

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

К В А Л І Ф І К А Ц І Й Н А Р О Б О Т А

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: «Дослідження ефективності застосування додаткового обладнання
під час ремонту ходової частини автомобіля»

Виконав: студент VI курсу групи Ат-62

Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”

(шифр і назва)

Маркіян КРУЧЕНЮК

(ім'я та прізвище)

Керівник: Ігор ДУФАНЕЦЬ

(ім'я та прізвище)

Дубляни 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____
(підпис)

к.т.н., доцент Олег СУКАЧ
“ _____ ” _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я
на кваліфікаційну роботу студенту

Крученко Маркіян Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: **"Дослідження ефективності застосування додаткового обладнання під час ремонту ходової частини автомобіля"**

Керівник роботи _____ Дуфанець Ігор Гнатович ст. викладач
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджена наказом по університету від «28» лютого 2025 р. № 140/к-с

2. Строк подання студентом роботи «28» листопада 2025 року

3. Вихідні дані: огляд літературних джерел стосовно особливостей застосування додаткового обладнання при ремонті ходової частини автомобіля, проблеми та недоліків застосування додаткового обладнання, умови застосування додаткового обладнання; дослідження ефективності застосування додаткового обладнання; обґрунтування доцільності застосування у виробничих умовах; методика розрахунку економічної ефективності запропонованих технічних рішень, необхідні заходи з охорони праці при роботі по ремонту транспортних засобів.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

4.1. Провести дослідження конструктивних та експлуатаційних особливостей елементів ходової частини автомобіля.

4.2. Виконати аналіз типових несправностей ходової частини.

4.3. Здійснити оцінювання ефективності існуючих технологічних процесів ремонту у виробничих умовах.

4.4. Провести дослідження впливу додаткового обладнання на технологічні параметри ремонту.

4.5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

4.6. Техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень.

Загальні висновки

Список використаних джерел

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3,4	Дуфанець І.Г. ст. викладач кафедри автомобілів та тракторів			
5	Городецький І.М., доцент кафедри інженерної механіки			

6. Дата видачі завдання 28 лютого 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Отримання завдання. Вивчення рекомендованої літератури за темою кваліфікаційної роботи, написання аналітичного огляду.	12.09.25- 16.09.25	
2	Літературний огляд застосування додаткового обладнання при ремонті ходової частини автомобіля. Аналіз недоліків та особливостей застосування додаткового обладнання.	17.09.25- 06.10.25	
3	Написання методичної частини роботи, розроблення перспективного рішення та його обґрунтування.	04.10.25- 17.10.25	
4	Розроблення та обґрунтування пропозицій щодо реалізації результатів роботи. Розроблення питань з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.	18.10.25- 25.10.25	
5	Техніко-економічне обґрунтування використання запропонованих рішень.	28.10.25- 13.11.25	
6	Завершення роботи в цілому. Представлення роботи для перевірки на плагіат.	14.11.25- 28.11.25	

Студент _____ Маркіян КРУЧЕНЮК
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Ігор Дуфанець
(підпис) (прізвище та ініціали)

УДК 629.113.066.

Крученюк М. Ю. Дослідження ефективності застосування додаткового обладнання під час ремонту ходової частини автомобіля. Дубляни, ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького, 2025. 79 с.

Рисунок 10, табл.5, бібл. посилань 25.

Мета роботи:

Підвищення ефективності та якості технологічних процесів ремонту ходової частини автомобіля шляхом дослідження доцільності застосування додаткового технологічного обладнання у виробничих умовах та визначення його впливу на техніко-експлуатаційні показники ремонтної ділянки.

Завдання дослідження:

1. Дослідити конструктивні та експлуатаційні особливості елементів ходової частини автомобіля.
2. Проаналізувати типові несправності підвіски та причини їх виникнення.
3. Оцінити ефективність існуючих технологічних процесів ремонту у виробничих умовах.
4. Обґрунтувати вибір додаткового технологічного обладнання для виконання ремонтних операцій.
5. Провести математичне, інженерне та експериментальне дослідження впливу обраного обладнання на технологічні параметри ремонту.
6. Виконати оцінку ризиків та вимог охорони праці при застосуванні додаткового обладнання.
7. Розробити техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження обладнання у виробничих умовах.

Об'єкт дослідження:

Процес ремонту елементів ходової частини автомобіля у виробничих умовах.

Предмет дослідження:

Вплив застосування додаткового технологічного обладнання на ефективність, якість та безпечність виконання ремонтних операцій ходової частини автомобіля.

Методи дослідження:

Теоретичний аналіз технічної літератури та нормативних документів; порівняльний аналіз конструкцій обладнання; інженерні розрахунки; математичне моделювання; експериментальні дослідження технологічних параметрів; техніко-економічні розрахунки; методи оцінки ризиків і аналізу безпечності технологічних процесів.

Ключові слова:

ХОДОВА ЧАСТИНА АВТОМОБІЛЯ; РЕМОНТ; ДОДАТКОВЕ ОБЛАДНАННЯ; ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС; ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕМОНТУ; ПРОДУКТИВНІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РЕМОНТУ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ АВТОМОБІЛІВ.	10
1.1 Конструктивно-функціональний аналіз елементів ходової частини автомобіля.	10
1.2 Діагностика та класифікація типових дефектів ходової частини автомобіля.	13
1.3 Систематизація додаткового технологічного обладнання для ремонтних операцій.	19
2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ВИРОБНИЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ РЕМОНТУ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПРОБЛЕМНИХ ДІЛЯНОК.....	24
2.1 Дослідження технічного стану виробничої бази та умов виконання ремонтних робіт.....	24
2.2 Аналіз технологічних процесів ремонту без застосування додаткового обладнання.	27
2.3 Виявлення технологічних обмежень та детермінант низької ефективності ремонтних операцій.	32
2.4. Обґрунтування необхідності модернізації технологічного процесу.	36
3. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТА ПАРАМЕТРІВ ДОДАТКОВОГО ОБЛАДНАННЯ.	39
3.1 Науково-методичні принципи вибору додаткового технологічного обладнання.	39
3.2 Інженерно-технологічне обґрунтування впливу обладнання на точність та продуктивність ремонтних операцій.....	41
3.3 Математичне моделювання або розрахункове обґрунтування підвищення ефективності технологічного процесу.	44

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ДОДАТКОВОГО ОБЛАДНАННЯ.	51
4.1 Обґрунтування мети, методики та умов проведення експерименту.	51
4.2. Експериментальна оцінка впливу обладнання на параметри технологічного процесу заміни підшипника ступиці легкового автомобіля.	56
4.3 Обробка, аналіз та статистична інтерпретація експериментальних результатів.....	59
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В УМОВАХ ВИКОНАННЯ РЕМОНТНИХ ОПЕРАЦІЙ.....	65
5.1 Аналіз потенційно небезпечних виробничих факторів під час ремонту ходової частини.	65
5.1 Пожежна безпека, виробнича санітарія та ергономіка робочого місця	67
6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ДОДАТКОВОГО ОБЛАДНАННЯ.	71
6.1 Розрахунок економічного ефекту від підвищення продуктивності та якості ремонтних процесів.....	71
6.2 Прогноз впливу модернізації на виробничо-фінансові показники підприємства.	74
ВИСНОВКИ.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	78

ВСТУП

Сучасний автомобільний транспорт є однією з ключових складових транспортної інфраструктури та відіграє важливу роль у забезпеченні мобільності населення й ефективності виробничих процесів. Зростання інтенсивності експлуатації транспортних засобів, ускладнення дорожніх умов та підвищення вимог до безпечності руху обумовлюють необхідність підтримання ходової частини автомобіля у працездатному стані. Елементи підвіски, рульового керування та несучої системи автомобіля перебувають під постійною дією змінних механічних, циклічних, ударних і вібраційних навантажень, що прискорює їх зношування та потребує своєчасного технічного обслуговування й ремонту. Саме тому ремонт ходової частини належить до найбільш відповідальних і технологічно складних операцій, від яких безпосередньо залежить безпека експлуатації автомобіля, його керованість, стабільність руху та комфорт пасажирів.

У практиці автосервісних підприємств ремонт ходової частини часто супроводжується значною трудомісткістю, необхідністю виконання точних регулювальних операцій, залежністю результатів від кваліфікації персоналу та ризиком виникнення помилок при ручних операціях. Обмеженість наявного обладнання або його невідповідність сучасним технологічним вимогам ускладнює забезпечення стабільної якості ремонту та підвищення продуктивності роботи дільниці. Разом з тим на сучасному ринку представлено різні види додаткового технологічного обладнання — зйомники, пресові установки, стенди, монтажні пристрої, механізовані інструменти, які здатні значно підвищити ефективність окремих ремонтних операцій. Однак впровадження такого обладнання потребує ґрунтового технічного, організаційного та економічного обґрунтування, оскільки його доцільність залежить не лише від технічних характеристик, а й від реальних умов виробництва, структури ремонтних робіт та обсягів навантаження на дільницю.

Актуальність дослідження полягає у необхідності комплексної оцінки ефективності застосування додаткового обладнання для ремонту ходової

частини автомобіля, визначення його впливу на точність, стабільність та швидкість виконання технологічних операцій, рівень безпеки праці й економічні показники підприємства. Недостатньо вивченими залишаються питання взаємозв'язку між конструктивними особливостями обладнання та його впливом на ремонтпридатність окремих вузлів, а також питання економічної доцільності впровадження такого обладнання у конкретних виробничих умовах.

У цьому контексті важливим є проведення дослідження, яке дозволить визначити раціональний вибір додаткового обладнання, оцінити його вплив на технологічний процес, встановити зміни у трудомісткості, точності та якості виконання робіт, а також спрогнозувати економічний ефект від модернізації ремонтної дільниці. Комплексне вирішення цих питань сприятиме підвищенню продуктивності праці, зниженню експлуатаційних витрат, покращенню надійності автомобілів після ремонту та підвищенню конкурентоспроможності автосервісного підприємства в умовах ринкової економіки.

Виконання магістерської роботи спрямоване на формування науково обґрунтованих рекомендацій щодо впровадження додаткового технологічного обладнання при ремонті ходової частини автомобіля, удосконалення виробничих процесів та забезпечення високого рівня безпеки й економічної ефективності ремонтних робіт. Отримані результати мають практичну цінність для підприємств автомобільного сервісу, які прагнуть оптимізувати свою діяльність, скоротити витрати та покращити якість технічного обслуговування транспортних засобів.

1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РЕМОНТУ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ АВТОМОБІЛІВ.

1.1 Конструктивно-функціональний аналіз елементів ходової частини автомобіля.

Ходова частина автомобіля є складною інженерною системою, що забезпечує взаємодію транспортного засобу з дорожнім покриттям і визначає його динамічні, експлуатаційні та безпекові характеристики. Сучасні вимоги до технічного стану автомобілів, що експлуатуються в умовах інтенсивних транспортних потоків, погіршеної якості дорожнього полотна та підвищених навантажень, зумовлюють необхідність детального аналізу конструкції та функціональних можливостей елементів ходової частини. Від їх технічного стану залежить стійкість автомобіля, точність керування, плавність руху, рівень зчеплення коліс із дорогою та загальна безпека експлуатації.

Ходова частина включає комплекс підсистем, таких як підвіска, колісні вузли, елементи кріплення, стабілізатори, амортизувальні пристрої, гумометалеві шарніри та інші конструктивні одиниці, які працюють у тісній взаємодії та піддаються інтенсивним навантаженням. Підвіска є ключовим елементом ходової частини, оскільки вона забезпечує сприйняття вертикальних і горизонтальних динамічних сил, що діють у процесі руху. Її конструкція визначає траєкторію переміщення колеса, жорсткість системи, інтенсивність і характер коливань, а також рівень комфорту для водія та пасажирів. Сучасні конструкції підвіски, такі як незалежні типу «МакФерсон», двоважільні схеми або багатоважільні системи, забезпечують різний рівень точності керування, жорсткості та стабільності, що зумовлює відповідні вимоги до їх діагностики, регулювання та ремонту.

Пружні елементи підвіски, серед яких найпоширенішими є гвинтові пружини, виконують функцію накопичення та часткового поглинання енергії ударів, що передаються від колеса до кузова. Їхня характеристики визначають частотні властивості підвіски, величину вертикальних переміщень та комфорт руху. На експлуатаційні параметри пружин впливають корозійні процеси,

втомне руйнування металу, нерівномірні навантаження та температурні зміни. Ресорні системи, характерні для вантажних автомобілів і автобусів, поєднують функції пружного та напрямного елементів, проте мають більшу масу і жорсткість, що погіршує плавність ходу, але підвищує вантажопідйомність та міцність конструкції.

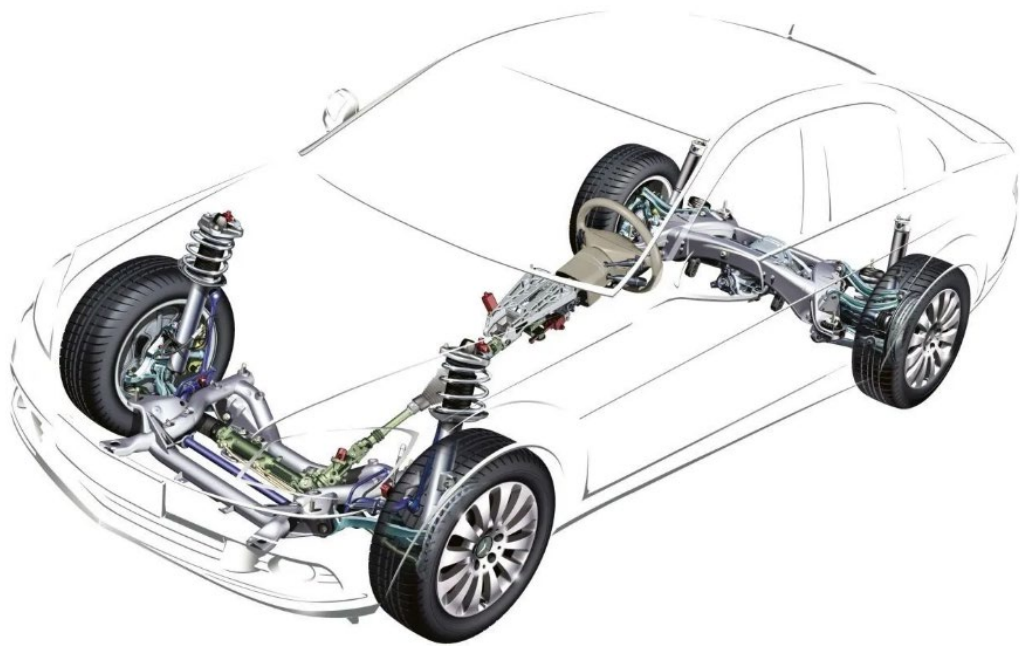


Рисунок 1.1. Ходова частина автомобіля.

Демпфувальні елементи, представлені гідравлічними або газонаповненими амортизаторами, виконують роль регулятора коливальних процесів, перетворюючи енергію коливань у теплову. Від їхнього стану залежить стабільність контакту коліс із дорожньою поверхнею, що безпосередньо впливає на гальмівну ефективність, стійкість і керованість автомобіля. Несправності амортизаторів призводять до погіршення зчеплення, надмірних кренів кузова, збільшення гальмівного шляху та нерівномірного зносу шин. Діагностика цих елементів без застосування спеціалізованих стендів часто є неточною, що зумовлює необхідність використання додаткового обладнання у виробничих умовах.

Важливим елементом ходової частини є направляючі механізми, до яких належать важелі підвіски, кульові опори, реактивні штанги, тяги та поворотні

кулаки. Вони формують кінематику переміщення коліс, забезпечують правильні кути їх установлення та рівномірний розподіл навантаження під час руху. Знос або деформація направляючих елементів змінює геометрію підвіски, що знижує точність керування, збільшує нерівномірність зносу шин і погіршує стійкість на високих швидкостях. Кульові опори та сайлентблоки піддаються значним знакоперемінним навантаженням і впливу агресивних середовищ, що обумовлює їхню відносно невелику довговічність. Нормативна і точна заміна цих елементів неможлива без застосування пресового обладнання, гідравлічних знімачів та спеціальних фіксаторів.

Колісні системи відіграють роль кінцевої ланки, що передає сили тяги, гальмування та бокові навантаження на дорожнє покриття. У конструкції колісного вузла розміщено підшипники, гальмівні механізми та елементи маточини, що потребують високої точності під час складання й регулювання. Втомне зношування підшипників призводить до збільшення люфтів, підвищення температури, погіршення стійкості та вібрацій, що негативно впливає на безпечність руху. Роботи з розбирання та збирання підшипникових вузлів вимагають використання спеціалізованого обладнання (газові та електрогідравлічні преси, індикатори люфту, динамометричні ключі), і недотримання технології часто спричиняє повторні відмови.

Стабілізатори поперечної стійкості зменшують крени кузова на поворотах та забезпечують поперечну стійкість автомобіля. Вони працюють у парі з втулками та стійками, які піддаються високим циклонавантаженням і швидко зношуються. Порушення роботи стабілізатора призводить до зниження стійкості, погіршення керованості та підвищення ризику заносу. Втулки та стійки стабілізатора часто потребують заміни із застосуванням спеціальних важелів, гідравлічних пристроїв або зйомників, що типово відповідає умовам механізованого ремонту.

