

**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 РОБОТА

Освітнього ступеня «Магістр»

на тему: **„ Дослідження ефективності різних методів ремонту
підвіски автомобіля”**

Виконав: студент 6 курсу групи Ат-62
Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”
(шифр і назва)

Дорош Олег Ігорович
(Прізвище та ініціали)

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

Рецензент: к.т.н., доц. Мирон МАГАЦ
(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
Дорошу Олегу Ігоровичу

1. Тема роботи: **„ Дослідження ефективності різних методів ремонту підвіски автомобіля ”**

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. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ ТА МЕТОДІВ ЇЇ РЕМОНТУ

2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕМОНТУ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ РЕМОНТУ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО МЕТОДУ РЕМОНТУ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

5. Консультанти розділів роботи:

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

6. Дата видачі завдання: 28.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	<i>Написання розділу: «Аналіз конструкції підвіски автомобіля та методів її ремонту»</i>	28.02.25-28.03.25	
2.	<i>Виконання розділу «Теоретичні основи дослідження ефективності ремонту підвіски автомобіля»</i>	29.03 25-30.05.25	
3.	<i>Виконання розділу «Експериментальні дослідження ефективності методів ремонту підвіски автомобіля»</i>	31.05.25-01.07.25	
4.	<i>Написання розділу: «Охорона праці та захист довкілля»</i>	02.07.25-31.08.25	
5.	<i>Написання розділу: «Техніко-економічне обґрунтування вибраного методу ремонту підвіски автомобіля»</i>	01.09.25-24.11.25	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	25.11.25-30.11.25	
7.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	01.12.25-5.12.25	

Студент _____ Олег ДОРОШ
(підпис)

Керівник роботи _____ Василь РИС

АНОТАЦІЯ

Дорош О.І. «Дослідження ефективності різних методів ремонту підвіски автомобіля». Кваліфікаційна робота. Дубляни. Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, 2025. 65 с.

табл. 7; рис. 13; бібліогр. джерел 23.

Магістерська робота присвячена дослідженню ефективності різних методів ремонту підвіски автомобіля, що є одним із ключових елементів забезпечення безпеки руху, комфорту та довговічності транспортного засобу. У роботі проведено аналіз конструкцій підвісок, типових несправностей та причин їх виникнення, а також розглянуто сучасні підходи до відновлення деталей ходової частини.

Особливу увагу приділено порівнянню трьох технологічних методів ремонту кульових опор – наплавлення з подальшим шліфуванням, заміни з використанням ремонтного комплекту та повної заміни вузла. Запропоновано методику оцінювання технічної та економічної ефективності ремонтних процесів на основі коефіцієнтів відновлення ресурсу, надійності та собівартості.

Проведені розрахунки та експериментальні дослідження показали, що метод наплавлення забезпечує найкраще співвідношення між витратами та довговічністю, дозволяючи зменшити собівартість ремонту до 50 % порівняно з повною заміною. Розроблено рекомендації щодо впровадження вдосконаленого процесу ремонту у виробничих умовах станцій технічного обслуговування.

Результати роботи можуть бути використані у практиці автосервісних підприємств для підвищення ефективності технічного обслуговування й оптимізації витрат на ремонт підвіски легкових і вантажних автомобілів.

Ключові слова: підвіска автомобіля, кульова опора, ремонт, наплавлення, економічна ефективність, технічний сервіс, діагностика, ресурс.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ ТА МЕТОДІВ ЇЇ РЕМОНТУ	8
1.1. Призначення і класифікація підвісок автомобіля	8
1.2. Основні елементи підвіски та характерні несправності	10
1.3. Огляд існуючих методів ремонту і технологічних процесів	15
1.3.1. Відновні методи	15
1.3.2. Заміщувальні методи	17
2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕМОНТУ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ	24
2.1. Критерії оцінки ефективності ремонту.....	24
2.2. Моделювання навантажень і зносу елементів підвіски	27
2.3. Вплив умов експлуатації на ресурс деталей підвіски	29
Висновки до розділу 2	32
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ РЕМОНТУ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ	33
3.1. Об'єкт і методика дослідження	33
3.2. Аналіз результатів відновлення деталей різними способами	35
3.3. Порівняння ефективності за показниками ресурсу та вартості	38
Висновки до розділу 3	40
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ	41
4.1. Структурно функціональний аналіз травмонебезпечних ситуацій впродовж виконання робіт	41
4.2. Моделювання виникнення травм та аварій	43
4.3. Розробка логічно-імітаційної моделі травм на виробництві	44
4.4. Безпека в надзвичайних ситуаціях	49
4.5 Безпека під час виконання зварювально-відновлювальних робіт	50
4.6 Екологічна безпека під час ремонтних робіт	52

Висновки до розділу 4	53
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБРАНОВО МЕТОДУ РЕМОНТУ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ	54
5.1. Витрати на виконання ремонту	54
5.2. Розрахунок економічного ефекту	56
5.3. Визначення терміну окупності та річного економічного ефекту	59
Висновки до розділу 5	61
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63

ВСТУП

Сучасні автомобілі є складними технічними системами, що працюють у важких умовах експлуатації. Однією з найвідповідальніших систем, яка забезпечує комфорт, стійкість та безпеку руху, є підвіска автомобіля. Вона сприймає удари від нерівностей дороги, зменшує коливання кузова та передає навантаження на колеса. Тривала експлуатація, поганий стан дорожнього покриття, перевантаження транспортного засобу та недотримання регламентів технічного обслуговування призводять до зносу елементів підвіски, зниження її ефективності та потреби в ремонті.

На сьогоднішній день існує низка методів ремонту підвіски, які відрізняються за технологічними операціями, матеріалами, обладнанням та економічними показниками. Деякі способи передбачають повну заміну вузлів, інші – часткове відновлення зношених деталей. Проте ефективність кожного методу залежить від конкретних умов експлуатації, типу транспортного засобу, рівня зносу й якості відновлення. Тому актуальним є порівняльне дослідження різних методів ремонту підвіски автомобіля для визначення найраціональнішого способу з погляду довговічності, надійності та вартості.

Мета дослідження. Підвищення ефективності технічного обслуговування і ремонту автомобільної підвіски шляхом порівняльного аналізу та оцінки різних методів її відновлення.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз конструкції підвіски автомобіля та основних причин її зносу.
2. Охарактеризувати існуючі методи ремонту елементів підвіски (заміна, відновлення, модернізація).
3. Розробити критерії оцінки ефективності ремонту (ресурс, надійність, трудомісткість, собівартість).
4. Провести експериментальні або розрахункові дослідження ефективності різних методів.

5. Виконати техніко-економічне обґрунтування вибраного способу ремонту.

6. Надати практичні рекомендації щодо впровадження оптимального методу на СТО.

Об'єкт дослідження – Система підвіски автомобіля.

Предмет дослідження – Методи ремонту і відновлення деталей підвіски та їх вплив на ефективність роботи автомобіля.

1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ ТА МЕТОДІВ ЇЇ РЕМОНТУ

1.1. Призначення і класифікація підвісок автомобіля

Підвіска автомобіля – це сукупність пружних, напрямних і демпфувальних елементів, які з'єднують колеса з рамою або кузовом і забезпечують пружне сприйняття нерівностей дороги, стійкість та комфорт під час руху. Основне призначення підвіски полягає в гасінні коливань, що виникають від дорожнього профілю, і передачі зусиль від коліс до несучої частини кузова.

Конструктивно підвіска повинна забезпечувати:

- стає положення кузова при різних навантаженнях;
- мінімальні коливання коліс;
- надійне зчеплення шин із дорогою;
- комфорт для водія і пасажирів.

Класифікація підвісок.

За конструктивними ознаками підвіски поділяють на:

- залежні, де колеса однієї осі з'єднані жорсткою віссю (традиційна для вантажних авто та позашляховиків);
- незалежні, де кожне колесо має власну систему важелів (типова для легкових автомобілів);
- півнезалежні, де допускається певне кутове зміщення осі;
- пневматичні, гідропневматичні, активні – із регульованими пружними характеристиками.

На рисунку 1.1 наведено узагальнену класифікацію автомобільних підвісок за їх конструктивними ознаками та принципом з'єднання коліс із кузовом. Підвіска є важливим елементом ходової частини автомобіля, оскільки вона забезпечує плавність ходу, стійкість, керованість і зменшує передачу ударних навантажень на кузов та агрегати.

Згідно з поданою схемою, усі підвіски поділяються на залежні та незалежні.

Залежна підвіска характеризується жорстким з'єднанням коліс однієї осі за допомогою балки моста. При цьому переміщення одного колеса впливає на положення іншого. Такі конструкції простіші у виготовленні, міцніші й частіше застосовуються у вантажних автомобілях і позашляховиках.

Незалежна підвіска передбачає окреме кріплення коліс, при якому вертикальні переміщення одного колеса не впливають на інше. Це покращує комфорт, динаміку й стійкість автомобіля, особливо на високих швидкостях.

У межах кожного типу розрізняють підвіски за типом пружного елемента – пружинні, ресорні, торсіонні, пневматичні та гідروпневматичні. Додатково виділяють тип направляючих пристроїв (поперечні, поздовжні, трикутні важелі, комбіновані схеми), а також наявність систем регулювання жорсткості та кліренсу – адаптивні та активні підвіски.

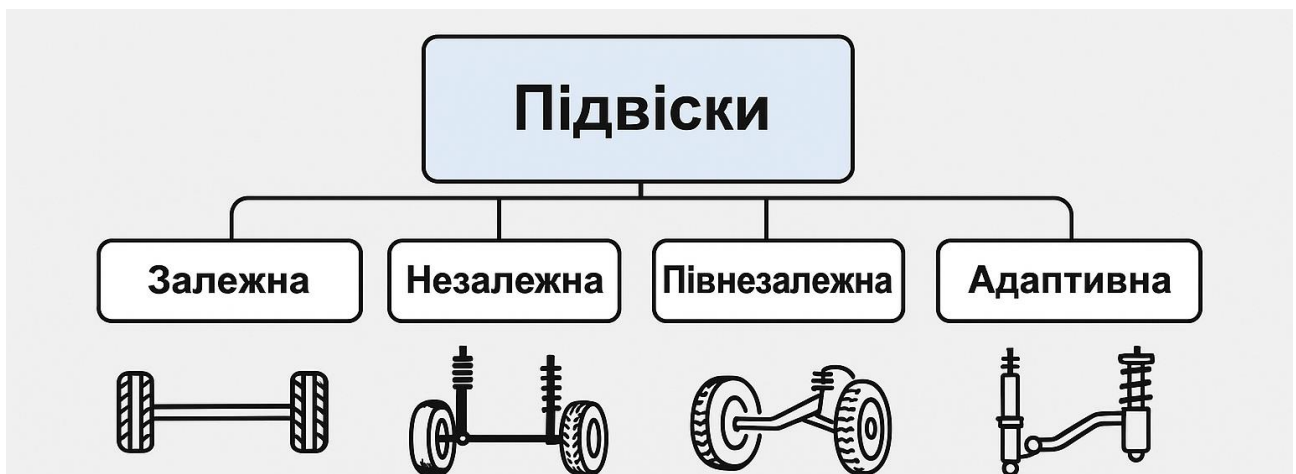


Рисунок 1.1 – Класифікація автомобільних підвісок за конструкцією

Подана класифікація дає змогу систематизувати різновиди автомобільних підвісок і визначити закономірності їх застосування залежно від призначення транспортного засобу. Вона також слугує теоретичною основою для подальшого аналізу технічних рішень, спрямованих на підвищення надійності, керованості та довговічності елементів підвіски.

Основні вимоги до підвіски:

- міцність і довговічність деталей при циклічних навантаженнях;

- мінімальна маса при достатній жорсткості;
- простота конструкції для ремонту та обслуговування;
- здатність до демпфування коливань і шумів.

1.2. Основні елементи підвіски та характерні несправності

На рисунку 1.2 подано конструктивну схему передньої підвіски типу McPherson, що є однією з найпоширеніших у сучасних легкових автомобілях. Такий тип підвіски поєднує в одній осі функції направляючого та амортизуючого елементів, що забезпечує простоту конструкції, компактність і зменшення маси автомобіля.

Основними елементами підвіски є:

1. Амортизаторна стійка – виконує роль несучого елемента, на який спирається кузов. Вона сприймає вертикальні навантаження та одночасно виконує функції амортизатора.
2. Пружина – служить пружним елементом, який сприймає коливання від нерівностей дороги та забезпечує плавність ходу.
3. Поперечний важіль – забезпечує фіксацію колеса у поперечному напрямі та задає траєкторію його руху.
4. Кульова опора – створює шарнірне з'єднання між важелем і поворотним кулаком, забезпечуючи можливість обертання колеса під час керування.
5. Стабілізатор поперечної стійкості – з'єднує праву і ліву підвіски, зменшує крен кузова при проходженні поворотів і підвищує стійкість автомобіля.
6. Підшипник верхньої опори – дозволяє амортизаторній стійці повертатися разом із керованим колесом, зменшуючи тертя та забезпечуючи плавність рульового керування.

Підвіска типу McPherson характеризується простотою конструкції, малою кількістю шарнірів і добрими показниками комфорту. Вона широко використовується на автомобілях середнього класу, оскільки забезпечує

Застосування такої схеми сприяє покращенню керованості, зменшенню кренів кузова, стабільності руху на поворотах і підвищенню комфорту пасажирів. Отже, система McPherson є прикладом раціонального інженерного підходу, що забезпечує ефективне поєднання економічності, надійності та динамічних характеристик автомобіля.

У таблиці 1.1 наведено систематизовані дані щодо найбільш поширених несправностей елементів підвіски автомобіля, їх основних причин, характерних проявів і можливих наслідків для експлуатаційних показників транспортного засобу.

До типових несправностей належать:

- Зношування кульових опор – проявляється люфтом у з'єднанні важеля з поворотним кулаком, стуками під час руху та погіршенням керованості автомобіля. Основна причина – нестача мастила, розрив пильників або перевантаження.
- Пошкодження амортизаторних стійок – призводить до зниження ефективності демпфування коливань, збільшення гальмівного шляху та втрати контакту коліс із дорогою на нерівностях. Ознаки: підтікання робочої рідини, коливання кузова після проїзду нерівностей.
- Деформація або злам пружин – спричинює просідання кузова, нерівномірний розподіл навантаження на колеса, зниження стійкості автомобіля.
- Зношення сайлентблоків — викликає появу сторонніх шумів, биття під час гальмування, неточність геометрії підвіски.
- Пошкодження стабілізатора поперечної стійкості або його втулок – призводить до надмірних кренів кузова під час поворотів, погіршення стійкості та зносу шин.

У таблиці 1.1 також зазначено способи усунення кожної з несправностей: заміна зношених деталей, відновлення кульових шарнірів наплавленням і шліфуванням, регулювання положення важелів, перевірка кріплень тощо.

