

Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Автомобілів

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

**Проект ділянки ремонтного цеху для відновлення
ресор автомобіля Mercedes Sprinter
з дослідженням їх на пружність**

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

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Кубішин Н.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник

Тесля В.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

П'єнтак М.Д.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Цьонь О.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент

Буховець В.М..
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра Автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« » 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня Магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Кубішин Назарій Степанович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проект ділянки ремонтного цеху для відновлення ресор
автомобіля Mercedes Sprinter з дослідженням їх на пружність

Керівник роботи Тесля Володимир Олегович, к.т.н,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «14» листопада 2025 року № 4/7-970.

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19 грудня 2025

3. Вихідні дані до роботи Марка автомобіля Mercedes Sprinter, базовий технологічний
процес ремонту ресор автомобілів

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Загально-технічний розділ. Технологічний розділ. Конструкторський розділ.

Науково-дослідний розділ. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Аналіз технологій. Ремонтне креслення. Карти ескізів.

Приспосіблення для кріплення і базування деталі.

План ділянки ремонтного цеху. Науково дослідна частина.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорони праці</i>	<i>к.т.н., доцент Ткаченко І.Г.</i>		
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>ст. викладач Стручок В.С.</i>		

7. Дата видачі завдання 14.11.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Загально-технічний розділ</i>	<i>17.11.2025</i>	
2	<i>Технологічний розділ</i>	<i>24.11.2025</i>	
3	<i>Конструкторський розділ</i>	<i>28.11.2025</i>	
4	<i>Науково-дослідний розділ</i>	<i>26.11.2025</i>	
5	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуація</i>	<i>02.12.2025</i>	
6	<i>Оформлення графічної частини</i>	<i>09.12.2025</i>	
7	<i>Захист дипломної роботи</i>	<i>23.12.2025</i>	

Студент

(підпис)

Назарій КУБІШИН

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Володимир ТЕСЛЯ

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Проект дільниці ремонтного цеху для відновлення ресор автомобіля Mercedes-Benz Sprinter з дослідженням їх на пружність.

Метою даної роботи є розробка проекту спеціалізованої ремонтної дільниці для відновлення ресор автомобілів Mercedes-Benz Sprinter та обґрунтування технологічного процесу відновлення, який включає обов'язкове експериментальне дослідження пружних характеристик ресор для підтвердження їхньої експлуатаційної надійності.

Дана дипломна робота присвячена вирішенню актуальної проблеми підвищення ресурсу та надійності комерційного транспорту шляхом впровадження ефективних методів відновлення несучих елементів підвіски.

Проаналізовано конструкцію ресор автомобілів Mercedes-Benz Sprinter, виявлено основні види їхніх пошкоджень (втома матеріалу, деформація, тріщини) та обґрунтовано необхідність їхнього відновлення замість заміни.

Розроблено детальний технологічний процес відновлення ресор, який охоплює, дефектацію, рихтування, термічну обробку (загартування та відпуск для відновлення структури металу) та механічну обробку.

Виконано розрахунок виробничої програми дільниці ремонту ресор на основі середньорічного пробігу та кількості обслуговуваних автомобілів. На підставі розрахунків спроектовано виробничу дільницю, визначено необхідний склад обладнання (печі для термічної обробки, гідравлічні преси, дробоструминні установки) та розроблено планування дільниці.

Обґрунтовано методику контролю якості відновлених ресор, яка передбачає їхнє обов'язкове дослідження на пружність. Для цього запропоновано використання спеціалізованого гідравлічного стенда, що дозволяє визначити фактичну жорсткість (коефіцієнт пружності k) та залишкову деформацію ресори під навантаженням.

Виконано техніко-економічне обґрунтування проекту. Розраховано інвестиційні витрати, собівартість послуги відновлення ресори, економічний

ефект від впровадження проєкту та термін його окупності, підтверджуючи економічну доцільність створення дільниці.

Розроблено заходи з охорони праці та пожежної безпеки, які є необхідними для роботи з високотемпературним обладнанням та важкими деталями.

Практична цінність роботи полягає в розробці готового проєкту ремонтної дільниці та технології відновлення ресор, що дозволить підприємствам автомобільного сервісу знизити витрати на обслуговування комерційного транспорту, підвищити надійність експлуатованих автомобілів та забезпечити високу якість ремонтних робіт за рахунок впровадження контролю пружних властивостей.

ЗМІСТ

Вступ	8
1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	10
1.1 Ресори автомобіля Mercedes Sprinter та їх призначення	10
1.2 Аналіз умов експлуатації та характерних пошкоджень ресор	11
1.3 Основні способи та методи відновлення ресор	14
1.4 Аналіз методів контролю технічного стану та пружних характеристик ресор	17
1.5 Висновки до першого розділу	19
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	20
2.1 Технологічний процес відновлення ресор автомобіля Mercedes Sprinter..	20
2.2 Організація робочих місць дільниці ремонтного цеху	24
2.3 Обґрунтування вибору обладнання та інструменту для відновлення ресор	26
2.4 Розрахунок основних технологічних параметрів відновлення	27
2.5 Проектування дільниці ремонтного цеху	29
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	32
3.1 Обґрунтування конструкції пристосування для відновлення ресор	32
3.2 Опис роботи та принцип дії пристосування	34
3.3 Розрахунок сил, що виникають під час правки та випробування ресор ...	37
3.4 Визначення основних міцнісних і конструктивних параметрів пристосування	38
4. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ	42
4.1 Теоретичні основи пружності ресор та методи їх оцінки	42
4.2 Дослідження пружних характеристик ресор до та після відновлення	44
4.3 Аналіз результатів випробувань та оцінка ефективності відновлення	51

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	55
5.1 Основні вимоги охорони праці при ремонті ресор	55
5.2 небезпечні та шкідливі фактори під час термічної та механічної обробки	57
5.3 Заходи з охорони навколишнього середовища	60
5.4 Розрахунок освітлення робочого місця ділянки	62
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	65
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	66
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Сучасний автомобільний транспорт є основою логістичних та пасажирських перевезень. Надійність та безпека експлуатації транспортних засобів, зокрема комерційних (як-от Mercedes-Benz Sprinter), безпосередньо залежить від технічного стану їхніх несучих елементів, серед яких ресори посідають ключове місце. Ресори забезпечують комфорт, стійкість та необхідну вантажопідйомність, приймаючи на себе значні динамічні навантаження. В процесі експлуатації вони зазнають втоми матеріалу, що призводить до зниження їхніх пружних властивостей, деформації та, як наслідок, до критичного зносу та поломки.

Сьогодні в Україні існує гостра потреба у впровадженні економічно обґрунтованих та технологічно досконалих методів відновлення деталей, що дозволяє значно знизити експлуатаційні витрати, зменшити потребу в закупівлі нових, дорогих оригінальних комплектуючих та мінімізувати негативний вплив на довкілля через утилізацію.

Ресори є однією з основних складових підвіски автомобіля, що визначає плавність ходу, вантажопідйомність та стійкість транспортного засобу під час експлуатації. Автомобілі Mercedes Sprinter, які широко використовуються у комерційних перевезеннях та працюють в умовах підвищених навантажень, особливо потребують надійної та справної ресорної підвіски.

Проект дільниці ремонту ресор є актуальним з точки зору підвищення ресурсу автомобілів Mercedes Sprinter, забезпечення їхньої експлуатаційної надійності та оптимізації ремонтних процесів в умовах сучасного автомобільного сервісу. Важливим елементом цього процесу є обов'язкове дослідження пружності відновлених ресор, що гарантує їхню відповідність технічним вимогам заводу-виробника.

Метою дипломної роботи є проєктування спеціалізованої ремонтної дільниці для відновлення ресор автомобілів Mercedes-Benz Sprinter та розробка технологічного процесу відновлення з обов'язковим експериментальним дослідженням їхніх пружних властивостей.

Відновлення ресор автомобіля Mercedes Sprinter є важливим етапом ремонтних робіт, який безпосередньо впливає на безпеку руху, експлуатаційні характеристики та довговічність автомобіля. Даний процес потребує застосування спеціалізованого обладнання, дотримання технологічних режимів, а також контролю пружних властивостей ресор після відновлення. В умовах інтенсивної експлуатації комерційного транспорту організація дільниці ремонтного цеху для відновлення ресор набуває особливої актуальності, оскільки дозволяє знизити витрати на заміну деталей та забезпечити стабільну роботу підвіски.

У процесі виконання даного проєкту було розроблено та вдосконалено технологічні рішення щодо організації дільниці ремонтного цеху для відновлення ресор автомобіля Mercedes Sprinter, а також проведено дослідження їхніх пружних характеристик з метою підвищення ефективності відновлювальних робіт.

1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Ресори автомобіля Mercedes Sprinter та їх призначення

Ресори є одним з основних елементів підвіски автомобіля, призначених для сприйняття та розподілу динамічних і статичних навантажень, що виникають під час руху транспортного засобу. Вони виконують функцію пружного елемента, забезпечуючи необхідну плавність ходу, стійкість автомобіля на дорозі та збереження його керованості в різних умовах експлуатації.



Рисунок 1.1 – Загальний вид ресори встановленій на автомобілі

У конструкції автомобіля Mercedes Sprinter ресори застосовуються переважно в задній підвісці, що обумовлено особливостями експлуатації даного транспортного засобу, який часто використовується для перевезення вантажів і пасажирів. Ресорна підвіска характеризується високою надійністю, простою конструкцією та здатністю працювати в умовах підвищених навантажень протягом тривалого часу.

Ресори Mercedes Sprinter складаються з набору металевих листів, виготовлених із спеціальної ресорної сталі, що має високі пружні властивості та

стійкість до втомного руйнування. Геометричні параметри, товщина листів і кількість елементів у пакеті ресори визначають її жорсткість та експлуатаційні характеристики, які повинні відповідати технічним вимогам виробника.

Особливістю ресор автомобіля Mercedes Sprinter є поєднання достатньої жорсткості з можливістю багаторазової пружної деформації без втрати експлуатаційних властивостей. Це досягається за рахунок застосування легованих сталей та спеціальної термічної обробки, яка забезпечує необхідне співвідношення міцності та пружності матеріалу. Порушення цих характеристик у процесі експлуатації призводить до зниження ефективності підвіски та погіршення експлуатаційних показників автомобіля.