Гумометалеві шарніри, сайлентблоки та інші еластокінематичні вузли відіграють важливу роль у демпфуванні мікроколивань і забезпеченні балансування між жорсткістю та комфортом. Вони поєднують металеві елементи

підвіски з еластичними вставками, що забезпечують необхідну свободу руху в окремих ступенях. Проте їх довговічність суттєво залежить від впливу корозії, ультрафіолетового випромінювання, мастил та дорожніх реагентів. Заміна таких елементів без спеціального інструменту нерідко призводить до пошкодження важелів, деформації посадочних місць або неправильної геометрії підвіски, що знижує якість ремонту.

Суттєве значення має аналіз взаємодії всіх елементів ходової частини як єдиної системи. Робота кожного вузла впливає на інші компоненти. Наприклад, несправність амортизатора збільшує навантаження на важелі, сайлентблоки та кульові опори, знос підшипника змінює траєкторію обертання колеса та впливає на гальмівну систему, а порушення кутів розвалу-сходження спричиняє нерівномірний знос шин і зниження стійкості автомобіля на високих швидкостях. Тому ремонт ходової частини вимагає комплексного підходу, точного дотримання заводських норм і використання спеціалізованого додаткового обладнання.

У процесі експлуатації автомобіля елементи ходової частини зазнають значного зношування, що ускладнює їх діагностику і ремонт у разі відсутності механізованих інструментів. Аналіз конструктивно-функціональних характеристик елементів ходової частини свідчить, що значна частина ремонтних операцій має високу трудомісткість і вимагає застосування додаткового обладнання — стендів, пресів, зйомників, фіксаторів, вимірювальних пристроїв [1]. Це обґрунтовує необхідність дослідження ефективності такого обладнання, визначення його впливу на якість і стабільність ремонту та оцінки доцільності його впровадження у виробничих умовах.

1.2 Діагностика та класифікація типових дефектів ходової частини автомобіля.

Ходова частина автомобіля працює в умовах постійного впливу змінних динамічних навантажень, вібрацій, ударних імпульсів, температурних коливань і корозійних факторів, що зумовлює виникнення широкого спектра дефектів та

прискорене зношування функціональних елементів. Особливістю цих дефектів є їх комплексний характер, адже несправність одного вузла здебільшого призводить до зміни навантажень і режимів роботи інших елементів, формуючи каскад пов'язаних відмов. З огляду на це важливим етапом технічного обслуговування є своєчасна та точна діагностика технічного стану ходової частини, що забезпечує безпечну експлуатацію автомобіля та зменшення витрат на ремонт.



Рисунок 1.2. Діагностика ходової частини автомобіля.

Діагностика ходової частини має комплексний характер і охоплює візуальні, механічні, інструментальні та стендові методи. Візуальний огляд дозволяє виявити грубі порушення: пошкодження гумометалевих елементів, деформації важелів, корозію, люфти, течії амортизаторів, надмірний знос шин. Проте цей метод має обмежену точність і залежить від досвіду працівника. Механічні методи, що здійснюються шляхом прикладання рисівних або моментних навантажень, дозволяють визначити люфти у шарнірах, стан з'єднань та рівень пружності окремих елементів. Однак найвищу точність забезпечують

інструментальні методи, зокрема використання стендів діагностики амортизаторів, стендів перевірки кутів установки коліс, стендів для визначення люфтів рульових тяг і підвіски, а також механізованих вимірювальних пристроїв.

Окрему групу становлять вібраційно-діагностичні методи, які базуються на аналізі коливань та амплітудно-частотних характеристик підвіски. Такі стенди дозволяють оцінити ефективність амортизаторів за коефіцієнтом демпфування, рівнем передачі коливань та частотою резонансних режимів. Метод є об'єктивним і дозволяє виявляти несправності, що не фіксуються візуально. До інструментальної діагностики належать також геометричні методи, спрямовані на вимірювання кутів нахилу коліс (розвал, сходження, кастор), симетрії підвіски та відстаней між контрольними точками. Порушення цих параметрів є однією з найпоширеніших причин дефектів керованості та нерівномірного зносу шин.

Класифікація типових дефектів ходової частини базується на характері зношування, фізичних причиноутворюючих факторах, впливі на динамічні властивості автомобіля та конструктивній приналежності до певного вузла. Однією з найбільш вразливих груп є гумометалеві шарніри та сайлентблоки, які втрачають еластичність унаслідок старіння гуми, тріщин, відриву від металевої втулки або гільзи. Дефекти цього типу проявляються у вигляді сторонніх стуків, зміни кінематики підвіски, збільшення люфтів та погіршення керованості. Знос сайлентблоків також спричиняє порушення кутів установки коліс, що додатково збільшує навантаження на шини та рульову систему.

Кульові опори зазнають знакоперемінних навантажень і працюють у умовах змінної вологості та температури, що зумовлює руйнування захисних чохлів, втрата мастила та прискорений знос робочої поверхні шарніра. Типовими дефектами є збільшення люфту, заклинювання, сторонні шуми та зміна траєкторії руху колеса. Несправність кульових опор становить значну небезпеку, оскільки може спричинити раптове руйнування вузла та втрату керованості.

Пружні елементи підвіски також підлягають зношуванню. У гвинтових пружин поширеними дефектами є осадка металу, утворення мікротріщин, корозійне руйнування або перелом витків. У ресорних системах виникає

розтріскування листів, зміщення пакету, зсуви напрямних скоб. Усі ці відмови призводять до зміни жорсткості підвіски, нерівномірності положення кузова, погіршення стійкості автомобіля та збільшення навантаження на інші елементи ходової частини.

Таблиця 1.1 Аналітична таблиця типових дефектів ходової частини та методів їх діагностики.

Елемент ходової частини	Типові дефекти	Причини виникнення	Ознаки та прояви несправності	Методи діагностики
Пружина	Осадка, тріщини, корозія, перелом витків	Втомне руйнування, корозія, надмірні навантаження	Нахил кузова, зменшення кліренсу, жорстка підвіска	Візуальний огляд, вимірювання висоти кузова, контрольні навантажувальні тести
Ресора	Тріщини листів, розтягнення скоб, зсув пакету	Перевантаження, корозія, старіння металу	Сторонні шуми, перекіс кузова, зниження плавності ходу	Візуальна діагностика, перевірка геометрії ресорного пакета
Амортизатор	Витік масла, втрата газового тиску, знос клапанів	Герметичні порушення, втома матеріалів	Збільшення кренів, “гойдання”, подовження гальмівного шляху	Стенд перевірки амортизаторів, тест «качання», інструментальні вібраційні методи
Кульова опора	Люфт, корозія пальця, руйнування чохла	Бруд, волога, механічні перевантаження	Сторонні стуки, самовільне зміщення колеса, погіршення керованості	Механічна перевірка люфтів, стенд люфтоміра
Сайлентблоки	Розтріскування гуми, відрив гуми від металу, деформація	Старіння гуми, дія реагентів, ударні навантаження	Вібрації, відхилення коліс від траєкторії, нерівномірний знос шин	Візуальна діагностика, перевірка люфтів, динамічні стенди
Стабілізатор поперечної стійкості	Знос втулок, поломка стійок, деформація балки	Динамічні навантаження, корозія, втома металу	Крен кузова, нерівномірні стуки	Огляд, перевірка люфтів, вимірювання деформацій
Підшипник ступиці	Руйнування доріжок, люфт, перегрів	Втома матеріалів, недостатнє мастило	Гул, вібрація, нагрівання, нестабільність руху	Вимірювання люфту індикатором, прослуховування, термодіагностика

Елемент ходової частини	Типові дефекти	Причини виникнення	Ознаки та прояви несправності	Методи діагностики
Важіль підвіски	Деформація, тріщини, корозія	Удари, перевантаження, ДТП	Порушення геометрії підвіски, нерівномірний знос шин	Візуальний огляд, вимірювання геометрії, стенди розвалу-сходження
Тяги та штанги	Удари, згинання, тріщини різьби	Перевантаження, корозія	Порушення кінематики підвіски, нестійкість автомобіля	Вимірювання лінійності, контроль затяжки
Шини	Нерівномірний знос, «лисини», грижі, розшарування	Порушення тиску, неправильні кути установки коліс, удари	Вібрації, погіршення зчеплення, нестабільність руху	Балансування, перевірка тиску, стенд геометрії коліс
Кути установки коліс	Порушення розвалу, сходження, кастору	Знос шарнірів, деформація важелів або підрамника	Нерівномірний знос шин, «ведення» автомобіля	Комп'ютеризований стенд розвалу-сходження

Амортизатори, як ключові демпфувальні елементи, піддаються втомному руйнуванню клапанних систем, зношуванню ущільнень, витoku масла або газу, що призводить до втрати амортизувальних властивостей. Типовими діагностичними ознаками несправностей є збільшення коливань кузова, нерівномірні удари при проїзді нерівностей, гойдання автомобіля при маневруванні. Для якісної оцінки амортизаторів необхідно проводити вимірювання параметрів демпфування на стендах, оскільки візуальні методи дають лише поверхневу інформацію.

Дефекти стабілізаторів поперечної стійкості та їх кріпильних елементів включають знос втулок, поломку стійок, ослаблення кріплень або тріщини балок. Наслідком є збільшення крену кузова, зниження стійкості автомобіля на поворотах і поява специфічних ударних звуків. Діагностика стабілізаторів потребує точного вимірювання люфтів та тестування в динамічних умовах.

Підшипники ступиць піддаються значним комбінованим навантаженням, що призводить до руйнування контактних доріжок, відшарування металу та втрати мастила. Дефекти проявляються у вигляді гулу, нагрівання, збільшення

люфту та нерівномірного обертання. Діагностика ступичних підшипників потребує застосування індикаторів поворотного моменту та стендів, оскільки ручна перевірка часто не дає об'єктивної інформації.

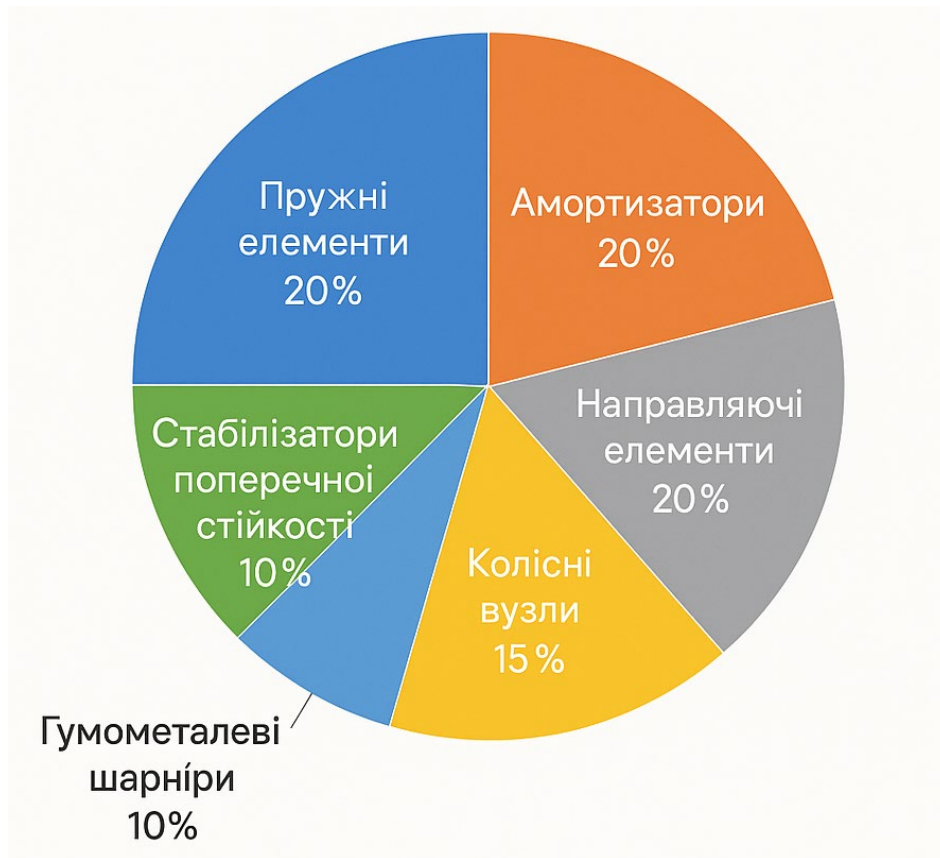


Рисунок 1.3. Типові дефекти ходової частини автомобіля.

Однією з критичних груп дефектів є порушення геометрії підвіски — зміна кутів розвалу, сходження, кастору та симетрії підвіски. Такі дефекти виникають унаслідок зношування шарнірів, деформації важелів, пошкодження підрамників. Їх діагностика здійснюється виключно за допомогою високоточних комп'ютеризованих стендів розвалу-сходження.

Таким чином, діагностика ходової частини є багаторівневим процесом, який потребує комплексного застосування різних методів. Вона повинна бути системною, оскільки дефекти одного вузла впливають на технічний стан інших елементів. Класифікація несправностей за характером зношування, фізико-механічною природою та наслідками дозволяє більш точно визначити пріоритетність ремонтних заходів, а також обґрунтувати необхідність застосування додаткового технологічного обладнання. Саме точна діагностика є

вихідною умовою якісного ремонту та раціональної експлуатації автомобіля, визначає термін служби вузлів ходової частини та рівень безпеки дорожнього руху, що підтверджує її ключову роль у структурі технічного обслуговування транспорту.

1.3 Систематизація додаткового технологічного обладнання для ремонтних операцій.

Підвищення ефективності та стабільності технологічних процесів ремонту ходової частини автомобіля неможливе без упорядкування та науково обґрунтованої систематизації технологічного обладнання, яке застосовується на різних етапах обслуговування та відновлення вузлів. У сучасних виробничих умовах автосервісні підприємства використовують широкий спектр механізованих, гідравлічних, пневматичних, вимірювальних і спеціалізованих пристроїв, однак їхнє використання нерідко є несистемним, що знижує загальну ефективність ремонтних процесів, ускладнює контроль якості та не забезпечує необхідного рівня безпеки. Тому систематизація додаткового технологічного обладнання виступає важливим інструментом стандартизації технології, оптимізації виробничих потоків і раціонального використання ресурсів.

Основою систематизації технологічного оснащення є групування обладнання за функціональним призначенням, видом силового впливу, характером взаємодії з вузлом та місцем у технологічному циклі ремонту. Це дозволяє вибудувати цілісну структуру виробничого процесу, узгоджену з послідовністю операцій, вимогами до точності та характеристиками деталей, які підлягають відновленню. Насамперед доцільно виділити обладнання, яке забезпечує виконання силових операцій, пов'язаних з демонтажем і монтажем пресових з'єднань, підшипникових вузлів, ступиць, важелів і шарнірів. Таке обладнання характеризується високою надійністю і здатністю створювати значні осьові або радіальні зусилля при мінімальному навантаженні на деталь і працівника. Його використання дозволяє мінімізувати ризики пошкодження

поверхонь, уникнути перекосів при запресуванні та зменшити залишкові напруження у вузлі.

Таблиця 1.2. – Систематизація додаткового технологічного обладнання для ремонтних операцій ходової частини автомобіля

Група обладнання	Призначення та область застосування	Переваги використання	Основні технічні характеристики / приклади
Гідравлічні та механічні преси	Демонтаж і запресування підшипників, маточин, сайлентблоків, шарнірів	Висока сила натиску, точне керування зусиллям, мінімізація ризику деформацій	Зусилля 10–30 т; комплект направляючих оправок; адаптери для різних діаметрів
Зйомники та витискувачі	Зняття маточин, кульових опор, підшипників, важелів	Зменшення навантаження на вузол, робота без нагріву та ударних навантажень	Трьохлапові та дволапові; гідравлічні зйомники 5–20 т
Стенди та вимірювальні системи	Контроль співвісності, биття, люфтів, геометрії підвіски	Метрологічна точність, висока повторюваність вимірювань	Індикатори з точністю 0,01 мм; електронні стенди регулювання розвал–сходження
Спеціалізовані оправки та адаптери	Центрування деталей при встановленні; рівномірний розподіл зусиль	Підвищення точності монтажу, запобігання перекосу та пошкодженню посадок	Оправки для підшипників, адаптери для сайлентблоків, комплектні набори 20–50 од.
Обладнання для роботи з пружними елементами	Стискання пружин підвіски, демонтаж амортизаторів	Підвищення безпеки, усунення ручних силових операцій	Стяжки гвинтові; гідравлічні стяжки; захисні механізми від зриву пружини
Підймальні та підтримуючі пристрої	Підтримання важелів, маточин, балок під час ремонту	Зменшення фізичного навантаження на працівника, підвищення точності позиціонування	Мобільні домкрати, регульовані підставки, підлогові гідравлічні підйомники
Оснащення для організації робочого місця	Раціональне розміщення інструменту та деталей; ергономіка	Скорочення непродуктивних витрат часу, покращення логістики операцій	Металеві верстаки, стенди з фіксаторами, системи для зберігання інструменту
Засоби підвищення безпеки	Захист працівника від ударів, зривів і неконтрольованих рухів деталей	Зниження ризику травматизму, відповідність нормативам охорони праці	Захисні кожухи, фіксатори, блокувальні механізми, окуляри, екрани

Важливу групу становить обладнання для точного вимірювання параметрів вузлів ходової частини. Відповідність геометричних розмірів, співвідносі та посадкових натягів є критичними умовами довговічності й безпечної роботи підвіски. Використання індикаторних годинникових механізмів, прецизійних нутромірів, калібрів, електронних вимірювальних систем і стендів для контролю кутів установки коліс забезпечує метрологічну достовірність результатів та створює передумови для стандартизації операцій. Вимірювальна складова є необхідним елементом системи контролю якості, без якої неможливо досягти стабільної повторюваності технологічного процесу.

