальця». Попри невеликі розміри, він має ключове значення для довговічності шарніра, адже його пошкодження призводить до інтенсивного зношування робочих поверхонь і втрати герметичності вузла [18].

Мастило (змащення) виконує функцію зменшення тертя та зносу у парі «вкладиш – кульовий палець», сприяє відведенню тепла та запобігає корозії металевих поверхонь.

Для заповнення простору між корпусом і вкладишем кульового шарніра застосовують композиційні полімерні матеріали, що поєднують міцність і еластичність. Як полімерну матрицю можуть використовувати:

- поліамід,
- поліефір,
- поліетилен,
- полібутадієнтерафтолат,
- капролон тощо.

Такі матеріали забезпечують зменшення коефіцієнта тертя, стабільність геометричних розмірів і високу зносостійкість під час тривалої експлуатації (рис. 1.12).



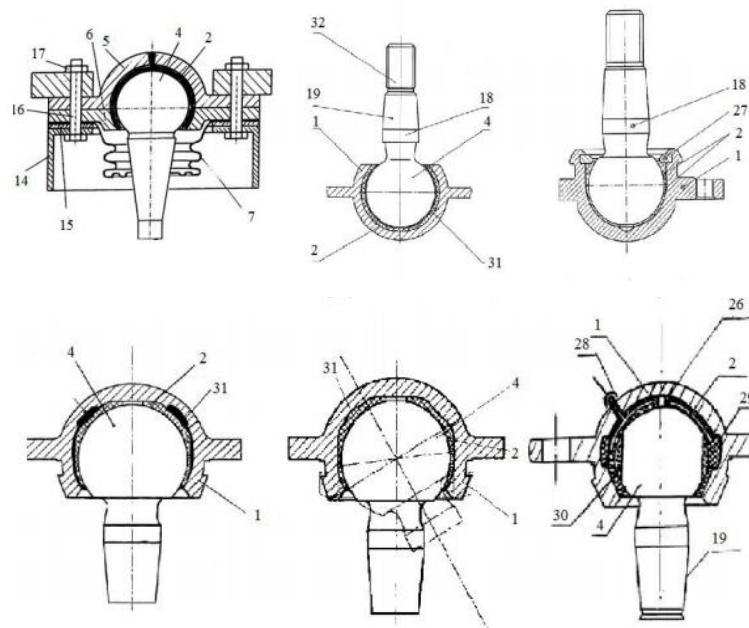


Рисунок 1.12 – Різновиди кульових шарнірів:

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 зазначалося раніше, кульовий шарнір рульового керування має відносно просту, але функціонально важливу конструкцію, яка забезпечує надійну роботу системи керування автомобіля за різних експлуатаційних умов.

Його будова включає шість основних елементів (рис. 1.13):

1. Кульовий палець – основна деталь, яка передає зусилля від рулевих тяг до поворотних важелів і забезпечує свободу кутових переміщень у різних площинах.

2. Захисний чохол (пильник) – герметизує вузол і захищає внутрішні елементи шарніра від потрапляння пилу, бруду та вологи, запобігаючи прискореному зносу.

3. Корпус наконечника – служить опорою для всіх деталей шарніра, сприймає зовнішні навантаження та передає їх на елементи рульового привода.

4. Полімерний вкладиш – виконує роль підшипника ковзання, забезпечуючи плавність руху кульового пальця й зменшуючи тертя в парі «метал–полімер».

5. Піджимна пружина – підтримує постійний контакт робочих поверхонь, компенсує зазори, що виникають під час експлуатації, і запобігає появі люфту.

6. Кришка – фіксує всі деталі всередині корпусу та забезпечує необхідну жорсткість і стабільність з'єднання.

Така конструкція поєднує простоту, надійність і технологічність, що дозволяє ефективно використовувати кульові шарніри у рульових системах різних типів автомобілів.

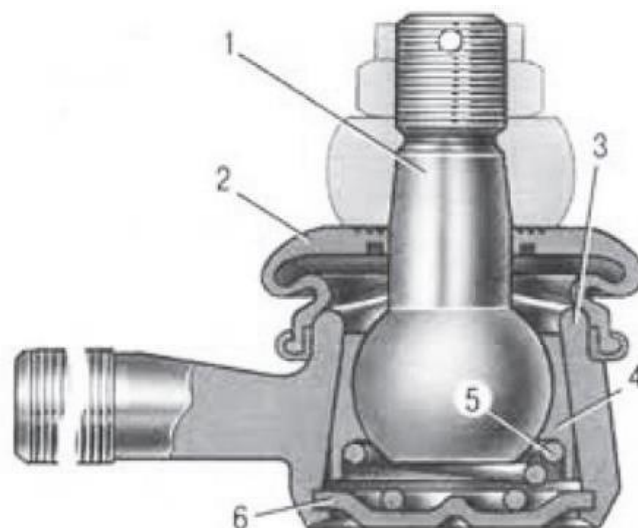


Рисунок 1.13 – Кульовий шарнір наконечника рульової тяги

1 – палець кульовий; 2 – захисний чохол; 3 – корпус наконечника; 4 – полімерний вкладиш; 5 – піджимна пружина; 6 – кришка.

У процесі експлуатації кульовий шарнір піддається дії різноманітних

експлуатаційних і динамічних факторів, серед яких: тип автомобіля, характер дорожнього покриття, умови роботи, рівень навантажень, а також матеріали, з яких виготовлено елементи вузла.

Комбінація цих чинників визначає швидкість зношування деталей та тривалість роботи шарніра без втрати функціональності. Порушення цілісності будь-якого елемента, зокрема захисного чохла або полімерного вкладиша, може спричинити потрапляння пилу, вологи та абразивних частинок у зону тертя, що значно прискорює деградацію поверхонь.

Варто зазначити, що несправність кульового шарніра є однією з найнебезпечніших серед вузлів системи рульового керування, адже вона призводить до втрати керованості автомобіля, що створює ризик аварійних ситуацій та тяжких наслідків.

Тому своєчасна діагностика, перевірка люфтів, мастило й заміна пошкоджених елементів є критично важливими заходами для забезпечення безпечної та надійної експлуатації транспортного засобу.



а)



б)



в)



г)



д)



е)



ж)



з)

Рисунок 1.14 – Складові кульових шарнірів після періоду експлуатації.

Основними чинниками відмови є тривала експлуатація на дорогах із поганим покриттям за високих швидкостей, а також технологічні відхилення під час виготовлення вкладиша й використання неякісних матеріалів. Типові прояви під час руху – поява сторонніх стуків і шумів та помітне погіршення керованості. Характерні ушкодження включають абразивне зношування сферичної головки та втомне зношування в зоні переходу сфери в конус кульового пальця (рис. 1.14, з). Втомне зношування шийки пальця зазвичай виникає внаслідок перевищення встановленого ресурсу кульового шарніра та/або технологічних дефектів під час виготовлення (брак).



Рисунок 1.15 – Види ушкоджень кульових шарнірів

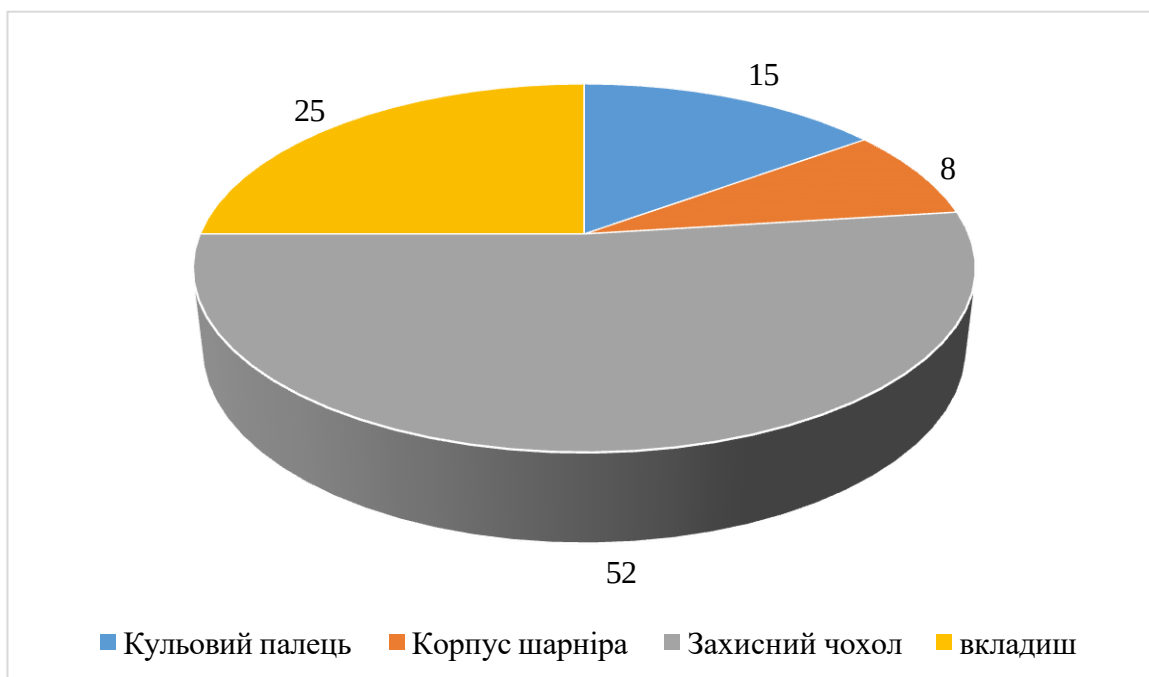


Рисунок 1.16 – Відмови деталей кульового шарніра

Висновок

Проведений аналіз надійності вузлів передньої підвіски та рульового приводу засвідчив, що на керованість і безпеку руху передусім впливають відмови кульових шарнірів рульового механізму та підвіски. Скорочення частки автомобілів, що експлуатуються у стані, наближеному до передвідмовного, є суттєвим резервом зниження рівня аварійності на автошляхах України. Дослідження характерів пошкоджень показало: домінують зношування полімерного вкладиша (40% зразків), руйнування або втрати герметичності захисного чохла (32%), а також зношування сферичної частини пальця (18%).

2. ТЕОРИТИЧНА ЧАСТИНА

2.1. Обґунтування оптимального методу підвищення довговічності кульового шарніру

Як було показано в розділі 1, кульові шарніри істотно визначають загальну надійність автомобіля й, передусім, його безпеку руху. Нині застосовують кілька підходів до сервісного обслуговування шарнірів – від регламентних процедур у межах системи технічного сервісу до прогресивних технологій. Розглянемо методи, що передбачені чинною системою ТО.

На автотранспортних підприємствах кульові опори проходять періодичний огляд і, за наявності характерних ознак, підлягають вибракуванню. До ознак належать:

- глухі удари, особливо під час руху нерівною дорогою;
- скрипи при поворотах і на нерівностях;
- збільшений люфт керма;
- передавання ударів на рульове колесо.