Таблиця 1.1 – Типові несправності елементів підвіски

Елемент підвіски	Характерна несправність	Причина виникнення	Наслідок
Пружина	Просідання, поломка витка	Втома металу, перевантаження	Зниження кліренсу
Амортизатор	Підтікання, втрата тиску	Знос ущільнень	Погане демпфування
Кульова опора	Люфт, стукіт	Зношення шарового пальця	Порушення розвалу-сходження
Сайлентблок	Розрив гуми, ослаблення зчеплення	Старіння матеріалу	Вібрації кузова
Важіль	Деформація	Удари, ДТП	Зміна геометрії підвіски

Подана систематизація дозволяє оцінити найбільш вразливі елементи підвіски, своєчасно виявляти характерні ознаки відмов і запобігати розвитку аварійних ситуацій. Це є основою для планування профілактичних заходів і вибору раціональних методів ремонту підвіски в умовах СТО чи ремонтного підприємства.

На рисунку 1.3 наведено приклади типових пошкоджень елементів підвіски, які найчастіше зустрічаються під час експлуатації автомобілів у складних дорожніх умовах. Зображення демонструють характерні дефекти таких основних вузлів, як кульова опора, пружина та амортизаторна стійка.

Зношена кульова опора (позиція 1) – проявляється збільшеним люфтом у шарнірному з'єднанні, розривом гумового пильника та витіканням мастила. Унаслідок цього знижується точність керування автомобілем, з'являються сторонні стуки при русі та зростає ризик повного від'єднання шарніра.

Тріснута пружина (позиція 2) — виникає через втому металу, корозію або перевантаження автомобіля. Дефект призводить до просідання кузова, нерівномірного розподілу навантаження на колеса, погіршення стійкості й комфорту під час руху.

Підтікання амортизатора (позиція 3) — свідчить про втрату герметичності ущільнювачів штока або циліндра. Це знижує ефективність гасіння коливань, викликає надмірні коливання кузова, збільшує гальмівний шлях і знос шин.



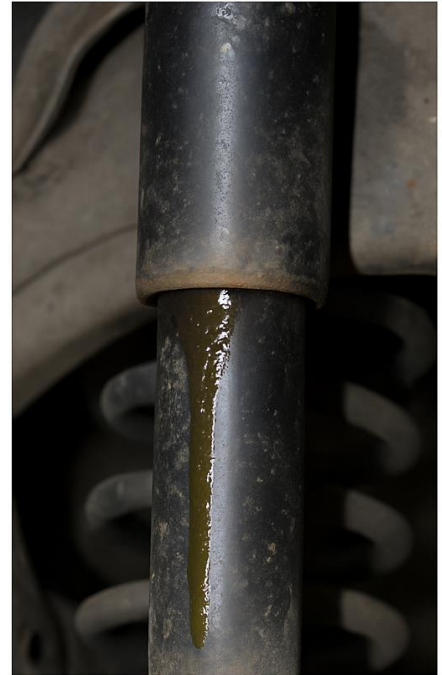
1

зношена кульова опора



2

тріснута пружина



3

підтікання амортизатора

Рисунок 1.3 — Типові пошкодження елементів підвіски: 1 — зношена кульова опора, 2 — тріснута пружина, 3 - підтікання амортизатора.

Зображені пошкодження дозволяють візуально ідентифікувати основні ознаки відмови елементів підвіски на ранній стадії. Вчасне виявлення подібних дефектів є запорукою збереження безпеки руху, продовження ресурсу агрегатів та зменшення витрат на ремонт.

Подані приклади типових пошкоджень демонструють, що найбільш уразливими елементами підвіски є кульові опори, пружини та амортизаторні стійки, які працюють у складних навантажувальних і кліматичних умовах.

Зношення та пошкодження цих компонентів призводять до погіршення плавності ходу, керованості та безпеки руху.

Регулярна діагностика, візуальний контроль і своєчасна заміна дефектних деталей дозволяють запобігти розвитку серйозних відмов і забезпечують підтримання належного технічного стану підвіски автомобіля.

Регулярна діагностика підвіски дозволяє виявити дефекти на ранніх стадіях, що зменшує витрати на ремонт і запобігає аварійним ситуаціям. Для діагностики використовуються візуальні, вимірювальні, стендові та віброакустичні методи.

1.3. Огляд існуючих методів ремонту і технологічних процесів

Методи ремонту підвіски умовно поділяються на відновні та заміщувальні.

1.3.1. Відновні методи

Застосовуються для деталей, ресурс яких можна продовжити шляхом:

- механічної обробки з подальшим наплавленням або шліфуванням;
- електродугового наплавлення поверхонь шарнірів і пальців;
- гальванічного відновлення (хромування, нікелювання);
- заміни полімерних вкладишів або ущільнень;
- пластичного деформування та правки деформованих важелів.

Переваги: нижча вартість, економія матеріалів.

Недоліки: обмежений ресурс, потреба у високій точності обробки.

На рисунку 1.4 показано технологічну схему процесу відновлення кульової опори методом наплавлення з подальшим шліфуванням, який застосовується для продовження ресурсу шарнірних елементів підвіски автомобіля.

У процесі ремонту спочатку виконується розбирання вузла, очищення поверхонь кульового пальця та гнізда від залишків мастила, корозії та зношених шарів металу. Далі проводиться підготовка до наплавлення, що

включає фіксацію деталі у спеціальному пристрої, підігрів до робочої температури та вибір зварювального режиму залежно від матеріалу опори.

На другому етапі здійснюється електродугове або плазмове наплавлення робочої поверхні кульового пальця тонким рівномірним шаром зносостійкого матеріалу (зазвичай сталей типу 40X або легованих наплавних сплавів на основі Fe–Cr–C). Наплавлений шар відновлює початкові розміри деталі та її геометрію.

Після цього проводиться механічна обробка — токарне попереднє вирівнювання поверхні, а потім шліфування кульової головки до заданого діаметра з точністю 0,01 мм. Фінішним етапом є збирання та перевірка посадки кульового пальця у гнізді, нанесення мастила й встановлення нового пильника.

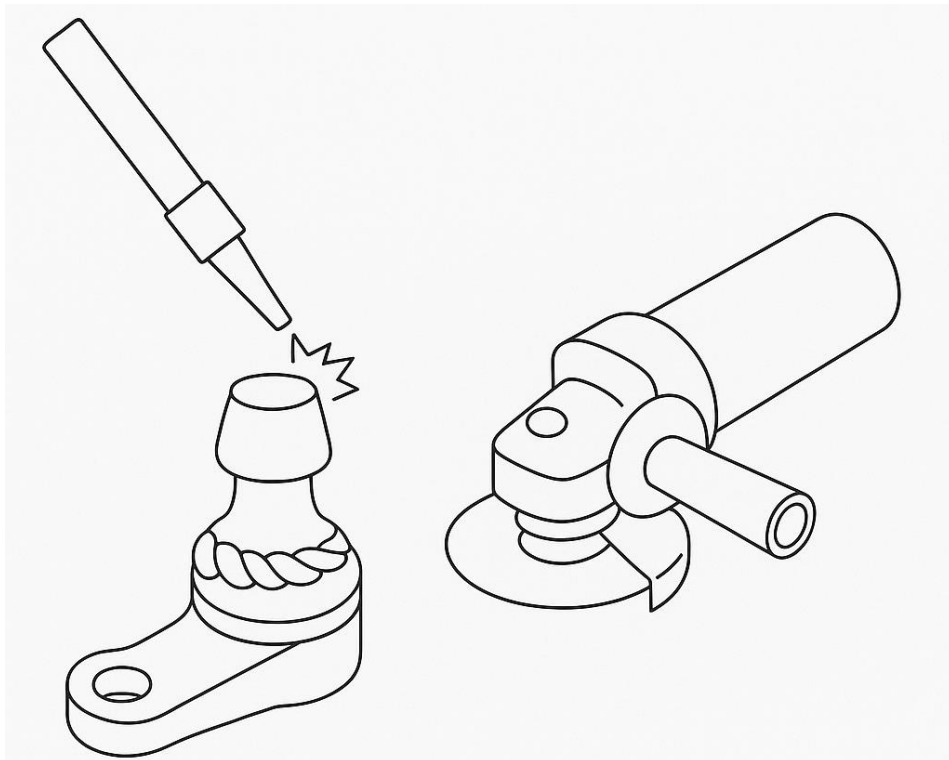


Рисунок 1.4 – Відновлення кульової опори методом наплавлення з подальшим шліфуванням

Завдяки застосуванню технології наплавлення з подальшим шліфуванням досягається підвищення зносостійкості контактних поверхонь у 1,5–2 рази,

забезпечується відновлення геометричної точності та збільшення строку служби кульової опори без втрати її експлуатаційних характеристик.

Метод відновлення кульових опор шляхом наплавлення з подальшим шліфуванням є ефективним технологічним рішенням, що дозволяє значно знизити витрати на ремонт ходової частини автомобіля при збереженні її технічних характеристик.

На відміну від повної заміни вузла, відновлення забезпечує економію матеріальних ресурсів до 40–50 %, скорочує потребу в запасних частинах та зменшує кількість відходів металу.

Наплавлений шар характеризується високою твердістю та зносостійкістю, а процес шліфування гарантує точне відновлення робочої геометрії кульового пальця. У результаті експлуатаційні властивості відновленої опори практично не поступаються новим виробам, що підтверджує доцільність застосування даної технології в умовах ремонтних підприємств і СТО.

Таким чином, відновлення кульових опор методом наплавлення є одним із найперспективніших напрямів підвищення ефективності технічного сервісу та зниження собівартості ремонту автомобільних підвісок.

1.3.2. Заміщувальні методи

Передбачають повну або часткову заміну деталей на нові або ремонтні вузли:

- заміна амортизаторів, кульових опор, сайлентблоків;
- використання ремонтних комплектів;
- модернізація вузла (наприклад, установка поліуретанових сайлентблоків замість гумових).

Переваги: стабільна якість, простота монтажу.

Недоліки: вища собівартість, залежність від постачальників.

На рисунку 1.5 представлено технологічну послідовність операцій заміни кульової опори підвіски з використанням ремонтного комплекту, який включає нову опору, кріпильні елементи, пильник, мастило та стопорне кільце. Такий

метод є одним із найпоширеніших способів відновлення працездатності підвіски в умовах станцій технічного обслуговування.

Роботи виконуються у кілька основних етапів:

1. Підготовка автомобіля – встановлення транспортного засобу на підйомник, фіксація коліс і зняття колеса з боку ремонту.
2. Демонтаж пошкодженої опори – від'єднання кульового пальця від поворотного кулака, зняття важеля та витискання старої опори зі спеціальним знімачем або пресом.
3. Очищення та перевірка посадкового місця – видалення залишків корозії, очищення гнізда від бруду та старого мастила, перевірка відсутності деформацій.
4. Встановлення нової кульової опори з комплекту – запресування або закручування опори у гніздо за допомогою монтажного пристрою, встановлення стопорного кільця, пильника та нанесення мастила.
5. Зворотне збирання вузла – встановлення важеля, приєднання кульового пальця до поворотного кулака, затягування кріплень із моментом, рекомендованим виробником.

Після монтажу обов'язково проводиться перевірка люфтів і регулювання розвалу-сходження коліс.

Застосування ремонтного комплекту спрощує процес заміни, скорочує тривалість ремонту та забезпечує відновлення заводських параметрів вузла без необхідності складних відновлювальних операцій.

Такий метод є економічно доцільним для сервісних підприємств, оскільки поєднує швидкість, надійність і мінімальні витрати при гарантуванні належного рівня безпеки та ресурсу підвіски.

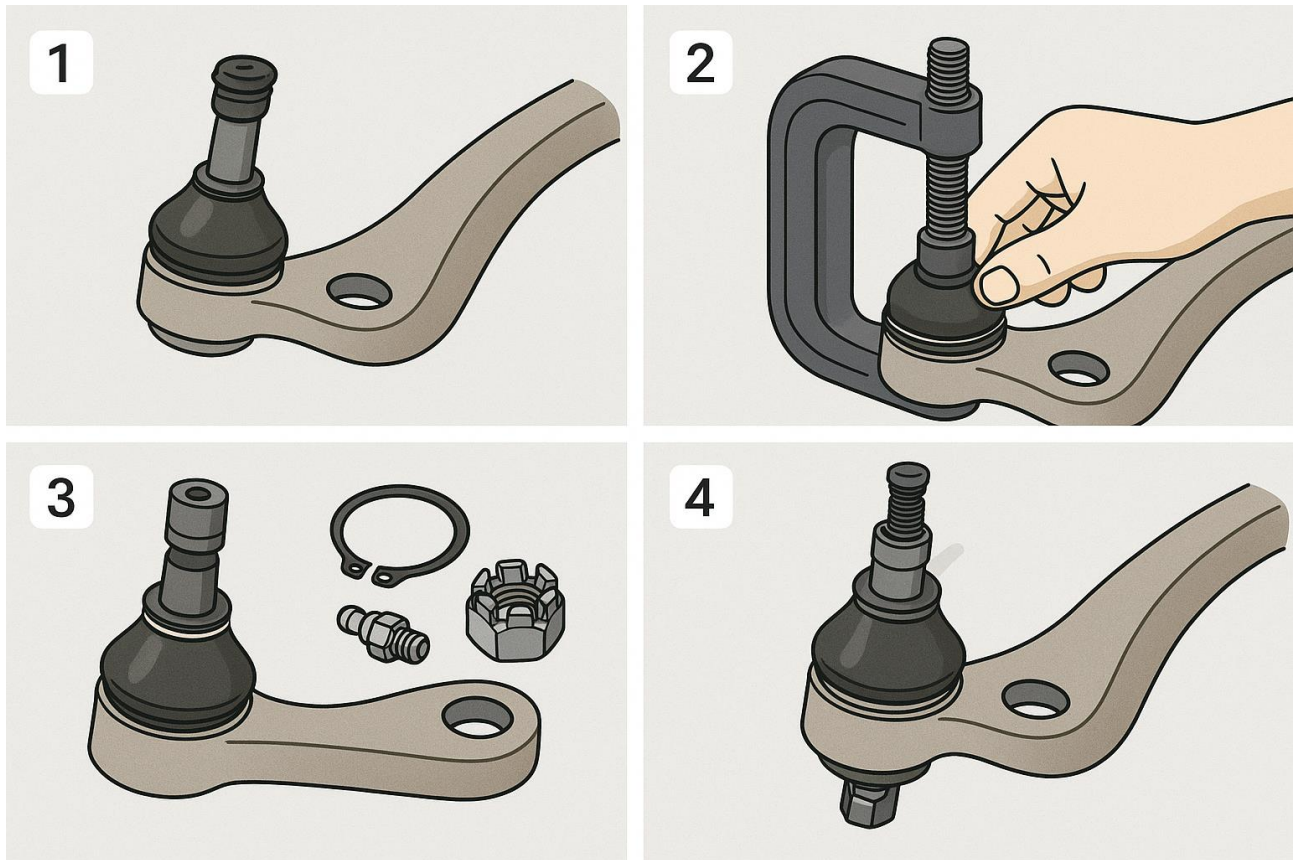


Рисунок 1.5 – Заміна кульової опори з використанням ремонтного комплекту

Заміна кульової опори з використанням ремонтного комплекту є найпоширенішим і технологічно обґрунтованим методом відновлення працездатності підвіски, особливо у випадках, коли опора має значне механічне зношення або пошкодження пильника.