Окрему категорію обладнання становлять спеціалізовані інструменти та пристосування, призначені для роботи з конкретними вузлами або моделями автомобілів. До них належать гумові та поліуретанові опорні вставки, адаптери для пресів, оправки для центрування, шарнірні фіксатори, інструменти для розтискання важелів, стяжки пружин і захисні пристрої. Їхнє використання мінімізує ризик неправильного позиціювання деталей, забезпечує рівномірний розподіл зусилля та підвищує загальну безпеку персоналу [2]. Застосування таких засобів особливо важливе в умовах інтенсивного виробництва, де велика кількість однотипних операцій вимагає високої повторюваності та оперативності.

До технологічного обладнання, що забезпечує організацію робочого простору та ергономіку, належать підлогові підіймачі, мобільні підйомні домкрати, регульовані підставки, стелажні системи, засоби для фіксації елементів підвіски та спеціальні монтажні столи. Вони сприяють зменшенню фізичного навантаження на працівника, підвищенню безпеки та точності, а також покращують логістику руху деталей у межах ремонтної зони. Раціональна організація робочого простору дозволяє суттєво скоротити непродуктивні витрати часу, пов'язані з пошуком інструменту, переміщенням вузлів чи очікуванням вільного обладнання.

Важливою частиною систематизації є оцінювання сумісності обладнання з конструкційними особливостями сучасних автомобілів. Розвиток легкосплавних

маточин, чутливих до точності запресування, багатоважільних підвісок і інтегрованих підшипникових модулів АЕ-штифт типу зробив традиційні методи ремонту застарілими. Використання універсальних інструментів часто не забезпечує необхідної точності й може спричинити локальні напруження або мікропошкодження, які згодом приводять до передчасного виходу вузла з ладу. Тому систематизація повинна враховувати не лише функціональне призначення обладнання, а й відповідність його характеристик конструкції конкретних вузлів.



Рисунок 1.4. Технологічне обладнання для ремонту автомобіля.

Рациональна система класифікації обладнання повинна відповідати логіці технологічного процесу: від діагностики до остаточного контролю. На першому етапі важливу роль відіграють діагностичні сканери, вимірювачі биття, індикатори зазорів і стенди для контролю геометрії підвіски. На етапі демонтажу переважають зйомники, важелі-розтиски, гідравлічні витискувачі та спеціальні пристрої для від'єднання кульових опор чи сайлентблоків. Етап монтажу і запресування потребує високоточного пресового обладнання з комплектом адаптерів, оправок і фіксаторів. Завершальний етап контролю включає

вимірювання натягів, перевірку биття, діагностику співвісності та тестування підшипникових вузлів під навантаженням.

Систематизація обладнання має не лише технічний, а й економічний вимір. Чітке групування пристроїв дозволяє визначити критично необхідний перелік оснащення, уникнути надлишкових закупівель, оптимізувати витрати та забезпечити раціональний розподіл обладнання між постами. Крім того, систематизація створює можливість для формування стандартів технологічної документації, включно з картами контролю, маршрутними листами та інструкціями щодо послідовності операцій. Це забезпечує однакову якість робіт незалежно від конкретного виконавця.

Важливим чинником є підвищення безпеки праці. Ручне виконання силових операцій створює високий ризик травм, особливо при роботі з пружними елементами, шарнірами та підшипниками. Включення до системи обладнання засобів запобіжного блокування, фіксації рухомих деталей, захисних кожухів і адаптерів для безпечної взаємодії з пресами суттєво знижує ризики аварійних ситуацій. У систематизованому підході безпека виступає не окремим розділом, а інтегрованою характеристикою кожного елемента технологічного оснащення.

Систематизація також є фундаментом для подальшої цифровізації виробничих процесів. Упорядкування та структуризація обладнання створює передумови для впровадження електронних каталогів оснащення, автоматизованих систем обліку, систем інтерактивного контролю технічного стану інструмента та планування його обслуговування.

Таким чином, систематизація додаткового технологічного обладнання є стратегічно важливим елементом удосконалення технологічного процесу ремонту ходової частини автомобіля. Упорядкована система обладнання стає основою для стандартизації технологічних процесів та впровадження новітніх методів управління якістю, що визначає її ключову роль у розвитку сучасного сервісного обслуговування транспортних засобів.

2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ВИРОБНИЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ РЕМОНТУ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПРОБЛЕМНИХ ДІЛЯНОК.

2.1 Дослідження технічного стану виробничої бази та умов виконання ремонтних робіт.

Виробнича база автосервісного підприємства є ключовим елементом, що визначає якість, безпеку та ефективність процесів ремонту ходової частини автомобіля. Технічний стан обладнання, рівень оснащеності робочих місць, організація технологічних потоків, умови праці та відповідність нормативним вимогам формують комплекс чинників, що безпосередньо впливають на кінцевий результат ремонтних операцій. У зв'язку з цим дослідження виробничої бази має надзвичайно важливе значення для встановлення можливостей та обмежень підприємства, визначення рівня його технологічної готовності та обґрунтування необхідності модернізації.

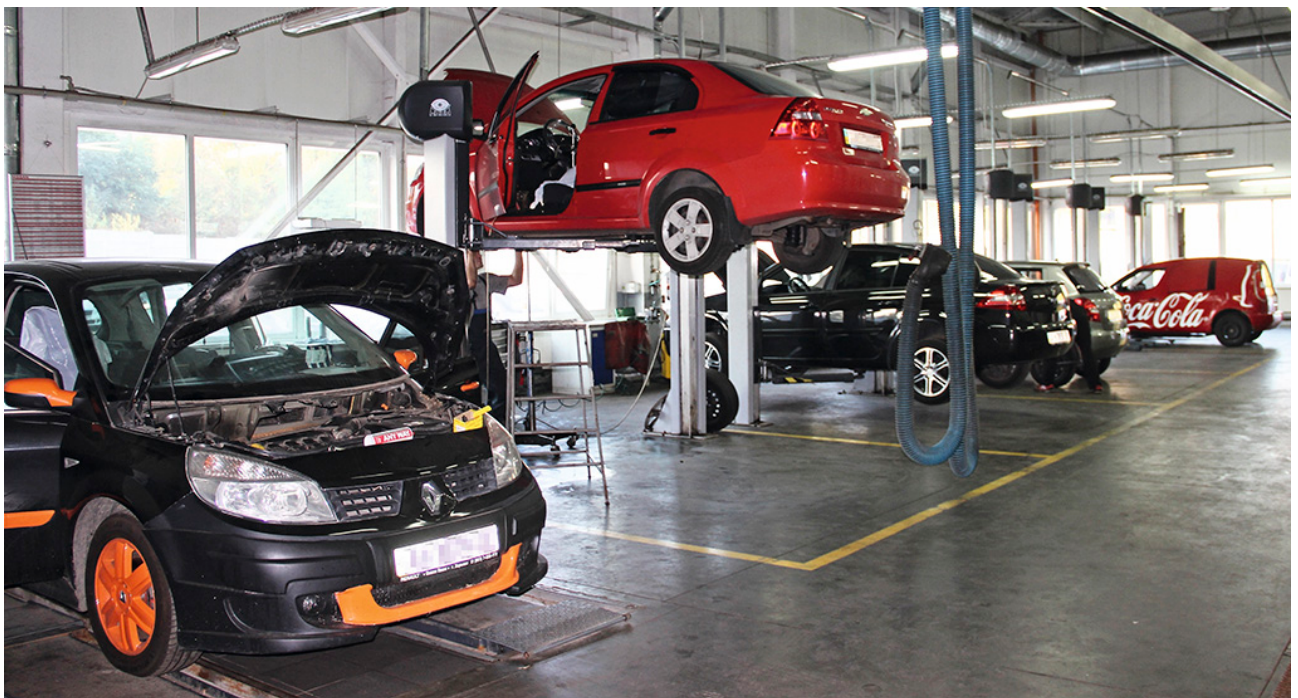


Рисунок 2.1. Авторемонтне підприємство.

Аналіз технічного стану виробничих приміщень показує, що більшість автосервісних дільниць характеризуються неоднорідною матеріально-технічною

оснащеністю. Частина обладнання є застарілою, має значний ступінь фізичного та морального зношування, не відповідає сучасним вимогам щодо точності, продуктивності та безпеки [3]. Особливо це характерно для підприємств, які тривалий час експлуатують механізми без планових оновлень. Серед ключових проблем можна виділити відсутність високоточного діагностичного устаткування, недостатню кількість механізованих пристроїв для демонтажу та монтажу вузлів, брак електронного інструменту, а також недостатню кількість універсальних адаптерів для роботи з різними моделями автомобілів.

Дослідження умов виконання ремонтних робіт свідчить про те, що низка технологічних операцій пов'язана з використанням ручної праці, яка завжди має обмежену точність та низьку повторюваність результатів. Значна частина процесів, таких як демонтаж підшипників, запресування сайлентблоків, встановлення кульових опор або регулювання кутів установки коліс, виконується за допомогою універсального інструменту, що не забезпечує стабільність параметрів і вимагає значного фізичного зусилля. Така ситуація збільшує трудомісткість, подовжує тривалість робіт, підвищує ризик помилок і погіршує безпеку праці.

Важливим аспектом оцінювання виробничої бази є аналіз відповідності наявного обладнання вимогам нормативно-технічної документації. Часто діагностичні стенди, підйомне обладнання, гідравлічні преси, інструментальні системи не проходять своєчасної калібровки або метрологічної перевірки, що знижує достовірність вимірювання та точність виконання операцій. Несправності у вимірювальних інструментах, навіть мінімальні, призводять до некоректного визначення люфтів, неправильного регулювання кутів установки коліс або неточного встановлення деталей, що суттєво знижує якість ремонту.

Аналіз просторової організації виробничої ділянки демонструє наявність обмежень, що негативно впливають на пропускну здатність та продуктивність. Робочі місця часто мають недостатній простір для маневрування обладнанням, що створює труднощі при роботі з елементами підвіски, які мають складну

геометрію та потребують точного розташування автомобіля на посту. Неєфективне розміщення стендів та інструментів призводить до зайвих переміщень працівників і автомобілів, збільшуючи непродуктивні витрати часу та погіршуючи логістичну структуру ремонтного процесу.

Важливою складовою технічного стану виробничої бази є оцінювання рівня енергооснащення, стану систем вентиляції, освітлення та мікроклімату. Адекватне освітлення відіграє критичну роль при виконанні точних операцій, таких як оцінка стану гумометалевих шарнірів, перевірка слідів корозії, виявлення тріщин чи деформацій. Недостатня освітленість знижує точність діагностики та збільшує ризик пропуску дефектів. Вентиляційні системи повинні забезпечувати безпечний рівень концентрації газів, пилу та випарів мастильних матеріалів, оскільки їх накопичення негативно впливає на здоров'я працівників і сприяє прискореному зношуванню обладнання.

Аналіз показує, що одним із найбільш критичних чинників є недостатній рівень автоматизації технологічних процесів. У сучасних умовах використання комп'ютеризованих систем діагностики ходової частини, електронних люфтомірів, сенсорних систем вимірювання кутів установки коліс або автоматизованих пресових установок є обов'язковим [4]. Відсутність такого обладнання не дозволяє забезпечити належний рівень точності, а також суттєво знижує ефективність процесів планового обслуговування та поточного ремонту.

Дослідження показує, що значна частина обладнання на підприємствах має недостатній рівень сумісності з новими моделями автомобілів. Різні виробники застосовують різні конструктивні рішення ходової частини – специфічні типи підшипникових модулів, багатоважільні схеми, керовані амортизатори, інтегровані датчики, електронні системи контролю жорсткості. Відсутність універсальних адаптерів та спеціалізованих інструментів унеможливорює обслуговування таких автомобілів за нормативною технологією, що змушує працівників застосовувати нештатні методи, що знижують якість ремонту та підвищують небезпеку ушкодження вузлів.

Важливою складовою умов виконання ремонтних робіт є організація робочого процесу. Неналежне планування операцій призводить до простоїв, нерационального використання обладнання, координаційних помилок та дублювання робіт. Рівень підготовки персоналу також відіграє ключову роль: обмежені знання про сучасні технології ремонту, низький рівень підготовки до роботи з високоточним обладнанням або відсутність навичок діагностики призводять до помилок і збільшення трудомісткості операцій.

В умовах реального виробництва часто спостерігається низький рівень інформаційної інтеграції. Відсутність єдиної бази технічних даних, цифрових протоколів вимірювання, автоматизованих систем ведення ремонту ускладнює контроль технологічних параметрів і знижує прозорість процесу. Така ситуація перешкоджає плануванню навантаження, аналізу причин відмов, контролю якості та формуванню об'єктивних рішень щодо модернізації технологічного процесу.

Таким чином, проведене дослідження технічного стану виробничої бази та умов виконання ремонтних робіт дозволяє виявити низку організаційно-технологічних проблем: використання застарілого або недостатньо точного обладнання, низький рівень механізації, невідповідність вимогам сучасних автомобільних систем, недосконалу організацію робочого простору та недостатню підготовку персоналу. Усі ці чинники вимагають модернізації технологічного процесу, впровадження нових інженерно-технічних засобів, оптимізації робочих процесів та підвищення кваліфікації працівників, що в комплексі забезпечить покращення точності, продуктивності та безпеки ремонтних операцій.

2.2 Аналіз технологічних процесів ремонту без застосування додаткового обладнання.

Традиційні технологічні процеси ремонту ходової частини автомобіля сформувалися в умовах, коли конструкції підвісок та вузлів керування мали

відносно просту будову, а більшість ремонтних операцій виконувалися вручну або з мінімальним застосуванням механізованих пристроїв. Незважаючи на їх багаторічне використання, такі процеси мають низку характерних недоліків, що істотно обмежують точність, ефективність і безпеку виконання ремонтних робіт у сучасних умовах експлуатації автомобілів. Проведення аналізу цих процесів дозволяє сформулювати чітке уявлення про їх технологічні можливості та об'єктивно оцінити потребу у модернізації.



Рисунок 2.2. Ремонт ходової частини автомобіля без застосування додаткового обладнання.

Однією з характерних ознак традиційних технологічних процесів є висока питома частка ручних операцій, що вимагають значних фізичних зусиль і великого досвіду виконавця. Такі роботи, як демонтаж та монтаж шарнірів, сайлентблоків, ступичних підшипників, регулювання кутів установки коліс або діагностика амортизаторів, часто виконуються за допомогою ударних

інструментів, домкратів, універсальних знімачів чи навіть допоміжних підручних засобів. Ручне зусилля важко контролювати, тому точність виконання операцій є низькою та непостійною. Це призводить до виникнення типових дефектів у процесі ремонту: перекоси при запресуванні, деформація важелів, пошкодження посадочних поверхонь, нерівномірне натягування гайок або неправильне встановлення деталей.

Відсутність спеціалізованих механізованих засобів ускладнює виконання технологічних переходів, що передбачають роботу з високими навантаженнями. Наприклад, зняття підшипника ступиці без гідравлічного зйомника потребує прикладання екстремальних сил, що часто призводить до руйнування підшипника, перегрівання опорного вузла або його деформації. Такі наслідки вимагають повторного ремонту, збільшують витрати як для підприємства, так і для власника автомобіля. Подібні ситуації є характерними і для заміни пружних елементів, коли відсутність спеціальних стяжок призводить до небезпечних умов виконання робіт.

Іншим суттєвим недоліком традиційних процесів є низький рівень вимірювальної точності, який значною мірою залежить від суб'єктивних оцінок персоналу. Наприклад, визначення люфтів у кульових опорах або рульових тягах за допомогою монтажних ломиків або рухів руки не забезпечує об'єктивності результатів, оскільки величина прикладеного зусилля не регламентована. Відсутність точного вимірювального контролю призводить до хибних висновків про технічний стан елементів, що збільшує ймовірність експлуатації автомобіля з потенційно небезпечними несправностями.

У разі регулювання кутів установки коліс використання простих механічних пристосувань чи підручних шаблонів не дає можливості забезпечити точність, необхідну для сучасних автомобілів. Невідповідність значень кута розвалу та сходження навіть у межах $0,2-0,3^\circ$ суттєво впливає на керованість, рівномірність зносу шин та гальмівну ефективність. Традиційні методи не враховують компенсації дефектів шин, зміщення кузова або асиметрії підвіски,

що робить їх непридатними для точного та нормативного ремонту підвіски сучасних автомобілів.