За фіксації наведених симптомів виконують діагностування кульової опори і, як правило, її заміну (рис. 2.1), оскільки більшість сучасних опор нерозбірні та неремонтопридатні. Виняток становлять окремі вітчизняні моделі, для яких передбачені ремонтні комплекти.



Рисунок 2.1 – Кульова опора: новий вузол і зразок у граничному стані.

Недоліком такого підходу є висока вартість кульових опор за порівняно невеликого ресурсу, що, з огляду на стан автошляхів в Україні, суттєво підвищує собівартість ремонту. Водночас результати досліджень свідчать: головна причина зниженого ресурсу – недостатнє змащення, яке втрачається через пошкодження пильника (вимивання/витік), а також малий заводський об'єм мастила.

Альтернативою є перероблення опор у ремонтпридатні. Суть методу: опори з граничним зносом розбирають; з торця корпусу видаляють частину з місцем кріплення кришки; до підготовленої ділянки приварюють шайбу з різьбою, у яку вкручується заглушка. Після цього вузол стає придатним до обслуговування – можна періодично замінювати ремкомплекти (рис. 2.2).

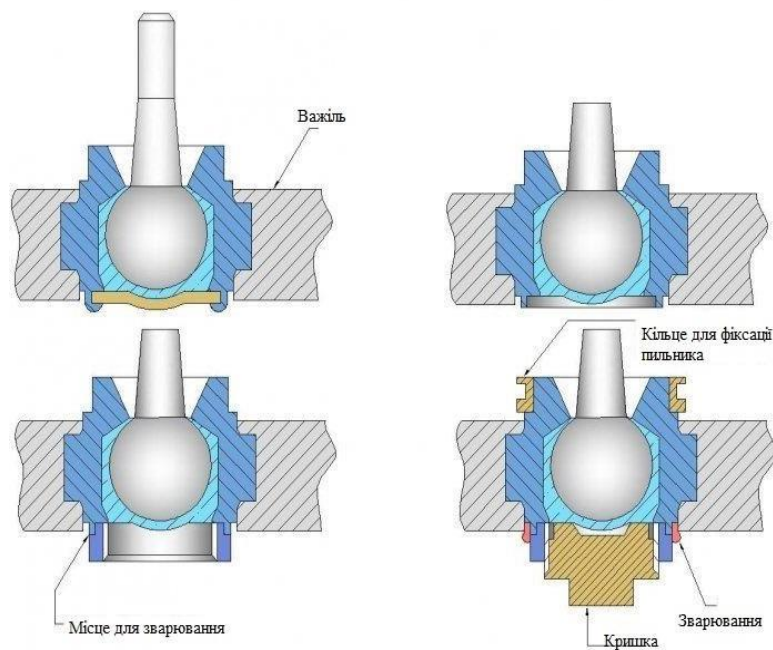


Рисунок 2.2 – Модернізація кульового шарніра

Даний спосіб має такі недоліки:

- трудоемкість процесу модернізації;
- високі вимоги до зварних швів;
- висока собівартість робіт.

Альтернативний підхід полягає у відновленні зношеного шару полімерної втулки методом заливання через спеціальний термопрес (рис. 2.3). У корпусі опори свердлять технологічний отвір, у який встановлюють ежектор; у термопресі підігрівають капролон В, що під тиском заповнює порожнини зношеної опори. Метод відносно новий; верифікованих досліджень, які б підтверджували його довготривалу надійність, нині немає. За відгуками працівників СТО, які мали справу з опорами, відновленими таким способом, результат часто тимчасовий і не забезпечує стабільної довговічності.



Рисунок 2.3 – Термопрес: регенерація полімерної втулки кульової опори.

Недоліки методу термопресування:

- висока вартість конструкції;
- нерівномірне заповнення полімером сферичної зони опори;
- обмежена довговічність відновленого вузла.

Альтернативний підхід: шліфування сферичної поверхні кульового пальця до

повного усунення слідів зносу з подальшим встановленням ремонтної втулки (рис. 2.4). Метод поширений на невеликих/кустарних СТО, а також серед власників авто, які виконують ремонт самостійно з міркувань економії.



Рисунок 2.4 – Шліфування кульових пальців опори.

Недоліки методу:

- низька надійність відновлених опор;
- під час шліфування знімається тонкий цементований шар, унаслідок чого палець інтенсивно зношується.

Удосконалення: передбачити в конструкції опори прес-маслянку для періодичного шприцювання та поповнення мастила; підтримання мастильної плівки зменшує інтенсивність зносу (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Модернізована кульова опора з установленою прес-маслянкою.

Недоліки:

- потреба встановлення прес-маслянки;
- обов'язкове дотримання регламенту періодичного змащування.

Запропоноване рішення: застосувати змазку на основі Літолу з додаванням ультрадисперсного алмазографіту (УДГ), що зменшує тертя та подовжує ресурс опори.

2.2. Досліджувані мастильні композиції

Вихідним компонентом для введення в пластичне мастило слугував ультрадисперсний алмазографіт (ТУ-40-2067910-01-91). Його ключові фізико-хімічні та трибологічні показники наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Фізико-хімічні та трибологічні характеристики ультрадисперсного алмазографіту.

Найменування властивості	Норма
Масова частка алмаза в шихті після видалення вологи й летучих речовин, %, не більш	20
Масова частка вуглецю в шихті, %, не менш	80
Питома поверхня, м ² г	200-240
Насипна щільність порошку, г/см ³	0,02-0,20
Розмір часток, нм	30-40

Для приготування композицій використовували пластичне мастило Літол-24 (ГОСТ 21150-75) та авіаційний бензин. Для кожної рецептури об'єм бензину становив 30 мл, маса однієї порції пластичного мастильного матеріалу – 50 мг.

Технологічна послідовність виготовлення композицій на основі Літол-24:

- підготування та дозування вихідних компонентів;
- просіювання порошку;
- вилучення грубих включень;
- магнітне очищення від металевих домішок;

- змішування компонентів;
- фільтрування;
- ультразвукове диспергування добавки;
- введення присадки у пластичну основу;
- випаровування бензину.

Магнітне очищення від металевих часток у процесі виготовлення може виконуватися багаторазово за необхідності. Схему послідовності операцій подано на рис. 2.6.

Режими операцій.

- Змішування порошків з бензином. Проводили у змішувачі: порошок подавали порціями через патрубок; тривалість перемішування суспензії – 20 хв; швидкість обертання ємності змішувача – 60–500 об/хв.
- Ультразвукове диспергування. Виконували на диспергаторі УЗГМ-1 протягом 15–20 хв при частоті 44 кГц; операція потрібна для руйнування агрегатів злиплих часток.
- Змішування суспензії з пластичним мастилом. Остаточне змішування здійснювали у лопатевому змішувачі; під час процесу мастильний матеріал підігрівали до 40–60 °С для поліпшення рівномірності розподілу часток; тривалість – 30 хв.
- Випарування розчинника. Проводили на водяній бані при 60–80 °С із безперервним перемішуванням суміші (суспензія УДПАГ + пластичне мастило) до відновлення консистенції, характерної для базового пластичного мастильного матеріалу.

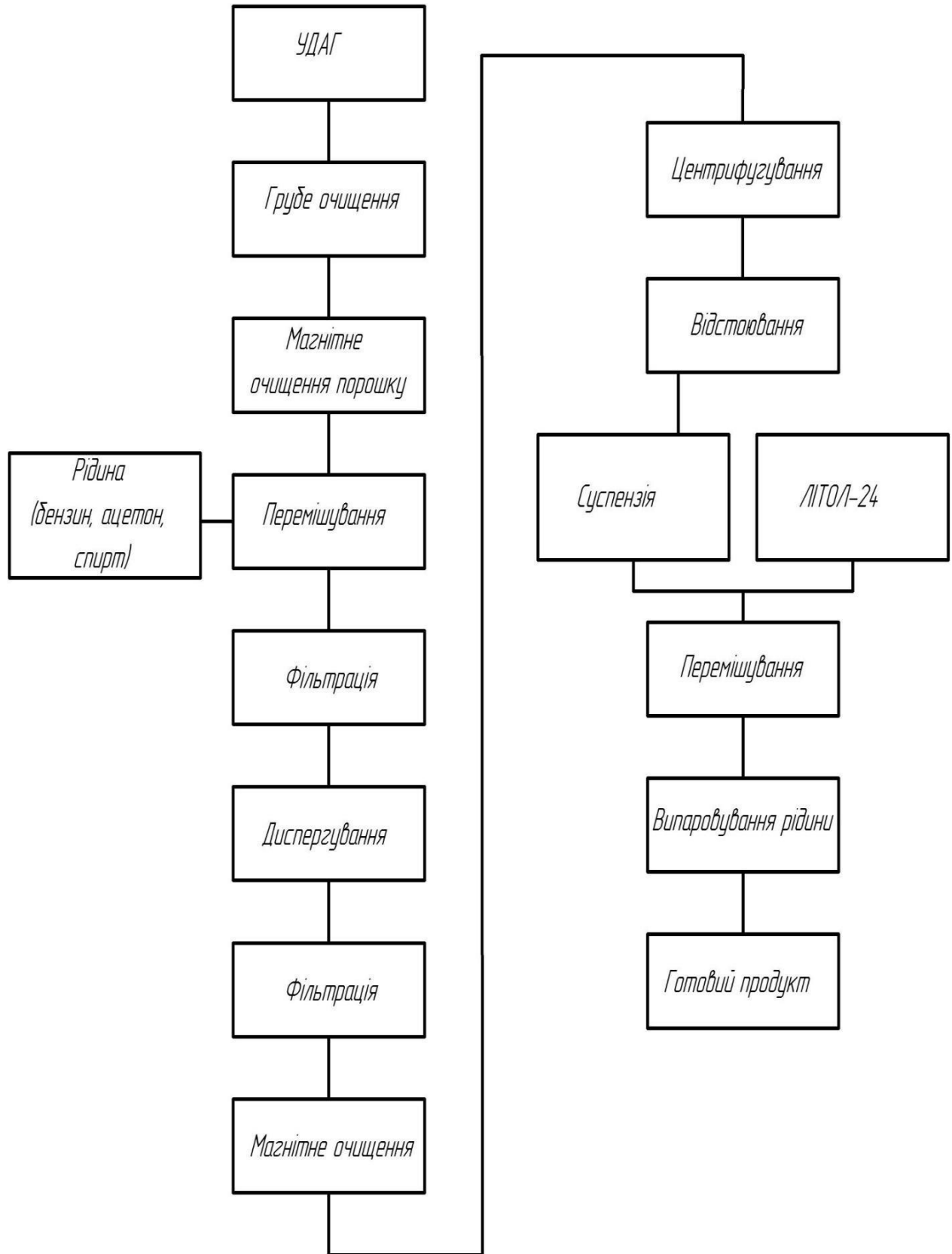


Рисунок 2.6 – Технологічна схема виготовлення мастильної композиції.