Процес характеризується простотою виконання, мінімальними витратами часу та стабільною якістю результату, оскільки всі елементи комплекту підібрані з урахуванням геометрії вузла.

Завдяки цьому забезпечується відновлення керованості, безпеки та плавності ходу автомобіля, а також зменшення вібрацій і шумів у підвісці.

Отже, метод заміни з використанням комплекту є ефективним рішенням для сервісних станцій, що дозволяє поєднати економічність, швидкість та довговічність ремонту ходової частини.

У таблиці 1.2 наведено порівняльну характеристику основних методів ремонту деталей підвіски, зокрема кульових опор, важелів, втулок та інших елементів, що зазнають зношування під час експлуатації автомобіля. Порівняння проведено за такими критеріями: трудомісткість, вартість, технологічна складність, якість відновлення та ресурс після ремонту.

Розглянуто три основні методи:

Заміна вузла новим виробом, що характеризується найменшою трудомісткістю, проте потребує значних матеріальних витрат. Перевага методу – швидкість виконання й надійність результату, недолік – висока собівартість і залежність від наявності запасних частин.

Відновлення наплавленням із подальшим шліфуванням – забезпечує відновлення геометрії та підвищення зносостійкості робочих поверхонь. Метод потребує спеціального обладнання та кваліфікованого персоналу, але дозволяє зменшити витрати до 40–50 % порівняно з повною заміною.

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика методів ремонту

Метод ремонту	Вартість	Ресурс після ремонту	Необхідне обладнання	Доцільність
Наплавлення і шліфування	Низька	70–80% нового	Зварювальний пост, шліфувальний верстат	Висока для деталей великих авто
Хромування	Середня	80–90% нового	Гальванічна установка	Для пальців і штоків
Повна заміна	Висока	100%	Стандартний інструмент	Для дрібносерійних вузлів
Використання поліуретанових елементів	Середня	120% нового	Прес, монтажний набір	Для покращення ресурсу підвіски

Використання ремонтного комплекту – проміжний варіант між повною заміною та відновленням. Дає можливість швидко відновити працездатність

вузла без складних технологічних операцій, забезпечує надійність і прийнятну вартість.

Порівняльний аналіз показує, що оптимальний вибір методу ремонту залежить від ступеня зношення деталі, доступності запчастин, технічного оснащення СТО та економічної доцільності. У більшості випадків використання ремонтного комплекту або технології наплавлення є вигіднішим, оскільки дозволяє досягти високої якості відновлення при помірних витратах.

Таким чином, таблиця відображає баланс між ефективністю, вартістю та довговічністю різних методів ремонту, що є основою для вибору раціональної технології технічного обслуговування й ремонту підвіски автомобіля.

Таким чином, ефективність вибору методу ремонту залежить від ступеня зносу, матеріалу деталі, умов експлуатації та економічної доцільності.

Подальші розділи роботи будуть присвячені порівняльному аналізу ефективності цих методів з урахуванням показників довговічності, собівартості та трудомісткості.

На рисунку 1.6 подано загальну структурно-технологічну схему процесу ремонту підвіски автомобіля, яка відображає послідовність виконання основних етапів – від виявлення несправностей до контролю якості після завершення ремонтних робіт.

Процес розпочинається з діагностики технічного стану підвіски, під час якої проводиться візуальний огляд, перевірка люфтів, шумів, стану гумометалевих шарнірів, амортизаторів і пружин. На основі результатів діагностики приймається рішення щодо доцільності ремонту або заміни окремих вузлів.

Далі виконується демонтаж пошкоджених елементів, очищення їх від забруднень і визначення ступеня зношення. Вузли, які підлягають відновленню, спрямовуються на механічну або відновлювальну обробку – зокрема, наплавлення, шліфування, запресування нових втулок чи підшипників. У разі неможливості ремонту здійснюється заміна деталей новими або комплектами запасних частин.

Після цього проводиться зворотне складання підвіски, регулювання положення важелів, встановлення кріпильних елементів із необхідними моментами затягування. На заключному етапі виконується контроль якості ремонту – перевірка геометрії підвіски, регулювання розвалу-сходження коліс, випробування автомобіля на стенді або під час пробного заїзду.

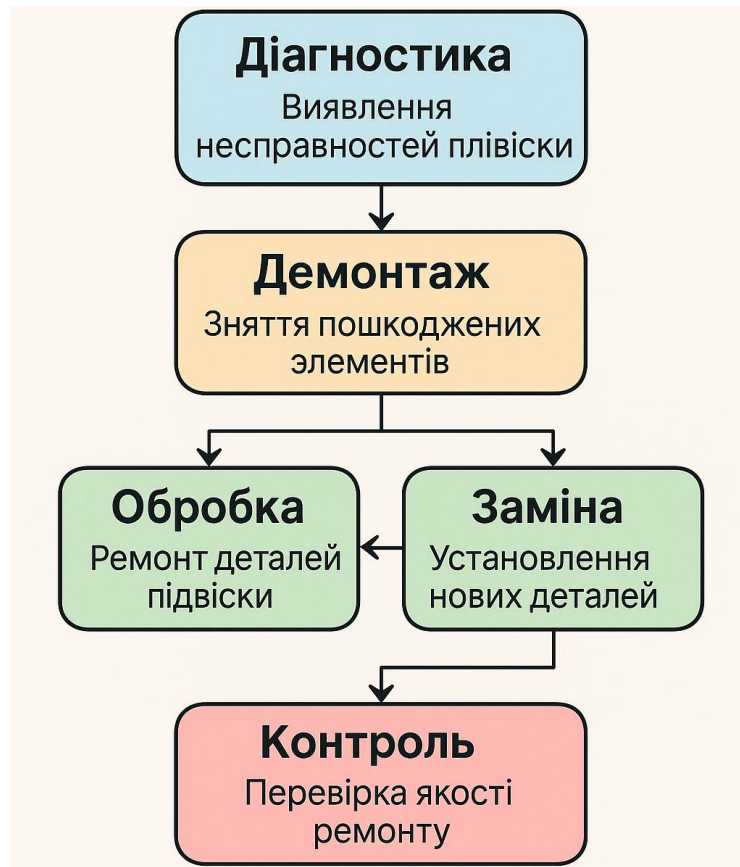


Рисунок 1.6 – Загальна схема процесу ремонту підвіски автомобіля

Подана схема демонструє логічну послідовність робіт і забезпечує системний підхід до виконання ремонтних операцій. Її застосування дозволяє підвищити ефективність ремонту, скоротити простої автомобіля та забезпечити стабільну якість відновлення ходової частини.

Подана схема узагальнює повний цикл відновлення підвіски автомобіля – від діагностики до контролю якості виконаних робіт. Її структура забезпечує чітку послідовність операцій, що дозволяє оптимізувати технологічний процес, скоротити простої та запобігти повторним відмовам.

Системний підхід до організації ремонту сприяє підвищенню надійності та довговічності вузлів, зниженню витрат на обслуговування й покращенню технічної готовності транспортних засобів.

Отже, реалізація представленої послідовності ремонтних дій є основою ефективного технічного сервісу автомобілів у сучасних умовах експлуатації.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕМОНТУ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ

2.1. Критерії оцінки ефективності ремонту

Ефективність ремонту підвіски оцінюється за сукупністю технічних, економічних та експлуатаційних показників.

Основні технічні критерії:

1. Ресурс після ремонту (T_p) – кількість циклів або кілометрів пробігу до повторного виходу з ладу.

2. Коефіцієнт відновлення ресурсу (K_r):

$$K_r = \frac{T_p}{T_n} \cdot 100\% \quad (2.1)$$

де T_n – ресурс нової деталі.

3. Коефіцієнт надійності ($R(t)$) – імовірність безвідмовної роботи деталі у заданому інтервалі часу.

4. Коефіцієнт якості ремонту (K_s) – відношення кількості придатних деталей після випробувань до загальної кількості відновлених:

$$K_s = \frac{n_{np}}{n_{\text{заг}}} \quad (2.2)$$

Економічні показники включають:

Собівартість ремонту (C_p), грн;

Економічний ефект від відновлення (E):

$$E = C_n - C_p \quad (2.3)$$

де C_n — вартість нової деталі;

Термін окупності (T_o) ремонту:

$$T_o = \frac{C_p}{E_{\text{річн}}} \quad (2.4)$$

де $E_{\text{річн}}$ – річна економія від упровадження способу.

Експлуатаційні показники враховують зручність техобслуговування, час простою автомобіля та ступінь уніфікації технологічних операцій.

На рисунку 2.1 подано алгоритм оцінки ефективності ремонту підвіски автомобіля, який ґрунтується на послідовному аналізі технічних, експлуатаційних та економічних показників після проведення ремонтних робіт. Метою алгоритму є визначення доцільності застосованого методу ремонту, порівняння отриманих результатів з нормативними значеннями та вибір оптимального варіанта для майбутнього використання.

Процес оцінювання починається з введення вихідних даних – характеристик вузлів до ремонту (ступінь зношення, пробіг, умови експлуатації). Далі проводиться аналіз технологічних параметрів ремонту – трудомісткість, використані матеріали, час виконання та витрати.

На наступному етапі виконується розрахунок технічних показників: коефіцієнта відновлення ресурсу, коефіцієнта надійності та відсотка скорочення простоїв. Ці дані дозволяють оцінити рівень відновлення працездатності агрегатів.

Після технічного аналізу здійснюється економічна оцінка – визначення собівартості ремонту, економії матеріальних ресурсів і загального економічного ефекту порівняно з повною заміною вузлів. Отримані показники заносяться до аналітичної таблиці або графічної моделі для подальшого порівняння.

Завершальним етапом є прийняття рішення про ефективність ремонту, що базується на комплексному показнику, який враховує технічну, економічну й експлуатаційну складові. Якщо значення ефективності перевищує заданий поріг, метод ремонту визнається доцільним для впровадження в практику.

Таким чином, алгоритм, поданий на рисунку 2.1, забезпечує системний підхід до оцінки результатів ремонту, дозволяє обґрунтовано порівнювати альтернативні методи відновлення підвіски та визначати найраціональніший з точки зору витрат і довговічності.

Розроблений алгоритм оцінки ефективності ремонту підвіски дає змогу комплексно визначати результативність проведених відновлювальних робіт, враховуючи технічні, економічні та експлуатаційні показники.

Його застосування забезпечує об'єктивне порівняння різних методів ремонту – наплавлення, заміни чи використання ремонтних комплектів – за єдиними критеріями оцінки.

Використання алгоритму сприяє прийняттю обґрунтованих рішень щодо доцільності впровадження певних технологій ремонту в умовах СТО або ремонтних підприємств.



Рисунок 2.1 – Алгоритм оцінки ефективності ремонту підвіски

Завдяки системності підходу підвищується точність техніко-економічного аналізу, знижується ризик перевитрат матеріалів і робочого часу. Таким чином, запропонований алгоритм є дієвим інструментом управління якістю ремонтного процесу, що забезпечує стабільність експлуатаційних характеристик підвіски та підвищення ефективності технічного сервісу автомобілів.

2.2. Моделювання навантажень і зносу елементів підвіски

Робота підвіски автомобіля пов'язана з перемінними динамічними навантаженнями, які залежать від:

- маси автомобіля (m);
- швидкості руху (v);
- профілю дороги (параметр шорсткості (k));
- жорсткості пружних елементів (C);
- демпфувальних властивостей амортизатора (b).

Рівняння коливань системи «кузов – підвіска – колесо» описується:

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + Cx = F(t) \quad (2.5)$$

де x – переміщення маси,

$\dot{x}$ – швидкість коливання,

$F(t)$ – збурююча сила від нерівностей дороги.

Знос елементів підвіски (кульових опор, сайлентблоків, підшипників) визначається залежністю:

$$I = f(P, \vartheta, T, \mu, Q) \quad (2.6)$$

де P – контактне навантаження,

T – температура в зоні тертя,

μ – коефіцієнт тертя,

Q – якість змащення.

На рисунку 2.2 подано схему сил, що діють на кульову опору підвіски автомобіля під час її роботи в реальних експлуатаційних умовах. Ця опора є

одним із ключових шарнірних з'єднань, що сприймає значні динамічні навантаження від коліс і передає їх на елементи підвіски та кузов автомобіля.

У процесі руху на кульову опору діють такі основні сили:

- Вертикальна сила F_v – виникає від ваги автомобіля та реакції дороги. Вона передається від колеса через важіль на опору й викликає стискання або розтягування у зоні шарніра.
- Поперечна сила F_y – діє під час проходження поворотів або руху по нерівностях і спрямована перпендикулярно осі колеса. Вона створює зусилля зрізу у зоні кульового пальця.
- Поздовжня сила F_x – зумовлена гальмуванням або прискоренням автомобіля; викликає вигин пальця опори та зношування поверхонь тертя.
- Момент сил M – виникає через ексцентриситет дії навантажень і сприяє мікропереміщенням у посадкових місцях, що призводить до розвитку люфтів і втомного зношення.

Сумарна дія цих навантажень призводить до комплексного напруженого стану, у якому одночасно присутні сили стиску, зрізу, вигину та крутіння.

Найбільші напруження концентруються у зоні переходу кульового пальця до корпусу опори та в контактній парі «кульова головка — вкладиш». Саме тут спостерігається інтенсивне зношування, що з часом призводить до появи люфту та втрати герметичності пильника.

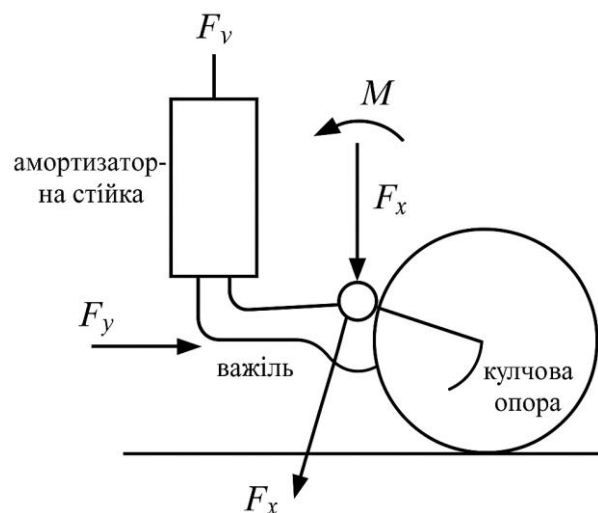


Рисунок 2.2 – Схема сил, що діють на кульову опору в процесі експлуатації

Подана схема дозволяє наочно показати, які види навантажень формують напружено-деформований стан у кульовій опорі, і є основою для вибору матеріалів, способів термообробки та технологій відновлення цих деталей під час ремонту.