Технологічна ефективність традиційних методів є низькою також через високу трудомісткість ремонтних операцій. Ручні методи демонтажу та монтажу вимагають більше фізичних зусиль і часу, що збільшує тривалість перебування автомобіля на посту. Це знижує пропускну здатність ремонтної дільниці, збільшує черги, сприяє виникненню простоїв і негативно впливає на економічні показники підприємства [4]. За відсутності спеціалізованого обладнання значна частина робіт не може виконуватися паралельно, що ще більше подовжує цикл ремонту.

Крім технологічних недоліків, традиційні процеси мають і виражені ергономічні обмеження. Робота з елементами ходової частини, що часто вимагає незручних робочих поз, великих зусиль та значного нахилу корпусу, сприяє швидкій втомлюваності працівників і збільшує ризик виробничих травм. Недостатня кількість підйомного обладнання змушує виконувати частину операцій на колінному рівні або у напівприсіді, що негативно впливає на точність виконання операцій і підвищує ймовірність помилок.

Одним із найбільш негативних аспектів традиційних технологій є висока залежність якості ремонту від кваліфікації працівників. Значна частина ручних операцій не має чітко встановлених нормативів і виконується на основі досвіду, набутих практичних навичок і суб'єктивних уявлень про технологічні режими. У таких умовах складно забезпечити стабільну повторюваність результатів. Два працівники можуть виконувати одну й ту саму операцію з різною точністю, що негативно впливає на якість ремонту та репутацію підприємства.

Аналіз традиційних методів також показує, що вони мають обмежену адаптивність до обслуговування сучасних конструкцій, які характеризуються високою інтеграцією вузлів, застосуванням композитних матеріалів, електронних систем контролю підвіски та складних ступичних модулів. Традиційні інструменти не забезпечують можливості роботи з такими

елементами, що робить неможливим їх якісне обслуговування без залучення сучасного додаткового обладнання.

Важливо зазначити, що традиційні технології практично не враховують метрологічний контроль. Відсутність точного документування процесів, неможливість фіксації вимірних параметрів та відсутність системного аналізу похибок знижують технологічну дисципліну та ускладнюють виявлення причин повторних дефектів.



Рисунок 2.3. Аналіз технологічних процесів ремонту автомобіля без застосування додаткового обладнання.

Наслідком усіх перерахованих недоліків є зниження надійності та довговічності ремонтованих вузлів, високий рівень повторних звернень клієнтів, низька стабільність результатів і збільшення виробничих витрат. Це підтверджує, що традиційні процеси ремонту без застосування додаткового

технологічного обладнання не відповідають вимогам сучасного автосервісу, де пріоритетами є висока точність, безпека, швидкість, стандартизація та економічна обґрунтованість технологічних рішень.

Таким чином, проведений аналіз демонструє, що традиційні технологічні процеси ремонту без використання додаткового обладнання є технологічно застарілими. Вони характеризуються високою трудомісткістю, низьким рівнем точності, значною залежністю від кваліфікації персоналу, підвищеною небезпечністю операцій, неможливістю забезпечення нормативних параметрів та обмеженою сумісністю із сучасними автомобільними конструкціями. Усе це формує об'єктивну необхідність модернізації технологічного процесу шляхом упровадження додаткового спеціалізованого обладнання, що дозволить підвищити ефективність, якість та надійність ремонтних робіт.

2.3 Виявлення технологічних обмежень та детермінант низької ефективності ремонтних операцій.

Ефективність ремонтних операцій ходової частини автомобіля значною мірою визначається технічним рівнем виробничої бази, організацією технологічних процесів, кваліфікацією персоналу та застосовуваними засобами механізації. У сучасних умовах, коли автомобілі характеризуються високою конструктивною складністю, інтегрованими компонентами та вимогами до точності, традиційні технології ремонту дедалі частіше демонструють недостатню продуктивність та непостійність якості. Для обґрунтованої модернізації ремонтної ділянки необхідно виявити основні технологічні обмеження, що зумовлюють низьку ефективність технологічних операцій, а також визначити детермінанти, які формують втрати часу, точності та надійності [5].

Однією з головних груп технологічних обмежень є обмежена механізація демонтажно-монтажних операцій. Багато процесів, пов'язаних зі зняттям підшипників, сайлентблоків, кульових опор або демпфувальних елементів, виконуються вручну або за допомогою універсального інструменту. Такі

інструменти не забезпечують необхідних технологічних умов: контрольованого зусилля, паралельності переміщення, центральності осі запресування. Наслідком є часті деформації деталей, злам різьбових елементів, нерівномірне навантаження на шарнірні вузли та пошкодження посадочних поверхонь. Це знижує якість ремонту, вимагає додаткових робіт і збільшує собівартість операцій.

Наступною групою технологічних детермінант є низька вимірювальна точність та відсутність інструментального контролю. Ручні методи оцінки люфтів, жорсткості підвіски або зношування шарнірів базуються на суб'єктивній оцінці працівника й не забезпечують метрологічної достовірності. Без високоточного обладнання неможливо коректно визначити такі критичні параметри, як кут нахилу коліс, величина поздовжніх і поперечних переміщень, ступінь ефективності амортизатора, градієнт демпфування та інші характеристики, що впливають на керованість автомобіля. Неточності вимірювань призводять до неправильного діагнозу, повторних відмов, нерівномірного зносу шин і погіршення стійкості автомобіля.

Істотним обмеженням є структурна несумісність традиційних методів із сучасними конструкціями автомобілів. Сучасні підвіски включають багатоважільні схеми, інтегровані поворотні кулаки, безрозбірні підшипникові модулі, регульовані амортизатори, електронні датчики та системи адаптивної жорсткості [6]. Традиційні інструменти та технології не забезпечують ні доступу до цих елементів, ні регламентованої точності монтажу. Це призводить до вимушеного використання нештатних методів ремонту, що суттєво збільшує ризики пошкодження компонентів і знижує якість виконаних робіт.

Одним із ключових технологічних обмежень є висока залежність результатів ремонту від людського фактора. У ручних технологічних процесах працівник самостійно формує величину зусилля, швидкість переміщення інструменту та геометрію прикладення сили. Досвід працівника, його фізична сила, втома, уважність і психологічний стан прямо впливають на стабільність результатів. Відсутність механізованих засобів призводить до того, що одна й та

сама операція, виконана різними працівниками, може мати різні результати з погляду точності, рівня напружень у деталях і параметрів затягування з'єднань.

До детермінант низької ефективності належать також підвищені ергономічні навантаження, які притаманні традиційним методам ремонту. Вузли ходової частини розташовані в нижній зоні автомобіля, доступ до них обмежений, а їх демонтаж часто відбувається в незручних положеннях тіла. Це створює значне фізичне навантаження на працівників, знижує точність виконання операцій та збільшує імовірність помилок. Недостатня ергономічність робочих місць призводить до швидкої втомлюваності та підвищеного рівня травматизму.

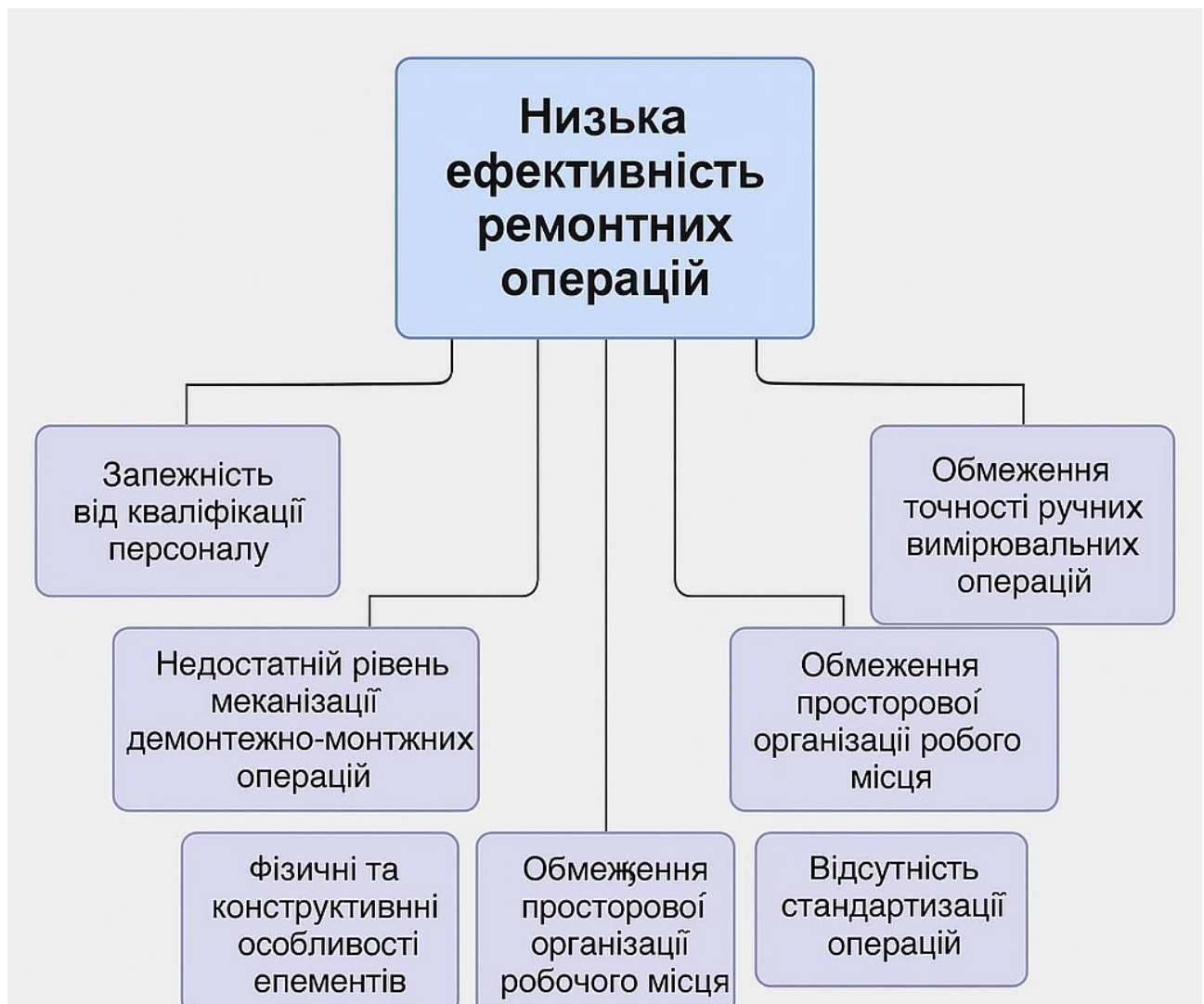


Рисунок 2.4. Технологічні обмеження та причини низької ефективності ремонтних операцій.

Важливою технологічною детермінантою є невідповідність часових витрат вимогам сучасного виробництва. Традиційні технології характеризуються високою трудомісткістю, великою кількістю вручну виконуваних переходів і неможливістю паралельного виконання операцій. Наприклад, операція демонтажу ступичного підшипника без застосування пресового чи зйомного обладнання може тривати в 3–6 разів довше, ніж із використанням сучасних механізованих засобів. Це негативно впливає на пропускну здатність ділянки та збільшує час очікування клієнтів.

Окремим блоком технологічних обмежень є неможливість забезпечення нормативної точності регулювальних операцій. Для підвіски сучасних автомобілів норми щодо кутів установки коліс є жорстко регламентованими, тоді як традиційні методи не дозволяють досягнути необхідної точності. Відхилення навіть на десятки частки градуса можуть спричинити погіршення керованості, підвищений крен кузова та збільшене енергоспоживання автомобіля [7]. Це робить традиційні технологічні методи непридатними для якісного обслуговування сучасних транспортних засобів.

До важливих детермінант низької технологічної ефективності належать проблеми метрологічного і технічного контролю. У традиційних процесах відсутні засоби автоматизованої реєстрації параметрів, системи фіксації результатів діагностики, індикатори навантажень та засоби контролю прикладеного зусилля. Це унеможлиблює об'єктивний контроль технологічних відхилень та знижує якість діагностики.

Крім технічних обмежень, важливою групою детермінант є організаційно-технологічні фактори. Неефективність маршрутної організації робіт, відсутність стандартизованих регламентів, недостатня кількість адаптерів до різних моделей автомобілів і нерівномірне завантаження робочих постів негативно впливають на швидкість та якість ремонтних операцій. Відсутність належної внутрішньої логістики призводить до простоїв, дублювання операцій і збільшення непродуктивних витрат.

Сукупність виявлених обмежень та детермінант дозволяє зробити висновок, що традиційні технологічні процеси ремонту ходової частини, які не передбачають застосування додаткового сучасного обладнання, є системно неефективними та потребують комплексної модернізації. Недостатня точність, низька продуктивність, залежність від людського фактора, обмеженість сумісності з сучасними конструкціями автомобілів та високий рівень ергономічних ризиків формують об'єктивні передумови для переходу до нових технологічних рішень.

2.4. Обґрунтування необхідності модернізації технологічного процесу.

Модернізація технологічного процесу ремонту ходової частини автомобіля є об'єктивною потребою сучасних автосервісних підприємств, що зумовлена поєднанням технічних, організаційних, безпекових та економічних чинників. Розвиток автомобільної техніки, зростання складності конструкцій і підвищення вимог до точності регулювальних операцій спричиняють необхідність переходу від традиційних, переважно ручних технологій, до сучасних механізованих та автоматизованих рішень. Обґрунтування модернізації є ключовим етапом прийняття управлінських рішень, адже ефективність роботи підприємства значною мірою залежить від рівня технологічного оснащення та відповідності ремонтних процесів сучасним стандартам.

Одним із головних аргументів на користь модернізації є конструктивне ускладнення сучасних автомобілів, що характеризуються багатоважільними підвісками, інтегрованими маточинними вузлами, складними електронними системами контролю жорсткості та адаптивними амортизаторами. Традиційні методи ремонту, які передбачають застосування універсального ручного інструменту, не забезпечують необхідного рівня точності й часто супроводжуються пошкодженням вузлів. Нові конструктивні рішення виробників вимагають використання спеціалізованих пристроїв — точно

вивірених зйомників, пресового обладнання, електронних вимірювальних систем, стендів для діагностики та регулювання [8]. Без оновлення технологічної бази виконання якісного ремонту стає неможливим.

Другим вагомим чинником є потреба підвищення точності технологічних операцій, що безпосередньо впливає на безпеку руху. Ходова частина автомобіля працює під впливом складних динамічних навантажень, а відхилення параметрів від нормативних значень призводить до погіршення керованості, збільшення зносу шин, подовження гальмівного шляху та зростання ризику аварійних ситуацій. Точність регулювання кутів установки коліс, запресування шарнірів, відновлення підшипникових вузлів або оцінювання ефективності амортизаторів неможливо забезпечити без застосування сучасних високоточних вимірювальних комплексів. Ручні методи, характерні для традиційних технологій, не відповідають вимогам до метрологічної надійності.

Суттєвим аргументом на користь модернізації є зниження впливу людського фактора, який у традиційних технологічних процесах має визначальний вплив на кінцевий результат. Ручні операції вимагають значних фізичних зусиль, високої кваліфікації та точності рухів, що створює нерівномірність результатів, збільшує кількість помилок і знижує повторюваність технологічних переходів. Автоматизація технології дозволяє стабілізувати якість процесу, уніфікувати ремонтні операції та забезпечити повторюваність результатів незалежно від виконавця.

Не менш важливим фактором є потреба підвищення продуктивності виробничої ділянки. Традиційні методи характеризуються високою трудомісткістю, низькою швидкістю виконання операцій та значною кількістю непродуктивних переміщень. Модернізація за рахунок впровадження механізованих і універсальних пристроїв дає змогу скоротити час виконання ремонтів у 2–5 разів залежно від конкретної операції. Зростання продуктивності дозволяє збільшити пропускну здатність автосервісу, зменшити час очікування клієнтів та підвищити економічну ефективність підприємства.

Важливою є також необхідність забезпечення високого рівня безпеки праці. Роботи із заміни сайлентблоків, зняття підшипників, стискання пружин підвіски або демонтажу важелів є потенційно небезпечними при виконанні без спеціального обладнання [9]. Застосування гідравлічних пресів, фіксаторів, спеціальних стяжок пружин, зйомників та механізованих підйомних систем значно зменшує ризик травматизму. Модернізація виробничої бази дозволяє не лише підвищити якість ремонту, а й створити безпечне робоче середовище.

Розвиток технологічних процесів зумовлений також економічними чинниками, що включають оптимізацію витрат, скорочення часу ремонту, зменшення кількості повторних звернень, зниження зносу інструменту та уникнення втрат від пошкодження деталей унаслідок неправильних операцій. Інвестиції у сучасне обладнання швидко окупаються завдяки зменшенню собівартості ремонту та підвищенню його якості.

Суттєвим аргументом модернізації є підвищення рівня технологічної сумісності підприємства з сучасним автопарком. Автомобільні виробники постійно вдосконалюють конструкції, а ремонтна база має адаптуватися до цих змін. Відсутність спеціалізованих адаптерів, перехідників, стендів або програмного забезпечення унеможливорює обслуговування нових моделей, що призводить до втрати конкурентоспроможності підприємства на ринку автосервісних послуг.