Випаровування бензину здійснюють на водяній бані за температури 60–80 °С. Для прискорення процесу суміш суспензії УДАГ із пластичним мастильним матеріалом безперервно перемішують. Випаровування ведуть до відновлення

консистенції, характерної для базового пластичного мастильного матеріалу.

2.3. Вивчення втрат на тертя в кульових парах

Коефіцієнт корисної дії механізмів і машин загалом визначається низкою чинників, серед яких вагому частку становлять втрати в опорах. Тому оцінювання втрат на тертя в опорах має принципове значення. Для опор кочення ці втрати формуються тертям сферичної поверхні пальця по втулці та в'язкісним тертям у мастилі. Сумарний момент тертя в опорі подають через умовний коефіцієнт тертя $f_{зв}$, зведений до посадочного діаметра вала d , обчислюється за формулою 2.1[19]:

де: Fr – радіальне навантаження в опорному вузлі. На установці ДМ-28М проводять паралельні випробування чотирьох однакових опор, тому момент тертя, отриманий для всього комплекту, обчислюють за формулою 2.2[19].

Зусилля динамометра Q формує на кожній опорі радіальне навантаження за формулою 2.3[19].

Підставивши вираз (2.3) у формулу (2.2), дістанемо формулу 2.4[19].

Звідси умовний коефіцієнт тертя визначається за формулою 2.5[19]. Критерієм оцінки опору тертю кочення сферичної опори слугує момент тертя, за формулою 2.6.

де R – радіальне навантаження; k – важіль тертя, причому $k = k_1 + k_2 + k_3 + k_4$ де k_1, k_2, k_3, k_4 – складові плеча тертя, що враховують відповідно: внутрішнє тертя (недосконалі пружні властивості матеріалу), пружне прослизання, молекулярну взаємодію, а також тертя елементів підшипника з навколишніми деталями та середовищем.

Геометричне ковзання окремих контактних точок тіл кочення виникає через різницю їх лінійних швидкостей і визначається геометрією поверхонь.

Тертя тіл кочення об сепаратор зумовлене, зокрема, діаметральним зазором між опорою та внутрішнім кільцем втулки й розмірними похибками. Для його зменшення потрібні вища точність виготовлення та підвищена чистота поверхонь.

Тертя в мастильному середовищі є складною гідродинамічною задачею;

воно залежить від в'язкості мастила, відносної швидкості, температури, кількості тіл кочення та інших чинників. На рідких мінеральних мастилах опір, як правило, менший, ніж на консистентних.

Опір обертанню, зумовлений особливостями конструкції та режимом роботи (інерційні сили й гіроскопічний момент), помітно проявляється переважно у радіально-упорних опорах.

На практиці машинобудування момент тертя кульових опор щодо осі обертання обчислюють за виразом 2.7:

де: f_k – коефіцієнт тертя кочення;

D_0 – діаметр кола центрів тіл кочення;

$d_{ш}$ – діаметр тіла кочення;

1,2 – чисельний множник, отриманий як $\sum P_i / R$ де $\sum P_i$ – сума радіальних навантажень на окремі тіла кочення, R – радіальне навантаження опори), розрахунок проводиться за формулою 2.8.

Сумарний момент тертя подають через умовний коефіцієнт $f_{пр}$ приведений до посадочного діаметра d та розраховується за формулою 2.9.

Приймаючи, що при недостатньому змащенні й $n < 3000$ об/хв тертя зумовлене тільки коченням, з формул 2.6 і 2.8 маємо формулоу 2.10.

У випробувальній установці сила, що генерується навантажувальним гвинтом, поділяється на дві внутрішні втулки та прикладається до них радіально, розраховується за формулою 2.11.

Момент тертя, що діє в чотирьох опорах головки установки, має розрахунок по формулі 2.12. Підставивши R , маємо формулу 2.13.

Для елементів кочення, виготовлених зі сталі ШХ-15 (гартованої) і таких, що контактують з кільцями зі сталі ШХ-15:

$$f_{пр} = 0,001 \text{ см}$$

Під час лабораторних випробувань допустиме радіальне навантаження на опору визначають за такою залежністю 2.14:

де C – динамометрична вантажопідйомність опори (береться з таблиці);

a – показник степеня, причому $a = 3$.

L – номінальна довговічність, розраховується за формулою 2.15:

де: n – частота обертання опори (визначається тахометром);

l_n – довговічність у годинах напрацювання ($l_n = 5000 \dots 10000^\circ\text{год}$).

2.4. Фізична модель взаємодії наноалмазів з поверхневим шаром сферичної опори пальця та поверхнею втулки

Результати досліджень свідчать, що вплив модифікаторів мастил – від наноструктурованих металевих порошків до вуглецевмісних (алмазографітова шихта, наноалмази) – на контактну довговічність опор є складним і неодноспрямованим. У процесі роботи опори відбуваються як фізичні взаємодії наночастинок із поверхневими шарами деталей, так і хімічні процеси на атомарному рівні. Сформовано фізичну модель контакту наноалмазів зі сферичною поверхнею пальця та втулкою. Через малі розміри кластерів відносно висоти мікронерівностей на поверхнях під час роботи відбувається часткове їх «пломбування» наноалмазами (рис. 2.7). За підвищених концентрацій модифікатор набуває абразивних властивостей, що підтверджено експериментально. Завдяки наявності активного заряду міцність зв'язку частинок із поверхневим шаром перевищує внутрішньокластерні зв'язки, тож після заповнення нерівностей відшаровування наноалмазів не спостерігається.

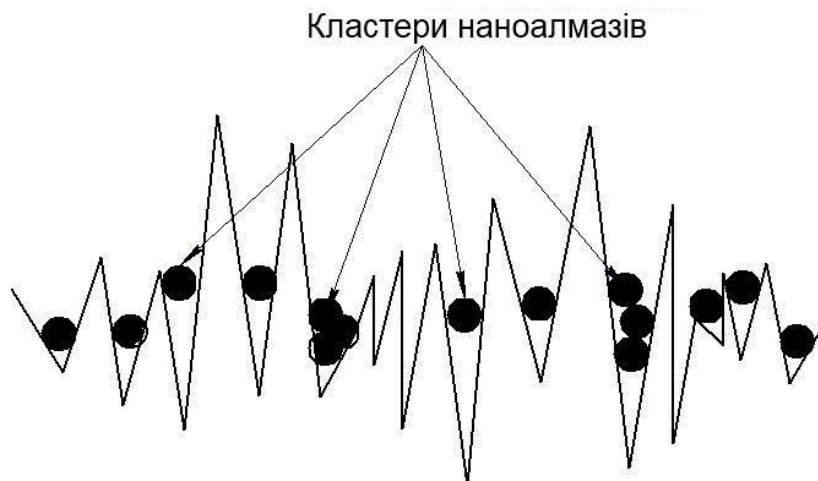


Рисунок 2.6 – Наноалмазне «пломбування» нерівностей поверхні.

З плином напрацювання в опорі кочення вичерпується запас пластичності поверхневого шару сфери, що супроводжується локальним відшаровуванням

металу та полімеру втулки. Водночас завдяки активній поверхні наноалмазів поріг втомного руйнування відсувається, оскільки ініціація і ріст тріщин пригальмовуються вже на ранніх стадіях (рис. 2.7).

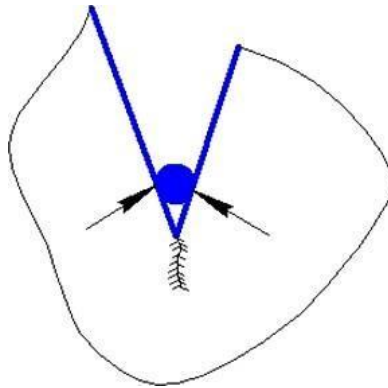


Рисунок 2.7 – Принцип дії наноалмазів.

Важливо, що після різних технологічних обробок стан поверхні суттєво впливає і на зміну її властивостей, і на ресурс деталі під час тертя.

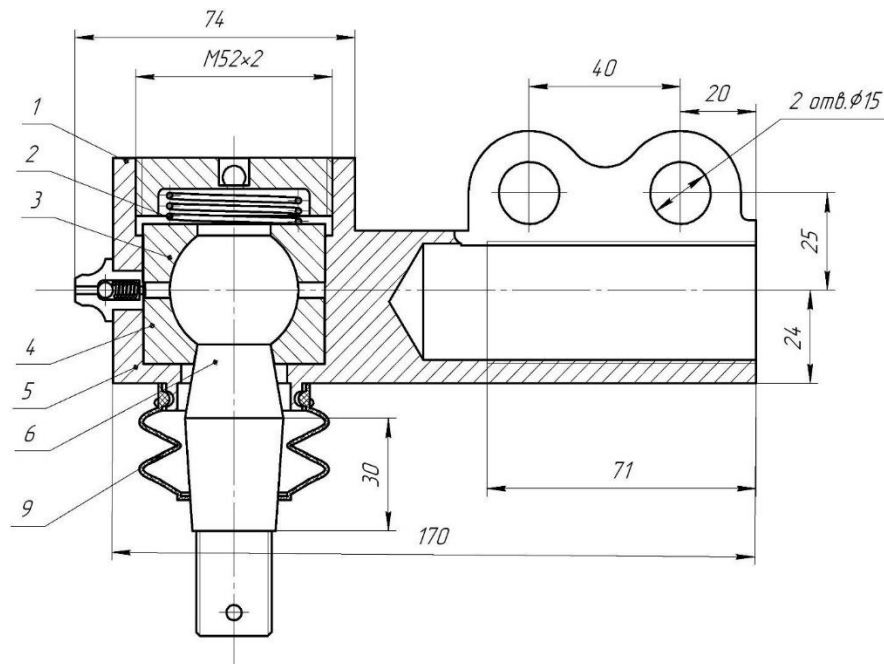
Висновок

Окреслено можливі напрями удосконалення технічного сервісу кульових опор і визначено найперспективніші з них. Запропоновано застосовувати в опорі мастило Літол-24 з добавкою ультрадисперсного алмазографіту. Наведено характеристики твердої присадки, що вводиться до пластичного мастильного матеріалу Літол-24, а також склад досліджених мастильних композицій і описано процес їх приготування. Подано методику обчислення коефіцієнта тертя, моменту опору коченню та сили тертя.