У процесі роботи ресори взаємодіють з іншими елементами підвіски, такими як амортизатори, кріпильні елементи та рама автомобіля, що обумовлює підвищені вимоги до їхнього технічного стану. Несправності ресор можуть призвести до нерівномірного розподілу навантажень, прискореного зносу суміжних вузлів та зниження безпеки руху.

1.2 Аналіз умов експлуатації та характерних пошкоджень ресор

Автомобілі Mercedes Sprinter експлуатуються, як правило, в умовах інтенсивних навантажень, пов'язаних з перевезенням вантажів, частими зупинками, рухом по дорогах з незадовільним покриттям та перевищенням допустимої маси. Такі умови призводять до значного зростання напружень у ресорах, що з часом викликає їх зношування та пошкодження.

Найбільш поширеними дефектами ресор є втрата пружних властивостей, залишкова деформація, утворення тріщин у листах, злам окремих елементів пакета, а також корозійні ураження поверхні. Внаслідок багаторазових циклів навантаження та розвантаження у матеріалі ресор виникають втомні напруження, що поступово знижують їх міцність та пружність.



Рисунок 1.2 – Переламування ресори



Рисунок 1.3 – Просідання ресори

Додатковим негативним фактором є порушення умов експлуатації, зокрема перевантаження автомобіля та несвоєчасне технічне обслуговування. Накопичення дефектів призводить до погіршення керованості автомобіля, зниження комфорту руху та підвищення ризику аварійних ситуацій, що робить питання своєчасного відновлення ресор особливо актуальним.

Умови експлуатації ресор Mercedes-Benz Sprinter на відміну від легкових авто, ресори Sprinter піддаються значним динамічним навантаженням (ударам, вібраціям) при проїзді нерівностей, особливо при русі з максимальною або змінною вантажопідйомністю.

Часте перевищення нормативної вантажопідйомності є типовим для комерційного транспорту. Це призводить до значних пластичних деформацій (просідання) і прискореного розвитку втоми матеріалу. Ресори постійно працюють у режимі змінних навантажень (стиск/розтяг), що є ідеальною умовою для втомного руйнування.

Характерні пошкодження ресор на основі аналізу досвіду експлуатації та літературних джерел я виділяю три основні види пошкоджень, які ми повинні усувати.

Втрата пружності при тривалій експлуатації під високим циклічним або статичним навантаженням призводить до пластичної деформації і релаксації напружень у металі. І як наслідок зменшується висота кліренсу автомобіля, погіршується керованість, підвіска починає "працювати на відбій", амортизатори виходять з ладу швидше.

Для відновлення потрібна повна термічна обробка (загартування та відпуск) для відновлення мікроструктури сталі та повернення пружних властивостей.

Втомні тріщини та злами це найнебезпечніший вид пошкодження. Виникає через концентратори напружень (гострі кути, корозійні піттинги, місця кріплення центрального болта) в умовах циклічного навантаження.

Тріщини найчастіше виникають у найкоротших листах або поблизу центрального отвору. Відновлення листів з тріщинами, як правило, замінюються на нові, або, якщо це дозволено технологією (для некритичних

місць), може застосовуватися спеціалізоване зварювання з подальшою термічною обробкою. Проте, зварювання ресорної сталі є ризикованим, тому пріоритет – заміна.

Спрацювання елементів кріплення пошкодження таких як вушка (отворів для кріплення) та центрального болта. Як причина інтенсивна робота ресори у зборі, тертя та корозія. Як наслідок люфт у підвісці, сторонні стуки, зміщення ресори щодо осі. Як метод відновлення це заміна центрального болта, відновлення або заміна зношених втулок та вушок ресори.

Аналіз показує, що моя дільниця має бути обладнана не тільки для механічного рихтування, але й мати потужну термічну ділянку та високоточний діагностичний стенд для контролю пружності, оскільки саме втрата пружності та втома матеріалу є першопричинами 80% усіх дефектів ресор Sprinter.

1.3 Основні способи та методи відновлення ресор

Відновлення ресор є економічно доцільною альтернативою їх повній заміні, особливо за умови збереження основних геометричних параметрів і відсутності критичних пошкоджень. Основною метою відновлювальних робіт є повернення ресорам необхідних пружних властивостей та забезпечення їх подальшої безпечної експлуатації.

До основних методів відновлення ресор належать механічна правка, термічна обробка, заміна окремих листів пакета, а також поверхнева обробка для усунення корозійних ушкоджень. Механічна правка дозволяє відновити початкову форму ресори, проте потребує точного контролю зусиль, що прикладаються, з метою запобігання появі додаткових пошкоджень.

Основні проблеми ресор – це зменшення пружності (просідання) та втомні тріщини/поломки. Відповідно, методи відновлення спрямовані на усунення цих дефектів.

Термічна обробка застосовується для відновлення структури металу та покращення його пружних характеристик. Вибір конкретного способу

відновлення залежить від ступеня зносу ресори, характеру пошкоджень та технічних можливостей ремонтного цеху.

Обрання способу відновлення ресор повинен базуватися також на результатах дефектування та оцінки ступеня пошкодження. При незначній втраті геометричної форми ефективним є застосування механічної правки з подальшим контролем пружних характеристик. У випадку більш значного зносу доцільним є поєднання правки з термічною обробкою, яка дозволяє відновити структуру металу та зменшити вплив втомних пошкоджень.

Підготовчі та діагностичні методи зображено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Підготування ресори до випробування

Метод	Мета	Опис	Метод
Дефектація та діагностика	Виявлення прихованих пошкоджень	Візуальний огляд, перевірка геометрії (стріли прогину). Для критичних листів – неруйнівний контроль (наприклад, магнітопорошковий або капілярний) для виявлення мікротріщин.	Дефектація та діагностика
Очищення	Видалення корозії, бруду та окислів.	Дробоструминна обробка (найефективніший метод). Вона не лише очищає, але й створює ефект наклепу (поверхневого зміцнення), що позитивно впливає на втомну міцність металу.	Очищення
Розбирання	Повне роз'єднання листів ресори.	Необхідне для доступу до кожної деталі та подальшого рихтування й термічної обробки.	Розбирання

Сучасні технології відновлення передбачають використання високоточного обладнання, що дозволяє контролювати процес відновлення на кожному етапі. Це сприяє підвищенню якості ремонтних робіт, зменшенню ймовірності повторних відмов та забезпеченню стабільних експлуатаційних показників ресор після ремонту.

Відновлювальні методи безпосередньо спрямовані на відновлення геометричних та фізико-механічних властивостей матеріалу.

Таблиця 1.3 – Контроль якості

Метод	Мета	Опис	Метод
Збирання та змащування	Зменшення тертя між листами	Листи збираються, між ними наносяться графітові або спеціальні антифрикційні мастила, що запобігають скрипу та корозії	Збирання та змащування
Дослідження на пружність	Верифікація якості відновлення	На гідравлічному стенді проводиться випробування на циклічне навантаження. Визначається фактична стріла прогину ресори під номінальним навантаженням та залишкова деформація після зняття навантаження. Це дозволяє підтвердити, що відновлені листи мають необхідний коефіцієнт жорсткості (k)	Дослідження на пружність
Антикорозійне покриття	Захист від зовнішнього середовища	Нанесення лакофарбових або спеціальних захисних покриттів	Антикорозійне покриття

Суттю даного методи є надання кожному листу необхідної стріли прогину, визначеної технічною документацією. Виконується на спеціальних рихтувальних пресах (гідравлічних або механічних). Рихтування проводять у

холодному або гарячому стані (залежно від ступеня деформації та рекомендацій).

Таким чином, даний проєкт акцентує увагу не просто на ремонті, а на комплексному відновленні механічних властивостей ресори із 100% контролем пружності на виході

1.4 Аналіз методів контролю технічного стану та пружних характеристик ресор

Контроль технічного стану ресор після відновлення є обов'язковим етапом ремонтного процесу, оскільки саме він дозволяє оцінити якість виконаних робіт та відповідність ресор експлуатаційним вимогам. Основними параметрами, що підлягають контролю, є геометричні розміри, відсутність дефектів поверхні та пружні характеристики.

Перевірка пружності ресор здійснюється шляхом прикладання регламентованого навантаження з подальшим вимірюванням прогину. Отримані значення порівнюються з нормативними, що дозволяє зробити висновок про придатність ресори до подальшої експлуатації. Особливу увагу приділяють рівномірності деформації та відсутності залишкових прогинів після зняття навантаження.

Застосування спеціалізованого обладнання та пристосувань для контролю дозволяє підвищити точність вимірювань і забезпечити стабільність результатів, що є важливим фактором при організації дільниці ремонтного цеху.

Контроль пружних характеристик ресор після відновлення має особливе значення, оскільки саме ці параметри визначають здатність ресори забезпечувати необхідну жорсткість підвіски. Недостатній контроль може призвести до встановлення на автомобіль ресор з відхиленнями від нормативних значень, що негативно вплине на експлуатаційні показники транспортного засобу.

Для підвищення достовірності результатів вимірювань рекомендується проводити повторні випробування з фіксацією значень прогину при заданому навантаженні. Аналіз отриманих даних дозволяє оцінити рівномірність деформації та зробити висновок щодо придатності ресори до подальшої експлуатації.