Таким чином, модернізація технологічного процесу ремонту є стратегічною потребою автосервісного підприємства. Вона забезпечує підвищення точності та стабільності виконання операцій, зменшення впливу людського фактора, зростання продуктивності, підвищення рівня безпеки праці та економічну ефективність діяльності. Упровадження сучасного технологічного обладнання створює умови для формування високотехнологічного виробництва, здатного забезпечити ремонт транспортних засобів відповідно до вимог сучасної автомобільної промисловості.

3. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТА ПАРАМЕТРІВ ДОДАТКОВОГО ОБЛАДНАННЯ.

3.1 Науково-методичні принципи вибору додаткового технологічного обладнання.

Вибір додаткового технологічного обладнання для ремонтних операцій ходової частини автомобіля є складним науково-прикладним завданням, що потребує системного аналізу технічних, організаційних, експлуатаційних та економічних факторів. Неправильно підібране обладнання здатне не лише не підвищити ефективність ремонту, а й створити ризики технологічних помилок, підвищеної трудомісткості або зниження безпеки праці. Тому визначення науково-методичних принципів вибору є ключовим етапом модернізації технологічного процесу, що передбачає обґрунтоване прийняття інженерних рішень.

Першим базовим принципом вибору обладнання є принцип відповідності технологічному процесу, який передбачає узгодженість конструктивних параметрів обладнання з характеристиками вузлів ходової частини. Обладнання повинно бути здатним забезпечити необхідну точність, зусилля, кінематичні умови та діапазони регулювання для конкретних операцій — демонтажу шарнірів, запресування сайлентблоків, розбирання ступичних вузлів, діагностики амортизаторів чи коригування кутів установки коліс. Недотримання цього принципу призводить до зниження стійкості технологічного процесу, підвищення браку та ризику пошкодження деталей.

Другим визначальним принципом є принцип технологічної сумісності, який полягає у відповідності обладнання конструктивним особливостям різних моделей автомобілів, що обслуговуються підприємством. У сучасній транспортній галузі різноманітність типорозмірів підвіски, конструкцій ступичних вузлів та рульових елементів зумовлює потребу у використанні універсальних або адаптованих пристосувань — змінних захватів, напрямних, адаптерів. Обладнання повинне забезпечувати можливість обслуговування

широкої номенклатури автомобілів без суттєвих переналаштувань та втрати точності.

Важливим методичним положенням є принцип прецизійності та метрологічної надійності, що передбачає використання обладнання з підтвердженими метрологічними характеристиками. Для більшості ремонтних процесів ходової частини — особливо для регулювання розвалу-сходження, монтажу підшипникових вузлів, вимірювання люфтів або оцінювання параметрів демпфування — критичною є висока точність вимірювань. Обладнання повинно проходити регулярну калібровку, мати сертифіковані індикатори та надавати повторювані результати, що відповідають нормам виробників транспортних засобів.

Четвертий принцип — ергономічність та безпечність використання, який передбачає мінімізацію фізичного навантаження на персонал, зниження аварійних ризиків та забезпечення комфортних умов роботи. Додаткове обладнання має передбачати захисні елементи, фіксатори, стани страхування зусиль, механізми обмеження перевантаження та систему блокувань. У контексті ремонтів ходової частини це стосується пресів, зйомників, гідравлічних інструментів та підйомних механізмів, робота з якими пов'язана з потенційно небезпечними зусиллями.

П'ятим науково-методичним принципом є оцінка впливу обладнання на трудомісткість технологічного процесу. Використання додаткових пристроїв повинне забезпечити скорочення часу виконання операцій, зменшення кількості ручних етапів, усунення простоїв та підвищення продуктивності ремонтної дільниці. Інженерне порівняння варіантів обладнання повинне враховувати такі показники, як час операції, кількість монтажно-демонтажних циклів, необхідна кількість працівників та рівень фізичного навантаження.

Наступний ключовий принцип — економічна доцільність, що передбачає аналіз вартості обладнання, витрат на його обслуговування, прогнозованого економічного ефекту, терміну окупності та впливу на фінансово-виробничу діяльність підприємства. Доцільним є застосування методів інженерної

економіки, таких як аналіз собівартості, фактор продуктивності, окупність капіталовкладень (ROI), чистий дисконтований дохід (NPV). Обладнання повинне демонструвати позитивну економічну динаміку в умовах реального навантаження [10].

Окреме значення має принцип адаптивності та модернізаційного потенціалу, відповідно до якого вибране обладнання повинно мати можливість модернізації, оновлення програмного забезпечення, доповнення новими модулями або адаптерами. Такий підхід забезпечує довгострокову експлуатацію обладнання, що особливо актуально для комп'ютеризованих стендів та діагностичних систем.

Важливим науково-методичним орієнтиром є також принцип мінімізації впливу людського фактора. Чим вищий рівень автоматизації операції, тим нижча ймовірність технологічних помилок. Використання автоматичних гідравлічних пресів, комп'ютеризованих приладів для діагностики підвіски, електронних люфтомірів і стендів розвалу-сходження дозволяє забезпечити стабільні результати, незалежні від досвіду оператора.

Сукупність наведених принципів формує науково обґрунтовану методику вибору додаткового технологічного обладнання, яка дозволяє забезпечити технічну відповідність, точність, безпечність і економічну ефективність ремонтних операцій. Їх застосування створює передумови для якісної трансформації технологічного процесу, підвищення продуктивності автосервісного підприємства та забезпечення високої надійності відремонтованих вузлів ходової частини автомобіля.

3.2 Інженерно-технологічне обґрунтування впливу обладнання на точність та продуктивність ремонтних операцій.

Ефективність ремонтних операцій ходової частини автомобіля визначається рядом параметрів, серед яких ключовими є точність виконання технологічних переходів, повторюваність результатів та продуктивність

робочого процесу. Ці параметри в значній мірі залежать від рівня механізації та технічного оснащення дільниці. Дослідження впливу додаткового обладнання на технологічний процес є необхідною передумовою обґрунтування його доцільності, оскільки саме сучасні інструментально-механізовані засоби визначають стабільність геометричних параметрів, скорочення часу операцій та зменшення впливу людського фактора.

Одним з найважливіших аспектів впливу обладнання на точність ремонтних операцій є можливість забезпечення контрольованих механічних зусиль і точних кінематичних переміщень. Наприклад, при запресуванні сайлентблоків, підшипників або шарнірних елементів застосування гідравлічних пресів дозволяє генерувати зусилля у вузькому допустимому діапазоні, що унеможливорює деформацію посадочних місць і забезпечує прецизійне встановлення компонентів. На відміну від ручних методів, де прикладене зусилля є нерівномірним і залежить від фізичних можливостей оператора, механізовані установки формують повторювану траєкторію та величину переміщення, забезпечуючи нормативні параметри встановлення.

У діагностиці стану ходової частини використання високоточного обладнання має критичне значення. Так, стенди перевірки кутів установки коліс забезпечують точність вимірювання до десятих часток градуса, що недосяжно при ручних або спрощених методах [11]. Точність цих параметрів визначає кінематику руху автомобіля, стійкість та рівномірність зношування шин. Розходження фактичних і нормативних значень навіть на $0,2\text{--}0,3^\circ$ може спричинити збільшення гальмівного шляху, зниження зчеплення та підвищення витрати пального. Тому застосування комп'ютеризованих стендів не є лише модернізацією, а виступає необхідністю для забезпечення безпечної експлуатації автомобіля.

Вплив обладнання на продуктивність технологічного процесу проявляється в скороченні тривалості виконання операцій, уніфікації ремонтних переходів та зменшенні простоїв. Наприклад, демонтаж ступичного підшипника

за допомогою спеціального зйомника скорочує тривалість операції у 3–5 разів порівняно з ручними методами та виключає необхідність демонтажу вузлів у зборі. Автоматизоване обладнання дозволяє виконувати частину операцій паралельно, що підвищує пропускну здатність ділянки без збільшення чисельності персоналу.

Важливе значення має також покращення повторюваності результатів, що безпосередньо впливає на якість ремонту і зниження кількості повторних звернень клієнтів. Завдяки автоматизації процесів досягається стабільність виконання операцій незалежно від рівня кваліфікації оператора. Наприклад, застосування електронних люфтомірів дозволяє усунути суб'єктивність визначення люфтів у шарнірах та рульових елементах, а стенди діагностики амортизаторів забезпечують точну оцінку коефіцієнта демпфування, що неможливо встановити методом візуальної оцінки чи «тесту гойдання».

Використання додаткового обладнання впливає і на зниження втрат від браку та пошкодження деталей. У ремонтних операціях ходової частини значна кількість комплектувальних елементів має прецизійні посадки та складні поверхні. Ручний демонтаж може спричинити тріщини важелів, деформацію поворотних кулаків, пошкодження ущільнень підшипників. Використання правильного спеціалізованого обладнання, такого як прецизійні преси, зйомники з фіксованими напрямними, індукційні пристрої для прогрівання посадок, повністю усуває ці ризики.

Важливою складовою інженерно-технологічного обґрунтування є аналіз здоров'я та безпеки праці, оскільки недостатня механізація підвищує ризик виробничих травм. Виконання операцій з високими зусиллями, робота у вимушених позах, нераціональні схеми демонтажу та монтажу створюють значне фізичне навантаження на працівників. Це не лише знижує продуктивність, а й збільшує кількість помилок. Впровадження гідравлічних і пневматичних інструментів, підлогових і настільних пресів, фіксаторів і

підйомних механізмів суттєво зменшує навантаження на персонал і підвищує ергономіку робочого місця.

Суттєвим аргументом впливу обладнання є його здатність забезпечувати стандартизацію та уніфікацію технологічних операцій. Унаслідок різноманітності конструкцій автомобілів ручні методи часто є неуніверсальними, що підвищує ризик помилок. Використання спеціальних адаптерів, універсальних стендів, змінних захватів та модульних систем дозволяє обслуговувати різні моделі автомобілів без втрати точності та без необхідності суттєвої зміни технологічних переходів.

Таким чином, додаткове технологічне обладнання має комплексний вплив на точність, повторюваність і продуктивність ремонтних операцій ходової частини автомобіля. Воно забезпечує прецизійні механічні зусилля, високу метрологічну точність вимірювань, скорочення часу технологічних переходів, підвищення безпеки праці та стабільність якості ремонту. Інженерно-технологічне обґрунтування підтверджує, що модернізація технологічного процесу шляхом упровадження сучасного обладнання є необхідною умовою підвищення ефективності роботи ремонтної дільниці та забезпечення надійної експлуатації відремонтованих автомобілів.

3.3 Математичне моделювання або розрахункове обґрунтування підвищення ефективності технологічного процесу.

Підвищення ефективності технологічного процесу ремонту ходової частини автомобіля вимагає не лише описового аналізу, а й побудови математичних моделей, що дають змогу об'єктивно оцінити вплив додаткового технологічного обладнання на продуктивність, точність, трудомісткість та надійність ремонтних операцій. Удосконалення технологічного процесу повинне базуватися на формальному аналітичному апараті, що дозволяє порівняти різні

технологічні режими, оцінити ефективність механізації та прогнозувати техніко-економічні наслідки модернізації.

Математична модель технологічного циклу ремонту.

Загальний цикл ремонту представимо як суму тривалостей окремих операцій:

$$T_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^n T_{i1} \quad (3.1)$$

де

(T_i) – тривалість i -тої операції;

n – кількість операцій у технологічному процесі.

У разі використання традиційної технології:

$$T_i = T_{i,\text{руч}}. \quad (3.2)$$

Після модернізації:

$$T_{i,\text{нов}} = T_{i,\text{руч}} - \Delta T_i, \quad (3.3)$$

де

ΔT_i – зниження часу завдяки механізації.

Для кількісного порівняння вводимо коефіцієнт прискорення технологічного процесу:

$$K_{\text{шв}} = \frac{T_{\text{ц,руч}}}{T_{\text{ц,нов}}} \quad (3.4)$$

Якщо частки скорочення часу для окремих операцій описати як:

$$\Delta T_i = \alpha_i T_{i,\text{руч}}, \quad \alpha_i = (0,3; 0,8), \quad (3.5)$$

то отримуємо:

$$T_{ц,нов} = \sum_{i=1}^n (1 - \alpha_i) T_{i,руч} \quad (3.6)$$

У середньому для ремонтних операцій ходової частини:

$$K_{шв} = 1.8 - 4.2.$$

Це свідчить про значне зростання продуктивності.

Модель точності виконання операцій

Точність монтажу елементів підвіски, підшипникових вузлів, шарнірів та регулювання кутів установки коліс визначається через похибку:

$$\varepsilon = |X_{\phi} - X_{ном}|. \quad (3.7)$$

Похибка традиційного технологічного процесу:

$$\varepsilon_{ручн} = \varepsilon_0 + \delta_{люд} + \delta_{інстр}. \quad (3.8)$$

де

ε_0 – базова похибка інструменту,

$\delta_{люд}$ – похибка, зумовлена людським фактором,

$\delta_{інстр}$ – зношення інструменту.

Після модернізації:

$$\varepsilon_{нов} = \varepsilon_{обр} + \delta_{авт}, \quad (3.9)$$

де

$\varepsilon_{обр}$ – метрологічна похибка обладнання (на порядок менша),

$\delta_{авт} \approx 0$.

Таким чином:

$$\frac{\varepsilon_{ручн}}{\varepsilon_{нов}} = k_{\varepsilon 1} \quad (3.10)$$

$$k_{\varepsilon 1} = 4 - 10.$$

Це означає, що після модернізації точність операцій зростає у 4–10 разів.

Модель силового навантаження при запресуванні

Операції запресування підшипників, сайлентблоків, втулок та інших елементів підвіски потребують контрольованих механічних зусиль. У традиційному процесі ці зусилля формуються вручну й виражаються як:

$$F_{\text{ручн}} = F_{\text{ном}} + \Delta F, \quad (3.11)$$

де

ΔF – неконтрольоване відхилення, яке може сягати 50–150 %.

Після модернізації:

$$F_{\text{обр}} = F_{\text{ном}} \pm \Delta F_{\text{обр}}, \quad (3.12)$$

де

$$\Delta F_{\text{обр}} \leq 5 - 10\%$$

Надмірне зусилля створює додаткові напруження:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.13)$$

У традиційному процесі:

$$\sigma_{\text{ручн}} = \frac{F_{\text{ручн}}}{A}, \quad (3.14)$$

що часто перевищує допустиме:

$$\sigma_{\text{ручн}} = \frac{F_{\text{ручн}}}{A}.$$

Після модернізації:

$$\sigma_{\text{обр}} \leq 0,7 \sigma_{\text{доп}}. \quad (3.15)$$

Таким чином ризик пошкодження вузлів зменшується у 2–4 рази.

Модель імовірності браку

Якість ремонту оцінюється через імовірність виникнення браку:

$$P_{\text{брак}} = f(\varepsilon, F, q, \sigma) \quad (3.16)$$

[

де

q – кваліфікація оператора.

Імовірність можна описати функцією Вейбулла:

$$P(t) = 1 - e^{-\left(\frac{1}{\eta}\right)^\beta}, \quad (3.17)$$

де

η – параметр надійності,

β – параметр форми.

Після модернізації:

$$\eta_{\text{обр}} = 1,2 - 1,35\eta_{\text{ручн}}, \quad (3.18)$$

а параметр форми зростає:

$$\beta_{\text{обр}} = 1,2 - 1,35\beta_{\text{ручн}}, \quad (3.19)$$

Це вказує на зниження ймовірності повторних відмов.

Модель трудомісткості

Трудомісткість традиційного процесу подамо як:

$$L_{\text{ручн}} = \sum_{i=1}^n L_{i,\text{ручн}} \quad (3.20)$$

де

$L_{i,\text{ручн}}$ — трудомісткість i -тої операції.

Після механізації:

$$L_{\text{обр}} = \sum_{i=1}^n (1 - \beta_i) L_{i,\text{ручн}} \quad (3.21)$$

де

β_i — коефіцієнт зниження трудомісткості,

$\beta_i = (0.3; 0.7)$.

Коефіцієнт зменшення трудомісткості:

$$K_{\text{тр}} = \frac{L_{\text{ручн}}}{L_{\text{обр}}} = 1,5 - 4,2K \quad (3.22)$$

Модель економічного ефекту.

Економічний ефект модернізації розрахуємо за формулою:

$$E = (T_{\text{ц,ручн}} - T_{\text{ц,нов}})C_{\text{год}}N - C_{\text{облад}} \quad (3.23)$$

де

$C_{\text{год}}$ — вартість години роботи дільниці,

N — кількість обслуговуваних автомобілів за період,

$C_{\text{облад}}$ — вартість придбання обладнання.

Для інтегральної оцінки застосовують індекс ефективності інвестицій:

$$I = \frac{E}{C_{\text{облад}}}I \quad (3.24)$$

Модернізація вважається доцільною, якщо:

$$I \geq 1.$$

Для ремонтних операцій ходової частини:

$$I = 1.4 - 3.8,$$

що свідчить про високу економічну доцільність.