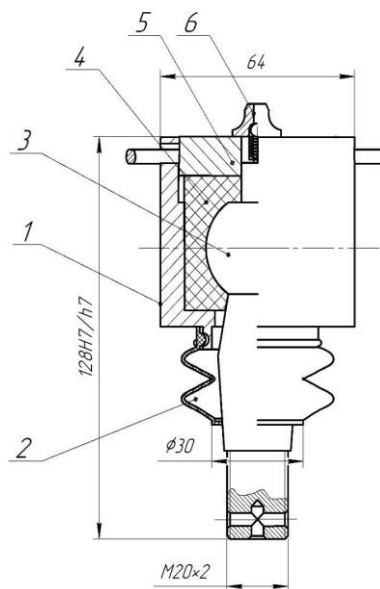
3. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

3.1. Методика експериментальних досліджень

У випробуваннях застосовано модернізовані кульові шарніри (див. рис. 3.1), у корпус яких інтегровано прес-маслянку для введення ультрадисперсного алмазографіту (УДГ).



а

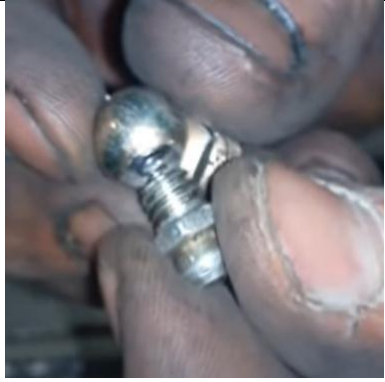


б

Рисунок 3.1 – Удосконалені кульові шарніри:

а – варіант із бічною прес-маслянкою; б – варіант із нижнім розташуванням маслянки.

Таблиця 3.1. Алгоритм модернізації опорного вузла.

		
Свердління отвору	Нарізання різьби	Підготовка прес-маслянки
		
Встановлення прес-маслянки	Закачування мастила шприцем до появи мащення	Видалення залишків мастила з прес-маслянки
		

Готова кульова опора до встановлення на автомобіль	Установка прес-маслянок в корпус опори	Модернізована опора в розрізі
--	--	-------------------------------

3.2. Випробування кульової опори на знос

Випробування на зношування виконували на свердлильному верстаті 2М-112 із модернізованим патроном (рис. 3.3). Наконечник фіксували в лещатах верстата та механічно зв'язували з патроном. У тіло опори інтегровано температурні датчики. Реєстрація температури здійснювалася створеним нами вимірювальним модулем: отримані сигнали передавалися на ПК, де їх обробляли та будували відповідні графіки/діаграми.

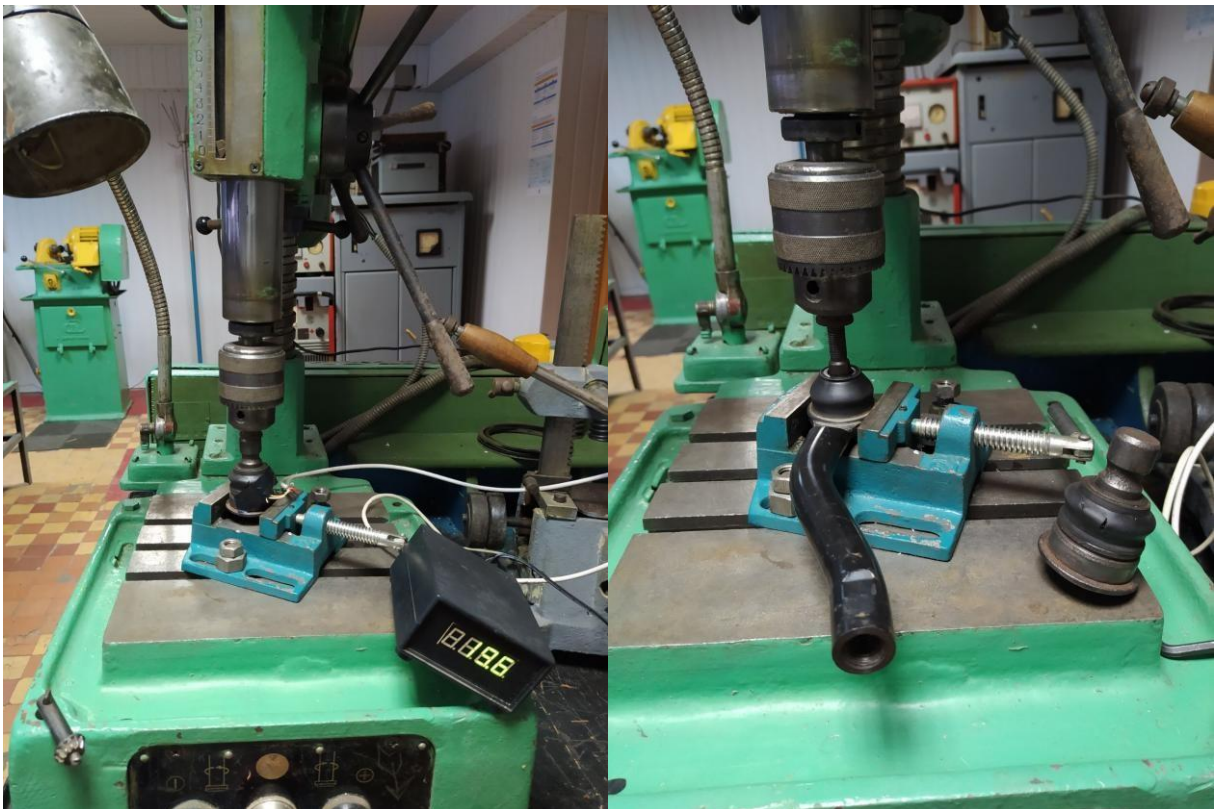


Рисунок 3.3 – Схема експериментальної установки.

Імітацію навантаження на опору здійснювали шляхом навішування тягара на важіль подачі верстата.

Також виконано натурні тести: модернізовані опори змонтовано на виробничі автомобілі (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Процес встановлення наконечників тяг у кермовому приводі автомобіля.

3.3. Фізико-хімічні властивості ультрадисперсного порошку алмазографіта

У мастильних композиціях застосовували ультрадисперсний порошок алмазографіту (УДАГ), отриманий детонаційним синтезом вибухових речовин у середовищі інертного газу. Для формування продуктів детонації використовували підривну камеру KB-2; як ВР – тротил, гексоген або їх суміші. Оточувальним середовищем слугували CO_2 , аргон або азот. Склад і властивості детонаційного продукту визначалися як газовим середовищем, так і часткою гексогену та тротилу в заряді. Отриманий матеріал містив 60–80 % речовини зі структурою графіту з розмірами частинок 7–40 нм [20]. Порошок, синтезований у CO_2 , являє собою конгломерати алмазу, графіту й аморфного вуглецю; через руйнування підвіски заряду, детонатора (мідь) та стінок камери (сталь) наявні металеві домішки. Використовуваний порошок – це вуглецева суміш із розмірами частинок графіту 30–40 нм; вміст графіту не менше 80 %, решта – високодисперсна алмазоподібна фаза (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Ультрадисперсний алмазографіт: загальний вигляд.

3.4. Визначення ефективної концентрації ультрадисперсного порошку алмазографіта в пластичному мастильному матеріалі

Метою досліджень було визначити оптимальну концентрацію ультрадисперсного алмазографіту в пластичному мастильному матеріалі, за якої антифрикційні та антизношувальні властивості проявляються найповніше. Випробування виконано для композицій із масовою часткою УДАГ 0,1; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0 та 5,0 мас. %. Маса навішування порошку розраховувалась від маси базового мастила Літол-24, що є найбільш уживаним у вузлах із підшипниками кочення [21]. Склади композицій наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Склади мастильних композицій

Найменування мастильної композиції	Вміст компонентів, %	
	Базовий пластичний ма-стильний матеріал Літол-24	Твердий наповнювач УДАГ
Літол-24 + 0,1 %УДПАГ	99,9	0,1
Літол-24 + 0,5 %УДПАГ	99,5	0,5
Літол-24 + 1 %УДПАГ	99	1
Літол-24 +- 1,5 %УДПАГ	98,5	1,5
Літол-24 + 2 %УДПАГ	98	2
Літол-24 + 2,5 %УДПАГ	97,8	2,5
Літол-24 + 3 %УДПАГ	97	3
Літол-24 + 4 %УДПАГ	96	4
Літол-24 + 5 %УДПАГ	95	5

Дослідження проводили при фіксованому навантаженні та швидкостях обертання $n = 450$ і 800 об/хв; один цикл тривав 3 години. Між циклами навантаження варіювали східчасто в межах 1–3 кН. Показником ефективності мастил обрано момент тертя $M_{\text{щ}}$ опори. Підсумкові дані наведено на рис. 3.6.

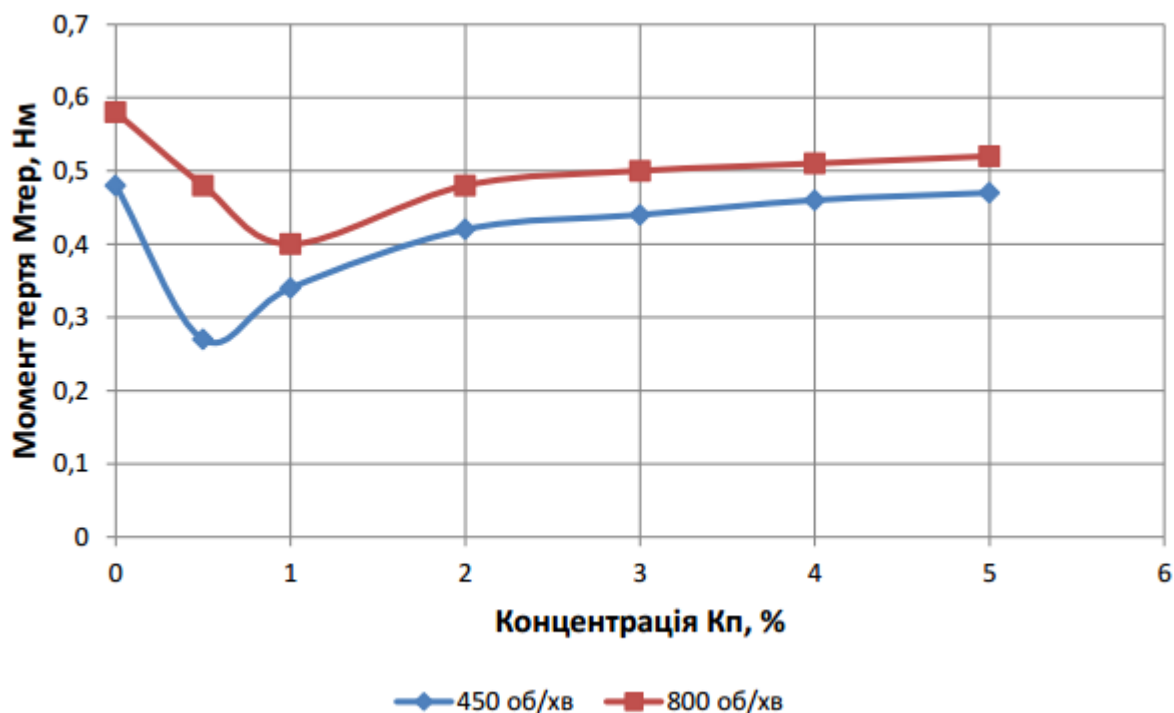


Рисунок 3.6 – Залежність моменту тертя від концентрації ультрадисперсного алмазографіту (УДАГ).