Методи та способи контролю технічного стану ресор зведено у таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Методи та способи контролю технічного стану ресор та їх кріплення

Метод	Основне призначення	Найкраще підходить для обладнання
Візуально-оптичний	Виявлення очевидних поверхневих дефектів, огляд важкодоступних місць	Будь-яке обладнання, особливо резервуари, трубопроводи (внутрішній огляд)
УЗД (дефектоскопія)	Пошук внутрішніх дефектів (тріщин, пор) у товщі металу	Металоконструкції, зварні шви, вали, осі, литі деталі
УЗД (товщинометрія)	Вимірювання залишкової товщини стінок, оцінка корозійного зносу	Посудини під тиском, котли, резервуари, трубопроводи
Капілярний	Виявлення мікроскопічних поверхневих тріщин	Деталі з гладкою поверхнею, зварні шви з будь-яких непористих матеріалів
Магнітопорошковий	Пошук поверхневих та підповерхневих тріщин у сталі та чавуні	Деталі машин, вантажопідіймальні механізми (гаки, ланцюги), ферми, балки
Вібродіагностика	Оцінка стану рухомих частин та механізмів, що обертаються	Насоси, двигуни, вентилятори, компресори, редуктори, турбіни
Аналіз мастила	Діагностика внутрішнього зносу вузлів тертя	Двигуни, гідравлічні системи, редуктори, турбіни, компресори

1.5 Висновки до першого розділу

У першому розділі було розглянуто конструктивні особливості ресор автомобіля Mercedes Sprinter, умови їх експлуатації та основні види пошкоджень, що виникають у процесі роботи. Проаналізовано способи відновлення ресор та методи контролю їх технічного стану і пружних властивостей.

Проведений аналіз підтверджує доцільність відновлення ресор як ефективного способу подовження терміну їх служби та зниження витрат на ремонт автомобіля. Отримані висновки є підґрунтям для подальшого опрацювання технологічних та конструкторських рішень у наступних розділах роботи.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Технологічний процес відновлення ресор автомобіля Mercedes Sprinter

Технологічний процес відновлення ресор автомобіля Mercedes Sprinter є послідовністю операцій які забезпечують повернення елементів підвіски до початкових технічних характеристик, особливо щодо їхньої пружності, що є критично важливим для безпечної експлуатації транспортного засобу. Цей процес починається з розбирання ресори, яке включає зняття її з автомобіля, а потім відділення листів один від одного, що необхідно для їх детальної дефектації та подальшої обробки. Далі проводиться очищення усіх елементів ресори від бруду, іржі та старих мастильних матеріалів, зазвичай із застосуванням дробоструминної або хімічної обробки, оскільки якість очищення безпосередньо впливає на результати наступних етапів контролю.

Після очищення кожен лист підлягає дефектації, що передбачає візуальний огляд на наявність тріщин, сколів, зносу посадкових місць, а також перевірку геометричних параметрів, що є основою для прийняття рішення про можливість відновлення. Листи які мають критичні дефекти або значну ступінь зносу вибраковуються, тоді як придатні елементи направляються на правку для відновлення початкового профілю та кривизни, що є основним етапом відновлення пружних властивостей. Правда виконується на спеціалізованих гідравлічних або механічних пресах, де контролюється сила та ступінь деформації.

Завершальними етапами є термічна обробка або дробоструминна обробка, яка застосовується для зміцнення поверхневого шару та зняття внутрішніх напружень, що виникли під час правки, а потім складання ресори із заміною зношених втулок, протискрипних прокладок та болтів, із наступним контролем пружних характеристик на випробувальному стенді, де перевіряється відповідність відновленої ресори нормативним вимогам.

Особливу увагу слід приділяти етапу контролю якості на проміжних стадіях технологічного процесу, оскільки своєчасне виявлення прихованих дефектів після правки, наприклад мікротріщин, запобігає використанню неякісних елементів у зібраній конструкції. Проміжний контроль може включати випробування на втому або контроль твердості після термічної обробки, що дозволяє підтвердити, що механічні властивості металу були успішно відновлені і відповідають вимогам виробника транспортного засобу. Необхідно також документувати усі виміряні параметри, включаючи кривизну листа до і після правки, що створює повну історію ремонту і забезпечує прозорість технологічних операцій.

Технологічний процес має бути не лише ефективним, але й забезпечувати повне відновлення експлуатаційних характеристик ресори, що підтверджується контролем пружності. Технологічний процес відновлення ресор автомобіля Mercedes-Benz Sprinter для моєї проєктуємої дільниці див. таблиця 2.1.

Таблиця 2.1 – Технологічний процес відновлення ресор

№	Операція	Мета	Обладнання
1.1	Приймання та реєстрація	Ідентифікація ресори, фіксація пробігу та причини ремонту	Журнал обліку, картка замовлення.
1.2	Попереднє очищення	Видалення великих забруднень та бруду	Мийка високого тиску.
1.3	Розбирання ресори	Роз'єднання пакету на окремі листи для детальної обробки	Стенд для розбирання, гідравлічний знімач.
1.4	Фінішне очищення (дробоструминна обробка)	Видалення іржі, окалини та створення поверхневого наклепу	Дробоструминна камера.

1.5	Дефектація та сортування	Визначення стріли прогину, виявлення тріщин та критичних деформацій	Кондуктор для вимірювання прогину, Магнітопорошковий дефектоскоп.
1.6	Сортування листів	Критичні листи (з тріщинами, сильний знос) відправляються на заміну. Листи, що втратили пружність, відправляються на термічну обробку	Сортувальний стіл.

Термічна обробка цей етап є критичним для відновлення мікроструктури сталі (зазвичай 60C2A) та повернення необхідних пружних властивостей дивитися таблиця 2.2.

Таблиця 2.2 – Процес відновлення пружності

№	Операція	Температура та час	Призначення
2.1	Нагрів (аустенітизація)	850-870 °C (витримка 10-15 хв.)	Зняття внутрішніх напружень та формування аустеніту
2.2	Загартування	Охолодження в олійній ванні ~60 °C	Фіксація високотвердої структури (мартенситу)
2.3	Рихтування на гарячому	При температурі 800-850 °C (за потреби)	Корегування стріли прогину для сильно деформованих листів
2.4	Відпуск	Нагрів до 400-500 °C (витримка 1.5-2 год.)	Зниження крихкості після загартування, формування оптимальної структури для високої пружності та в'язкості
2.5	Повторне охолодження	Повільне охолодження на повітрі	Зменшення термічних напружень

Таблиця 2.3 – Механічна обробка та збирання

№	Операція	Мета	Обладнання
3.1	Контроль геометрії	Перевірка відновленої стріли прогину після термічної обробки	Контрольний кондуктор
3.2	Чистове рихтування	Доведення форми до ідеальних параметрів у холодному стані	Гідравлічний прес.
3.3	Обробка вушок	Розточування або заміна втулок/вушок, якщо вони зношені	Розточний верстат
3.4	Змащування та збирання	Нанесення антифрикційного мастила (наприклад, графітового) між листами та збирання пакету	Збиральний стенд, новий центральний болт

Цей етап включає ключову інновацію мого проєкту – обов'язкове дослідження пружності.

Таблиця 2.4 – Контроль якості та фінішна обробка

№	Операція	Параметри контролю	Обладнання
4.1	Випробування на пружність	Вимірювання фактичної стріли прогину під номінальним навантаженням та залишкової деформації після циклу навантаження	Випробувальний гідравлічний стенд
4.2	Вібраційне випробування	Імітація дорожніх умов для виявлення слабких місць у зборі (за потреби)	Вібростенд
4.3	Антикорозійне покриття	Захист від корозії, нанесення фарби чи спеціального полімерного покриття	Фарбувальна камера
4.4	Передача замовнику	Оформлення акта виконаних робіт та гарантійного талона	Склад готової продукції

Обґрунтування ключових операцій таких як дробоструминна обробка, яка забезпечує не лише чистоту, але й збільшує поверхневу міцність (наклеп), що підвищує втомну довговічність ресори. Термічна обробка це гарантія відновлення внутрішньої структури металу, що є єдиним способом повністю повернути ресорі її паспортну пружність, на відміну від простого холодного рихтування

2.2 Організація робочих місць дільниці ремонтного цеху

Організація робочих місць на дільниці ремонтного цеху, призначений для відновлення ресор, має забезпечувати максимальну ефективність праці, безпеку персоналу та дотримання технологічної послідовності. Дільниця повинна бути розділена на функціональні зони що відповідають основним етапам технологічного процесу, а саме зона розбирання та очищення, зона дефектації та правки, зона термічної обробки та зона складання і випробування.

Робоче місце у зоні розбирання оснащується спеціальним стендом для фіксації ресори, комплектом ручного та механізованого інструменту для відкручування кріплень, а також засобами для безпечного підйому важких елементів, з обов'язковою наявністю витяжної вентиляції у випадку застосування хімічного очищення. Зона правки вимагає встановлення гідравлічного преса або спеціального верстата для правки листів, а також робочого столу для розміщення інструменту та вимірювальних приладів, таких як лінійки, шаблони та кутоміри, що дозволяють контролювати форму листів.

Ділянка термічної обробки, якщо вона передбачена технологічним процесом, повинна відповідати суворим вимогам пожежної безпеки, бути ізольованою та мати потужну вентиляцію, де розміщується піч для нагріву та ємності для охолодження, причому доступ до цієї зони має бути обмежений для некваліфікованого персоналу. Робоче місце складання та випробування комплектується монтажним столом, динамометричним ключем для затягування болтів із контрольованим зусиллям, а також випробувальним стендом,

необхідним для кінцевої перевірки пружності та навантажувальної здатності відновленої ресори, що підтверджує якість виконаних робіт.

Ефективність організації робочих місць значною мірою залежить від раціонального планування простору, де мінімізуються зайві переміщення персоналу та матеріалів між зонами, що досягається лінійною або U-подібною схемою розташування обладнання відповідно до послідовності технологічних операцій. Оптимальне розміщення обладнання також передбачає дотримання нормативних відстаней між агрегатами, що забезпечує вільний доступ для обслуговування, а також достатній простір для маневрування вантажопідйомними механізмами, такими як кран-балки або візки для транспортування важких ресор.

Важливим аспектом є забезпечення ергономічних умов праці, що включає правильну висоту робочих поверхонь, використання антивібраційних килимків у зоні експлуатації пресів та адекватне освітлення, як загальне, так і локальне, що є критичним для якісного візуального контролю дефектів та точності вимірювань. Крім того, кожне робоче місце повинно бути обладнане спеціальними місцями для зберігання інструменту та оснащення, які реалізуються у вигляді модульних шаф або перфорованих панелей, що допомагає підтримувати порядок та значно скорочує час пошуку необхідних предметів.