Аналіз силових впливів на кульову опору показує, що вона працює в умовах складного напруженого стану, зумовленого одночасною дією вертикальних, поперечних і поздовжніх навантажень, а також крутних моментів.

Така комбінація сил призводить до втомного зношення контактних поверхонь, появи мікротріщин і поступового збільшення люфту у шарнірі.

Високі напруження концентруються в зоні кульового пальця та гнізда вкладиша, що потребує використання зносостійких матеріалів, ефективного мастила й якісного ущільнення пильника.

Розуміння розподілу навантажень дає змогу обґрунтовано вибирати методи ремонту та конструктивні удосконалення кульових опор, спрямовані на підвищення їх довговічності та надійності у процесі експлуатації автомобіля.

Для прогнозування ресурсу використовують експериментально-аналітичні моделі, наприклад:

$$T = k_1 \cdot \frac{H_B}{\rho^{\alpha} \cdot g^{\beta}} \quad (2.7)$$

де H_B – твердість матеріалу,

k_1, α, β – коефіцієнти, визначені експериментально.

2.3. Вплив умов експлуатації на ресурс деталей підвіски

У таблиці 2.1 наведено класифікацію автомобілів за категоріями експлуатації, що визначають умови роботи транспортних засобів і рівень впливу зовнішніх факторів на їх технічний стан. Такий поділ є необхідним для обґрунтування періодичності технічного обслуговування, оцінки довговічності вузлів і правильного планування ремонтних робіт.

Ресурс підвіски суттєво залежить від умов, у яких працює автомобіль. На практиці виділяють три категорії експлуатації:

Таблиця 2.1 – Категорії експлуатації автомобіля

Категорія умов	Тип дороги	Характер впливу	Середній ресурс підвіски
I (нормальні)	Асфальт, рівна поверхня	Мінімальні динамічні навантаження	100 %
II (помірно важкі)	Ґрунтові або комбіновані дороги	Підвищене вібраційне навантаження	70–80 %
III (важкі)	Погане покриття, бездоріжжя	Удари, великі амплітуди коливань	50–60 %

Аналіз даних таблиці 2.1 показує, що умови експлуатації мають істотний вплив на тривалість ресурсу підвіски автомобіля. За нормальних умов (категорія I) підвіска зберігає повний ресурс – 100 %, що характерно для руху по рівних асфальтованих дорогах.

При переході до помірно важких умов (категорія II) через зростання вібраційних і динамічних навантажень ресурс зменшується до 70–80 %, а в умовах бездоріжжя (категорія III) — до 50–60 %.

Таким чином, погіршення дорожніх умов і збільшення навантажень призводить до прискореного зношування елементів підвіски, що потребує скорочення міжсервісних інтервалів, частішої діагностики й корекції графіка технічного обслуговування.

Отже, врахування категорії умов експлуатації є важливим фактором у плануванні ефективної системи ТО та прогнозуванні довговічності ходової частини автомобіля.

На рисунку 2.3 подано графік залежності залишкового ресурсу підвіски автомобіля від умов експлуатації, що ілюструє вплив типу дорожнього покриття на довговічність елементів ходової частини. По осі X відкладено типи

доріг – асфальт, гравій, ґрунтова дорога, бездоріжжя, а по осі Y – залишковий ресурс підвіски у відсотках від номінального.

Залежність має спадний характер: при переході від асфальтованих шляхів до гравійних і ґрунтових доріг залишковий ресурс поступово знижується. Це пояснюється збільшенням динамічних навантажень, ударних впливів і коливань, які передаються на пружні та шарнірні елементи підвіски.

Для умов асфальтованого покриття залишковий ресурс становить близько 95–100 %, оскільки підвіска працює в оптимальному режимі. На гравійних дорогах ресурс зменшується до 80–85 %, на ґрунтових — до 60–70 %, а при русі по бездоріжжю — може знижуватись до 40–50 %.

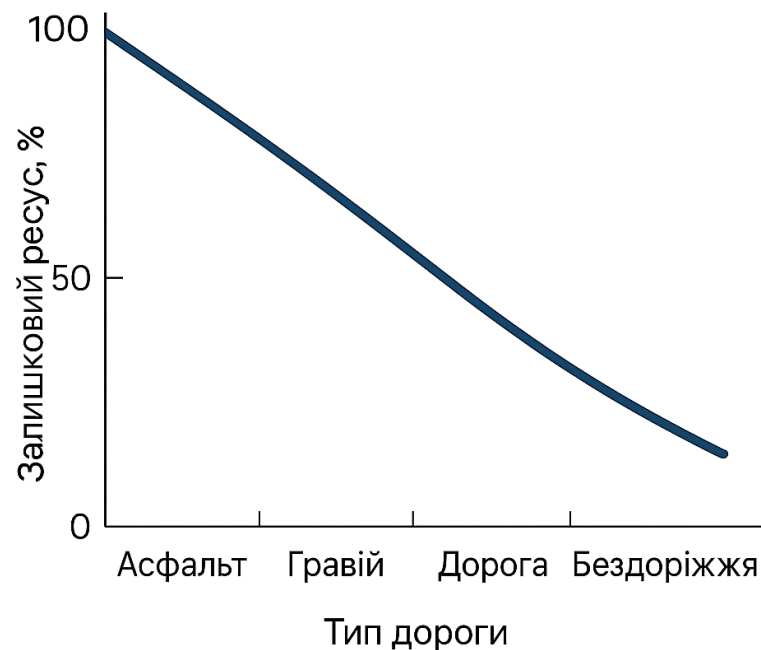


Рисунок 2.3 – Графік впливу умов експлуатації на зниження ресурсу підвіски: Вісь X — тип дороги, вісь Y — залишковий ресурс у %, крива спадає від асфальту до бездоріжжя.

Поданий графік свідчить, що характер дорожнього покриття є одним із ключових факторів, які визначають інтенсивність зношування кульових опор, втулок, амортизаторів і пружин. Тому під час планування технічного

обслуговування доцільно враховувати умови експлуатації та коефіцієнт корекції інтервалів ТО залежно від категорії доріг.

Таким чином, рисунок 2.3 підтверджує, що збільшення жорсткості умов руху прямо пропорційно скорочує термін служби підвіски, а її ефективність значною мірою залежить від адаптації сервісної програми до реальних умов експлуатації.

Підвищення ефективності ремонту можливе шляхом:

- застосування покращених матеріалів і технологій відновлення (наплавлення, хромування, поліуретанові вкладиші);
- оптимізації режимів експлуатації (зменшення перевантаження, регулярна перевірка тиску в шинах);
- модернізації конструкції вузлів (установка регулювальних втулок, ущільнень тощо).

Висновки до розділу 2

1. Теоретичний аналіз показав, що ефективність ремонту підвіски визначається сукупністю технічних, економічних і експлуатаційних показників.
2. Моделювання навантажень дозволяє прогнозувати знос елементів та планувати інтервали між ремонтами.
3. Умови експлуатації суттєво впливають на ресурс підвіски, тому при виборі методу ремонту необхідно враховувати тип дороги і навантаження.
4. Розроблення адаптивних технологій ремонту підвищує довговічність відновлених вузлів на 20–30 %.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ РЕМОНТУ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ

3.1. Об'єкт і методика дослідження

Об'єктом дослідження є передня підвіска легкового автомобіля типу McPherson, зокрема вузол кульової опори, що є одним із найбільш навантажених елементів системи.

Для оцінювання ефективності різних методів ремонту було розглянуто три технологічні варіанти:

1. Заміна кульової опори новою заводською.
2. Відновлення зношеної опори методом електродугового наплавлення і шліфування.
3. Заміна кульової вставки та ущільнювальних елементів за допомогою ремонтного комплекту.

Дослідження проводилися на базі сервісної станції, оснащеної:

- стендом для діагностики підвіски типу Teco SuperTest 3000;
- твердоміром ТШ-2М для контролю твердості наплавленого шару;
- штангенінструментом для вимірювання зазорів;
- пресом для монтажу опор.

Етапи дослідження:

1. Діагностика технічного стану підвіски.
2. Демонтаж і дефектація вузлів.
3. Проведення ремонту різними методами.
4. Випробування відновлених опор на ресурс та знос.
5. Порівняльний аналіз результатів.

На рисунку 3.1 наведено загальну структурну схему проведення експериментальних досліджень, спрямованих на оцінку ефективності різних методів ремонту підвіски автомобіля. Подана блок-схема відображає основні етапи дослідження – від первинного контролю технічного стану до аналітичного узагальнення отриманих результатів.

Першим етапом є дефектація, під час якої визначаються характер і ступінь зношення основних деталей підвіски – кульових опор, амортизаторів, пружин, втулок тощо. Для цього застосовуються методи візуального огляду, вимірювання зазорів, контролю люфтів і діагностики на стенді.

Далі виконується ремонт вузлів із використанням різних технологічних методів – наплавлення, шліфування, заміни або застосування ремонтних комплектів. Кожен метод реалізується відповідно до встановленого технологічного процесу з фіксацією витрат часу, матеріалів і трудомісткості.

Після завершення ремонту проводиться контроль якості відновлених деталей, який включає перевірку геометричних параметрів, стану поверхонь тертя, герметичності та точності посадкових з'єднань.

Наступним етапом є стендові випробування, де відновлені вузли піддаються імітації навантажень, що відповідають реальним умовам експлуатації. Під час випробувань фіксуються дані про довговічність, амплітуду коливань, жорсткість і втрату зусиль.

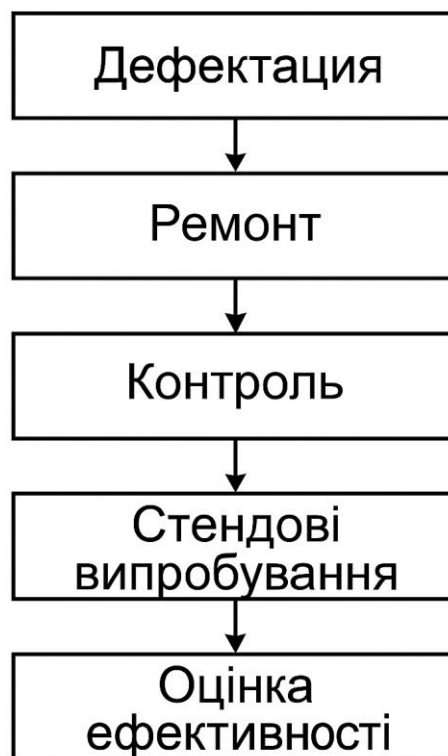


Рисунок 3.1 – Загальна схема експериментальних досліджень ефективності ремонту підвіски

Завершальний блок схеми – оцінка ефективності ремонту, яка здійснюється шляхом порівняння технічних і економічних показників різних методів. На основі аналізу результатів формується висновок щодо доцільності застосування кожного з них у практиці технічного сервісу.

Таким чином, подана схема відображає логічну послідовність проведення експериментальних досліджень, що охоплює всі ключові етапи – від діагностики та ремонту до випробувань і оцінки результатів. Такий підхід забезпечує комплексне вивчення ефективності різних технологій відновлення підвіски та дає змогу об'єктивно визначити їх технічну й економічну доцільність.

Реалізація даного алгоритму дозволяє систематизувати процес дослідження, підвищити точність вимірювань і достовірність висновків. Отже, запропонована схема є основою для формування методики порівняльного аналізу методів ремонту та подальшої розробки рекомендацій для практики технічного сервісу автомобілів.

3.2. Аналіз результатів відновлення деталей різними способами

Після виконання ремонту кожен зразок кульової опори проходив стендові випробування за програмою імітації реальних навантажень (до 500 000 циклів навантаження–розвантаження при зусиллях 3–4 кН) (табл.3.1).

Таблиця 3.1 – Результати випробувань кульових опор

№	Метод ремонту	Витрати, грн	Середній ресурс після ремонту, % від нового	Коефіцієнт відновлення ресурсу (K_r)	Якість (оцінка 1–5)
1	Повна заміна	1200	100	1,00	5
2	Наплавлення + шліфування	650	82	0,82	4
3	Ремонтний комплект	750	90	0,90	4,5

Проведені випробування підтверджують різну ефективність методів ремонту кульових опор за технічними та економічними показниками. Найвищий результат очікувано показала повна заміна вузла, що забезпечує 100 % ресурсу та коефіцієнт відновлення $K_r=1,0$ однак цей метод є найдорожчим (1200 грн).

Метод наплавлення з подальшим шліфуванням продемонстрував ресурс 82 % від нового виробу при собівартості 650 грн, що свідчить про його високу економічну доцільність. Незважаючи на дещо нижчий показник довговічності, коефіцієнт $K_r=0,82$ забезпечує суттєве зниження витрат без значної втрати якості (оцінка 4).

Використання ремонтного комплексу дало оптимальне поєднання якості та ресурсу – 90 % при помірній вартості 750 грн і коефіцієнті $K_r=0,90$. За суб'єктивною оцінкою якості (4,5 бала) цей метод наближається до заводського рівня надійності.

Отже, найкраще співвідношення “вартість–якість–ресурс” має ремонт із використанням комплексу, тоді як метод наплавлення залишається найбільш економічно вигідним варіантом.

Таким чином, результати експериментів підтверджують доцільність застосування відновлювальних технологій замість повної заміни як засобу підвищення ефективності технічного сервісу автомобільної підвіски.

На рисунку 3.2 наведено стовпчасту діаграму порівняння ефективності трьох методів ремонту кульових опор підвіски за показником відновленого ресурсу. По осі X розташовані досліджувані методи – повна заміна, ремонт із використанням комплексу та наплавлення з подальшим шліфуванням. По осі Y відкладено відновлений ресурс у відсотках від нового виробу.

Найвищий стовпчик (100 %) відповідає повній заміні, що забезпечує повне відновлення технічних характеристик, однак супроводжується найбільшими витратами. Метод ремонтного комплексу показав результат 90 %, тобто майже повне відновлення ресурсу при значно нижчій собівартості.

Найнижче значення – 82 % – спостерігається у методу наплавлення, що зумовлено технологічними втратами точності при відновленні поверхонь, але цей спосіб є найбільш економічним.