Аналіз експериментальних кривих показує: мінімум моменту тертя досягається при концентрації ультрадисперсного алмазографіту 0,5–1,0 мас.%; збільшення концентрації понад 1 % веде до поступового зростання тертя. Перехід на частоту $n = 800$ об/хв спричиняє лише легкий приріст моменту. Максимальний технологічний ефект забезпечує інтервал 0,5–2,0 мас.%. Отже, оптимальна частка УДАГ для даних вузлів – 0,5–2,5 мас.%. Для подальших досліджень прийнято склад «Літол-24 + 1% УДАГ», а подальші випробування раціонально обмежити концентраціями до 2 мас.%.

3.5. Дослідження антифрикційних властивостей мастильних композицій при терті - ковзані

Завданням роботи було зіставити значення коефіцієнта тертя для базового мастила Літол-24 та для композицій Літол-24 із ультрадисперсним алмазграфітом. Випробування виконували за умови $v = 1,13$ м/с у діапазоні навантажень $N = 0 - 100$ Н. Навантаження підвищували східчасто; тривалість витримки на кожному щаблі – 6 год. Як представницьку композицію для вивчення антифрикційного ефекту обрано «Літол-24 + 1 % УДАГ» (з огляду на попередні результати щодо оптимуму концентрації). Попередньо проводили припрацювання зразка протягом 15–20 хв при $N = 10$ Н. Показники сили тертя для Літолу-24 та для складу з 1 % УДАГ зведено в табл. 3.3 і 3.4, а за їх підсумками побудовано графік залежності F_t від навантаження (рис. 3.7).

Таблиця 3.3. Результати вимірювань сили тертя при різних навантаженнях (Літол-24).

Навантаження, Н	Сила тертя, Н	
	Зразок 1	Зразок 2
10	0,129	0,142
20	0,186	0,277
40	0,262	0,255
80	0,360	0,315
100	0,315	0,345

Таблиця 3.4. Параметри тертя при навантаженнях 0–100 Н (Літол-24 + 1 % УДАГ).

Навантаження, Н	Сила тертя, Н	
	Зразок 1	Зразок 2
10	0,135	0,105
20	0,165	0,120
40	0,195	0,223
80	0,232	0,247
100	0,277	0,480

Розрахунок коефіцієнта тертя проводили за стандартною залежністю для обох систем змащення, формула 3.1:

де: N – сила нормального притиснення в зоні контакту, Н;

$F_{\text{тер}}$ – сила тертя, Н.

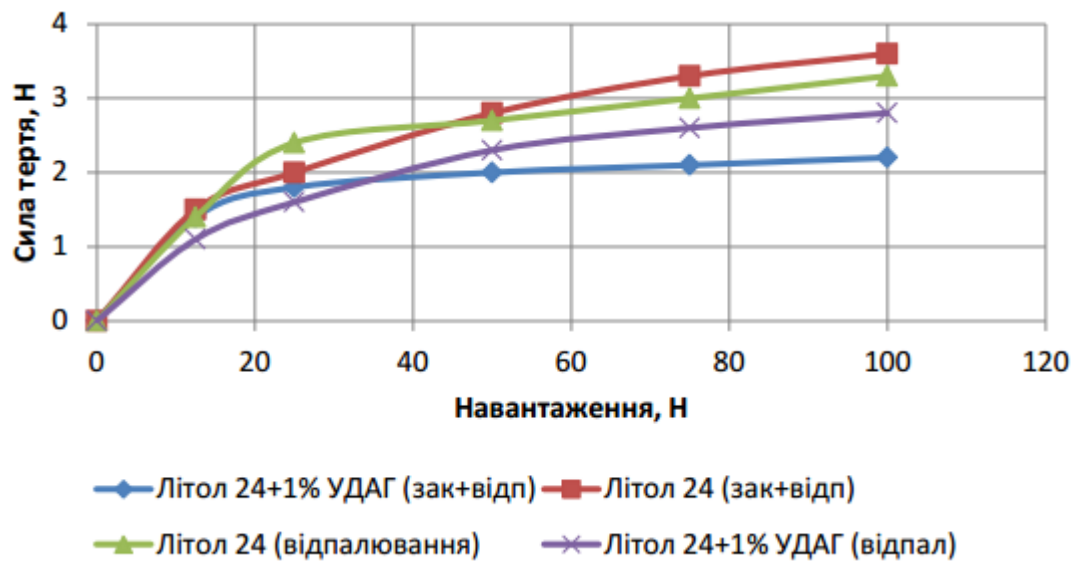


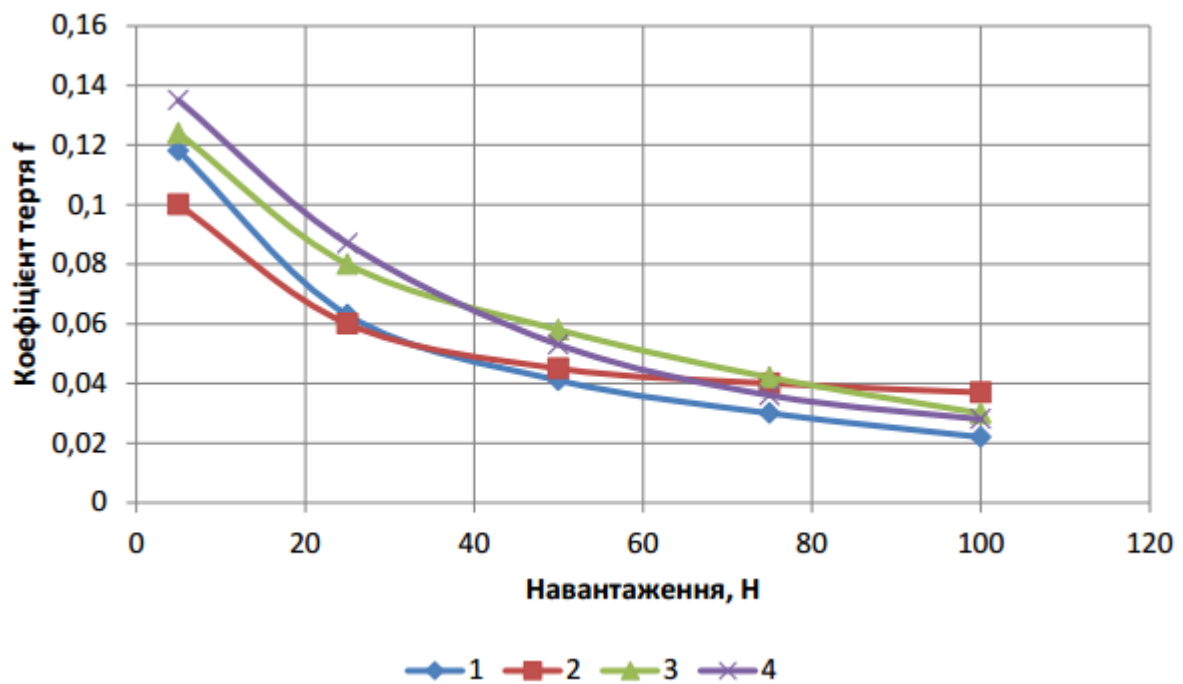
Рисунок 3.7 – Залежність сили тертя від величини навантаження.

Значення моменту тертя наведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Зміна моменту тертя залежно від навантаження.

Навантаження, Н	Момент тертя, Н·м			
	Літол-24		Літол-24 + 1 %УДАГ	
	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 1	Зразок 2
10	0,0129	0,0142	0,0135	0,0105
20	0,0093	0,0138	0,00825	0,006
40	0,00656	0,00637	0,00487	0,00562
80	0,0045	0,00393	0,0029	0,00309
100	0,00315	0,00345	0,0027	0,0048

Експериментальну залежність коефіцієнта тертя f_r від навантаження ілюстровано на рис. 3.8.

Рисунок 3.8 – Крива f у функції навантаження.

1 – Літол-24 + 1 % УДПАГ (ШХ15, загартування, відпуск);

2 – Літол-24 (ШХ15, загартування, відпуск);

3 – Літол-24 (ШХ15, відпалювання);

4 – Літол-24 + 1 % УДПАГ (ШХ15, відпалювання).

Результати експериментів свідчать: додавання ультрадисперсного порошку алмазографіту підвищує протизношувальні та антифрикційні властивості вихідного мастила. Передбачається, що УДАГ сприяє утворенню трибоплівок на контактних поверхнях, які перешкоджають адгезійному контакту, зменшують коефіцієнт тертя і здатні сприймати високі дотичні та нормальні навантаження. Паралельно з визначенням моменту тертя фіксувалася температура в зоні контакту; часові залежності температури для різних рівнів навантаження подано на рис. 3.9. Спостерігається помітне зниження температури при застосуванні композицій з УДАГ, що зумовлено низькотертими властивостями графіту [21, 22] та відповідним зменшенням теплогенерації. Це знижує імовірність термозаклинювання, деградації мастила та розвитку заїдань і задирів.

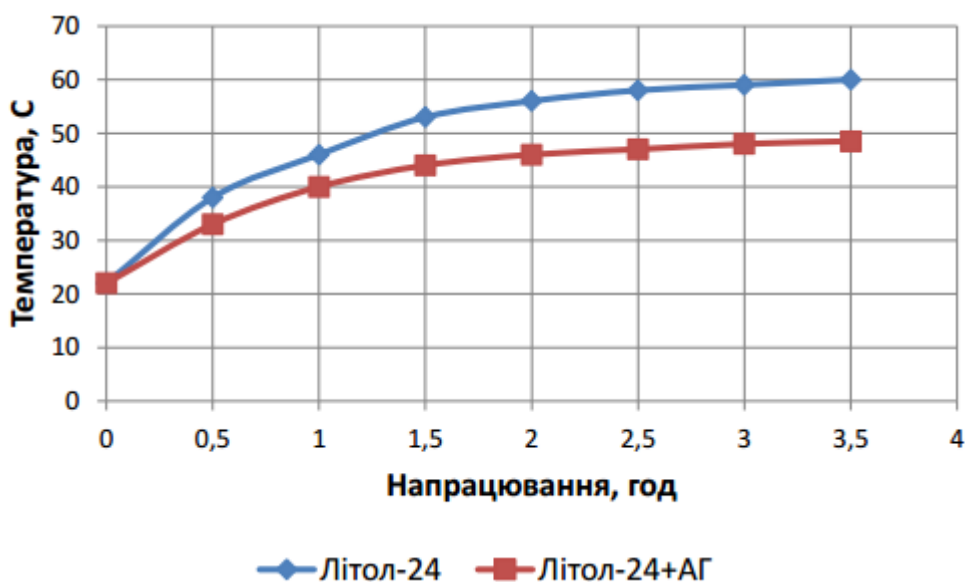


Рисунок 3.9 – Графік зміни температури опори при зростанні радіального навантаження.