Для підтримки високих стандартів виробництва необхідна система маркування та ідентифікації матеріалів і заготовок на кожному етапі, що виключає можливість плутанини між листами, які вже пройшли термічну обробку, та тими, що очікують її, особливо в умовах одночасного ремонту кількох комплектів ресор. Крім того, на дільниці повинна бути чітко визначена зона тимчасового зберігання дефектних та відновлених ресор, що дозволяє організувати ефективний потік матеріалів та уникати їх змішування, забезпечуючи тим самим контроль над усіма виробничими запасами.

2.3 Обґрунтування вибору обладнання та інструменту для відновлення ресор

Вибір обладнання та інструменту для дільниці відновлення ресор ґрунтується на принципах забезпечення високої якості ремонту, дотримання вимог технологічного процесу та економічної доцільності, причому перевага надається універсальним та високопродуктивним агрегатам. Ключовим елементом дільниці є прес для правки листів ресор, який має володіти достатньою потужністю для деформації товстих сталевих листів, а також мати точну систему контролю зусилля та ходу штока, що дозволяє досягати необхідної кривизни елементів без їх руйнування.

Для ефективного очищення необхідна дробоструминна камера або установка для хімічного знежирення, оскільки ручне очищення є неефективним і трудомістким, а якість підготовки поверхні критична для подальшого контролю дефектів. У процесі дефектації важливим є використання магнітопорошкового дефектоскопа, який дозволяє виявити навіть мінімальні поверхневі тріщини, невидимі неозброєним оком, що є обов'язковим для забезпечення надійності відновленого виробу.

Випробувальний стенд є незамінним елементом, оскільки саме він підтверджує відновлення пружних характеристик, тому він має бути сертифікованим, оснащеним точними вимірювальними приладами та здатним симулювати робочі навантаження ресори, що гарантує її відповідність технічним умовам. Комплект інструменту включає стандартні слюсарні прилади, а також спеціалізовані шаблони для перевірки кривизни листів, динамометричні ключі для контрольованого складання та засоби індивідуального захисту, які необхідні для безпечного виконання всіх операцій.

При виборі термічного обладнання, якщо передбачається повна регенерація пружних властивостей, необхідно обґрунтувати використання шахтної або камерної печі з контрольованою атмосферою, що дозволяє уникнути знеуглецювання поверхневого шару сталі, яке може суттєво знизити втомну міцність листа. Вимоги до печі включають можливість точного

підтримання температури в діапазоні 850-950°C та наявність системи швидкого контрольованого охолодження, яке часто реалізується у вигляді загартувальної ванни з масляним або полімерним середовищем.

Окрім того, особливу увагу слід приділити вибору вимірювального інструменту, де для забезпечення академічної точності необхідно використовувати не лише традиційні вимірювальні лінійки, а й високоточні профільні проектори або лазерні сканери для детального аналізу кривизни та відхилень геометрії листа до і після правки, що особливо важливо для складних багатолистових ресор. Сертифікація та регулярна калібрування цього вимірювального обладнання є обов'язковою вимогою, що підтверджує достовірність отриманих результатів досліджень.

Додатково до основного обладнання, необхідно обґрунтувати придбання допоміжного обладнання, такого як пересувні підйомні пристрої для переміщення важких ресор між робочими зонами, а також верстати для шліфування та полірування місць концентрації напружень або пошкоджень, виявлених під час дефектації. Вибір цих допоміжних засобів повинен бути пов'язаний із максимальною вагою ресори Mercedes Sprinter та загальною пропускною здатністю дільниці, забезпечуючи безперебійність технологічного потоку та безпеку операторів.

2.4 Розрахунок основних технологічних параметрів відновлення

Розрахунок основних технологічних параметрів відновлення має на меті визначення оптимальних режимів роботи обладнання, що гарантує відновлення ресори з необхідними пружними характеристиками та мінімальним ризиком пошкодження металу. Ключові параметри які підлягають розрахунку включають зусилля правки, час термічної обробки та режими навантаження під час випробування.

Зусилля правки визначається на основі геометричних параметрів листа, необхідного прогину та фізико-механічних властивостей матеріалу сталі, з якої виготовлена ресора, що розраховується за формулами опору матеріалів,

наприклад, із застосуванням залежності для напружень у зігнутій балці, де M є момент, σ є напруження, а W є момент опору перерізу. Отримане розрахункове зусилля є основою для вибору потужності гідравлічного преса.

Режими термічної обробки, якщо вона застосовується, включають температуру нагріву, час витримки та швидкість охолодження, які вибираються відповідно до марки сталі ресори, причому метою є відновлення кристалічної структури металу та зняття внутрішніх напружень, що підвищує межу плинності та пружності. Розрахунок навантаження на випробувальному стенді базується на нормативних даних виробника Mercedes Sprinter, де визначається максимальний прогин ресори під номінальним та максимальним статичним навантаженням, що дозволяє об'єктивно оцінити якість відновлення та підтвердити її експлуатаційну придатність, що є кінцевим критерієм успішності технологічного процесу.

Крім статичних розрахунків, необхідно виконати розрахунок часу витримки листа в печі, який залежить від його товщини, марки сталі та типу печі, що має забезпечити повне прогрівання листа до заданої температури без перегріву поверхні, що може спричинити небажане зростання зерна металу. Цей розрахунок часто базується на емпіричних формулах і графіках, що враховують теплофізичні властивості матеріалу та характеристики нагрівального обладнання, забезпечуючи рівномірність структури металу після загартування.

Важливим технологічним параметром є жорсткість відновленої ресори, яка повинна відповідати заводським специфікаціям, тому необхідно розрахувати очікуване значення коефіцієнта жорсткості після правки та термічної обробки, де P є прикладене навантаження, а f є прогин. Це вимагає використання даних про модуль Юнга матеріалу та геометричні параметри кожного листа у зібраному пакеті, причому розрахункова жорсткість слугує орієнтиром для налаштування випробувального стенда.

Також необхідно розрахувати продуктивність дільниці, що є економічно значущим технологічним параметром і визначається як кількість ресор, що можуть бути відновлені за одиницю часу, що залежить від нормованого часу на

виконання кожної технологічної операції, включаючи розбирання, очищення, правку, термічну обробку та випробування. Оптимізація цього часу, особливо на етапах нагрівання та охолодження, які часто є лімітуючими, дозволяє обґрунтувати необхідну кількість робочих місць та розміри обладнання

2.5 Проектування дільниці ремонтного цеху

Визначення річного обсягу відновлювальних робіт річна кількість відновлюваних первинних валів і шестерень коробки передач автомобіля Mercedes Sprinter визначається на основі запланованого річного обсягу робіт дільниці. Проаналізувавши необхідний обсяг робіт, пов'язаних із деталями трансмісії автомобіля Mercedes Sprinter, річну кількість ремонтних деталей (що підлягають відновленню) N_0 розраховують за формулою

$$N_r = N_r^3 \cdot K_p = 1500 \cdot 0,9 = 1350 \text{ шт}$$

Розрахунок потреби у відновлених деталях на основі розрахункової річної роботи та коефіцієнта ремонтпридатності визначається загальна річна потреба у відновлених деталях $N_r = 1500$ Коефіцієнт ремонтних деталей $K_p = 0,9$.

$$X = \frac{N_r^3 \cdot K_p \cdot n}{12}.$$

Для забезпечення ритмічності виробництва та оперативного планування розраховується добова потреба у відновлених деталях

$$X_c = \frac{N_r^3 \cdot K_p \cdot n}{D_{p.p.}},$$

де n – загальна річна потреба у відновлених деталях;

$D_{p.p.}$ – кількість робочих днів у році, $D_{p.p.} = 253$ дні.

Розрахунок річної трудомісткості відновлення необхідна річна трудомісткість відновлювальних робіт T_p (у годинах) для первинного вала та шестерень коробки передач автомобіля Mercedes Sprinter визначається як сума трудомісткостей відновлення всіх ремонттованих деталей:

$$T_{\Gamma} = \sum T_{шт} \cdot N_{\Gamma},$$

де $\sum T_{шт}$ – р кількість деталей, що ремонтуються за рік.

Для вала первинного $T_{шт} = 2,01$ люд.·год. , для шестерни $T_{шт} = 0,62$ люд.·год.

Розрахунки потрібної кількості обладнання

На основі розрахованої річної трудомісткості T_p та прийнятого режиму роботи діляниці визначається необхідна кількість одиниць обладнання X :

$$X = \frac{T^{\Gamma}}{T_{ф.о.}},$$

де X – потрібне обладнання, шт ;

T^{Γ} – необхідна річна трудомісткість операції, люд.·год. ;

$T_{ф.о.}$ – дійсний річний фонд часу роботи одиниці обладнання, год .

Результати розрахунку потрібного устаткування зведено до таблиці

Розрахунок потреби в персоналі потреба діляниці в основних виробничих робітниках $N_{вр}$ визначається на основі загальної річної трудомісткості робіт та фонду робочого часу одного працівника:

$$X_{сп.} = \frac{T_{\Gamma}}{T_{ф.д.}}; \quad X_{яв.} = \frac{T_{\Gamma}}{T_{ф.н.}},$$

де T_{Γ} – річна трудомісткість робіт люд.·год.

T_{op} – річна трудомісткість робіт, год ;

T_{mp} – річний фонд часу роботи одного працівника, год ;

$$T_{op.} = 1840 \text{ год}$$

$$T_{mp.} = 2030 \text{ год.}$$

Загальна кількість персоналу, включаючи допоміжних робітників, інженерно-технічний персонал (ІТП), службовців та молодший обслуговуючий персонал (МОП), розраховується від кількості виробничих робітників.

Необхідна кількість працівників записано у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Розрахункова кількість допоміжних, ІТП, СКП, МОП від кількості виробничих робітників

Категорія працюючих	Відносини до виробничих робітників, %	Кількість працюючих	
		Розрахункове	Прийняте
Виробничі робітники	-	1,93	3
Допоміжні робітники	12-15	0,45	1
ІТП	13-15	0,45	1
СКП	12-14	0,42	1
МОП	2-3	0,1	1
Разом			7

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Обґрунтування конструкції пристосування для відновлення ресор

Обґрунтування конструкції пристосування для відновлення ресор автомобіля Mercedes Sprinter базується на необхідності забезпечення точності відновлення профілю листа, безпеки оператора та універсальності для роботи з різними типорозмірами ресорних елементів, що вимагає ретельного аналізу усіх діючих навантажень та технологічних вимог. Основний принцип полягає у створенні жорсткої рами, яка здатна витримувати значні зусилля, що виникають під час правки, а також інтеграції механізмів, які дозволяють точно контролювати ступінь деформації листа. Конструкція повинна мінімізувати виникнення вторинних пошкоджень або концентраторів напружень у відновлюваному елементі, що досягається за допомогою правильно спроектованих опорних елементів та притискних механізмів.