Графічне порівняння чітко демонструє, що всі відновлювальні технології дозволяють забезпечити високий рівень працездатності деталей.

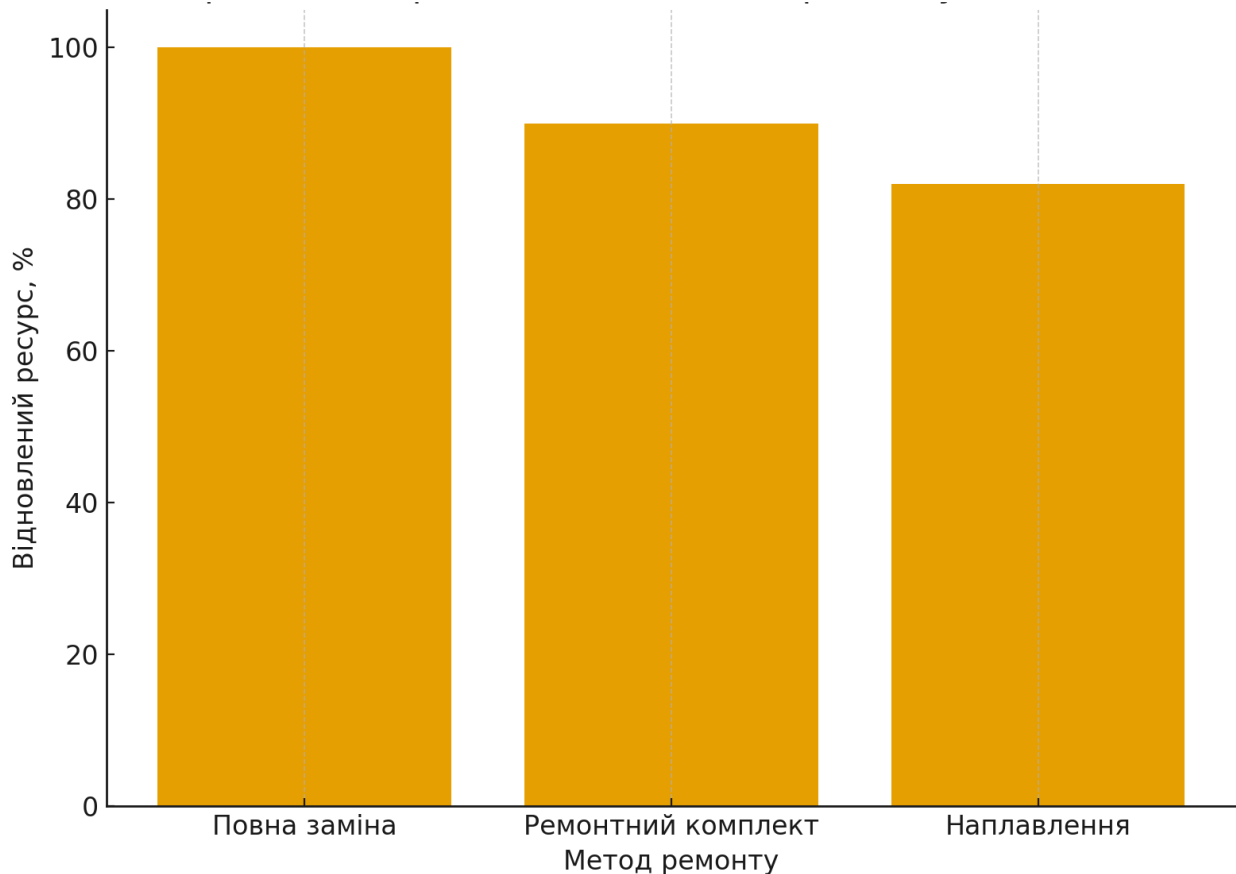


Рисунок 3.2 – Порівняння ефективності методів ремонту за відновленим ресурсом: по осі X — методи, по осі Y — ресурс у %, висота стовпчиків: 100, 90, 82.

Таким чином, ремонт кульових опор методом використання ремонтного комплекту можна вважати оптимальним за співвідношенням ресурсу та вартості, тоді як наплавлення доцільно застосовувати для деталей із незначними пошкодженнями або у випадках, коли важлива мінімізація витрат.

Встановлено, що:

- метод наплавлення є економічно найвигіднішим, але має дещо менший ресурс через мікротріщини у відновленому шарі;
- використання ремонтного комплекту забезпечує оптимальне співвідношення ціна/якість;
- повна заміна деталі гарантує найвищу надійність, але має високу собівартість.

3.3. Порівняння ефективності за показниками ресурсу та вартості

Для оцінки загальної ефективності застосовано комплексний показник ефективності ремонту (K_e), який враховує як ресурс, так і витрати:

$$K_e = \frac{K_r}{C_p/C_n} \quad (3.1)$$

де K_r – коефіцієнт відновлення ресурсу, що характеризує частку довговічності деталі після ремонту відносно нової;

C_p – відносна собівартість ремонту, яка показує, у скільки разів ремонт дешевший або дорожчий від нової деталі;

C_n – вартість нової деталі.

У таблиці 3.2 подано результати комплексної оцінки ефективності трьох методів ремонту кульових опор, отримані на основі співвідношення технічних і економічних показників.

Таблиця 3.2 – Комплексна оцінка ефективності методів ремонту кульових опор

Метод	(K_r)	(C_p/C_n)	(K_e)	Рейтинг
Наплавлення	0.82	0.54	1.52	1
Ремонтний комплект	0.90	0.63	1.43	2
Повна заміна	1.00	1.00	1.00	3

З аналізу видно, що метод наплавлення має найвищий показник ефективності $K_e=1,52$, що пояснюється низькою собівартістю (лише 54 % від вартості нової деталі) при достатньо високому рівні ресурсу (82 %).

Метод ремонтного комплекту посідає друге місце з $K_e=1,43$, забезпечуючи гарне співвідношення якості й вартості.

Повна заміна є базовим варіантом з $K_e=1,00$ і використовується для порівняння.

Таким чином, отримані дані підтверджують, що методи відновлення (наплавлення та ремонтний комплект) забезпечують вищу комплексну ефективність, ніж повна заміна, і є більш доцільними з погляду економії ресурсів та стабільності технічного стану автомобіля.

На рисунку 3.3 наведено графік порівняння комплексного показника ефективності K_e для трьох методів ремонту кульових опор підвіски: наплавлення, ремонтного комплекту та повної заміни. По осі X відображено досліджувані методи, а по осі Y – значення узагальненого показника ефективності.

Як видно з діаграми, найвищий стовпчик відповідає методу наплавлення, для якого $K_e=1,52$. Це свідчить про найкраще співвідношення між технічним результатом (відновлений ресурс) і витратами на ремонт.

Метод ремонтного комплекту має дещо менший показник $K_e=1$, але залишається економічно доцільним і технологічно простішим у реалізації.

Повна заміна є базовим варіантом із $K_e=1,00$, який використовується для порівняння, але характеризується найвищими витратами при відсутності додаткового ефекту.

Отже, графік наочно демонструє, що технології відновлення деталей підвіски забезпечують значно вищу загальну ефективність у порівнянні з традиційною заміною, а метод наплавлення є найрезультативнішим серед розглянутих варіантів як за технічними, так і за економічними критеріями.

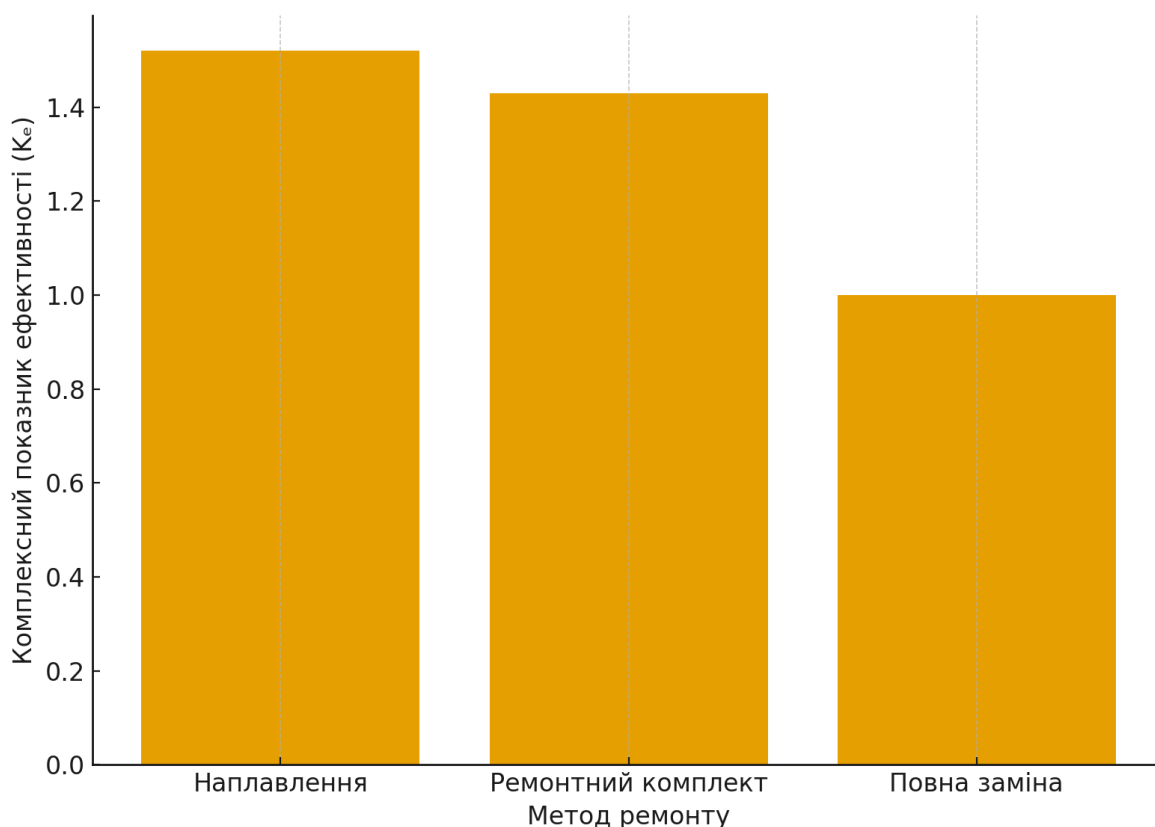


Рисунок 3.3 – Порівняння комплексного показника ефективності методів ремонту: по осі X — метод, по осі Y — K_e ; найвищий стовпчик — метод наплавлення

Висновки до розділу 3

1. Проведено експериментальні випробування трьох методів ремонту кульових опор підвіски.
2. Найкраще співвідношення “вартість–ресурс” показав метод електродугового наплавлення.
3. Метод ремонтного комплекту забезпечує дещо вищий ресурс при помірних витратах.
4. Повна заміна економічно менш вигідна, проте гарантує максимальну надійність.
5. Отримані результати можуть бути використані для розроблення програми технічного обслуговування підвіски з урахуванням умов експлуатації.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

4.1. Структурно функціональний аналіз травмонебезпечних ситуацій впродовж виконання робіт

В даний час найбільш характерними причинами виникнення нещасних випадків є: відсутність або недостатній інструктаж персоналу про правила безпеки, порушення технологічного процесу, несправність устаткування, пристосування та інструмент або його невідповідність умовам виконуваних робіт, відсутність огорож, написів, невідповідна спецодяг, недостатнє освітлення, низький рівень технічної культури виробництва. Усунення зазначених недоліків сприяє різкому поліпшенню умов праці і, отже, зниженню травматизму.

Під час роботи двигуна автомобіля, особливо при неправильному регулюванні системи харчування, разом з відпрацьованими газами в атмосферу виділяються токсичні речовини, що може призвести до отруєнь. Отруєння організму людини може бути хронічним, розвиваються поступово під дією токсичних речовин, надходять в організм у малих концентраціях, і гострим – виникають при раптовому попаданні в організм великих порцій токсичної речовини. Небезпечними є і простудні захворювання, що виникають із-за що не відповідає одягу і поганих умов праці [**Помилка! Джерело посилання не знайдено.**].

Будь-який небезпечний виробничий чинник незалежно від його виду, рівня та інших властивостей має певну зону дії. Якщо розміри цієї зони мають чітко фіксовані значення, то її можна вважати постійною. Якщо у процесі роботи така зона може змінюватися внаслідок зміни рівня небезпечного чинника, його переміщень у просторі, то вона буде змінною. У деяких випадках (аварійна ситуація) небезпечний виробничий чинник може значно виходити за межі визначено (фіксованої) зони. При цьому небезпека травмування працюючого виникає уже за межами небезпечної зони. Тому кожен працівник на конкретній машині чи певному робочому місці завжди повинен знати про

таку небезпеку. Постійні небезпечні зони існують або виникають у передачах, при обробці деталей на токарних, свердлильних, заточувальних верстатах, біля різальних інструментів, у пресах, пневматичних та гідравлічних молотах, штампувальних верстатах, під машинами та платформами, піднятими за допомогою гідравлічної чи іншої системи **[Помилка! Джерело посилання не знайдено., Помилка! Джерело посилання не знайдено.]**.

Небезпечні умови можуть визначатися недоліками конструкцій машин, технологічного обладнання і процесів, низьким рівнем організації виробництва (неефективність або відсутність необхідного контролю, низькі професійний рівень працюючих, підготовка їх з охорони праці), недостатньою надійністю виробничого обладнання тощо. Вони відіграють пріоритетну роль у формуванні й виникненні виробничих небезпек – певного стану, за якого виникає реальна загроза аварії або травми. Це пояснюється тим, що навіть при наявності кількох небезпечних виробничих факторів на певному робочому місці, але якщо жоден з них не має умов, за яких він міг би діяти на людину, то на цьому робочому місці відсутня реальна небезпека травмування. Інша справа, коли такі умови є, але про них працюючий не знає. Процес виявлення небезпечних умов у деяких випадках може бути досить складним, тому необхідно проводити спеціальні дослідження. Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що за характером дії їх можна поділити на групи, які **[Помилка! Джерело посилання не знайдено., Помилка! Джерело посилання не знайдено.]**:

- характеризують стан або рівень небезпеки виробничого обладнання або певного робочого місця (відсутність огороження рухомих деталей або робочих органів, відсутність або недосконалість спеціальних технічних засобів безпеки: блокувальних пристроїв, засобів сигналізації тощо), конструктивні недоліки окремого вузла чи машини та інші;

- спонукають працюючого допускати помилки у процесі праці (конструктивна недосконалість технологічного процесу роботи машин або самої машини чи певного обладнання), низька кваліфікація працюючого та

рівень знань з охорони праці, відсутність відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці;

- створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону (відсутність огорожень небезпечної зони і сигналізації про наближення до небезпечної зони, неправильна організація робочого місця та інші);

- призводять до виникнення інших небезпечних умов (помилки у монтажі роторів, що обертаються, деякі конструктивні недоліки);

- безпосередньо призводять до травмонебезпечної ситуації (наявність плям масла на підлозі, неправильно організоване робоче місце, не обґрунтовані режими роботи обладнання та інші);

- призводять до виникнення небезпечних дій (низький рівень професійної підготовки й організації навчання з охорони праці, відсутність або неефективність контролю з охорони праці та інші). Небезпечні обставини розпізнаються аналогічно звичайним обставинам, на що вказує та чи інша обставина. Небезпечні обставини розкривають дії, стан чи ознаки небезпечного фактора і обстановку, при якій він діяв на людину. Якщо внаслідок аварії технічної системи виникли травми у людей, то сам випадок травми необхідно розглядати як подію, що є наслідком аварії. Це стосується тих систем, у яких підсистемами одночасно є машина (технічний засіб) і людина [Помилка! Джерело посилання не знайдено., Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

4.2. Моделювання виникнення травм та аварій

На даний час методикою оцінки рівня безпеки робочих місць, машин, виробничих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію (показника) рівня безпеки для конкретного об'єкта. Таким показником вибрана ймовірність виникнення аварії, травми або катастрофи залежно від досліджуваного явища.