Висновки

Представлено сукупність лабораторних і експлуатаційних випробувань мастильних композицій на базі пластичного мастила Літол-24 з ультрадисперсним порошком алмазографіту. Лабораторні дослідження виконувалися на двох типах установок: із зразками-моделями опорного вузла та з реальними кульовими шарнірами. У межах роботи:

- сформовано лінійку композицій із варійованою масовою часткою УДАГ;
- ідентифіковано оптимальний вміст добавки, що забезпечує мінімум тертя та зношування (0,5–2 мас.%);
- проведено вимірювання сил/моментів тертя та оцінено знос у моделях вузла «кульовий шарнір».

Встановлено, що введення УДАГ у Літол-24 приводить до зменшення сили й моменту тертя на 10–18 %, а також до зниження зношування у 1,3–2 рази відносно базового мастила без добавки.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Загальні відомості про охорону праці на підприємстві

Охорона праці – це комплекс правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці, збереження життя, здоров'я й працездатності людини в процесі її трудової діяльності [23].

З метою гарантування безпечних умов праці персоналу в АТ «Укргазвидобування» функціонує система управління охороною праці (СОУ 09.1-30019775-121:2013, третя редакція), погоджена з Держгірпромнаглядом України та сертифікована на відповідність вимогам ДСТУ OHSAS 18001:2010 “Системи управління безпекою та гігієною праці. Вимоги” [24].

У 2015 році наказом товариства в господарську діяльність впроваджено «7 золотих правил охорони праці», розроблені Міжнародною організацією праці, які довели свою ефективність на підприємствах країн ЄС.

Дотримання положень внутрішніх нормативних документів, а також державних стандартів з охорони праці, безпеки руху, пожежної, екологічної, радіаційної та техногенної безпеки забезпечує виконання виробничих процесів у межах дозволених екологічних нормативів, з допустимим рівнем виробничого травматизму (згідно з класифікацією МОП) і відповідно до чинного законодавства України.

31 березня 2020 р. компанією АТ «Укргазвидобування» затверджено вимоги до підрядних організацій, що працюють на її об'єктах у період протидії пандемії COVID-19.

З метою вдосконалення системи управління охороною праці, яка охоплює всіх учасників виробничого процесу, у компанії діє телефонна “гаряча лінія” для повідомлення про виявлені порушення чи потенційні небезпечні ситуації на об'єктах.

Кожен працівник або відвідувач виробничих об'єктів може повідомити про:

- відсутність засобів індивідуального захисту;

- порушення вимог безпеки робочого місця;
- виконання небезпечних робіт без дотримання інструкцій;
- перебування персоналу в нетверезому стані тощо.

Для підвищення обізнаності працівників на підприємстві розміщено інформаційні наліпки (рис. 4.1), які нагадують про основні правила поведінки та контакти служби охорони праці.



Рисунок 4.1 – Стікерні попередження та інструкції з ОП на об'єктах підприємства.

4.2. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів у зоні поточного ремонту

Експериментальні дослідження виконувалися в зоні поточного ремонту ремонтної майстерні підприємства; далі розглянемо стан охорони праці саме цього підрозділу.

До основних шкідливих і небезпечних виробничих факторів належать:

- переміщення великогабаритних і масивних деталей;

- загазованість повітря робочої зони;
- підвищені рівні шуму.

Переміщення важких агрегатів (зокрема двигуна масою близько 500 кг) пов'язане з підвищеним ризиком: транспортування на ділянку та встановлення на підставки виконується за допомогою візка типу «кран-гусь», який штовхають працівники.

Шум – безладна комбінація звуків різної інтенсивності та частоти. У відділенні ремонту двигунів він виникає внаслідок ударних навантажень, роботи компресорного обладнання для продування та приводу пневмоінструменту (гайковерти, знімачі). З фізіологічної точки зору шум – будь-який небажаний для слухового сприйняття сигнал, що погіршує умови праці та чинить шкідливий вплив на організм. За тривалого впливу спостерігаються [25, 26]:

- зниження гостроти зору та слуху;
- підвищення артеріального тиску;
- зменшення концентрації уваги.

Тривалий інтенсивний шум може зумовити функціональні зміни серцево-судинної та нервової систем, що призводить до серцевих захворювань і підвищеної нервозності.

Слух людини сприймає частоти приблизно від 16 до 20 000 Гц; нижче 16 Гц – інфразвук, вище 20 000 Гц – ультразвук. Інфра- та ультразвуки також впливають на організм, хоча не сприймаються на слух. Гігієнічні норми допустимих рівнів звукового тиску та рівня звуку на робочих місцях регламентовано у [27, 28].

4.3. Заходи по забезпеченню захисту працівників від дії шкідливих та небезпечних факторів

Заходи з убезпечення працівників поділяються на дві групи: організаційні та технологічні.

Організаційні. У зоні поточного ремонту, як і в усій майстерні, проводять інструктажі з охорони праці та безпечної роботи з обладнанням; організовано

щорічні медичні огляди; встановлено регламентовані години праці та відпочинку згідно з чинним законодавством [29].

Технологічні. Доцільно змонтувати кран-укосину для переміщення вантажів, оскільки пересувний «кран-гусь» незручний під час зняття/установлення деталей на агрегати й при переміщенні між робочими місцями. Необхідно посилити нагляд за дотриманням правил роботи з важкими деталями [30].

Зниження шуму. Рівні шуму на робочих місцях зменшують: (1) в джерелі (підбір менш шумного обладнання, своєчасне регулювання, змащування, заміна зношених вузлів); (2) плануванням приміщення; (3) на шляху поширення (звуковбирні панелі та перегородки, амортизувальні прокладки під обладнанням). Компресор як найбільш інтенсивне джерело шуму слід винести за межі ділянки.

4.4. Правила безпечного виконання робіт слюсарем механоскладальних робіт

Загальні положення

- Власник зобов'язаний застрахувати слюсаря від нещасних випадків і профзахворювань.
- У разі ушкодження здоров'я з вини роботодавця працівник має право на повне відшкодування завданої шкоди.
- За порушення цієї інструкції слюсар несе дисциплінарну, матеріальну, адміністративну або кримінальну відповідальність.
- До робіт допускаються особи від 18 років, які мають відповідне посвідчення, пройшли медогляд, вступний інструктаж з ОП, інструктаж на робочому місці та з пожежної безпеки.

Загальні обов'язки слюсаря

- Дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку.
- Бути уважним до сигналів рухомого транспорту; пересуватися тротуарами/доріжками, тримаючись правого боку.

- Не торкатись електрообладнання, клем, дротів, арматури освітлення та не відчиняти дверцята електрошкафів.
- Не вмикати/не зупиняти машини й механізми, робота на яких не доручена (виняток – аварійні ситуації).
- Не проходити і не перебувати під підвішеними вантажами.
- Виконувати лише доручену й опрацьовану інструктажем роботу; не допускати сторонніх осіб на робоче місце; не захащувати його.
- Відмовлятися від вказівок, що суперечать вимогам ОП.
- Уміти надавати першу домедичну допомогу.

Вимоги безпеки перед початком роботи

- Отримати завдання від керівника.
- Привести до ладу спецодяг: застебнути/підв'язати рукави, заправити вільні краї.
- Оглянути й упорядкувати робоче місце, перевірити достатність і ненасліплюваність освітлення.
- Розмістити інструмент і деталі зручно та безпечно.
- Переконатися у справності інструменту, пристроїв, обладнання та ЗІЗ – вони мають відповідати вимогам ОП.
- Для робіт з електро-/пневмоінструментом і на верстатах – пройти інструктаж з безпечної експлуатації.

Специфічні перевірки

- Пневмоінструмент: насадки/ключі мають бути закріплені штифтами й кільцями; кріплення шплінтами або дротом – заборонено.
- Балансир противаги – закріпити страхувальним тросом до візка монорейки; має утримувати підвішений електро-/пневмогайковерт у верхньому положенні та опускатися при легкому зусиллі.
- Перевірити справність вимикачів гідроскоб, шлангів і проводів, ручок-скоб, кріплення на підвісах; шплінтування пальців шарнірів – надійне.

Вимоги безпеки під час роботи

- Діяти за технологічними картами та інструкціями виробника інструменту/верстата.

Під час роботи пневмоінструментом

- Використовувати лише справний інструмент; відрегулювати клапани: легке відкриття, швидке самозакриття, відсутність підтікання повітря.
- Під'єднувати/роз'єднувати шланги тільки після відключення подачі повітря; перед під'єднанням – ретельно продуту шланг.
- Працювати в захисних окулярах.
- Застосовувати лише абразивні круги з інструментальної комори, призначені саме для цієї машини.

Забороняється

- Спрямовувати струмінь повітря на себе або на інших.
- Працювати без захисного кожуха над абразивним кругом, а також при наявності уступів, вибоїн, тріщин чи стукоту круга.
- Шліфувати бічною поверхнею круга.
- Виконувати роботи пневмоінструментом з приставних драбин.

На заточувальному верстаті

- Надіти окуляри; стати збоку площини круга. Пуск верстата – заблокований із захисним екраном.
- Зазор між кругом і підручником – не більше 3 мм; підручник – міцно закріплений; круг – у кожусі.
- Правити круг зубилом заборонено.

З електроінструментом та на робочих місцях

- Поверхня верстака зі сталеву обшивкою має бути гладкою, без задирок.
- Працюючи в бригаді, узгоджувати дії з колегами.

- Деталі складати в тару або на стелажі; при укладанні на підлогу – забезпечити стійкість, висота штабеля ≤ 1 м.
- На гідропресах заготовки встановлювати вертикально, без перекосів – щоб унеможливити викидання.

Вимоги безпеки після завершення робіт

- Прибрати робоче місце; інструмент і пристрої протерти та скласти у відведені місця.
- Якщо агрегат лишається на підставках – перевірити їхню надійність; не залишати вантаж підвішеним на тросі підйимального механізму.
- Зняти спецодяг і розмістити у спеціально відведеному місці.
- Вимити руки та обличчя теплою водою з милом (за можливості – прийняти душ).
- Заборонено мити руки в мастилі, бензині, гасі або витирати забрудненими ошурками/тирсою/стружкою.
- Повідомити керівника про всі недоліки, виявлені під час роботи.

Дії в аварійних ситуаціях

Можливі причини: ураження струмом, падіння з висоти підвішених агрегатів, відмова інструменту/обладнання, виліт осколків, наявність шкідливих речовин тощо.

Порядок дій: негайно припинити роботу; відключити електроживлення та подачу повітря; огородити небезпечну зону й не допускати сторонніх; сповістити керівника. За потреби – надати першу допомогу, викликати «103». У разі пожежі – застосувати наявні засоби пожежогасіння і за необхідності викликати ДСНС. Виконувати вказівки керівника щодо ліквідації наслідків.