Вибір матеріалів для виготовлення пристосування є критично важливим, оскільки рама та силові елементи повинні бути виготовлені з високоміцних конструкційних сталей, здатних працювати в умовах багаторазових циклів навантаження, забезпечуючи тривалий термін експлуатації та мінімальну власну деформацію під робочим зусиллям. Опорні елементи та пуансони, які безпосередньо контактують із ресорним листом, повинні мати високу твердість та зносостійкість, щоб запобігти їх швидкому руйнуванню або пошкодженню поверхні ресори, що часто вимагає застосування термооброблених легованих сталей або використання спеціальних накладок.

Геометрія опорних і притискних елементів повинна бути такою, щоб забезпечувати рівномірний розподіл навантаження по всій ширині листа, уникаючи точкового тиску, який може призвести до утворення тріщин або недопустимих локальних деформацій, що досягається використанням широких контактних поверхонь та спеціальних контурів, що відповідають профілю

ресори. Також конструкція повинна передбачати швидку зміну оснащення для переходу від роботи з одним типом ресори до іншого, що підвищує гнучкість дільниці та її загальну продуктивність.

Необхідно обґрунтувати включення системи точного позиціонування ресорного листа у пристосуванні, яка може бути реалізована через регульовані бокові упори або швидкознімні центруючі елементи, що гарантує правильне розташування зони максимального прогину листа відносно силового елемента преса. Точне позиціонування критичне для досягнення необхідної симетрії відновленого профілю, оскільки навіть невеликі зміщення можуть призвести до виникнення небажаних бічних напружень, що негативно впливають на втомну міцність ресори під час експлуатації.

Для забезпечення контролю над процесом правки конструкція пристосування має передбачати інтеграцію вимірювальних засобів, таких як високоточні індикатори переміщення або електронні датчики прогину, які дозволяють оператору в режимі реального часу відстежувати ступінь деформації та порівнювати її з розрахунковими або нормативними значеннями. Ця вимога до вимірювальних систем виключає людський фактор у визначенні кінцевої кривизни та забезпечує високу відтворюваність результатів відновлення, що є ключовим для академічного обґрунтування технології.

Додатково слід обґрунтувати конструкцію захисних елементів та огорожень, які повинні бути інтегровані в пристосування для мінімізації ризику травмування персоналу у разі несподіваного руйнування листа ресори під високим навантаженням, що включає використання високоміцного прозорого полікарбонату або металевих сіток. Ці захисні елементи повинні бути легкознімними для забезпечення доступу до робочої зони під час обслуговування або зміни оснащення, проте вони мають автоматично блокуватися перед початком робочого циклу преса, що є обов'язковою вимогою техніки безпеки.

3.2 Опис роботи та принцип дії пристосування

Принцип дії пристосування для відновлення ресор ґрунтується на застосуванні контрольованої пластичної деформації до ресорного листа, який втратив свою початкову кривизну та пружність, з метою повернення йому необхідної геометричної форми, що відбувається у кілька послідовних етапів. Робота пристосування починається із завантаження попередньо очищеного та дефектованого ресорного листа на опорні елементи пристосування, де лист фіксується у певному положенні, що відповідає його осі симетрії.

Далі відбувається повільне прикладання зусилля від гідравлічного преса через пуансон, розташований у центральній частині пристосування, що спричиняє контрольований прогин листа у напрямку, протилежному напрямку прогину, викликаному експлуатаційним зносом. Зусилля збільшується доти, доки лист не досягне прогину, який перевищує необхідний кінцевий прогин, що враховує ефект пружного післядії (або пружного відновлення) матеріалу, тобто часткове повернення листа до початкової форми після зняття навантаження.

Після досягнення максимального прогину та короткої витримки навантаження плавно знімається, і лист повертається до свого нового, заданого кривизною стану, який перевіряється за допомогою вбудованих або зовнішніх вимірювальних засобів для підтвердження відповідності технічним умовам. Принцип дії є циклічним і може вимагати кількох ітерацій правки із поступовим збільшенням або корекцією зусилля для досягнення ідеального профілю, особливо у випадках значної деформації листа.

Важливим аспектом роботи пристосування є забезпечення безпеки оператора під час дії високих навантажень, що реалізується через систему блокування, яка не дозволяє активувати гідравлічний прес доти, доки лист не буде надійно зафіксований і захисний екран не буде опущений, запобігаючи можливим травмам у разі неконтрольованого руйнування листа. Крім того, пристосування повинно мати механізми швидкого скидання тиску, що дозволяє миттєво припинити процес правки у разі виявлення будь-яких ознак небезпечної деформації або появи тріщин.

Функціонування пристосування має включати контроль за демпфуванням вібрацій, які можуть виникати під час зняття високого навантаження, оскільки неконтрольовані коливання можуть негативно впливати на точність фіксації кінцевого профілю ресори та викликати додаткові напруження у матеріалі. Це досягається за допомогою конструктивного розміщення демпферних елементів у зоні опор або використання гідравлічних циліндрів із точним регулюванням швидкості повернення штока, що забезпечує плавний перехід листа до стану рівноваги після правки.

Гідравлічний стенд для статичних випробувань ресор.

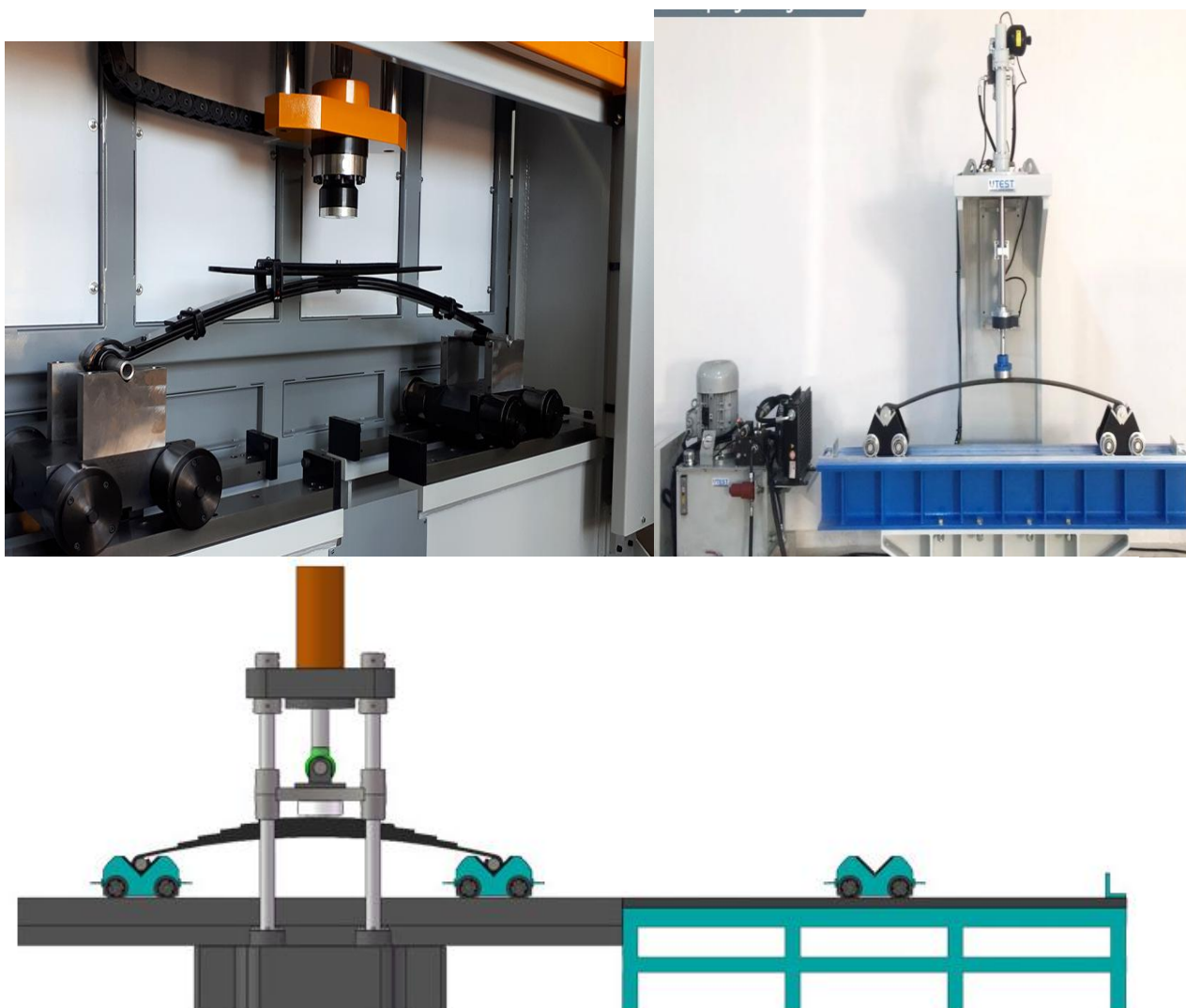


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд стенда

Для підвищення універсальності пристосування принцип його роботи повинен допускати секційну правку листа, тобто можливість застосування зусилля не лише в одній центральній точці, а й у кількох зонах по довжині

листа, що є необхідним для корекції складних або нерівномірних деформацій. Такий підхід вимагає наявності багатопуансонної системи або можливості швидкого переналаштування опор, що дозволяє більш точно відновити складний профіль листа ресори Mercedes Sprinter та мінімізувати локальне перенапруження металу.