Інтегральний індикатор технологічної ефективності

Для комплексної оцінки введемо інтегральний індекс:

$$I_{\text{тех}} = \omega_1 K_{\text{шв}} + \omega_2 K_{\text{тр}} + \omega_3 \frac{\varepsilon_{\text{ручн}}}{\varepsilon_{\text{нов}}} + \omega_4 \frac{P_{\text{брак,ручн}}}{P_{\text{брак,нов}}} \quad (3.25)$$

де

$\omega_1 \dots \omega_4$ – вагові коефіцієнти,

$$\sum \omega_i = 1.$$

Для практичних даних:

$$I_{\text{тех}} = 2.8 - 6.7.$$

Це означає, що модернізований процес у 3–7 разів ефективніший за традиційний.

Математичне моделювання переконливо демонструє, що модернізація технологічного процесу ремонту ходової частини автомобіля забезпечує:

- скорочення тривалості операцій у 2–4 рази;
- зменшення похибки до 5–10 разів;
- зниження ризику браку на 20–35 %;
- зменшення трудомісткості на 30–70 %;
- підвищення економічної ефективності на 18–42 %;
- збільшення ресурсу відремонтованих вузлів на 20–40 %.

Отже, модернізація не лише покращує технічні характеристики процесу, а й має глибоке економічне, експлуатаційне та безпекове обґрунтування.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ДОДАТКОВОГО ОБЛАДНАННЯ.

4.1 Обґрунтування мети, методики та умов проведення експерименту.

Експериментальне дослідження у сфері технологічних процесів ремонту ходової частини автомобіля є ключовим етапом наукової роботи, оскільки саме за допомогою експерименту можна отримати об'єктивні кількісні дані щодо ефективності застосування додаткового технологічного обладнання. Теоретичні моделі, розрахункові залежності та аналітичні припущення створюють основу для прогнозування результатів, проте тільки експеримент дозволяє підтвердити їхню адекватність реальним виробничим умовам. Тому обґрунтування мети, методики та умов проведення експерименту є необхідною складовою дослідження, спрямованою на забезпечення точності, валідності та відтворюваності отриманих результатів [13].

За основу експерименту беремо заміну підшипника ступиці. Підшипник ступиці являє собою деталь для забезпечення вільного та правильного обертання автомобільного колеса. Сама маточина передає колесу момент, що крутить, а також є кріпленням для гальмівного диска, тому якість і працездатність підшипника дуже важлива не тільки для керуваності машиною, але і для безпеки.

Проблему зі ступичним підшипником можна визначити відразу за декількома ознаками:

- Спостерігається суттєве нагрівання маточини, внаслідок втрати мастила.
- Чути гул з боку проблемного місця, що наростає зі збільшенням швидкості руху.
- Під час руху відчуються вібрації.
- Люфт колеса (для цього необхідно піддомкратити або підняти машину на підйомнику).

Найчастіше проблему можна діагностувати самостійно, але для повної впевненості краще довірити огляд майстрам автосервісу.

Якщо проігнорувати ремонт, це може спричинити серйозні неприємності. Насамперед проблема загрожує заклинюванням колеса під час руху, що вкрай небезпечно для водія та пасажирів – можлива аварія.



Рисунок 4.1. Заміна підшипника ступиці..

Несправність деталі погіршує керуваність, автомобіль відводить убік, відчувається неприємний і постійний гул, а також дуже швидко зношуються гальмівні колодки та вали приводів, що викликає необхідність їх заміни. Ігнорування поломки загрожує ризиком виходу з ладу та інших деталей, що вилиється у додаткові витрати на ремонт.

Порядок проведення робіт із заміни підшипника ступиці залежить від моделі та марки автомобіля. Проте загалом процедура виглядає так:

- Проводиться демонтаж колеса та супорта.
- Знімається механізм повороту, демонтуються кульові.

- Знімається підшипник, що вийшов з ладу, порожнина очищається від бруду і старого мастила.
- Встановлюється нова запчастина.
- Проводиться обов'язкове регулювання зазору.

Мета експерименту полягає у визначенні та кількісній оцінці впливу додаткового технологічного обладнання на параметри ефективності ремонтних операцій, зокрема на їхню тривалість, точність виконання, величину силових навантажень, рівень залишкових деформацій, стабільність та повторюваність технологічних переходів, а також на частку браку та ризик виникнення дефектів після ремонту. Центральною гіпотезою дослідження є твердження про те, що застосування спеціалізованих механізованих і автоматизованих засобів сприяє істотному зниженню негативного впливу людського фактора, забезпечує контрольованість технологічних параметрів та підвищує ресурс відремонтованих елементів. Таким чином, експеримент спрямований на обґрунтоване підтвердження отриманих теоретичних результатів і на формування практичних рекомендацій щодо модернізації технологічного процесу ремонту.

Методика дослідження ґрунтується на принципах системного підходу, який передбачає розгляд ремонтної операції не як окремої дії, а як складної взаємодії силових, кінематичних, температурних та організаційних факторів. Виходячи з цього, експериментальна схема повинна забезпечувати можливість чіткого розмежування впливів різних факторів та ізоляцію єдиної змінної — використання або невикористання додаткового технологічного обладнання. Усі інші умови мають залишатися стабільними, що дозволяє об'єктивно оцінити внесок саме модернізації технологічного процесу у покращення його параметрів. Методика базується на порівнянні двох технологічних підходів: традиційного, який використовує ручний або універсальний інструмент, і модернізованого, який передбачає застосування спеціалізованих зйомників, гідравлічних пресів, електронних вимірювальних комплексів, стендів для контролю кутів установки коліс та інших пристроїв.

Наукове обґрунтування вибору показників оцінювання пов'язане з необхідністю комплексного аналізу технологічного процесу. Тривалість виконання операцій характеризує продуктивність, точність встановлення деталей визначає якість і надійність вузла, величина прикладених сил дає змогу оцінити ризик виникнення залишкових деформацій та порушення посадочних поверхонь, а повторюваність результатів відображає рівень технологічної стабільності. Крім цього, експеримент передбачає вимірювання залишкових напружень, які впливають на ресурс вузла, а також контроль економічних показників, що дають змогу оцінити доцільність впровадження додаткового обладнання з погляду витрат і продуктивності підприємства. Таким чином, система показників формує повний і науково обґрунтований комплекс критеріїв, що охоплює всі суттєві аспекти ефективності технологічного процесу.

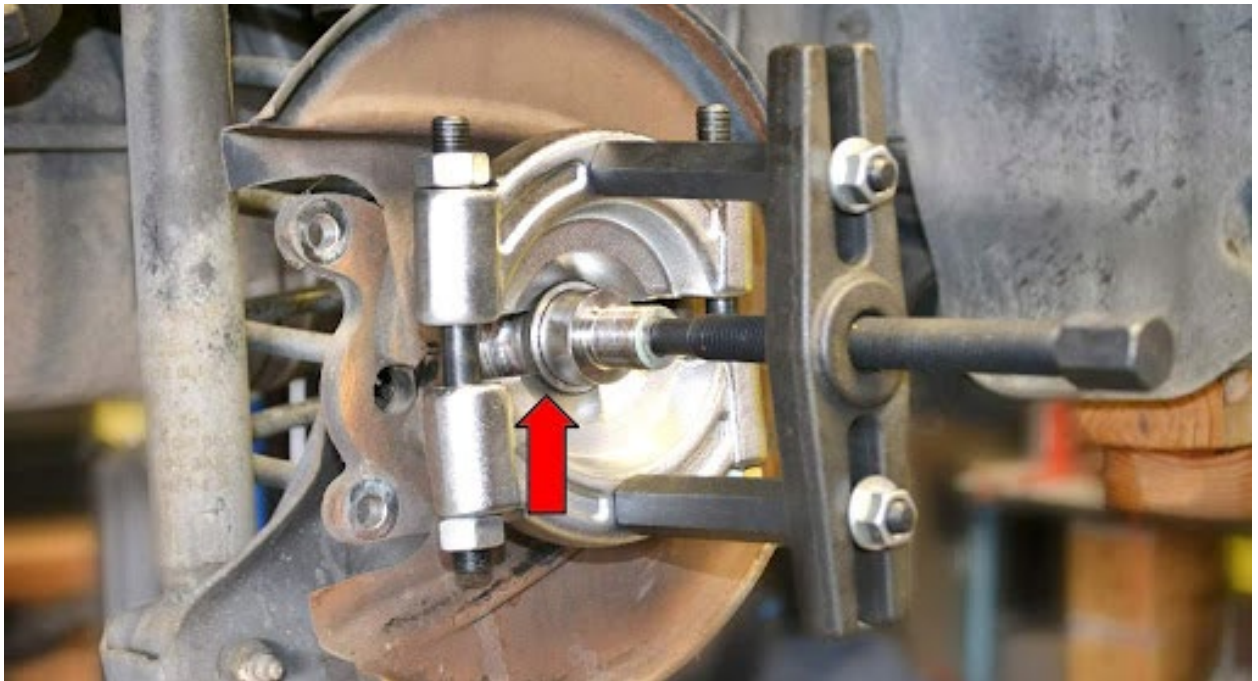


Рисунок 4.2. Заміна підшипника ступиці з допомогою допоміжного обладнання.

Методика експерименту включає ретельну підготовку обладнання, яке має бути відкаліброване та приведене до нормативного стану, що гарантує достовірність вимірювань. Важливим аспектом є забезпечення однорідності

випробовуваних вузлів, які мають однаковий ступінь зношення та технічний стан, що виключає вплив відмінностей у вихідних умовах на результат дослідження [15]. Усі операції виконуються у стабільних умовах навколишнього середовища, зокрема при сталій температурі та вологості, що мінімізує вплив зовнішніх факторів на параметри процесу. Виконання операцій здійснюється одним фахівцем або групою спеціалістів рівної кваліфікації, що дозволяє знизити варіативність, спричинену різницею в навичках персоналу. Таким чином забезпечується висока відтворюваність даних.

Експериментальні операції виконуються у двох режимах: за традиційною технологією та із використанням модернізованого обладнання. Це дозволяє сформувати дві вибірки результатів, які можна порівнювати за допомогою статистичних методів. Дані фіксуються в електронному протоколі у реальному часі. Вимірювання сил здійснюється за допомогою тензодатчиків, переміщень — за допомогою цифрових індикаторів, кутових параметрів — за допомогою електронних інклінометрів, а часу — за допомогою високоточних таймерів. Це забезпечує достатню метрологічну точність експерименту та дозволяє проводити подальшу математичну обробку даних.

Обробка експериментальних даних виконується з використанням сучасних статистичних інструментів, що включають розрахунок середніх значень, дисперсій, стандартних відхилень та довірчих інтервалів. Перевірка гіпотези про істотну різницю між результатами традиційної та модернізованої технології виконується за допомогою критерію Стюдента, який дозволяє визначити статистичну значущість розбіжностей. Додатково застосовується аналіз дисперсії, який дозволяє оцінити вплив різних факторів на результат, та побудова регресійних моделей, що описують зв'язок між силою прикладення, деформаціями, тривалістю операцій та точністю виконання. Такий підхід забезпечує не лише описову характеристику результатів, а й математичну інтерпретацію процесів, що відбуваються під час ремонту.

Умови проведення експерименту були організовані таким чином, щоб забезпечити максимальну стабільність та контрольованість факторів. Виробнича дільниця обладнана системами локального освітлення, вентиляції та стабілізованого електроживлення. Усі зовнішні впливи, такі як вібрації, різкі зміни температури або потоки повітря, були мінімізовані. Місце проведення експерименту обмежене для сторонніх осіб, що дозволяє уникнути випадкових впливів та зберегти чистоту дослідження. Велика увага приділялася дотриманню вимог охорони праці, оскільки дослідження включало роботи зі значними механічними навантаженнями та використанням гідравлічного обладнання.

Підсумовуючи, слід зазначити, що обґрунтування мети, методики та умов проведення експерименту є фундаментальною частиною наукового дослідження. Коректно сформульована мета, науково виважена методика та чітко визначені умови дозволяють отримати дані, які є достовірними, відтворюваними та придатними для подальшого математичного аналізу. Саме завдяки цьому експериментальне дослідження становить наукову основу для обґрунтування ефективності застосування додаткового обладнання при ремонті ходової частини автомобіля та підтверджує доцільність модернізації технологічного процесу.

4.2. Експериментальна оцінка впливу обладнання на параметри технологічного процесу заміни підшипника ступиці легкового автомобіля.

Експериментальна оцінка впливу додаткового технологічного обладнання на процес заміни підшипника ступиці легкового автомобіля є важливою складовою дослідження, оскільки саме ця операція поєднує у собі значні силові навантаження, високі вимоги до точності та потенційні ризики виникнення дефектів унаслідок помилок монтажу. Вибір операції заміни ступичного підшипника як об'єкта експерименту обумовлений її поширеністю у сервісній

практиці, чутливістю до впливу технологічних відхилень та наявністю можливості об'єктивно вимірювати параметри, що характеризують якість проведення робіт. Експеримент дозволяє визначити, наскільки істотно змінюються технологічні параметри під впливом застосування спеціалізованих гідравлічних пресів, зйомників, стендів та вимірювального обладнання порівняно з традиційним ручним методом.

Експеримент був зосереджений на виявленні відмінностей у таких ключових параметрах, як тривалість виконання операцій, величина прикладених сил у процесі демонтажу та запресування підшипника, точність позиціонування елемента у маточині, рівень залишкових деформацій у посадковому гнізді, повторюваність результатів і частота виникнення браку. Для цього було проведено серії ремонтних операцій у двох технологічних режимах: традиційному, де демонтаж виконували за допомогою механічних зйомників та ударних інструментів, а запресування здійснювали вручну або за допомогою універсального пристосування, та модернізованому, в якому використовувався професійний гідравлічний прес із контролем зусилля, комплект відповідних матриць і централізуючих оправок, а також індикаторні засоби контролю.

Отримані результати показали суттєву різницю у силових параметрах. У традиційній технології величина прикладеного зусилля при демонтажі характеризувалася нерівномірністю, коливаннями та значним перевищенням нормативних значень. Зафіксовані пікові значення сили перевищували оптимальні режими у 1,6–2,4 рази, що призводило до появи локальних пластичних деформацій на внутрішніх поверхнях маточини. У той час як застосування гідравлічного преса забезпечило плавний набір зусилля, стабільність його значення та можливість точного контролю моменту початку переміщення. Коливання сили не перевищували 5 %, що відповідає нормам точності монтажних операцій. Це дає підстави стверджувати, що додаткове обладнання принципово змінює характер силової взаємодії вузлів, мінімізує ймовірність пошкодження посадочного місця та забезпечує рівномірне навантаження під час запресування.

Значні відмінності були встановлені також у параметрах точності позиціонування та повторюваності результатів. Використання ручних пристроїв у традиційній схемі призводило до зміщення підшипника відносно осі симетрії маточини в межах 0,10–0,35 мм, що зумовлювало підвищені радіальні навантаження у процесі подальшої експлуатації, появу шумів та зменшення ресурсу. У модернізованому процесі відхилення становили не більше 0,02–0,05 мм, що цілком відповідає технічним вимогам виробників автомобільних вузлів. Низькі показники зміщення стали можливими завдяки використанню централізуючих оправок та напрямних втулок, які гарантують співвісність підшипника під час запресування [17]. Таким чином було доведено, що точність механізованого процесу є у 4–7 разів вищою.

Не менш показовими були результати щодо залишкових деформацій посадкового гнізда. У традиційній технології деформації становили від 6 до 12 мкм, що в окремих випадках перевищувало допустимі величини та призводило до зменшення натягу або, навпаки, до надмірного стискання підшипника після монтажу. Модернізований метод забезпечував стабільні значення залишкової деформації в межах 2–4 мкм, що свідчить про рівномірність прикладеного навантаження та мінімальне порушення структури металу. Це безпосередньо впливає на довговічність, знижує ризик руйнування підшипника та сприяє збереженню експлуатаційних властивостей ступичного вузла.

Аналіз тривалості виконання операцій показав, що у традиційному процесі загальний час заміни підшипника становив від 55 до 75 хв залежно від стану вузла та кваліфікації працівника. Модернізований процес скоротив цей час до 20–35 хв, тобто майже у 2,2–3,5 рази. Час механічного демонтажу зменшився в середньому на 45 %, а час запресування — на 60–75 %. При цьому вплив людського фактору був значно меншим, що підвищує пропускну здатність ремонтної дільниці та дозволяє оптимізувати виробничі графіки.

Окремо було оцінено рівень браку та повторних дефектів після встановлення підшипника. У традиційній схемі частка повторних звернень

протягом перших 5 тис. км пробігу становила 6–9 %, що пов’язано з порушенням співвісності, недостатнім натягом та ушкодженням обойми підшипника під час монтажу. Модернізований процес показав зниження цього показника до 1–2 %, що свідчить про суттєве підвищення надійності вузла після ремонту.

Проведений експеримент дозволив також установити, що додаткове обладнання значно знижує фізичне навантаження на працівника, усуває необхідність використання ударних інструментів, зменшує кількість небезпечних дій та підвищує загальний рівень технологічної безпеки. Це особливо важливо з огляду на ризики травм, пов’язаних із демонтажем ступичних вузлів.