Надання першої допомоги

Електротравма. Негайно звільнити потерпілого від дії струму (відключити установку; якщо неможливо – відтягнути за одяг або ізолювальним предметом). За відсутності дихання і пульсу – розпочати ШВЛ і непрямий масаж серця,

контролюючи зіниці; викликати «швидку».

Поранення. Використати індивідуальний перев'язочний пакет; накласти стерильну пов'язку та забинтувати. За його відсутності – чисту тканину; ділянку, що прилягає до рани, обробити настійкою йоду та накласти пов'язку.

Кровотеча. Підняти ушкоджену кінцівку; накласти тиснучу пов'язку на 4–5 хв; за потреби додати подушечку/вату і забинтувати з натиском. При сильній кровотечі – терміново стискання судин (згинанням у суглобі, пальцевим притисненням, джгутом/закруткою) та виклик лікаря.

Пожежа. негайно розпочати гасіння наявними засобами; у разі загрози – викликати пожежну частину.

4.5. Дії у разі настання надзвичайної ситуації (Прогнозування вибуху газоповітряних сумішей при руйнуванні газопроводу з газом)

Поблизу ГПУ «Шебелинкагазвидобування» пролягає газопровід, розгерметизація та вибух якого можуть спричинити пожежу й ураження людей і будівель ударно-детонаційною хвилею. Щоб оцінити потенційні наслідки, виконаємо розрахунок вибуху на газопроводі та визначимо запобіжні заходи.

Вихідні дані: діаметр труби — 150 мм; газ — метан; швидкість транспортування — 60 м/с; відстань від газопроводу — 200 м; час витікання — 10 хв.

Далі: обчислюємо радіус зони дії детонаційної хвилі R_1 , м, за формулою 4.1[30]:

де: d — внутрішній діаметр газопроводу, м (150 мм = 0,150 м);

V — швидкість потоку, м/с (60 м/с);

$t_{\text{ср}}$ — інтервал до відсікання, с (10 хв = 600 с);

$\beta_{\text{н}}$ — НКМД для метану (5,28 %).

Тоді, згідно з методикою [30], обчислюємо R_1 — радіус впливу детонаційної хвилі.

$$R_1 = \sqrt[3]{37,5 \frac{0,15^2 \cdot 60 \cdot 600}{5,28}} = 17,29 \text{ м}$$

Відповідно до отриманого значення R_1 , розраховуємо вагу горючої повітряної суміші (ГПС), за формулою 4.2:

$$Q = \left(\frac{17,92}{17,5}\right)^3 = 1,07 \text{ т}$$

Розрахунок радіуса вогняного поля (зони дії продуктів вибуху), м, виконуємо за виразом 4.3:

$$R_2 = 1,7 \cdot 17,92 = 40,46 \text{ м}$$

Розрахунок надлишкового тиску в даній зоні (кПа) виконуємо за таким виразом 4.4:

$$\Delta P_2 = 1300 \left(\frac{17,92}{40,46} \right)^3 + 50 = 162,95 \text{ кПа}$$

Відстані R_i (м) від епіцентру до зовнішніх границь зон ураження обчислюємо за формулою 4.5:

де ψ_i — параметр, що задається нормативно;

для слабких руйнувань $\psi_{10} = 2,825$;

$$R_{10} = \frac{2,825 \cdot 17,92}{0,24} = 210,93 \text{ м}$$

для середніх руйнувань $\psi_{20} = 1,749$;

$$R_{20} = \frac{1,749 \cdot 17,92}{0,24} = 130,59 \text{ м}$$

для сильних руйнувань $\psi_{30} = 1,317$;

$$R_{30} = \frac{1,317 \cdot 17,92}{0,24} = 98,34 \text{ м}$$

для повних руйнувань $\psi_{50} = 1,015$;

$$R_{50} = \frac{1,015 \cdot 17,92}{0,24} = 75,79 \text{ м}$$

Схема дії вибухової хвилі наведено на рис 4.2.

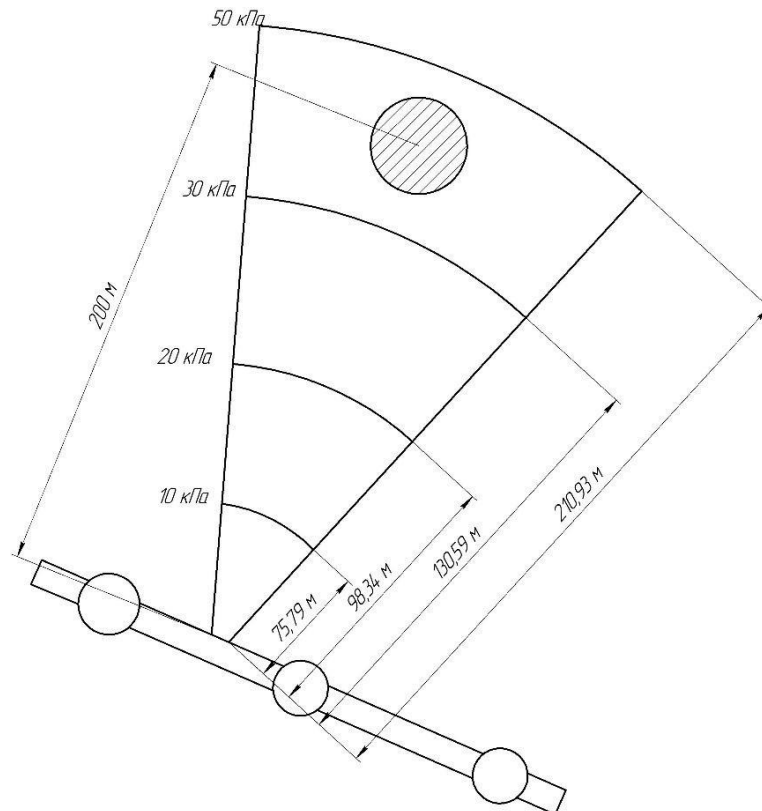


Рисунок 4.2 – Ілюстрація дії вибухової хвилі.

Підсумовуючи розрахунок, територія підприємства розміщується в межах зони слабких руйнувань. Надлишковий тиск на фронті ПУХ у точці розташування об'єкта обчислюємо за виразом 4.6:

$$\psi = 0,24 \frac{200}{17,92} = 2,68$$

де R — віддаль від об'єкта до епіцентру, м;

R_1 — радіус дії детонаційної хвилі, м.

Надлишковий тиск на фронті повітряної ударної хвилі в точці розташування об'єкта, кПа, обчислюємо для випадку $\psi \leq 2$ за формулою 4.7:

$$\Delta P_{\phi} = \frac{700}{3(\sqrt{1+29,8 \cdot 2,68^3} - 1)} = 30,47 \text{ кПа}$$

Розрахуємо характеристики області дії теплового поля. Оцінимо тривалість формування та згасання вогняної півсфери за формулою 4.8:

$$t_{\text{св}} = 4,5 \cdot \sqrt[3]{1,07} = 4,6 \text{ с}$$

де: $t_{\text{св}}$ — розрахункова тривалість вогняної півсфери, с;

Q — маса газоповітряної суміші, т.

Розрахуємо інтенсивність теплового випромінювання за формулою 4.9:

$$J = 231 \cdot 0,086 = 19,87 \text{ кДж/м}^2\text{с}$$

де: q — питомий тепловий потік, кДж/(м²·с);

φ — відносний коефіцієнт, що враховує кутовий коефіцієнт взаємного розташування об'єкта та джерела вибуху F і прозорість атмосфери T ;

для заданих Q та R приймаємо $\varphi = 0,086$.

За надлишкового тиску $\Delta P \approx 19,87$ кПа на фронті повітряної ударної хвилі в районі підприємства очікуються незначні деформації другорядних елементів будівель: покрівлі, легких прибудов, віконних і дверних коробок, внутрішніх перегородок, штукатурного шару. Можливі поодинокі завали та пожежі; орієнтовні збитки — близько 10 % вартості споруди.

Висновок

Аналіз стану охорони праці свідчить: роботи з поліпшення умов виконуються, однак їх ефективність поки що недостатня. Існують резерви для підвищення рівня безпеки, оздоровлення виробничого середовища та усунення виявлених недоліків. Реалізація запропонованих заходів дасть змогу запобігти травмуванню персоналу. Формування комфортного мікроклімату в майстерні підвищить продуктивність праці та якість ремонтних робіт.

5. ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Виконаємо техніко-економічний аналіз роботи майстерні після реконструкції зони поточного ремонту автомобілів, що передбачає організацію дільниці з відновлення кульових шарнірів рульового керування. Дільницю розміщено на площі 512 м², отриманій шляхом добудови частини майстерні. Загальна трудомісткість робіт у відділенні становить 12 873 люд.-год., що еквівалентно 43 умовним ремонтам.

Для модернізації майстерні господарства необхідно впровадити сучасне ремонтно-технологічне оснащення, а також розширити номенклатуру

виконуваних операцій, що потребує додаткових виробничих площ. Останні планується отримати за рахунок переоблаштування складу запасних частин і його реконструкції. Сукупна вартість зазначених заходів визначена на рівні 273 100,00 грн.

Базові вихідні дані для оцінювання економічної ефективності наведено в таблиці 5.1. Для проведення розрахунку необхідно встановити такі показники [31]:

- Вартість виконаних ремонтів визначається за формулою 5.1:

$$B^b = 39 \cdot 14360,00 = 560040,00 \text{ грн}$$

$$B_{\text{пр}}^{\text{пр}} = 42,9 \cdot 16400,00 = 703560,00 \text{ грн}$$

Таблиця 5.1 – Вхідні дані для обчислення техніко-економічних показників проекту

Показники	Позначення показників	Значення показників	
		Базовий	Проектний
Обсяг ремонтних робіт, ум. рем.	Q	39	42,9
Вартість 1 ум. рем, грн.	Ц1ум рем	14360,00	16400,00
Кількість основних робітників, осіб	Кпр	5	6
Середньомісячна заробітна плата робітника з нарахуванням, грн.	ЗПср	3520,00	4500,00
Вартість діючого обладнання (балансова), грн.	Бд	123000,0 0	
Вартість придбаного обладнання, грн.	Бпр	–	167500,0 0
Вартість будівлі за балансом, грн.	Ббуд	58750,00	–
Витрати на реконструкцію ремонтної майстерні та організацію ділянки, грн.	Брек	–	105600,0 0
Річні витрати електроенергії, кВт/рік.	Qел	28650	36200

Ціна 1 кВт/год. електроенергії, грн.	Цел	1,98	1,98
--------------------------------------	-----	------	------

– Експлуатаційні витрати визначаємо за формулою 5.2:

де ЗП — фонд оплати праці з усіма обов’язковими нарахуваннями, грн.