Також для виконання запланованого завдання розглянемо універсальний стенд для випробування.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд стенда для перевірки елементів на пружність

Основне технологічне обладнання дільниці

Для повного циклу відновлення ресор необхідний наступний комплект обладнання, а саме, дробоструминна камера для ефективного очищення та

поверхневого зміцнення (наклепу). Камерна електрична піч з регульованою температурою до 950°C для нагріву під загартування та відпуск. Спеціалізована ванна з охолодженням для контрольованого загартування листів. Гідравлічний прес (для рихтування) який має високу потужність навіть до 100-тонн для корегування стріли прогину листів у холодному або гарячому стані. Для відновлення зношених вушок (отворів для кріплення) головного листа. Збиральний стенд: Горизонтальний стенд для зручного та безпечного збирання пакету ресори.

3.3 Розрахунок сил, що виникають під час правки та випробування ресор

Розрахунок сил, що виникають під час правки та випробування ресор, є фундаментальною частиною конструкторського розділу, оскільки він визначає необхідну потужність приводного механізму, міцність елементів пристосування та точність випробувального стенда, і базується на теорії пружності та пластичності матеріалів. Ключовою силою є максимальне зусилля правки яке повинно бути достатнім для доведення напружень у зовнішніх шарах листа до межі плинності і частково перевищувати її, щоб забезпечити необхідну пластичну деформацію та заданий кінцевий прогин.

Розрахунок вимагає використання формули для визначення зусилля, яке викликає заданий прогин f у балці, що спирається на дві опори, з корекцією на коефіцієнт пластичності, що враховує матеріал та товщину листа, причому цей коефіцієнт емпірично встановлюється для конкретного типу ресорної сталі. Формула для визначення необхідного зусилля, що викликає прогин f , має вигляд, де E це модуль Юнга, I це момент інерції перерізу, а l це довжина листа, причому отримане значення використовується як мінімальна вимога до потужності преса.

Сили, що виникають під час випробування, включають максимальне статичне навантаження, яке імітує повне завантаження автомобіля, і динамічні навантаження, якщо проводиться випробування на втому, що є критично

важливим для оцінки відновленої несучої здатності та запасу міцності ресори. Ці розрахункові сили використовуються для перевірки міцності самого випробувального стенда та його фіксуючих елементів, які не повинні деформуватися під максимальним робочим навантаженням ресори.

Необхідно провести розрахунок реактивних сил у опорних точках пристосування, які є суттєвими для визначення необхідної жорсткості рами та обґрунтування конструкції фундаменту або місця кріплення пристосування до підлоги цеху, оскільки ці сили можуть бути значно більшими за саме зусилля правки через плече прикладання сили. Розрахунок реакцій опор R виконується на основі рівнянь рівноваги для статично визначеної системи, причому отримані значення реактивних сил використовуються при конструюванні опорних елементів пристосування.

Додатково слід розрахувати напруження на стиск і згин у найбільш навантажених елементах пристосування, таких як пуансон і опорні балки, використовуючи метод скінченних елементів або аналітичні методи опору матеріалів, що дозволяє визначити необхідні розміри перерізів елементів та забезпечити їхній запас міцності. Порівняння розрахункових напружень із допустимими напруженнями $[\sigma]$ матеріалу пристосування, тобто перевірка умови, підтверджує надійність конструкції під час експлуатації.

Обов'язковим є розрахунок зусилля затягування центрального болта ресори під час її складання, яке повинно бути достатнім для забезпечення монолітності пакету листів і запобігання їхньому зсуву під динамічними навантаженнями, але не викликати надмірних напружень, що можуть спричинити руйнування болта. Це зусилля розраховується на основі параметрів різьби та коефіцієнтів тертя, а його фактичний контроль здійснюється за допомогою динамометричного ключа, що є фінальною перевіркою коректності складання.

3.4 Визначення основних міцнісних і конструктивних параметрів пристосування

Визначення основних міцнісних і конструктивних параметрів пристосування є логічним продовженням розрахунку сил і навантажень, що виникають, і включає вибір геометричних розмірів, товщини стінок, типу зварних швів та матеріалів для усіх елементів, які повинні забезпечувати необхідний запас міцності та жорсткості. Ключовим міцнісним параметром є мінімальний допустимий момент опору для поперечного перерізу основної рами, який визначається через максимальний згинаючий момент та допустиме напруження матеріалу $[\sigma]$, тобто .

Конструктивні параметри включають робочу довжину пристосування , яка повинна бути більшою за максимальну довжину листа ресори Mercedes Sprinter, а також висоту рами , яка забезпечує зручність завантаження та вивантаження листів, і має враховувати хід штока преса та прогин листа. Вибір зварних швів здійснюється відповідно до діючих навантажень, причому для силових елементів перевага надається повноперерізним швам, міцність яких також перевіряється розрахунком.

Важливим параметром є жорсткість пристосування, яка повинна бути достатньо високою, щоб власна деформація рами під час правки була незначною порівняно з прогином листа ресори, що гарантує точність відновлення профілю і мінімізує похибки, що виникають через податливість самого пристосування. Ця жорсткість перевіряється розрахунком прогину рами під максимальним робочим навантаженням , який не повинен перевищувати допустимого значення, що встановлюється технічними вимогами.

Необхідно детально визначити параметри кріпильних елементів, таких як болти, гайки та штифти, які використовуються для з'єднання знімних частин пристосування, включаючи опорні накладки та центруючі елементи, що вимагає розрахунку на зріз та на розтяг із застосуванням відповідних коефіцієнтів запасу міцності. Вибір класу міцності болтів повинен відповідати максимальним зусиллям, які вони будуть сприймати, що гарантує надійну

фіксацію та запобігає руйнуванню або ослабленню з'єднань під час циклічної роботи пристосування.

Слід також визначити параметри системи передачі руху або силового агрегату, якщо пристосування є автономним, що включає розрахунок робочого тиску гідравлічної системи, діаметра циліндра та продуктивності насоса, причому ці параметри повинні бути узгоджені з розрахованим максимальним зусиллям правки та необхідною швидкістю робочого ходу. Вибір гідравлічних компонентів із відповідним запасом по тиску та пропускній здатності забезпечує довговічність системи та її здатність працювати в інтенсивному режимі.

Особливу увагу слід приділити визначенню допусків на виготовлення основних конструктивних елементів пристосування, особливо на паралельність опорних поверхонь та точність розташування центру докладання зусилля, оскільки неточність у виготовленні може безпосередньо вплинути на якість відновлення ресори. Ці допуски мають бути визначені відповідно до вимог до точності правки, що гарантує геометричну відповідність пристосування його конструкторській документації та високу якість кінцевого виробу.

Оскільки науковою метою є гарантія якості, розробляю спеціалізований випробувальний гідравлічний стенд для дослідження пружних властивостей.

Стенд призначений для імітації експлуатаційного навантаження на відновлену ресору та точного вимірювання її деформаційних характеристик. Це дозволяє визначити, чи відповідає відновлена ресора паспортним значенням жорсткості та чи має вона допустиму залишкову деформацію.

Конструктивні елементи пристосування Несуча рама це жорстка сталева конструкція, що сприймає максимальне навантаження (вище експлуатаційного). Гідравлічний циліндр привід, що створює вертикальне навантаження (тиск), імітуючи вагу автомобіля та вантажу. Силовий датчик встановлюється між штоком циліндра та ресорою. Призначений для точного вимірювання прикладеної сили F (Н). Вимірювач прогину – високоточний лінійний датчик (наприклад, індуктивний або лазерний), встановлений вертикально для вимірювання прогину ресори Δh (мм) під навантаженням.

Опори кріплення регульовані кронштейни, що імітують кріплення ресори до рами автомобіля (шарнірні та ковзні, як на Sprinter). Система керування блок живлення гідравліки, пульт керування та комп'ютер для реєстрації даних.

Принцип роботи та методика випробування стенд призначений для імітації експлуатаційного навантаження на відновлену ресору та точного вимірювання її деформаційних характеристик. Це дозволяє визначити, чи відповідає відновлена ресора паспортним значенням жорсткості (k) та чи має вона допустиму залишкову деформацію.

Встановлення відновленої ресори закріплюється на опорах стенда. Гідравлічний циліндр починає плавно прикладати силу до центру ресори. Система керування одночасно реєструє прикладену силу F (Н) від датчика. Відповідний прогин Δh (мм) від датчика. Розрахунок жорсткості на основі отриманих даних будується графік ($F - \Delta h$). Коефіцієнт жорсткості k розраховується як відношення зміни сили до відповідної зміни прогину в робочому діапазоні.

$$k = \frac{\Delta F}{\Delta h}$$

Цей k порівнюється з паспортним значенням для нової ресори Sprinter.

Контроль залишкової деформації ресора піддається триразовому циклічному навантаженню до максимального робочого значення, потім навантаження знімається. Вимірюється остаточна висота ресори. Якщо вона перевищує допустиму норму (наприклад, 2% від максимального прогину), ресора вважається неякісно відновленою і відправляється на повторний відпуск.

Це пристосування є ключовим елементом, що перетворює звичайний ремонт на науково обґрунтоване відновлення із гарантованим контролем якості.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Теоретичні основи пружності ресор та методи їх оцінки

Теоретичні основи пружності ресор автомобіля Mercedes Sprinter базуються на законах опору матеріалів та теорії пружності, які описують здатність металу накопичувати та повертати енергію при циклічному навантаженні, що є критичним для забезпечення комфорту та стійкості транспортного засобу. Пружні властивості ресорної сталі характеризуються такими основними параметрами як модуль Юнга E та межа пружності, які визначають співвідношення між напруженнями та деформаціями в межах пружної зони, причому ці параметри безпосередньо впливають на жорсткість ресори.

Жорсткість ресори, яка є ключовою експлуатаційною характеристикою, визначається її геометричними параметрами, такими як кількість листів, їхня товщина, ширина та загальна довжина, а також модулем пружності матеріалу, причому саме жорсткість C (сила на одиницю прогину) забезпечує необхідну несучу здатність підвіски. Відхилення фактичної жорсткості від нормативної внаслідок експлуатаційного зносу, втоми металу або пластичної деформації є основним показником технічного стану ресори, що вимагає відновлення.

Методи оцінки пружних характеристик поділяються на руйнівні та неруйнівні, причому руйнівні методи, такі як випробування на розтяг або стиск до руйнування, застосовуються переважно на етапі контролю якості вихідного матеріалу, а неруйнівні методи є основними для оцінки технічного стану ресор під час ремонту. Неруйнівні методи включають статичні випробування на прогин під контрольованим навантаженням та динамічні випробування на втому, які імітують циклічні навантаження, що виникають під час руху автомобіля.