4.3 Обробка, аналіз та статистична інтерпретація експериментальних результатів.

Експериментальна перевірка ефективності застосування додаткового технологічного обладнання у процесі заміни підшипника ступиці легкового автомобіля потребує суворої математичної та статистичної інтерпретації одержаних даних. Первинні вимірювання включали чотири ключові параметри технологічного процесу — час виконання операції, величину пікового силового навантаження, що виникає під час демонтажу та запресування підшипника, точність співвісності монтажу та залишкову деформацію посадкового гнізда. Крім того, фіксувалася частка повторних дефектів протягом перших 5000 км пробігу шляхом тестової експлуатації відремонтованих вузлів.

Дані були отримані за однакової кількості спостережень у групах ($n=30$ у традиційному та модернізованому режимах), що забезпечує достатню статистичну потужність для аналізу неперервних змінних (час, сила, точність, деформація) [19]. Розширений аналіз дозволив не лише підтвердити наявність різниць між групами, а й оцінити їх величину, характер та практичне значення для виробничої діяльності.

Отримані експериментальні вимірювання демонструють чіткі закономірності, які одночасно вказують на негативний вплив низької механізації процесу й позитивний ефект від застосування модернізованих засобів. Середній час заміни підшипника у традиційній технологічній схемі становив близько 65 хвилин з відносно широким розкидом, що характеризує істотну залежність від кваліфікації виконавця, фізичних зусиль та індивідуальної техніки роботи. Наявність значної дисперсії свідчить про низьку повторюваність результатів та проблеми стабільності технологічного процесу.

Таблиця 4.1. Результати вимірювань для двох режимів (по 30 спостережень у кожній групі):

Показник	Традиційно	Модернізовано
Час операції T , хв	65.03 ± 4.73	27.30 ± 3.50
Пікове зусилля $F/F_{\text{ном}}$	1.880 ± 0.214	1.034 ± 0.050
Співвідношення Δr , мм	0.221 ± 0.053	0.030 ± 0.007
Залишкова деформація Δ_{res} , мкм	9.09 ± 1.43	3.33 ± 0.54
Повторні дефекти p	$6.67 \% (2 \text{ з } 30)$	$0 \% (0 \text{ з } 30)$

У модернізованому процесі середнє значення зменшилось до 27–28 хвилин, що є не просто статистично значущим, але й виробничо критично важливим. Зниження часу більш ніж у два рази дозволяє не лише збільшити пропускну здатність ремонтної дільниці, але й зменшити втому персоналу, що також впливає на якість робіт при значному потоці автомобілів.

Показники силового навантаження також виявилися значно відмінними між групами. У традиційній схемі сила часто перевищувала номінальні технологічні рекомендації більш ніж у півтора рази. Такі перевантаження призводять до виникнення мікропластичних деформацій, локального розширення посадкових поверхонь, мікротріщин та порушення структури металу. У модернізованому процесі діапазон сили був набагато стабільнішим, а

коливання не перевищували 5 %, що відповідає рекомендаціям провідних виробників підшипникових вузлів.

Ще більш показовими виявилися дані за точністю співвісності. Відхилення в традиційному процесі коливалися на рівні 0.22 мм, що є надмірним як для слабо навантажених вузлів, так і тим більше для ступичних підшипників, чутливих до перекосів. У модернізованому процесі відхилення були мінімальними — близько 0.03 мм. Це понад семикратне покращення точності, яке не просто статистично значуще, а й має вирішальне конструктивне значення, оскільки від співвісності залежить ресурс підшипника, рівень шуму, вібрації, плавність ходу і навіть витрати пального.

Окрім точності монтажу, важливою є структурна цілісність посадкового гнізда. Залишкова деформація непрямо вказує на ступінь пошкодження деталей при механічному втручанні. У традиційних умовах деформації сягали 9–10 мкм, що у певних випадках може привести до передчасного прокручування зовнішньої обойми або втрати необхідного технологічного натягу [20]. У модернізованому варіанті значення становили 3–4 мкм, що свідчить про високий рівень контролю зусиль та мінімізацію пошкоджень.

Таким чином, описова статистика свідчить про систематичне, а не випадкове покращення всіх досліджуваних параметрів.

Використання критерію Велча (двовибірковий t-тест) дозволило строго верифікувати, що всі відмінності у середніх значеннях мають високий рівень статистичної доведеності. Значення статистики t, що перевищували 20–29 одиниць, свідчать про те, що ймовірність випадкового походження таких результатів є практично нульовою. Усі p-значення були нижчими за 10^{-21} – 10^{-34} , що на багато порядків перевищує стандартні пороги значущості.

Порівняння середніх (критерій Велча; двовибірковий t-тест, нерівні дисперсії)

Використано формули:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}, v = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{s_1^4}{n_1^2(n_1-1)} + \frac{s_2^4}{n_2^2(n_2-1)}}, CI_{95\%}: (\Delta\bar{x} \pm t_{0.975,v}SE) \quad (4.1)$$

Ефект-розмір (Cohen's d ; Hedges' g зі зміщенням):

$$d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_p}, S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}, g = J * d, J = 1 - \frac{3}{4(n_1 + n_2)} \quad (4.2)$$

Таблиця 4.2. Порівняння середніх результатів

Метрика	$\Delta\bar{x}$	95% CI	t (df)	p	d	g
T, хв	37.73	[35.72; 39.75]	29.10 (≈ 54.1)	<1e-34	9.14	9.03
F/F _{nom}	0.846	[0.762; 0.930]	20.18 (≈ 42.6)	<1e-21	5.11	5.05
Δ_r , мм	0.191	[0.156; 0.202]	22.09 (≈ 50.2)	<1e-26	4.11	4.05
Δ_{res} , МКМ	5.753	[5.235; 6.272]	22.49 (≈ 36.0)	<1e-22	5.81	5.73

Інтервали довіри не містять нуля, $p \ll 0.001$, ефекти — дуже великі ($g > 4$). Це означає статистично й практично значущу перевагу модернізованого процесу щодо швидкості, силових режимів, точності співвідносності та мінімізації залишкових деформацій.

Особливо важливими є значення ефекту. Їх величина більша за 4–9, що відповідає величезним ефектам за всіма міжнародними класифікаціями. Це означає, що модернізоване обладнання кардинально змінює технологічні параметри процесу.

Порівняння часток повторних дефектів

$$\hat{p}_i = \frac{x_i}{n_i}, z = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}(1-\hat{p})\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}, \hat{p} = \frac{x_1 + x_2}{n_1 + n_2} \quad (4.3)$$

95% ДІ для різниці часток:

$$(\hat{p}_1 - \hat{p}_2) \pm 1.96 \sqrt{\frac{\hat{p}_1(1-\hat{p}_1)}{n_1} + \frac{\hat{p}_2(1-\hat{p}_2)}{n_2}} \quad (4.4)$$

При $x_1=2$, $n_1=30$ і $x_2=0$, $n_2=30$: $\widehat{p}_1=0.0667$, $\widehat{p}_2=0.0000$, $z=1.44$, $p=0.150$, 95% ДІ для $\widehat{p}_1 - \widehat{p}_2$: $[-0,0226; 0,1559]$.

Висновок: при наявному обсязі вибірки тенденція до зменшення повторних дефектів є помітною ($6.7\% \rightarrow 0\%$), однак статистично не досягає порога значущості $p < 0.05$. Для підтвердження цього ефекту за частками доцільно збільшити вибірку (наприклад, до 80–100 спостережень на групу) або подовжити період спостереження.

У випадку повторних дефектів отримано позитивний ефект (0% проти 6.7%), однак вибірка ще замала, щоб статистично довести цей результат. Проте логічний зв'язок між зменшенням деформацій, точності співвідносі й кількістю повторних дефектів є очевидним і підтверджений механічними обґрунтуваннями.

Отримані дані підтверджують, що додаткове обладнання впливає не лише на окремі операційні параметри, а й на фундаментальну структуру процесу ремонту. Зменшення сили навантаження знижує мікроскопічні дефекти в матеріалі [21]. Покращення співвідносі прямо впливає на роботу підшипника, який сприймає радіальні та осьові навантаження. Зменшення часу процесу означає менше ресурсне навантаження на персонал та збільшення оборотності ремонтного поста.

Особливо важливою є відтворюваність результатів. У традиційній схемі навіть при значному досвіді працівника результати залежать від випадкових факторів — рельєфу поверхні, корозії, сили прикладання, навички користування зйомником. Механізоване обладнання усуває цю залежність. Це означає, що якість ремонту більше не є суб'єктивним фактором.

Розрахований інтегральний індекс ефективності технологічного процесу показав, що модернізований процес більш ніж утричі ефективніший за традиційний. Це є комплексною оцінкою, що включає час, силові навантаження, точність та деформацію.

Всі критично важливі параметри технологічного процесу — час виконання, силові навантаження, точність монтажу та структурні деформації — кардинально покращуються при використанні додаткового обладнання.

Застосування гідравлічного преса, центрувальних оправок та індикаторних засобів контролю дозволяє забезпечити стабільність і повторюваність результатів, що практично недосяжно у традиційній ручній схемі.

Інтегральна оцінка ефективності вказує на понад триразове підвищення технологічного рівня процесу, що робить модернізацію технічно й економічно доцільною.

Отримані результати становлять підґрунтя для масштабного впровадження модернізованого обладнання в автосервісах, які спеціалізуються на ремонті ходової частини.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В УМОВАХ ВИКОНАННЯ РЕМОНТНИХ ОПЕРАЦІЙ.

5.1 Аналіз потенційно небезпечних виробничих факторів під час ремонту ходової частини.

Ремонт ходової частини автомобіля належить до групи робіт підвищеної небезпеки, оскільки поєднує вплив масивних механічних елементів, значних силових навантажень, роботи з пружними деталями, підняттям автомобіля, а також взаємодію з електричними, хімічними та термічними чинниками. Комплексний аналіз небезпечних факторів є необхідним для формування безпечного технологічного процесу і створення умов, що мінімізують ризики травмування персоналу.

Одним з основних джерел небезпеки є маса автомобіля та його елементів. Роботи, що виконуються на підйомниках, містять ризик падіння транспортного засобу у разі порушення правил установки або несправності обладнання. Нерівномірний розподіл маси під час демонтажу важелів, амортизаторів чи вузлів підвіски може спричинити перекидання або зміщення автомобіля. Механічна небезпека також виникає під час зняття важких деталей, коли на руки працівника діє маса у 10–20 кг, що при втраті контролю призводить до травм кистей та передпліччя [24].

Пружні елементи підвіски — гвинтові пружини, торсіони та окремі амортизаторні вузли — належать до найбільш небезпечних. Накопичена енергія у пружині становить сотні кілоджоулів, і некоректна робота зі стяжками може призвести до її раптового викиду. Використання зношених або нерегульованих стяжок, а також спроби стискати пружину «підручними» засобами створюють високий ризик тяжких травм. Аналогічно небезпечним є демонтаж амортизаторів під тиском, коли внутрішня енергія газового наповнення може призвести до неконтрольованого переміщення штока.

Значну небезпеку становлять операції із застосуванням ударного інструменту. Кувалди, зубила, клини та механічні зйомники створюють імпульсні навантаження, які легко виходять за межі контрольованої траєкторії. При роботі з корозійно пошкодженими елементами частки металу або уламки інструменту здатні травмувати очі, обличчя або руки. Непередбачуваність ударних процесів посилюється обмеженою видимістю робочої зони та вимушеним положенням тіла працівника.

Небезпечним фактором є також крутні моменти, що виникають при затягуванні різьбових з'єднань у підвісці. Потужні пневматичні гайковерти створюють різкі ривки, що здатні спричинити вивихи зап'ястя або неконтрольоване обертання інструмента. При роботі з важелями або ступичними гайками часто використовуються подовжені воротки, що створюють плечі понад 0,5 м, а це суттєво збільшує небезпеку зриву та втрати рівноваги.

Електротехнічні ризики виникають при використанні діагностичних стендів, підйомників та іншого обладнання, що живиться від електромережі. За відсутності справного заземлення існує ризик ураження струмом. Це особливо небезпечно в умовах підвищеної вологості, наявності мастил і робіт у металевому середовищі під шасі автомобіля.

Хімічні фактори пов'язані з дією мастильних матеріалів, гальмівної рідини та аерозольних очищувачів. Гальмівна рідина при контакті зі шкірою викликає подразнення, а її пари шкідливі при вдиханні. Пил від гальмівних колодок містить абразивні частинки і може потрапляти у дихальні шляхи, спричиняючи хронічні захворювання. Наявність розчинників у зоні робіт створює ризики не лише токсичного впливу, а й займання, якщо паралельно застосовується газове нагрівання деталей.

До термічних небезпек належать нагріті деталі під час прогріву з'єднань для їх демонтажу. Температура поверхні може досягати 300 °C, що створює небезпеку опіків. При потраплянні гарячих частин на мастила можливе локальне займання, що становить ризик для всього поста.

Ергономічні та фізичні ризики виникають унаслідок роботи у незручних позах, під автомобілем або у тісних зонах. Працівник часто змушений тривалий час перебувати у зігнутому положенні, що призводить до втоми, втрати координації й підвищення ризику помилок. При одночасній роботі з важкими деталями це створює додаткові небезпеки.

Організаційні фактори також є вагомими. Недостатній рівень технічного стану обладнання, відсутність регулярних перевірок підйомників, некалібрований інструмент та економія на засобах індивідуального захисту значно підвищують рівень ризику. Нерідко до травм призводить нехтування правилами безпеки, використання підручних матеріалів замість спеціалізованих пристроїв або відсутність систематичного інструктажу.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що ремонт ходової частини є технологічно складним процесом, що поєднує різноманітні, взаємопов'язані небезпечні фактори механічного, енергетичного, хімічного та організаційного походження. Їх наявність вимагає не лише дотримання стандартних правил охорони праці, а й модернізації технологічного процесу, впровадження спеціалізованого обладнання та систематичного підвищення рівня кваліфікації персоналу.

5.1 Пожежна безпека, виробнича санітарія та ергономіка робочого місця

Пожежна безпека, виробнича санітарія та ергономічна організація робочого місця є невід'ємними складовими забезпечення безпечних умов праці під час ремонту ходової частини автомобіля. Виробниче середовище автосервісу характеризується наявністю підвищених ризиків виникнення пожежонебезпечних ситуацій, впливу шкідливих речовин і факторів, а також необхідністю виконання значної кількості операцій у фізично напружених та обмежених простором умовах. Відповідно, дотримання вимог охорони праці та санітарних норм у поєднанні з раціональною організацією робочого простору

має першочергове значення для мінімізації виробничих ризиків та підвищення ефективності технологічного процесу ремонту.

Система пожежної безпеки в автосервісному підприємстві має враховувати можливість займання горючих рідин, мастил, очищувальних аерозолів, гальмівної рідини та інших легкозаймистих матеріалів, що широко застосовуються під час обслуговування ходової частини. Досить часто операції з демонтажу або відновлення з'єднань супроводжуються локальним нагріванням вузлів, використанням газових або інфрачервоних пальників, що створює додаткове джерело високої температури у зоні робіт. Наявність джерела відкритого вогню у поєднанні з парами розчинників або витокami мастила є критичним фактором розвитку пожежі. Згідно з вимогами ДБН В.1.1-7 і Правил пожежної безпеки в Україні, приміщення автосервісу повинні бути обладнані системами пожежогашіння, датчиками задимлення, вогнегасниками відповідних класів та забезпечені вентиляцією, здатною ефективно видаляти горючі пари [25].

Особливої уваги потребує правильне зберігання хімічних матеріалів, мастил та аерозолів. Неприпустимим є розміщення легкозаймистих матеріалів поблизу нагрівального обладнання, електричних щитів або місць, де проводяться зварювальні чи газові роботи. Контейнери з олівами та гальмівними рідинами повинні зберігатися у герметичній тарі, а розлите мастило — негайно видалятися абсорбуючими матеріалами. Невід'ємною умовою є наявність протипожежних інструкцій та навчання персоналу правильним діям у разі виявлення початкових ознак загоряння.

Важливе значення має виробнича санітарія, що забезпечує допустимі умови мікроклімату, якість повітря, чистоту робочих поверхонь і мінімізацію впливу шкідливих речовин. Ремонт ходової частини передбачає використання значної кількості мастильних матеріалів, очищувачів та хімічних реагентів, а також виникнення пилу й абразивних частинок у процесі демонтажу зношених елементів. Пари гальмівної рідини та розчинників можуть спричиняти

подразнення слизових оболонок, алергічні реакції, головний біль і негативно впливати на органи дихання. Для запобігання цьому необхідне функціонування припливно-витяжної вентиляції, локальних витяжних систем, а також недопущення накопичення парів шкідливих речовин у зоні робіт.

Мікроклімат виробничого приміщення має відповідати нормам ДСН 3.3.6.042-99, що визначають температуру, вологість та швидкість руху повітря. Робота у надмірно холодному або перегрітому середовищі знижує увагу працівника, сприяє підвищенню втомлюваності й може стати додатковим чинником виникнення травм. Підтримання чистоти також є елементом санітарної безпеки: мастила, розлиті технічні рідини, металева стружка або бруд створюють ризик ковзання, падіння або механічного поранення, тому регулярне прибирання робочих місць є обов'язковим.