А — сума амортизаційних відрахувань за період, грн.

$V_{\text{ел}}$ — загальні витрати на спожиту електроенергію, грн.

$V_{\text{рем}}$ — видатки на поточні ремонти (ПР) та регламентне технічне обслуговування (ТО), грн.

– Заробітну плату з нарахуваннями визначаємо за формулою 5.3:

$$\text{ЗП}^6 = 1,22 \cdot 3520,00 \cdot 5 \cdot 12 = 257664,00 \text{ грн}$$

$$\text{ЗП}^{\text{пр}} = 1,22 \cdot 4500,00 \cdot 6 \cdot 12 = 395280,00 \text{ грн}$$

де: 1,22 — множник, що враховує обов’язкові нарахування на заробітну плату.

$\text{ЗП}_{\text{ср}}$ — середньомісячний розмір оплати праці одного робітника, грн.

$K_{\text{пр}}$ — чисельність основних виконавців (робітників), осіб.

12 — кількість місяців у році, що використовується для річного перерахунку.

– Загальні витрати на амортизацію будівлі та обладнання визначаються за формулою 5.4:

де: $A_{\text{обл}}$ — річні амортизаційні відрахування на обладнання, грн;

A_6 — річні амортизаційні відрахування на будівлю, грн.

– Витрати на амортизацію обладнання визначаються за формулою 5.5 та 5.6:

$$A_{\text{обл}}^6 = \frac{123000,00 \cdot 21,93}{100} = 26973,90 \text{ грн}$$

$$A_{\text{обл}}^{\text{пр}} = \frac{(123000,00 + 167500,00) \cdot 21,93}{100} = 63706,65 \text{ грн}$$

де: $B_{\text{буд}}$ — балансова (первісна/залишкова) вартість будівлі, грн.

$B_{\text{орг}}$ — сукупні витрати на реконструкцію майстерні та організацію ділянки, грн.

$\lambda_{\text{буд}}$ — річна норма амортизації будівель; у розрахунку прийнято 7,76 ($\lambda_{\text{буд}} = 0,0776$).

- Тоді амортизація будівлі за рік розраховується так:

$$A^{\text{б}} = 26973,90 + 4559,00 = 31532,90 \text{ грн}$$

$$A^{\text{пр}} = 63706,65 + 12753,56 = 76460,21 \text{ грн}$$

- Розрахунок витрат на електроенергію проводиться за формулою 5.9:

$$B_{\text{ел}}^{\text{б}} = 28650 \cdot 1,98 = 56727,00 \text{ грн}$$

$$B_{\text{ел}}^{\text{пр}} = 36200 \cdot 1,98 = 71676,00 \text{ грн}$$

- Витрати на поточний ремонт і технічне обслуговування визначаються за формулою 5.10:

$$B_{\text{рем}}^{\text{б}} = \frac{31532,90 \cdot 30}{100} = 9459,87 \text{ грн}$$

$$B_{\text{рем}}^{\text{пр}} = \frac{76460,21 \cdot 30}{100} = 22938,06 \text{ грн}$$

- Інші витрати приймаємо на рівні 3 % від експлуатаційних витрат розраховуються за формулою 5.11:

$$IB^{\text{б}} = \frac{257664,00 + 31532,90 + 56727,00 + 9459,87 \cdot 3}{100} = 10661,51 \text{ грн}$$

$$IB^{\text{пр}} = \frac{395280,00 + 76460,21 + 71676,00 + 22938,06 \cdot 3}{100} = 16990,63 \text{ грн}$$

- Тоді сукупні експлуатаційні витрати становлять:

$$EB^{\text{б}} = 257664,00 + 31532,90 + 48132,00 + 9459,87 + 10661,51 = 366045,28 \text{ грн}$$

$$EB^{\text{пр}} = 395280,00 + 76460,21 + 71676,00 + 22938,06 + 16990,63 = 583344,90 \text{ грн}$$

- Повна собівартість виконаних ремонтів розраховується за формулою 5.12 та 5.13:

$$PC^{\text{б}} = 366045,28 + 160200,00 \cdot 1,02 = 536770,18 \text{ грн}$$

$$ПС^{пр} = 583344,90 \cdot 1,02 = 595011,80 \text{ грн}$$

де: V_K — витрати на коопераційні роботи, виконані сторонніми підрядниками (за даними господарства), грн.

- Загальний прибуток розраховується за формулою 5.14:

$$П^6 = 560040,00 + 536770,18 = 23269,82 \text{ грн}$$

$$П^{пр} = 703560,00 - 595011,80 = 108548,20 \text{ грн}$$

- Приріст прибутку визначається за формулою 5.15:

$$П = 108548,20 - 23269,82 = 85278,38 \text{ грн}$$

- Рівень рентабельності розраховується за формулою 5.16:

$$P^6 = \frac{23269,82 \cdot 100}{536770,18} = 4,3\%$$

$$P^{пр} = \frac{108548,20 \cdot 100}{595011,80} = 18,2\%$$

- Обсяг додаткових капітальних вкладень розраховується за формулою 5.17:

$$Б = 167500,00 + 105600,00 = 273100,00 \text{ грн}$$

- Термін окупності додаткових капітальних вкладень розраховується за формулою 5.18:

$$T_0 = \frac{273100,00}{85278,38} = 3,2 \text{ років}$$

Таблиця 5.2 – Економічна ефективність проекту

Показники	Базовий варі- ант	Проектний варі- ант
Вид робіт	Ремонт	
Обсяг робіт, ум. рем.	39	43
Ціна 1 ум. ремонту, грн.	14360,00	16400,00
Вартість проведених ремонтів, грн.	560040,00	703560,00
Кількість основних робітників, осіб.	5	6

Обсяг додаткових капіталовкладень, грн.	—	273100,00
Експлуатаційні витрати всього, грн..	366045,28	583344,90
- заробітна плата з нарахуваннями, грн.	257664,00	395280,00
- амортизаційні відрахування, грн.	31532,90	76460,21
- вартість електроенергії, грн.	56727,00	71676,00
- витрати на ПР та ТО, грн.	9459,87	22938,06
- інші витрати, грн..	10661,51	16990,63
Повна собівартість продукції, грн	536770,18	595011,80
Загальний прибуток, грн.	23269,82	108548,20
Рівень рентабельності, %	4,3	18,2
Приріст прибутку, грн.	—	85278,38
Термін окупності додаткових вкладень, років	—	3,2

Висновок

Підсумки техніко-економічної оцінки свідчать, що реалізація заходів з реконструкції ремонтної майстерні підприємства забезпечує річний прибуток у розмірі 85 278,38 грн, а простий термін окупності капіталовкладень становить 3,2 року.

ВИСНОВОК

Аналіз надійності вузлів передньої підвіски та рульового управління засвідчив, що вирішальний вплив на керованість і безпеку руху мають саме відмови кульових шарнірів як кермового механізму, так і підвіски. Скорочення частки машин, що експлуатуються у стані, близькому до передвідмовного, є суттєвим резервом зниження високої аварійності на дорогах України.

Виконано класифікацію типових пошкоджень кульових опор. Встановлено, що найпоширенішими є: зношення полімерного вкладиша — 40% зразків; порушення герметичності/цілісності пильника — 32%; зношення сферичної частини пальця — 18%.

Окреслено напрями підвищення ефективності технічного сервісу кульових опор і визначено найбільш перспективні з них. Запропоновано застосування мастильної композиції на основі Літолу-24 з добавкою ультрадисперсного алмазографіту; наведено характеристики твердої добавки, склад варіантів композицій і описано технологію їх приготування.

Подано методику розрахунку коефіцієнта тертя, моменту опору коченню та сили тертя. Представлено результати лабораторних і натурних (експлуатаційних) випробувань нових мастильних складів: частина тестів виконувалася на стендах зі зразками, що імітують роботу опори, інша — на вузлах з реальними кульовими шарнірами.

Розв'язано такі завдання:

- розроблено та виготовлено серію мастильних композицій із різним вмістом ультрадисперсного алмазографіту у Літолі-24;
- визначено оптимальний діапазон концентрації добавки — 0,5–2% маси базового мастила, за якого тертя та зношення мінімізуються;
- проведено вимірювання сил і моментів тертя та інтенсивності зношення на установках, що моделюють роботу кульових шарнірів.

За результатами випробувань встановлено, що введення ультрадисперсного алмазографіту забезпечує зменшення сили та моменту тертя на 10–18%, а зношення — у 1,3–2 рази порівняно з використанням лише

базового мастильного матеріалу.

Окрему увагу приділено заходам безпеки праці. Зокрема, спроектовано систему штучного освітлення для діляниць майстерні, що дозволяє визначити необхідну кількість світильників і ламп та покращити умови праці. Ключова рекомендація — неухильне дотримання вимог охорони праці.

Техніко-економічна оцінка показала, що реалізація заходів із реконструкції ремонтної майстерні забезпечує річний прибуток господарства на рівні 85 278,38 грн, а термін окупності капіталовкладень становить 3,2 року.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гунь, І. Г. Надійність та діагностика автомобільних вузлів і агрегатів. Київ: Арістей, 2018. 312 с.
2. Лапчинський, В. В. Технічна експлуатація та ремонт автомобілів. Львів: Новий Світ-2000, 2019. 428 с.
3. Калмиків, Ю. В. Діагностування рульових механізмів автомобілів: монографія. Харків: ХНАДУ, 2017. 180 с.
4. Фролов, А. М., Шулигін, В. О. Підвіска та рульове керування автомобіля. Київ: Кондор, 2020. 256 с.
5. ГОСТ 21150-75. Смазки пластичні. Загальні технічні умови. Київ, 1975. 18 с.
6. ТУ 40-2067910-01-91. Алмазографіт ультрадисперсний. Технічні умови. Київ, 1991. 25 с.
7. Укргазвидобування. Технічні регламенти експлуатації автотранспорту підприємства. Харків, 2020. 55 с.
8. Oss, E. A., Pole, S. Automotive Steering and Suspension Systems. New York: McGraw-Hill, 2016. 348 p.
9. Jeong, K., Lee, S. Wear Behaviour of Ball Joints in Vehicle Suspension Systems. *Tribology International*, 2018, vol. 120, pp. 35–44.
10. Volkov, A., Strezhnev, A. Ball-and-Socket Joint Reliability in Automotive Steering Systems. *SAE Technical Paper*, 2017-01-1234. 12 p.
11. Blau, P. J. Friction Science and Technology. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2019. 540 p.
12. Holmberg, K., Erdemir, A. Influence of Lubricants and Additives on Tribological Performance. *Tribology International*, 2017, vol. 116, pp. 387–396.
13. Johnson, K. L. Contact Mechanics. Cambridge: Cambridge University Press, 2020. 452 p.
14. Neville, A., Morina, A. Tribology of Automotive Components. Cambridge:

Woodhead Publishing, 2021. 410 p.