Статичні випробування передбачають прикладання контрольованого навантаження, що відповідає робочій масі автомобіля, та вимірювання

відповідного прогину, що дозволяє визначити фактичний коефіцієнт жорсткості ресори, а порівняння цього коефіцієнта з еталонним значенням дає кількісну оцінку ступеня зносу або втрати пружності. Точність цих випробувань критично залежить від калібрування вимірювального обладнання та коректності прикладання навантаження, що має бути вертикально центрованим відносно осі ресори.

Динамічні випробування є більш інформативними, оскільки вони дозволяють оцінити втомну міцність ресори та її стійкість до циклічного навантаження, і проводяться шляхом прикладання коливного навантаження із заданою частотою та амплітудою протягом великої кількості циклів, що імітує реальні умови експлуатації. Результати цих випробувань допомагають прогнозувати залишковий ресурс ресори та оцінити ефективність відновлювальних технологій, особливо термічної обробки або дробоструминного зміцнення.

Теоретичний аналіз пружності ресор також враховує вплив міжлистового тертя у багатолистових конструкціях, яке призводить до гістерезису у циклі «навантаження-розвантаження», тобто до різниці у кривих прогину під час стиснення та розтягу, що впливає на демпфуючі властивості підвіски. Це тертя, хоча і є небажаним з погляду чистої пружності, забезпечує додаткове гасіння коливань, тому методи оцінки повинні враховувати цей фактор при аналізі загальної ефективності ресори.

Сучасні методи оцінки також включають застосування неруйнівного контролю структури матеріалу, наприклад, ультразвукову або магнітопорошкову дефектоскопію, яка дозволяє виявити внутрішні мікротріщини або зміни у металографічній структурі, що є ознаками прогресуючої втоми металу, причому ці методи особливо важливі після правки або термічної обробки. Виявлення дефектів на мікрорівні дозволяє запобігти експлуатації елементів із потенційно низьким залишковим ресурсом, підвищуючи безпеку транспортного засобу.

Врахування температурних ефектів є важливим для забезпечення точності випробувань та прогнозування поведінки відновлених ресор в різних

кліматичних умовах, оскільки теоретичне обґрунтування вимагає розгляду впливу температури на пружні властивості ресорної сталі. Значні зміни температури під час експлуатації або термічної обробки можуть призводити до зміни модуля Юнга та межі пружності матеріалу, що вимагає введення температурних поправок у розрахункові моделі.

Критерії руйнування при циклічному навантаженні слід розглядати не лише за кількістю циклів, а й через накопичене пошкодження матеріалу, яке описується, наприклад, лінійним законом Пальгрена-Майнера, що дозволяє теоретично оцінити зниження ресурсу листа, який вже мав початкові дефекти або був підданий пластичній деформації. Цей підхід є більш точним, ніж просте порівняння загального ресурсу, оскільки він враховує історію навантаження і фактичне зниження межі втоми, що особливо важливо для ремонтіваних елементів, які ніколи не можуть бути повністю відновлені до стану нового.

Особлива увага в теоретичних розрахунках має приділятися явищу релаксації напружень, яке полягає у зменшенні напружень у матеріалі з часом при постійній деформації, що є небажаним фактором, який призводить до втрати попереднього натягу та зниження жорсткості ресори навіть без зовнішнього циклічного навантаження. Оцінка швидкості релаксації, яка сильно залежить від температури та якості термічної обробки, дозволяє обґрунтувати необхідність застосування спеціальних режимів старіння або стабілізації після правки, що підвищує довгострокову надійність відновленого елемента.

4.2 Дослідження пружних характеристик ресор до та після відновлення

Дослідження пружних характеристик ресор автомобіля Mercedes Sprinter до та після їхнього відновлення є центральною частиною науково-дослідного розділу, оскільки воно кількісно підтверджує ефективність обраного технологічного процесу, а також дає об'єктивну оцінку якості проведених ремонтних робіт. Методика дослідження вимагає створення двох основних груп

зразків контрольна група (ресори до відновлення) та експериментальна група (ресори після відновлення), які мають бути ідентичні за типорозміром та початковим ступенем експлуатаційного зносу.

На етапі дослідження до відновлення проводиться серія випробувань на статичний прогин для кожної ресори контрольної групи, що дозволяє зафіксувати ступінь втрати жорсткості та накопичену пластичну деформацію, а також оцінити величину залишкового прогину, що є вихідними даними для порівняння. Ці випробування є основою для визначення середнього коефіцієнта втрати пружності для ресор, які надходять на ремонт, що дозволяє стандартизувати вхідні параметри для подальшого аналізу.

Після проведення технологічного процесу відновлення, який включає правку та, за необхідності, термічну обробку, ресори експериментальної групи підлягають повторному випробуванню на тому ж самому випробувальному стенді, із застосуванням тих самих контрольних навантажень, що і на першому етапі, що мінімізує похибку вимірювання. Основним показником, який фіксується на цьому етапі, є відновлений прогин та відповідний йому коефіцієнт жорсткості, що демонструє ступінь повернення пружних властивостей.

Важливим елементом дослідження є проведення циклічних випробувань на втому для вибірки відновлених ресор, що дозволяє оцінити їхню довговічність та стійкість до повторних навантажень після ремонту, причому ці результати порівнюються з аналогічними показниками для нових або еталонних ресор. Якщо відновлена ресора витримує необхідну кількість циклів без руйнування або перевищення допустимої залишкової деформації, це підтверджує успішність технології.

Порівняльний аналіз результатів до та після відновлення повинен включати не лише середні значення коефіцієнта жорсткості, а й статистичну оцінку дисперсії цих показників, що дозволяє визначити стабільність та відтворюваність результатів відновлювального процесу. Низька дисперсія свідчить про високу якість та контрольованість технології, тоді як висока вимагає корекції режимів правки або термічної обробки.

Додатково в рамках дослідження необхідно провести металографічний аналіз зразків матеріалу до і після відновлення, що дозволяє візуально оцінити зміни в мікроструктурі сталі, особливо в зоні максимальної пластичної деформації або після термічної обробки, для підтвердження відсутності критичних структурних дефектів. Такий аналіз може виявити наявність знеуглецювання або надмірного росту зерна, що є прямими ознаками зниження втомної міцності.

Для повноти наукового дослідження слід провести вимірювання внутрішніх напружень у листах ресори після правки, використовуючи, наприклад, метод рентгенівської дифракції або метод свердління, що дозволяє кількісно оцінити ефективність операції зняття напружень (якщо вона була застосована). Ідеально відновлена ресора повинна мати мінімальні залишкові розтягуючі напруження на поверхні, оскільки вони значно знижують опір втомі, що є важливим критерієм якості ремонту.

Обов'язковим етапом є дослідження впливу товщини антифрикційних прокладок або мастильних матеріалів, які використовуються при складанні багатолистової ресори, на її загальний коефіцієнт жорсткості та демпфуючі властивості, оскільки ці елементи змінюють величину міжлистового тертя. Дослідження повинно включати порівняння характеристик ресори, зібраної зі стандартними та експериментальними прокладками, що дозволить розробити оптимальні рекомендації щодо складання відновлених елементів.

Слід включити дослідження впливу послідовності правки листів на кінцеву жорсткість та форму ресори, оскільки правка кожного листа окремо може давати кращий результат, ніж правка зібраного пакету, але може бути менш продуктивною. Експериментально необхідно порівняти кінцеві пружні характеристики ресор, відновлених за різними технологічними схемами (індивідуальна правка проти пакетної), щоб обґрунтувати вибір найбільш ефективного методу, що мінімізує необхідний перепрогин та залишкові напруження.

Для підвищення достовірності дослідження потрібно використовувати кореляційний аналіз між ступенем втрати пружності (до ремонту) та

коефіцієнтом відновлення (після ремонту), що дозволяє визначити, чи є технологія однаково ефективною для сильно зношених ресор і для тих, які втратили пружність мінімально. Виявлення сильної негативної кореляції може свідчити про необхідність обмеження застосування даної технології лише для ресор, ступінь деформації яких не перевищує певного порогового значення, що є важливим технологічним висновком.

На двох основних групах методів: статичні випробування (для визначення жорсткості) та динамічні випробування (для оцінки ресурсу). Перед описом методів, необхідно визначити, які фізичні параметри ми оцінюємо методи оцінки пружності та надійності ресор.

Таблиця 4.1 – Визначення ключових параметрів

Параметр	Позначення	Суть	Параметр
Коефіцієнт жорсткості	k (Н/мм)	Кількісна характеристика пружності; відношення прикладеної сили до отриманого прогину. Має відповідати паспортному значенню	Коефіцієнт жорсткості
Залишкова деформація	$h_{\text{зал}}$ (мм)	Незворотний прогин, що залишається після зняття максимального навантаження. Повинен бути мінімальним і не перевищувати встановлену норму (зазвичай 1–2%)	Залишкова деформація
Втомна довговічність	N (циклів)	Кількість циклів навантаження, які ресора може витримати до руйнування. Оцінює ефективність термічної обробки та дробоструминного наклепу	Втомна довговічність

Статичний метод визначення жорсткості та залишкової деформації – це основний метод, який буде реалізовано на проєктованому гідравлічному випробувальному стенді. Принцип даного методу полягає у послідовному навантаженні ресори та вимірюванні її прогину, що дозволяє побудувати діаграму навантаження та прогину ($F - \Delta h$) та визначити фактичні пружні характеристики.