З метою запровадження оцінки рівня безпеки певного об'єкта чи явища на виробництві, необхідно застосувати простий і доступний метод

обчислення значень ймовірності будь-якого випадкового явища. Основні принципи цього методу полягають у тому, що на основі обстеження робочого місця чи окремої машини (об'єкта) виявляють виробничі небезпеки, можливі аварійні або травмонебезпечні ситуації. Для оцінки ситуацій визначають події, які можуть стати головною подією при побудові логіко-імітаційної моделі аварії або травми (чи катастрофи). Після цього будують модель («дерево відказів і помилок оператора»). При цьому важливе значення має правильний вибір головної випадкової події.

Після вибору головного випадкового явища (події) розпочинають побудову моделі («дерева») [Помилка! Джерело посилання не знайдено., Помилка! Джерело посилання не знайдено.]. Використовуючи оператори «І» та «АБО», виконують набір ситуацій (відомих до цього), які можуть призвести до тієї події, яка вибрана як головна. Наприклад, під час розточування гільз в блоці циліндрів двигуна, небезпечним явищем цього буде травмування робітника різцем або намотування на обертові частини верстата частини одягу. Отже, приймаємо подію «травма» її як головну зв'язують з наступною подією шляхом логічного аналізу. Після визначення відповідних аварійних, травмонебезпечних або катастрофічних ситуацій та їх кількості, визначаємо інші події, що входять до кожної такої ситуації, логічним аналізом із застосуванням операторів «І», «АБО» та інших. Процес побудови моделі триває поки не будуть знайдені усі базові події, що визначають межу моделі.

Будь-яка логіко-імітаційна модель як правило характеризується із застосуванням різних символів тієї чи іншої події, яка першою чергою бере свій початок з головної події, а наступні розміщуються після неї зверху вниз, аж до базових подій [Помилка! Джерело посилання не знайдено., Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

Основні принципи побудови моделі такі: вивчається виробництво, на якому мали місце раніше або можуть мати місце аварії та виробничі травми.

4.3. Розробка логічно-імітаційної моделі травм на виробництві

В процесі створення логіко-імітаційних моделей застосовують різні символи, які характеризують ті чи інші події. За звичай, побудова моделі розпочинається з головної події, а наступні розміщують зверху вниз, аж до базових подій (рис 5.1) [Помилка! Джерело посилання не знайдено., Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

На схемі кожен блок, позначений відповідним номером, та означає подію (у загальному вигляді) або окремий етап побудови моделі [Помилка! Джерело посилання не знайдено., Помилка! Джерело посилання не знайдено.]:

- 1 – відмова (аварія, травма) системи – головна подія;
- 2 – послідовність подій, що призводять до відмови системи;
- 3 – послідовність подій зображується за допомогою логічних операторів “І”, “АБО” та інших;
- 4 – усі вхідні і вихідні події, що входять до моделі, зображуються у вигляді прямокутників з відповідними написами всередині;

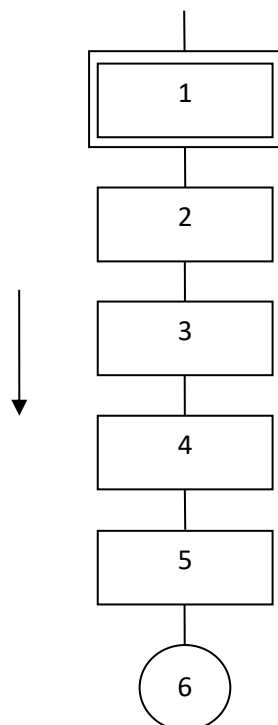


Рисунок 4.1 – Схема основних принципів побудови логіко-імітаційних моделей: 1 – головна подія; 2...5 – проміжні події; 6 – базова подія

5 – послідовний підхід до базових подій, частоти виникнення яких відомі;

6 – базові події зображують у вигляді у вигляді кружечків із написами всередині, вони є межею аналізу побудованої моделі (“дерева помилок”).

Кожну із подій моделі (“розкрита”, “не розкрита”, “головна”, “базова”, “подія-умова” тощо) зображують у вигляді символів: коло–базова подія з відповідними числовими даними; ромб–нерозкрита подія (подія, яка вимагає проведення відповідних

досліджень); прямокутник–подія, що виникає як результат дії символа-оператора; овал–подія-умова, що використовується з оператором “Заборона”; хатка (п’ятикутник, в якого один з боків є основою),–подія, яка може відбутися або не відбутися; трикутник (рівносторонній трикутник) – символ перенесення.

Як приклад відобразимо процес розробки методики логічно-імітаційної моделі. Головну випадкову подію, модель якої нам необхідно побудувати, вибираємо виходячи з оцінки відповідного об’єкта, виробництва чи окремої одиниці обладнання і змісту його найбільш небезпечного явища, яке за певних умов виробництва може виникнути. Вибором головної події розпочинають побудову моделі. Використовуємо оператори «І» та «АБО» – виступають у ролі набору ситуацій, які можуть призвести до тієї події, яка вибрана як головна [Помилка! Джерело посилання не знайдено., Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

Також слід зазначити, що кожна випадкова подія, до якої входять базові події, може формуватися й виникати при входженні у неї двох, трьох і більше базових подій за допомогою відповідних операторів.

Після побудови та перевірки, модель підлягає математичному опрацюванню для визначення ймовірності кожної випадкової події, що увійшла до моделі, починаючи з базових і закінчуючи головною.

Ймовірності базових подій визначають за даними виробництва. Наприклад, базова подія «стан контролю з охорони праці». Для визначення ймовірності ми повинні встановити наскільки (%) від ідеального рівня здійснюється відповідний контроль на об’єкті. Якщо буде встановлено, що такий рівень контролю становить 50 або 30 %, то ймовірність відповідно дорівнює 0,5 і 0,3. При відсутності контролю ймовірність «не здійснення контролю» становитиме 1, якщо контроль ідеальний, то відповідна ймовірність дорівнює 0.

Після обчислення ймовірності всіх подій, розміщених у ромбах, і базових подій, починаючи з лівої нижньої гілки «дерева», позначають номерами всі випадкові події, що увійшли до моделі.

На цьому можна вважати, що певна модель підготовлена до математичної обробки. Для виконання математичних обчислень ймовірностей випадкових подій логіко-імітаційної моделі застосовують формули [Помилка! Джерело посилання не знайдено., Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

Побудуємо логіко-імітаційну модель процесу, формування і виникнення аварії та травми в процесі технічного сервісу автомобілів майстерні у НВ ПП «Спаринг-Віст Центр» і складемо перелік базових подій. Кожній події (пункту) присвоюємо певне значення ймовірності його виникнення:

- | | |
|---|---------------|
| 1. Відсутність елементів системи | $P_6 = 0,19;$ |
| 2. Професійний рівень слюсаря | $P_1 = 0,25;$ |
| 3. Наявність дефектів | $P_8 = 0,15;$ |
| 4. Відсутність захистів | $P_7 = 0,13;$ |
| 5. Досвід роботи сервісного інженера | $P_2 = 0,18;$ |
| 6. Пошкодження елементів системи | $P_5 = 0,15;$ |
| 7. Психо-фізіологічний стан сервісного інженера | $P_3 = 0,13;$ |

Складені події дають можливість побудувати матрицю логічних взаємозв'язків між окремими пунктами.

Отже, розглядаємо травмонебезпечну ситуацію, яка може виникнути під час демонтажу заднього моста сервісного автомобіля та призвести до травмування працівника, а також зробимо розрахунок ймовірності виникнення подій, що формують логіко-імітаційну модель в процесі технічного сервісу тракторів .

Ймовірність виникнення події P_9 визначаємо наступним чином:

$$P_9 = 0,25 + 0,18 + 0,13 = 0,56;$$

Ймовірність виникнення події P_{10} визначаємо:

$$P_{10} = 0,19 \cdot 0,15 = 0,0285$$

Ймовірність виникнення події P_{11} визначаємо так:

$$P_{11} = 0,13 + 0,15 = 0,28;$$

Ймовірність події P_{12} :

$$P_{12} = (0,25 + 0,18 + 0,13) \cdot 0,18 = 0,1008;$$

Ймовірність події P_2 :

$$P_2 = 0,1008 \cdot 0,0285 \cdot 0,28 = 0,000804;$$

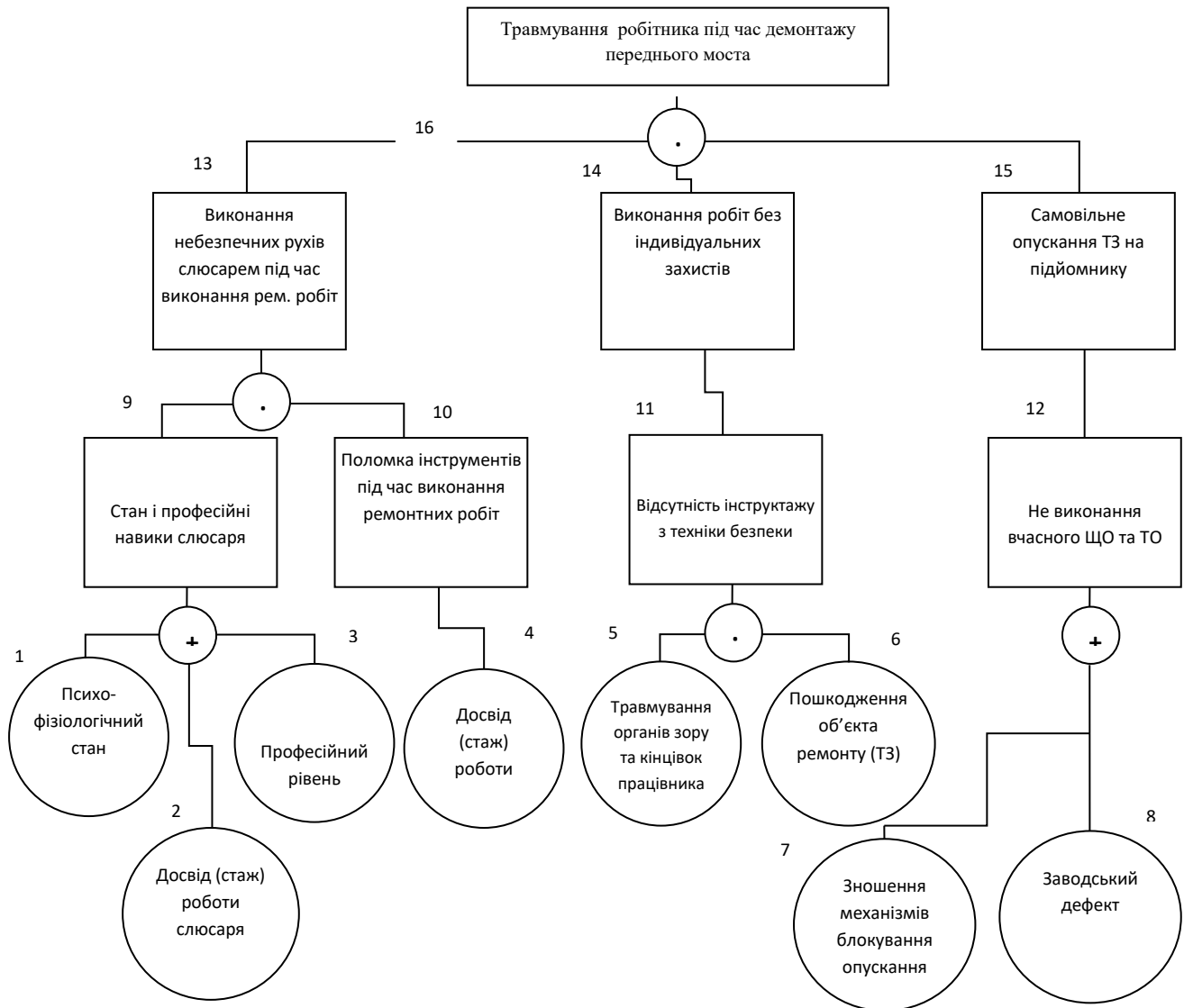


Рисунок 4.2 – Матриця логічних взаємозв'язків між окремими подіями травмонебезпечної ситуації

За нашими розрахунками ймовірність виникнення травми сервісного інженера під час демонтажу переднього моста є досить мала і становить $P_2 = 0,000804$.

Впровадження у практику підприємства логіко-імітаційних моделей дослідження аварій і травм, а також для обґрунтування заходів охорони праці, дають змогу знизити ймовірність виникнення аварійних та травмонебезпечних ситуацій.

4.4. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Взалежності від ефективності розроблення та особливо від впровадження у практику заходів із запобігання та ліквідації надзвичайної ситуації в разі її виникнення залежатиме життя та здоров'я персоналу та відвідувачів підприємств і розміри заподіяної шкоди **[Помилка! Джерело посилання не знайдено.]**.

Відповідно до Кодексу цивільного захисту України, підготовка персоналу на підприємствах незалежно від форм власності до дій у надзвичайних ситуаціях здійснюється за спеціально розробленою схемою заходів захисту населення та територій.

Виходячи з цього, ст. 130 Кодексу цивільного захисту України передбачає, що на підприємствах з чисельністю персоналу 50 осіб і менше розробляються та затверджуються інструкції щодо дій при загрозі або виникненні надзвичайних ситуацій **[Помилка! Джерело посилання не знайдено.]**.

Крім того, у сфері промислового виробництва до малих підприємств можуть бути віднесені і такі, де чисельність працівників перевищує 50 осіб.

Інструкції для таких підприємств розроблюються за рішенням відповідного територіального органу Держслужби України з надзвичайних ситуацій.