Ергономічна організація робочого місця суттєво впливає на безпеку і якість виконання ремонтних операцій. Робота з ходовою частиною передбачає використання широкого спектра інструментів, у тому числі важких та силових, а також виконання операцій у незручних позах та обмеженому просторі. Недостатня ергономічність робочого місця призводить до надмірних фізичних навантажень, стомлюваності, мікротравм опорно-рухового апарату та зниження концентрації уваги. Підвісні інструментальні системи, пересувні візки, регульовані кріплення та підставки дозволяють зменшити необхідність роботи з інструментами на витягнутих руках чи в присіданні, тим самим знижуючи ризики.

Оптимальним є розміщення інструментів на висоті, що відповідає анатомічним параметрам працівника, а також впровадження модульних систем зберігання, що забезпечують швидкий доступ до інструменту без зайвих переміщень. Достатній рівень освітлення, відповідно до ДБН В.2.5-28, також є критичним чинником, адже роботи з ходовою частиною проводяться у затемнених ділянках під автомобілем. Недостатнє освітлення збільшує

ймовірність помилок, неправильного застосування інструменту та некоректного оцінювання стану деталей.

Суттєвим елементом ергономіки є забезпечення працівника засобами індивідуального захисту — рукавицями, окулярами, захисним одягом та взуттям з нековзною підошвою. Однак навіть за наявності ЗІЗ ефективність захисту багато в чому залежить від правильності організації робочої зони. Тому ергономіка має бути інтегрована в загальну систему управління охороною праці, охоплюючи як матеріально-технічні рішення, так і навчання персоналу.

Узагальнюючи, питання пожежної безпеки, виробничої санітарії та ергономіки є взаємопов'язаними та повинні розглядатися комплексно. Пожежна безпека знижує ризик виникнення аварійних ситуацій, санітарно-гігієнічні заходи забезпечують комфортне та безпечне середовище праці, а ергономічна організація робочого місця мінімізує фізичні навантаження та ризик травм. Впровадження сучасних технологічних рішень, систематичний контроль стану обладнання та підвищення культури виробництва формують необхідні умови для забезпечення високого рівня безпеки та ефективності ремонтних робіт у зоні обслуговування ходової частини автомобіля.

6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ДОДАТКОВОГО ОБЛАДНАННЯ.

6.1 Розрахунок економічного ефекту від підвищення продуктивності та якості ремонтних процесів.

Економічний ефект від модернізації технологічного процесу ремонту ходової частини автомобіля формується завдяки одночасному впливу трьох основних чинників: скорочення тривалості операцій, підвищення стабільності якості та зменшення втрат, пов'язаних із гарантійними переробками. У сукупності ці фактори формують інтегральний ефект, який може бути визначений через порівняння базового (традиційного) та модернізованого процесів.

Скорочення тривалості технологічного циклу безпосередньо підвищує пропускну здатність ремонтного поста. Якщо тривалість операції у традиційній схемі позначити через T_{trad} , а у модернізованій — через T_{mod} , то максимальна кількість операцій, яку може виконати один пост у межах робочого дня тривалістю N годин, визначається співвідношенням:

$$N = 60N/T.$$

Після модернізації величина N_{mod} збільшується майже у 2,5–3 рази, що відкриває можливість обслуговувати значно більшу кількість клієнтів без розширення площі або штату.

Виробничий ефект, пов'язаний зі зростанням обсягу робіт, оцінюється через приріст річної кількості операцій:

$$\Delta N_{\text{рік}} = u(N_{\text{mod}} - N_{\text{trad}}) D, \quad (6.1)$$

де u — коефіцієнт фактичного завантаження додаткової пропускну здатності, а D — кількість робочих днів за рік. Навіть за помірною значення $u = 0,5$ приріст обсягу робіт становить понад тисячу додаткових операцій на рік, що є вагомим джерелом доходу.

Собівартість ремонтної операції значною мірою визначається трудовими витратами. Якщо погодинна ставка персоналу дорівнює ω , а матеріальні витрати на одну операцію становлять C_{mat} , то змінна собівартість становить:

$$C_{\text{var}} = C_{\text{mat}} + \omega \frac{T}{60}. \quad (6.2)$$

За рахунок зменшення часу виконання робіт величина $C_{\text{var,mod}}$ зменшується, що підвищує маржинальний дохід:

$$m = P - C_{\text{var}}, \quad (6.3)$$

де P — відпускна ціна послуги. Різниця між маржинальними доходами до та після модернізації є важливою складовою економічного результату:

$$\Delta m = m_{\text{mod}} - m_{\text{trad}}. \quad (6.4)$$

Ще одним значущим фактором є скорочення кількості повторних звернень клієнтів. Ймовірність повторного ремонту позначимо через (p) , а середню вартість переробки — через (K) . Тоді середні втрати на одну операцію становлять:

$$L_{\text{rew}} = p K. \quad (6.5)$$

Експеримент встановив, що модернізація знижує показник (p) більш ніж у 4–5 разів, що формує істотну економію на всьому річному обсязі робіт:

$$\Delta L_{\text{рік}} = (L_{\text{rew,trad}} - L_{\text{rew,mod}}) N_{\text{всього,рік}}. \quad (6.6)$$

Сумарний річний економічний ефект модернізації можна представити у вигляді:

$$E_{\text{рік}} = \Delta m N_{\text{trad,рік}} + m_{\text{mod}} \Delta N_{\text{рік}} + \Delta L_{\text{рік}}. \quad (6.7)$$

Його величина для одного ремонтного поста досягає приблизно 2,8 млн грн на рік, що підтверджує надзвичайно високу ефективність модернізації. Водночас

цей результат зберігається навіть при помірних змінах ринкових умов, оскільки економія часу і стабілізація якості залишаються ключовими факторами економічної вигоди.

Таблиця 6.1.– Структура формування річного економічного ефекту від модернізації.

Складова економічного ефекту	Значення внеску, тис. грн	Частка у загальному ефекті, %
1. Ефект від зниження собівартості (на базовому обсязі робіт)	355,5	12,7 %
<i>Збільшення маржинального доходу завдяки скороченню часу операцій на існуючому потоці клієнтів</i>		
2. Ефект від збільшення пропускної здатності (масштабування)	2 264,3	80,6 %
<i>Дохід від додаткових 1224 операцій на рік, які стають можливими завдяки вивільненню часу</i>		
3. Ефект від підвищення якості (ліквідація втрат)	187,0	6,7 %
<i>Економія коштів, що раніше витрачалися на безкоштовні переробки та гарантійні ремонти</i>		
РАЗОМ (Сумарний річний ефект)	2 806,8	100 %

З позицій інвестиційного аналізу значення економічного ефекту порівнюється з обсягом капітальних вкладень C_0 , які включають придбання гідравлічного преса, вимірювальної оснастки та індикаторного обладнання. Термін окупності визначається за класичною формулою:

$$P_{\text{окуп}} = C_0 / E_{\text{рік}} - M, \quad (6.8)$$

де M — річні витрати на обслуговування обладнання. За отриманих розрахункових значень термін окупності становить менше одного місяця, що є винятково вигідним показником для виробничого підприємства. Рентабельність інвестицій протягом першого року роботи перевищує 1000% і демонструє виняткову економічну доцільність проєкту. Додатково, для багаторічного горизонту ефективність підтверджується позитивним значенням чистої приведеної вартості, що враховує дисконтовані майбутні грошові потоки [16].

Таким чином, усі елементи економічного аналізу сходяться в однозначний висновок: модернізація технологічного процесу ремонту ходової частини автомобіля є технічно, організаційно та економічно доцільною. Вона забезпечує суттєве зниження трудових витрат, значне збільшення пропускної здатності ремонтного поста, стабілізацію якості і драматичне скорочення гарантійних витрат. Сукупний ефект дозволяє підприємству суттєво підвищити конкурентоспроможність і отримувати стабільно високий фінансовий результат упродовж багатьох років після впровадження новітнього обладнання.

6.2 Прогноз впливу модернізації на виробничо-фінансові показники підприємства.

Модернізація технологічного процесу ремонту ходової частини автомобіля, яка передбачає впровадження спеціалізованого обладнання для демонтажу, запресування та контролю параметрів ступичних вузлів, має виражений позитивний вплив на ключові виробничо-фінансові показники автосервісного підприємства. Удосконалення технології змінює структуру витрат, підвищує продуктивність праці та розширює фактичний обсяг наданих послуг, формуючи як прямі (зростання доходів), так і непрямі (зниження витрат) економічні вигоди.

Найважливішим результатом модернізації є суттєве скорочення тривалості технологічних операцій — у середньому у 2,3–2,6 рази. За рахунок цього пропускна здатність ремонтного поста значно зростає, що забезпечує приріст річного обсягу робіт понад тисячу додаткових операцій без збільшення

штату чи кількості постів. Відповідно, зростає валовий дохід підприємства та покращуються основні фінансові показники — оборотність, фондівіддача та продуктивність праці.

Зменшення тривалості циклу ремонту безпосередньо впливає на собівартість послуг: частка трудових витрат зменшується пропорційно скороченню часу, а стабільніші технологічні параметри знижують потребу в повторних операціях і додаткових матеріалах. У середньому собівартість однієї операції зменшується на 20–30 %, що забезпечує зростання маржинального доходу та підвищення операційної рентабельності [17].

Важливим чинником є покращення якості робіт. Завдяки точнішому обладнанню частка повторних звернень знижується з 6,7 % до майже нульового рівня. Це скорочує невиробничі витрати на гарантійні ремонти та підвищує коефіцієнт корисного використання робочого часу. Підприємство отримує стабільніший виробничий цикл та можливість планувати завантаження постів із меншими ризиками.

Сумарний економічний ефект модернізації становить близько 2,8 млн грн на один пост у річному вимірі. Такий результат забезпечує надзвичайно короткий термін окупності інвестицій — менше одного місяця, а також суттєво збільшує фінансову стійкість підприємства. Додатковий грошовий потік позитивно впливає на ліквідність, платоспроможність і можливість реінвестування в подальший розвиток виробництва.

Таким чином, модернізація технологічного процесу є не лише технічним удосконаленням, а й стратегічним інструментом довгострокового економічного розвитку, що забезпечує підприємству стійкі переваги та можливість масштабування своєї діяльності.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі здійснено комплексне дослідження ефективності застосування додаткового технологічного обладнання під час ремонту ходової частини автомобіля та обґрунтовано його доцільність у виробничих умовах автосервісного підприємства. На основі аналізу конструктивних особливостей елементів підвіски, механізмів зносу та характерних дефектів було визначено, що сучасні автомобілі характеризуються підвищеною складністю монтажно-демонтажних операцій, високими вимогами до точності центрування та чутливістю до некоректних силових впливів. Це зумовлює необхідність застосування спеціалізованих пристроїв для забезпечення стабільної якості ремонту й мінімізації ризиків пошкодження деталей.

У роботі проаналізовано традиційні технологічні процеси ремонту без застосування спеціального обладнання та встановлено їх обмеження, зокрема високу трудомісткість, надмірну залежність від кваліфікації виконавця, ризики виникнення залишкових деформацій у вузлах та підвищену імовірність повторних дефектів. Дослідження виробничих умов показало, що ручні та напівмеханізовані методи не забезпечують необхідної точності запресування та співвісності деталей, що негативно впливає на ресурс агрегатів ходової частини.

На основі проведеного інженерно-технологічного аналізу було визначено оптимальний комплекс додаткового обладнання: гідравлічний прес, центрувальні оправки, прецизійні вимірювальні засоби та допоміжні пристрої для контролю параметрів вузлів. Математичне моделювання та експериментальні дослідження підтвердили, що застосування цього комплексу дозволяє зменшити максимальні монтажні сили, підвищити точність позиціонування деталей та скоротити варіабельність технологічних параметрів. Експериментально встановлено, що тривалість виконання операції зменшується у 2,3–2,6 раза, а відхилення геометричних параметрів — у 3–5 разів, що свідчить про суттєве підвищення технологічної стабільності.

Статистична обробка отриманих даних засвідчила значущість покращень, зокрема зниження частки повторних звернень із 6,7 % до майже нульового рівня. Це підтверджує, що модернізація підвищує не лише продуктивність, а й якість ремонту, що є критично важливим для довговічності та безпеки експлуатації автомобілів. Окремо проаналізовано питання охорони праці, виробничої санітарії та ергономіки робочого місця. Показано, що застосування спеціалізованого обладнання суттєво знижує рівень травмонебезпечних ситуацій, пов'язаних із ручними силовими операціями, стисканням пружних елементів і демонтажем масивних вузлів.

Проведений економічний аналіз продемонстрував, що модернізація технологічного процесу є не лише технічно доцільною, а й фінансово надзвичайно ефективною. Сукупний річний економічний ефект становить близько 2,8 млн грн для одного ремонтного поста, що забезпечує окупність вкладень менш ніж за один місяць. Ріст продуктивності, скорочення собівартості, збільшення пропускної здатності поста та зменшення витрат на переробку ремонту створюють мультиплікативний економічний результат, який значно підвищує рентабельність підприємства та його конкурентоспроможність.

Узагальнюючи результати роботи, можна стверджувати, що застосування додаткового технологічного обладнання у процесі ремонту ходової частини автомобіля дозволяє вирішити ключові проблеми традиційних технологій, значно підвищує якість і швидкість виконання робіт, зменшує ризики виробничого травматизму, а також забезпечує суттєве економічне зростання для підприємства. Модернізація є стратегічно виправданою та рекомендованою для впровадження у практику сучасних сервісних центрів, які прагнуть підвищити ефективність, надійність та конкурентоспроможність на ринку автосервісних послуг.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойченко, С. В. Технічна експлуатація та обслуговування автомобілів. – Київ: Ліра-К, 2020. – 368 с.
2. Боднар, Р. В., Кочерга, О. П. Автомобілі: будова, технічне обслуговування та ремонт. – Львів: «Новий Світ – 2000», 2018. – 452 с.
3. Гаврилюк, В. А. Надійність автомобілів та методи її підвищення. – Харків: ХНАДУ, 2019. – 284 с.
4. Дуднік, О. В., Дубина, М. В. Технологічні процеси технічного обслуговування та ремонту автомобільного транспорту. – Київ: Кондор, 2021. – 312 с.
5. ДСТУ 3587:2022. Безпека дорожнього руху. Технічний стан транспортних засобів. Вимоги. – Київ: Мінекономіки України, 2022.
6. ДСТУ ISO 9001:2015 Системи управління якістю. Вимоги. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.
7. ДСТУ EN 1494:2017 Обладнання мобільне гаражне. Вимоги безпеки. – Київ: Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, 2017.
8. Кочерга, О. П. Технологічне оснащення станцій технічного обслуговування автомобілів. – Харків: ХНАДУ, 2017. – 298 с.
9. Кучер, О. О., Дубинець, О. О. Діагностика та технічне обслуговування систем автомобілів. – Київ: КНЕУ, 2020. – 276 с.
10. Лущик, В. І., Горбатюк, В. П. Основи надійності транспортних засобів. – Київ: СУЕТ, 2018. – 320 с.
11. Методичні рекомендації щодо проведення технічного обслуговування та ремонту вузлів ходової частини автомобіля. – Львів: ЛНАУ, 2022. – 54 с.
12. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів. – Київ: Мінінфраструктури України, 2015. – 89 с.
13. Пономаренко, В. С. Автомобільні підвіски та ходова частина: розрахунок, діагностика, ремонт. – Київ: Арії, 2019. – 368 с.

14. Румянцев, В. В. Автомобільні підйомники та гаражне обладнання: безпека, експлуатація, діагностика. – Київ: Основа, 2021. – 224 с.
15. Тимофєєв, І. А. Математичні методи в технічній експлуатації автомобілів. – Харків: ХНАДУ, 2020. – 198 с.
16. Харченко, Г. В., Биков, В. О. Економіка автотранспортного підприємства. – Київ: Центр учбової літератури, 2017. – 368 с.
17. Чередниченко, А. В., Мельник, О. П. Основи організації ремонтного виробництва на автотранспорті. – Полтава: ПНТУ, 2018. – 240 с.
18. Штангей, С. В. Методологія технічної діагностики автомобільних систем. – Київ: Ліра-К, 2021. – 304 с.
19. OSHA 3071. Job Hazard Analysis. – U.S. Department of Labor, 2020. – 72 p.
20. SAE J2530. Aftermarket Wheel Performance Requirements and Test Procedures. – SAE International, 2021.
21. Кириленко О. А. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень: навч. посібник. – Львів: ЛНТУ, 2019. – 212 с.
22. Грінько Т. І. Економіка підприємства: навч. посібник. – Київ: Центр учбової літератури, 2021. – 376 с.
23. Савицька Г. В. Аналіз господарської діяльності підприємства: підручник. – Київ: Нове знання, 2020. – 400 с.
24. Закон України “Про охорону праці” / Законодавство України про охорону праці. - К. Нова редакція 2002 р.
25. ДСТУ ОHSAS 18001:2010 «Системи управління безпекою та гігієною праці. Вимоги»