Розроблена інструкція не повинна суперечити положенням та вимогам Кодексу цивільного захисту України.

Інструкція розробляється та підписується посадовою особою підприємства з питань цивільного захисту, затверджується керівником підприємства та доводиться до всіх працівників під підпис.

Крім інструкції, на малому підприємстві розробляється План евакуації при пожежі або загрозі вибуху. Особливо це важливо для тих об'єктів, на території яких може знаходитись значна кількість відвідувачів.

Деякі конкретні заходи, не відображені в нормативних документах підприємства, потребують внесення до посадових інструкцій працівників. Крім того, на малому підприємстві необхідно розробляти й доводити до всіх працівників “Порядок цілодобового оповіщення керівництва та працівників у випадку загрози або виникнення надзвичайної ситуації” **[Помилка! Джерело посилання не знайдено.]**.

Всі працівники підприємства повинні бути навчені діям, чітко знати свої обов'язки та неухильно їх виконувати. Це також стосується адміністрації малого підприємства, яка в екстремальній обстановці не може приймати помилкові рішення або віддавати необґрунтовані розпорядження.

Уникнути цього дозволить якісно розроблена “Інструкція щодо дій персоналу малого підприємства при загрозі або виникненні надзвичайних ситуацій” **[Помилка! Джерело посилання не знайдено.]**.

4.5 Безпека під час виконання зварювально-відновлювальних робіт

Під час відновлення кульових опор методом наплавлення використовуються зварювальні апарати постійного струму, що створюють підвищену небезпеку ураження електричним струмом та дії ультрафіолетового випромінювання. Згідно з НПАОП 40.1-1.32-01, до виконання таких робіт

допускаються лише працівники, які мають відповідну кваліфікаційну групу з електробезпеки.

Зварювальник повинен бути забезпечений засобами індивідуального захисту (ЗІЗ):

- захисним щитком із світлофільтром;
- вогнетривким костюмом;
- діелектричними рукавичками та взуттям;
- респіратором для захисту від аерозолів металів.

Робоче місце має бути обладнане витяжною вентиляцією, заземленням корпусу зварювального апарата та вогнегасником типу ВВК-5 або ОП-5. Забороняється виконання наплавлення у вологому одязі чи на деталях, забруднених паливно-мастильними матеріалами.

На рисунку 4.1 подано схему безпечної зони ремонту підвіски автомобіля, що відображає раціональне розміщення обладнання, персоналу та допоміжних засобів із урахуванням вимог охорони праці.



Рисунок 1.4 – Безпечна зона ремонту підвіски автомобіля

Автомобіль розташований на гідравлічному підйомнику, навколо якого визначено зону обслуговування радіусом 1,5–2 м — простір, у межах якого дозволяється перебування працівників під час виконання ремонтних операцій. Ця зона позначена умовними лініями безпеки, що унеможливлюють контакт сторонніх осіб із небезпечними зонами механізмів.

У межах робочого простору зазначено місця розташування основного інструменту, верстака для підготовчих робіт і зварювального апарата, який встановлюється з підвітряного боку відносно робочого місця, відповідно до позначеного напрямку вітру. Це забезпечує відведення диму й аерозолів металів від зони дихання працівника.

На схемі також показано захисні бар'єри, вентиляційний відсмоктувач і місце розташування вогнегасника, що відповідає вимогам протипожежної безпеки. Робоча зона має бути чистою, без сторонніх предметів, із неслизькою поверхнею підлоги.

Таким чином, рисунок ілюструє правильну організацію простору під час ремонту підвіски, що забезпечує мінімізацію виробничих ризиків, комфорт працівників та дотримання вимог охорони праці й безпеки у надзвичайних ситуаціях.

4.6 Екологічна безпека під час ремонтних робіт

Екологічна безпека під час технічного обслуговування та ремонту підвіски автомобіля розглядається як важлива складова загальної системи охорони праці. Її головне завдання полягає у запобіганні негативному впливу ремонтних процесів на довкілля і на здоров'я працівників. У роботі дільниці ремонту підвіски з'являються різні види відходів, тому необхідно правильно організувати їх збирання, зберігання та подальшу утилізацію.

Під час роботи формуються металеві рештки, зношені деталі, шліфувальний пи́л, залишки електродів, відпрацьовані мастильні матеріали та

технічні рідини. Також утворюються зварювальні гази та аерозолі металів, які потрапляють у повітря робочої зони. З метою зменшення впливу цих факторів підприємство впроваджує локальну систему поводження з відходами. Металеві рештки збираються окремо та передаються на переробку. Відпрацьовані оливи зберігаються у герметичних ємностях з відповідним маркуванням і передаються для регенерації або спеціальної утилізації згідно з чинними стандартами.

Для запобігання забрудненню повітря застосовується місцева витяжна вентиляція та фільтраційні системи. Працівники використовують засоби індивідуального захисту органів дихання під час зварювальних робіт. У виробничому приміщенні не допускається потрапляння технічних рідин у каналізацію або на ґрунт. Особлива увага приділяється підтриманню герметичності обладнання, яке працює з паливно-мастильними речовинами.

Для підвищення екологічної безпеки підприємство впроваджує енергоощадні технології. Це включає застосування економного освітлення, раціональне використання електроенергії та повторне використання охолоджувальних рідин. Здійснюється періодичний контроль стану повітря та умов роботи вентиляційної системи. У практику впроваджуються основні положення міжнародного стандарту ISO 14001, що регламентує системи екологічного управління.

Комплексний підхід до екологічної безпеки забезпечує зменшення негативного впливу виробничих процесів на довкілля. Це створює безпечні умови праці та сприяє підвищенню загальної культури виробництва. Впровадження екологічно відповідальних заходів є важливим елементом сучасного технічного сервісу, який поєднує економічну ефективність із відповідальним ставленням до природного середовища.

Висновки до розділу 4

1. Здійснений структурний аналіз можливих травмонебезпечних ситуацій дає змогу оцінити: небезпечність операції, рівень її небезпеки, можливість

уникнення та попередження травмонебезпечної ситуації, а у разі виникнення – уникнення її повтору. За допомогою аналізу травмонебезпечних ситуацій створюють також комплекси з індивідуального захисту працівників.

2. Розробка логіко-імітаційних моделей травм на виробництві дають змогу будувати матриці виникнення небезпечних, які дають можливість визначити рівень небезпеки виробничого процесу (операції) на життя та здоров'я працівників.

3. Виконання процесу моделювання виникнення травм та аварій дає змогу моделювати процеси формування, виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків, що у свою чергу спрямовано на збереження життя та здоров'я працівників.

4. Життя та здоров'я працівників є основним пунктом в охороні праці, тому знання дій працівників у випадку виникнення небезпечних ситуацій на підприємстві є надзвичайно важливим аспектом.

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО МЕТОДУ РЕМОНТУ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ

5.1. Витрати на виконання ремонту

Для визначення ефективності проведено розрахунок собівартості ремонту однієї кульової опори трьома методами.

До складу собівартості входять такі статті витрат:

1. Матеріальні витрати (М) — електроди, шліфувальні круги, мастила, запчастини.
2. Оплата праці ($З_p$) – час робітників, зайнятих у процесі ремонту.
3. Нарахування на заробітну плату ($Н_{зп}$) – відрахування на соціальні потреби (22%).
4. Витрати на експлуатацію обладнання (E_o) – електроенергія, амортизація, ремонт верстатів.
5. Накладні витрати ($Н_v$) – адміністративні, організаційні та інші витрати (20–25%).

Загальна собівартість:

$$C_p = M + З_p + Н_{зп} + E_o + Н_v \quad (5.1)$$

Розрахунок собівартості подано в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Розрахунок собівартості ремонту однієї кульової опори

Стаття витрат	Направлення	Ремонтний комплект	Повна заміна
Матеріали, грн	120	250	900
Зарплата, грн	250	200	100
Нарахування 22%, грн	55	44	22
Експлуатація обладнання, грн	80	40	10
Накладні витрати 20%, грн	101	107	206
Разом, грн	606	641	1 238

Розрахунок собівартості ремонту показує суттєву різницю між трьома розглянутими методами відновлення кульової опори. Найбільш економічно вигідним виявився метод наплавлення, загальна вартість якого становить 606 грн, що на 52 % менше, ніж при повній заміні деталі (1 238 грн), і на 5–6 % менше, ніж при використанні ремонтного комплекту (641 грн).

Найбільшу частку у структурі витрат становить заробітна плата з нарахуваннями (понад 50 %), тоді як матеріальні витрати залишаються помірними. Метод наплавлення потребує більших витрат на обладнання, проте вони компенсуються значною економією на матеріалах.

Отримані результати свідчать, що ремонт кульових опор методом наплавлення є найбільш ефективним варіантом, який забезпечує прийнятну собівартість при збереженні необхідних експлуатаційних характеристик і ресурсу деталі.

Таким чином, впровадження цієї технології в ремонтну практику дозволяє зменшити витрати підприємства на технічне обслуговування і підвищити економічну ефективність сервісного процесу.

На рисунку 5.1 подано графічне зображення структури собівартості ремонту підвіски автомобіля за різними методами, що дозволяє наочно порівняти розподіл основних статей витрат. Діаграма відображає частки матеріальних витрат, оплати праці, експлуатації обладнання, нарахувань і накладних витрат для трьох технологічних варіантів – наплавлення, використання ремонтного комплекту та повної заміни вузла.

Для методу наплавлення найбільшу частку становить оплата праці з нарахуваннями, що зумовлено ручним характером виконання операцій і потребою у високій кваліфікації персоналу. Матеріальні витрати залишаються відносно невеликими, оскільки використовуються лише зносостійкі електроди чи порошкові драти у невеликій кількості.

При застосуванні ремонтного комплекту структура витрат більш збалансована: трудові та матеріальні витрати становлять приблизно однакові

частки, що робить цей метод компромісним між собівартістю та трудомісткістю.

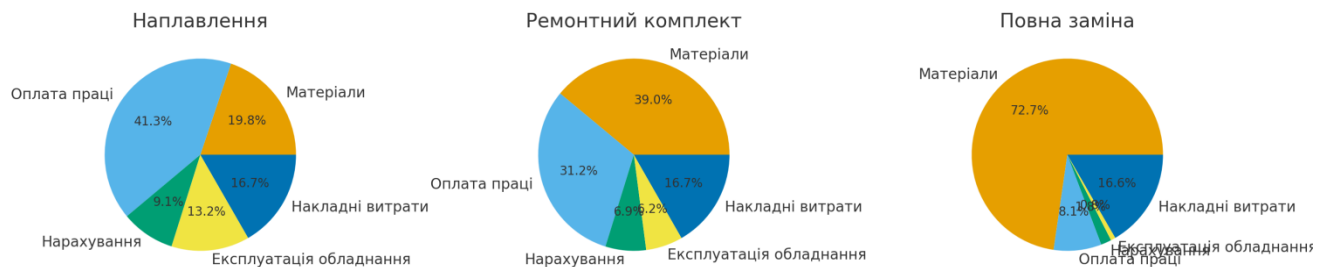


Рисунок 5.1 – Структура собівартості ремонту підвіски різними методами

У випадку повної заміни основну частину собівартості формують матеріальні витрати (вартість нових деталей), тоді як витрати на оплату праці та експлуатацію обладнання є мінімальними. Це робить метод швидким, але економічно найменш вигідним.

Подана кругова діаграма наочно показує, що за рахунок раціонального співвідношення витрат найбільш доцільним з економічної точки зору є ремонт методом наплавлення або із застосуванням ремонтного комплекту, тоді як повна заміна доцільна лише у випадках критичного зносу деталей або відсутності можливості відновлення.

5.2. Розрахунок економічного ефекту

Економічний ефект визначається як різниця між вартістю нової деталі та вартістю її відновлення:

$$E = C_n - C_p \quad (5.2)$$

де $C_n = 1,200$) грн – вартість нової кульової опори,

C_p – вартість ремонту відповідно до таблиці 5.1.

У таблиці 5.2 наведено результати розрахунку економічного ефекту від застосування різних методів ремонту кульової опори підвіски автомобіля.

Порівняння проводилось за вартістю нової деталі, витратами на ремонт та отриманим економічним ефектом у грошовому і відносному вираженні.

Таблиця 5.2 – Результати розрахунку економічного ефекту

Метод ремонту	Вартість нової деталі, грн	Вартість ремонту, грн	Економічний ефект, грн	Відносна економія, %
Наплавлення	1200	606	594	49,5 %
Ремонтний комплект	1200	641	559	46,6 %
Повна заміна	1200	1238	-38	-3,2 %

Як видно з таблиці, найбільший економічний ефект забезпечує метод наплавлення, при якому вартість ремонту становить 606 грн проти 1200 грн вартості нової деталі. Завдяки цьому досягається економія 594 грн, або 49,5 % від вартості нової опори.

Метод ремонту з використанням комплекту дає дещо менший, але все ж суттєвий результат — економія 559 грн, що відповідає 46,6 %.

Натомість варіант повної заміни не лише не забезпечує економії, а й призводить до перевитрат — собівартість робіт перевищує вартість нової деталі на 38 грн, що становить збитковість 3,2 %.

Таким чином, отримані результати свідчать, що найбільш ефективним з економічної точки зору є ремонт методом наплавлення, який дозволяє досягти майже 50 % економії при збереженні ресурсу деталі на рівні 85–90 % від нового виробу.

Отже, впровадження технології відновлення деталей підвіски замість їх повної заміни забезпечує значне зниження витрат на технічне обслуговування і підвищення рентабельності ремонтних ділянок.

На рисунку 5.2 представлено стовпчасту діаграму, що відображає порівняльний економічний ефект від застосування трьох методів ремонту

кульової опори підвіски автомобіля: наплавлення, використання ремонтного комплекту та повної заміни.

По осі X відкладено методи ремонту, а по осі Y – значення економічного ефекту в грошовому еквіваленті (грн).

Згідно з графічними даними, найвищий стовпчик відповідає методу наплавлення, що забезпечує максимальний економічний ефект – 594 грн. Це зумовлено найнижчою собівартістю відновлення при високому рівні ресурсу деталі після ремонту.

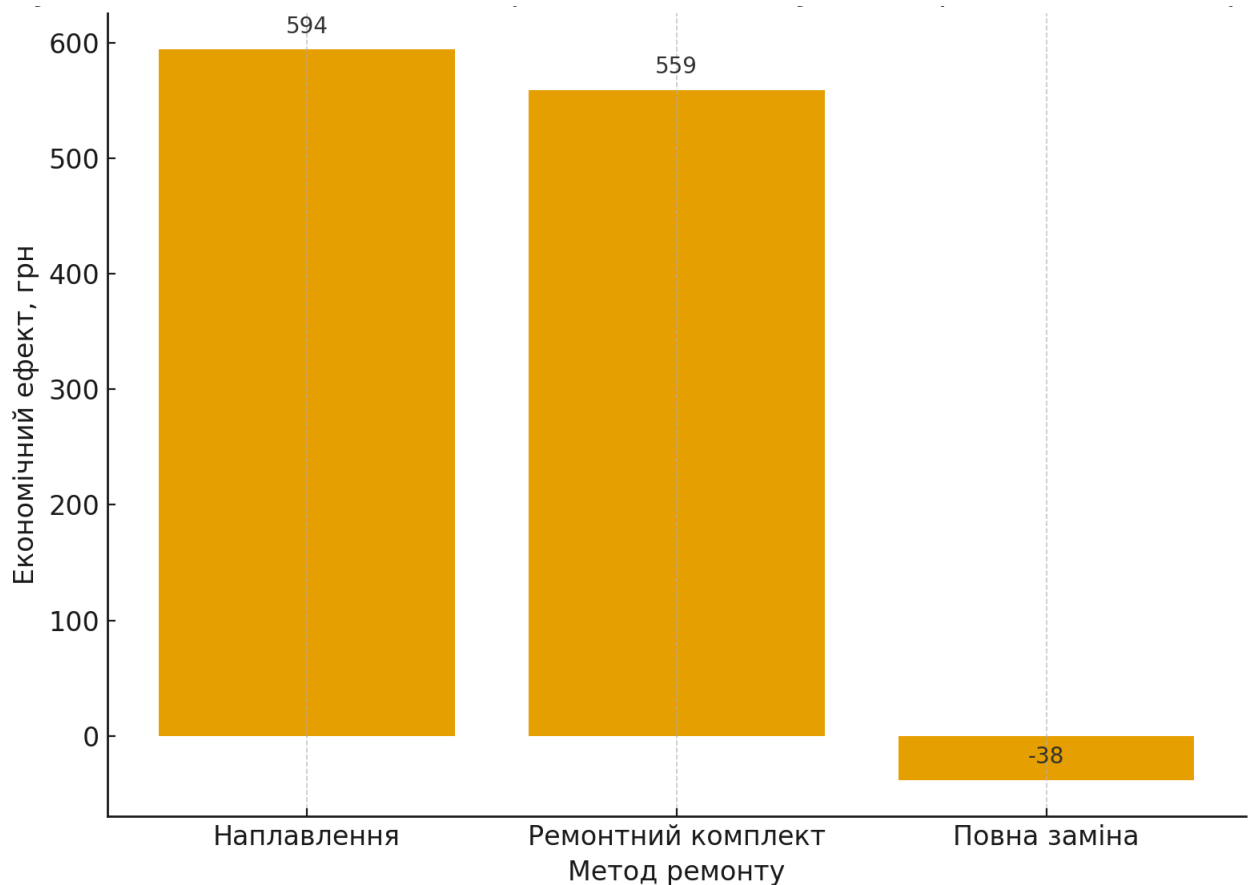


Рисунок 5.2 – Економічний ефект від застосування різних методів ремонту

Метод із застосуванням ремонтного комплекту дає близький результат – 559 грн економії, тобто лише на 6 % менше порівняно з наплавленням. Такий варіант є технологічно простішим, однак потребує додаткових витрат на комплектуючі.

Для варіанту повної заміни спостерігається негативний економічний результат (–38 грн), що свідчить про збитковість такого рішення у порівнянні з іншими методами ремонту.

Поданий графік наочно демонструє, що технології відновлення – наплавлення або ремонтним комплектом – забезпечують реальну економічну вигоду, дозволяючи зменшити витрати підприємства на технічне обслуговування.

Таким чином, метод наплавлення є найбільш ефективним як з технічної, так і з економічної точки зору, що підтверджується найбільшим рівнем економічного ефекту серед аналізованих варіантів.

5.3. Визначення терміну окупності та річного економічного ефекту

Якщо за рік на СТО ремонтується 1000 кульових опор, річна економія становитиме:

$$E_{\text{річн}} = E \cdot N = 594 \cdot 1000 = 594000 \text{ грн.} \quad (5.3)$$

Витрати на обладнання для організації дільниці наплавлення становлять приблизно 200 000 грн (зварювальний пост, шліфувальний верстат, витяжна система).

Тоді термін окупності:

$$T_o = \frac{K_{\text{об}}}{E_{\text{річн}}} = \frac{200000}{594000} \approx 0,34 \text{ року (близько 4 місяців)} \quad (5.4)$$

На рисунку 5.3 подано графік, що ілюструє динаміку накопичення економічного ефекту від використання обладнання для дільниці ремонту підвіски. По осі X відкладено час у місяцях, а по осі Y — накопичену економію, отриману за рахунок зниження собівартості ремонту порівняно з повною заміною деталей.

Крива графіка має зростаючий характер, що свідчить про поступове повернення інвестицій у придбання та впровадження ремонтного обладнання. У перші місяці експлуатації спостерігається повільне зростання економії,

оскільки частина коштів витрачається на налагодження технологічного процесу та навчання персоналу.

Починаючи з четвертого місяця, крива перетинає вісь нульових значень і демонструє точку окупності – момент, коли накопичений економічний ефект зрівнюється із сумою початкових інвестицій.

Після досягнення точки окупності економія зростає більш стрімко, що свідчить про стабільну ефективність впровадженої технології ремонту. Таким чином, графік підтверджує, що інвестиції в обладнання для наплавлення та механічної обробки деталей підвіски є економічно виправданими, адже забезпечують повернення вкладених коштів уже протягом перших 4 місяців роботи дільниці та подальше зниження витрат на ремонт у довгостроковій перспективі.

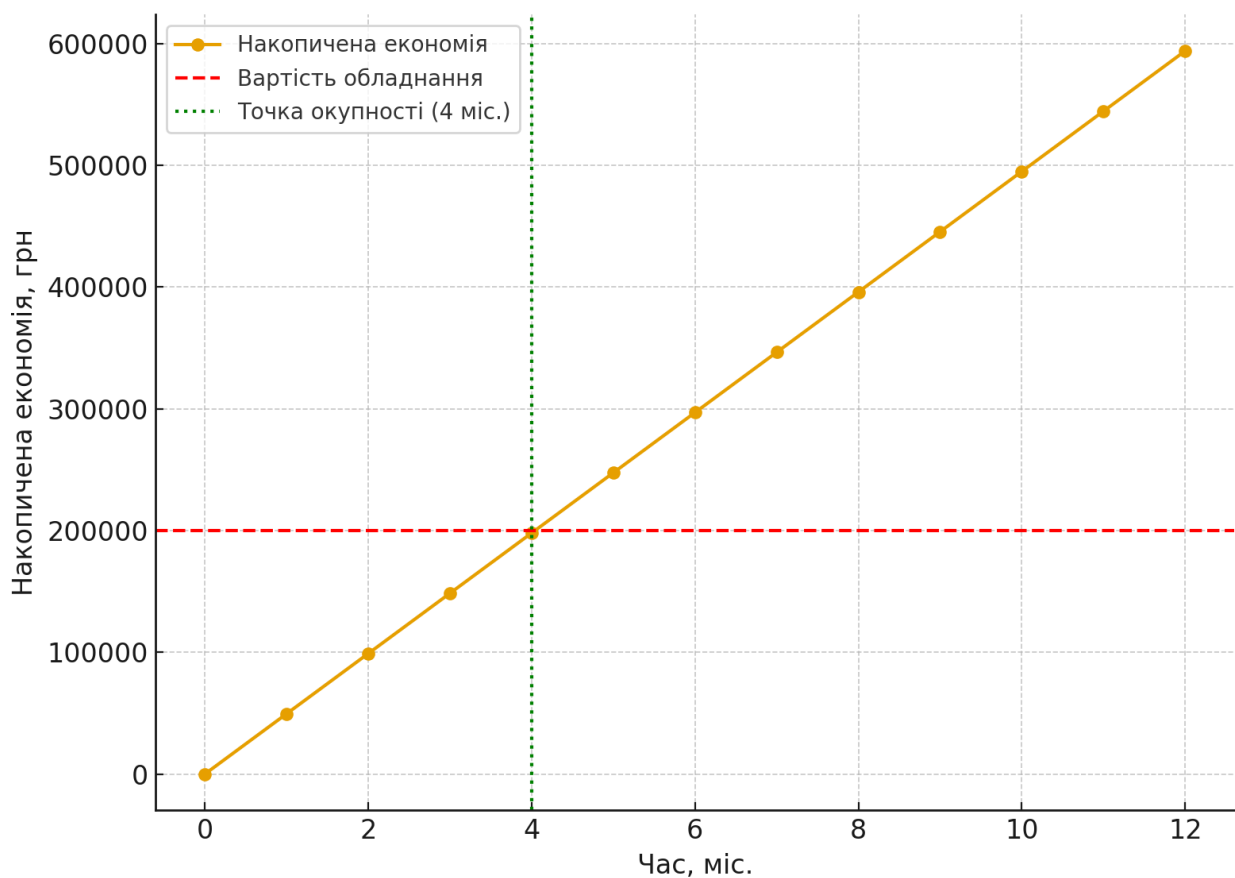


Рисунок 5.3 – Графік окупності обладнання для дільниці ремонту підвіски

Висновки до розділу 5

1. Собівартість ремонту методом наплавлення є майже вдвічі нижчою, ніж повна заміна деталі.
2. Економічний ефект від відновлення однієї кульової опори становить близько 600 грн.
3. Організація дільниці наплавлення окупиться менш ніж за пів року роботи.
4. Таким чином, метод електродугового наплавлення з подальшим шліфуванням є найбільш економічно вигідним і технологічно доцільним способом ремонту елементів підвіски автомобіля.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання магістерської роботи на тему «Дослідження ефективності різних методів ремонту підвіски автомобіля» було проведено комплексне дослідження технічних і економічних аспектів відновлення елементів автомобільної підвіски.

Основні результати роботи:

1. Встановлено, що підвіска є однією з найвідповідальніших систем автомобіля, яка забезпечує комфорт, стійкість і безпеку руху.

2. Основні елементи, що зазнають зносу, – це кульові опори, сайлентблоки, пружини, амортизатори й важелі.

3. Проаналізовано існуючі методи ремонту підвіски, серед яких: повна заміна вузлів; відновлення методом електродугового наплавлення з подальшим шліфуванням; ремонт із використанням спеціальних ремонтних комплектів.

4. Розроблено систему критеріїв оцінки ефективності ремонту, що включає показники: коефіцієнт відновлення ресурсу; собівартість відновлення; надійність роботи після ремонту; термін окупності технології.

5. Проведено експериментальні дослідження трьох методів ремонту кульових опор. Отримані результати свідчать, що:

- після наплавлення деталі ресурс становить $\approx 82\%$ нового;
- при використанні ремонтного комплекту – $\approx 90\%$;
- при повній заміні – 100% , але за значно вищої вартості.

6. Розраховано комплексний показник ефективності, який показав, що метод електродугового наплавлення має найкраще співвідношення “вартість – ресурс” і коефіцієнт ефективності $K_e = 1,52$, що перевищує інші варіанти.

7. Виконано техніко-економічне обґрунтування, яке показало, що при відновленні 1000 кульових опор на рік економічний ефект становить 594000 грн, а окупність обладнання – менше ніж 4 місяці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Беляєв, Є. С. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: навч. посіб. Харків: ХНАДУ, 2018. 312 с.
2. Грабар, І. Г., Сіренко, В. М. Автомобільна техніка: конструкція, технічне обслуговування, діагностика. Київ: Видавництво «ЦП Компрінт», 2020. 420 с.
3. Пашков, О. М., Костюк, С. В. Технологія ремонту автомобілів і двигунів: навч. посіб. Харків: ХНАДУ, 2016. 286 с.
4. Коваленко, О. П. Надійність і довговічність деталей автомобілів. Київ: НТУ, 2019. 278 с.
5. Кулик, П. С., Басенко, О. М. Ремонт і відновлення деталей машин. Львів: Видавництво «Новий Світ – 2000», 2017. 380 с.
6. Теорія і практика технічного обслуговування транспортних засобів / за ред. В. П. Матвійчука. Київ: НТУ, 2021. 452 с.
7. Войтко, В. П., Савченко, І. М. Аналіз методів підвищення довговічності підвіски автомобіля. Вісник ХНАДУ, 2020, № 90, с. 74–81.
8. Сіренко, В. М., Пилипенко, І. В. Вплив умов експлуатації на ресурс підвіски легкових автомобілів. Автомобільний транспорт, 2018, № 43, с. 59–65.
9. Онищенко, О. С., Руденко, А. В. Економічна оцінка ефективності ремонтних технологій у технічному сервісі автомобілів. Вісник НТУ «ХП», 2019, № 7, с. 112–118.
10. Костенко, Ю. В. Підвищення ефективності ремонту деталей машин шляхом відновлення поверхонь. Інженерія машин і технологій, 2017, № 3(45), с. 25–30.
11. ДСТУ 3649:2010. Автомобілі. Технічне обслуговування і ремонт. Терміни та визначення понять. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 28 с.
12. ISO 16365-1:2014. Road vehicles — Pneumatic suspension systems. Part 1: Vocabulary and definitions. International Organization for Standardization, 2014.

13. SAE International. Vehicle Suspension Systems and Design Optimization. SAE Technical Paper Series, 2019.
14. Bosch Automotive Handbook. 11th edition. Stuttgart: Robert Bosch GmbH, 2021. 1248 p.
15. Müller, J., Hoffmann, R. Modern Methods of Vehicle Suspension Maintenance and Testing. Automotive Engineering Journal, 2020, Vol. 28, No. 3, pp. 215–223.
16. 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>.
17. Holenko K., Dykha O., Koda E., Kernytskyi I., Horbay O., Royko Y., Fornalchuk Y., Berezovetska O., Rys V., Humeniyuk R., et al. Structure and strength optimization of the Bogdan ERCV27 electric garbage truck spatial frame under static loading. Applied Sciences. 2024. Vol. 14. P. 11012. (Scopus). <https://doi.org/10.3390/app142311012>.
18. Holenko K., Dykha O., Koda E., Kernytskyi I., Royko Y., Horbay O., Berezovetska O., Rys V., Humeniyuk R., Berezovetskyi S., et al. Validation of frontal crashworthiness simulation for low-entry type bus body according to UNECE R29 requirements. Applied Sciences. 2024. Vol. 14. P. 5595. (Scopus). <https://doi.org/10.3390/app14135595>.
19. 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>.
20. 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>.

21. Барабаш Р. І., Шарибура А. О., Кудриницький 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>.

22. Тимочко В.О., Городецький І. М., Березовецький А. п. та ін. Безпека життєдіяльності та охорони праці: *навч. посібн*. Львів: Сполом, 2022. 376 с .

23. 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> .