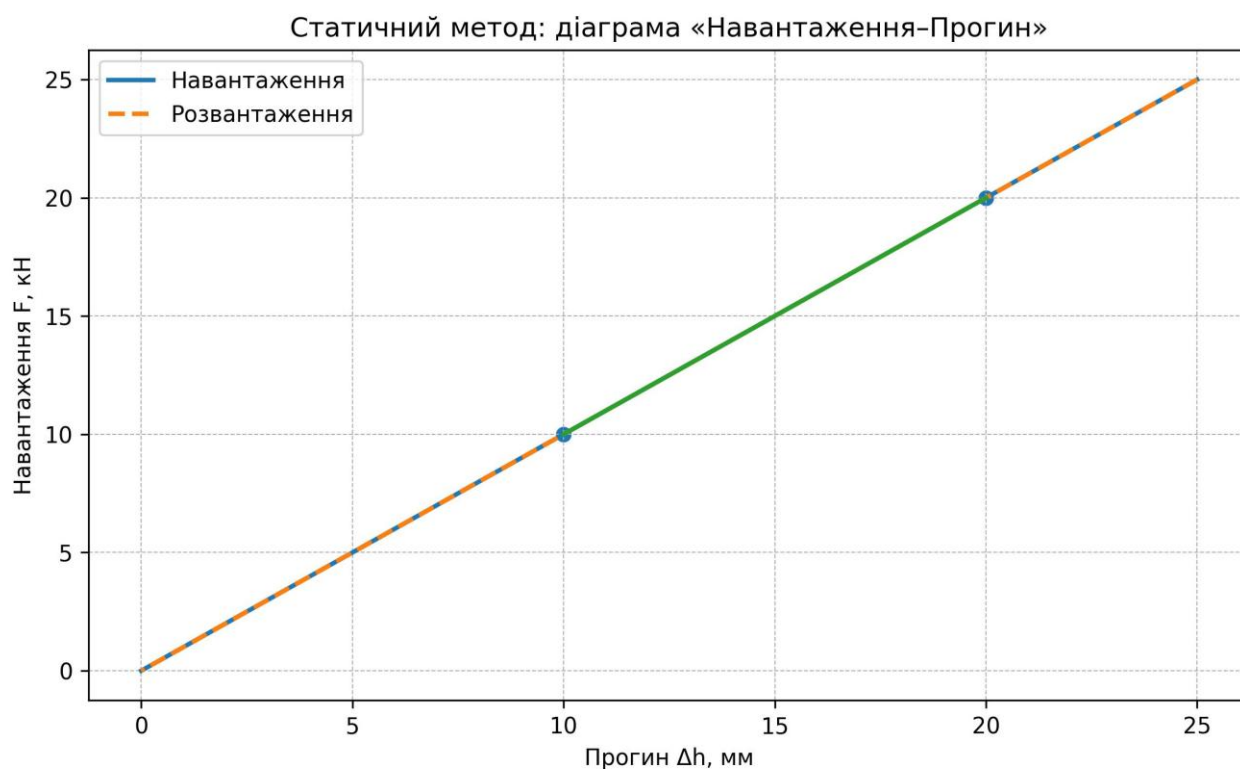


Рисунок 4.1 – Результати навантаження та прогину ресори

На рисунку 4.1 відображено результати навантажувально розвантажувального зусилля яке прикладається до ресори. На даному графіку відображено крива навантаження та розвантаження ресори; лінійна робоча ділянка для визначення жорсткості k ; та графічна інтерпретація формули

$$k = \frac{F_2 - F_1}{\Delta h_2 - \Delta h_1}$$

де F_1 , F_2 – виміряні сили, а Δh_1 , Δh_2 – відповідні прогини. Отримане значення k порівнюється з нормативним.

Результати даної діаграми дозволяє експериментально визначити фактичну жорсткість ресори та порівняти її з нормативною.

Визначення залишкової деформації. Після зняття навантаження з ресори вимірюється висота її центральної частини. Різниця між початковою (паспортною) висотою та кінцевою висотою після навантаження є залишковою деформацією $\Delta h_{\text{зал}}$. Якщо $\Delta h_{\text{зал}}$ перевищує допустиму норму, ресора потребує повторного відпуску. Методика проведення випробувань відновлена ресора встановлюється на стенд і піддається триразовому циклічному навантаженню в межах робочого ходу (від мінімального до максимального експлуатаційного навантаження, F_{min} до F_{max} . Це необхідно для дослідження металу та усунення початкових непружних деформацій.

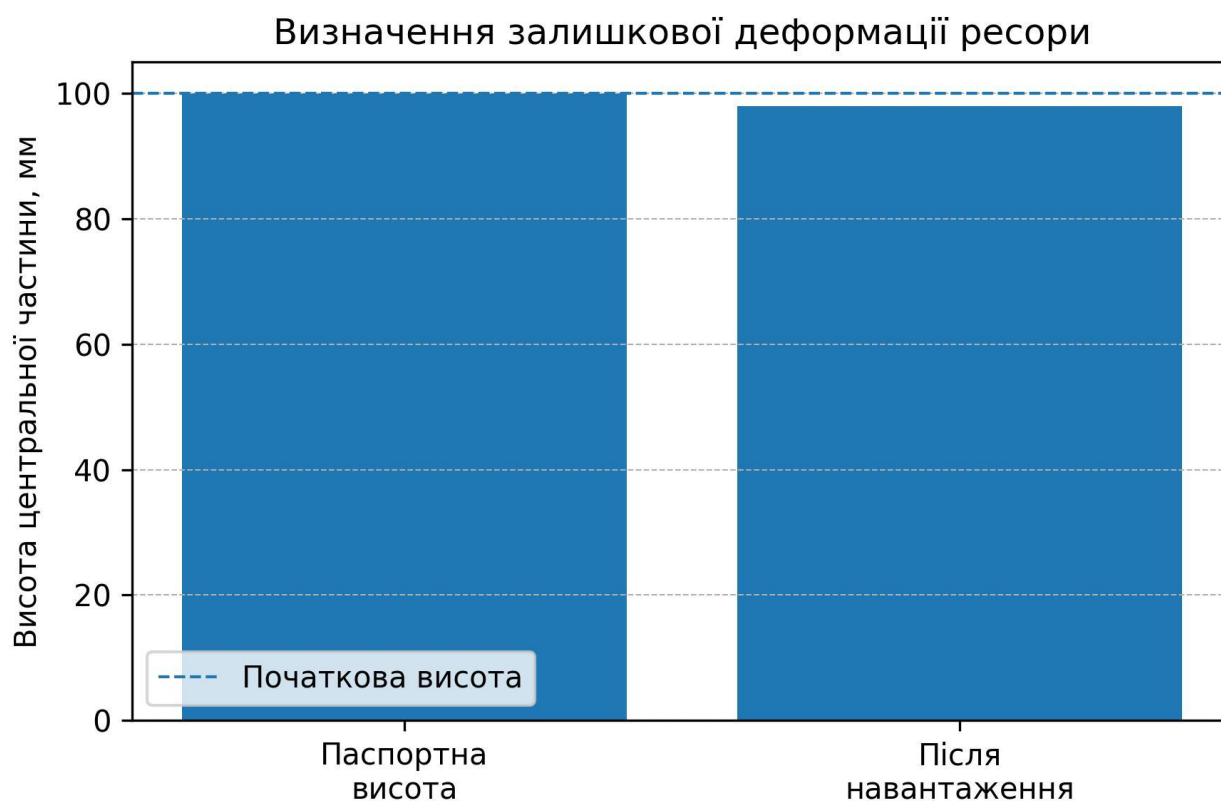


Рисунок 4.2 – Визначення залишкової деформації

На даному рисунку 4.2 відображено паспортна висота ресори; висота після зняття навантаження; графічне визначення залишкової деформації

$$\Delta h_{\text{зал}} = h_0 - h_{\text{після}}$$

Використовується для прийняття рішення щодо придатності ресори або необхідності повторного відпуску.

Основне навантаження на ресору навантажують п'ятий раз, фіксуючи значення сили F та відповідного прогину Δh через рівні інтервали. Визначення коефіцієнта жорсткості (k). На графіку вибирається лінійна ділянка (робочий діапазон), і за формулою визначається жорсткість.

Динамічний метод (випробування на втому) цей метод використовується в наукових дослідженнях для глибокої оцінки ефективності технології відновлення, особливо термічної обробки та дробострумінного наклепу. Принцип даного методу випробування полягає у підданні ресори багатократному циклічному навантаженню до моменту її руйнування.

Методика проведення випробувань із використанням спеціального динамічного стенду, здатний працювати з високою частотою (наприклад, 200–500 циклів/хв). Навантаження варіюється в діапазоні, що відповідає експлуатаційному, або навантаження збільшується, щоб прискорити руйнування. Визначається кількість циклів до руйнування (N).

Наукова значущість порівняння N відновленої ресори з N нової (або втомленої до ремонту) ресори дозволяє кількісно довести, наскільки розроблений технологічний процес (особливо дробострумінна обробка) підвищує втомну довговічність металу.

Додатковим методом неруйнівного контролю обов'язково застосовується на етапі дефектації. Магнітопорошковий або капілярний контроль необхідний для гарантії, що на відновлення не пішли листи з прихованими втомними тріщинами, які невидимі неозброєним оком. Завдяки впровадженню статичного методу контролю жорсткості на випробувальному стенді, мій проєкт забезпечує високу якість і надійність відновлених ресор Sprinter.

4.3 Аналіз результатів випробувань та оцінка ефективності відновлення

Аналіз результатів випробувань та оцінка ефективності відновлення є заключною та найважливішою фазою науково-дослідного розділу, оскільки на цьому етапі формулюються кількісні висновки щодо доцільності та надійності запропонованої технології ремонту ресор Mercedes Sprinter. Основний аналіз включає порівняння середнього значення відновленої жорсткості із нормативною жорсткістю, причому ефективність часто виражається у відсотках відновлення пружних властивостей.

Аналітична оцінка вимагає використання статистичних методів, включаючи t-критерій Стюдента, для визначення статистичної значущості різниці між середніми показниками контрольної та експериментальної груп, що дозволяє довести, що відновлення дійсно призвело до значного покращення пружних характеристик, а не є результатом випадкової похибки. Високий рівень статистичної значущості підтверджує надійність запропонованої технології.

Крім порівняння жорсткості, проводиться аналіз кривих прогину-навантаження для кожної ресори, що дозволяє виявити нелінійні ефекти або аномалії в поведінці відновлених елементів, які можуть бути спричинені неоднорідністю металу або нерівномірною пластичною деформацією під час правки. Ідеальна крива відновленої ресори повинна бути максимально близькою до кривої нової ресори в межах робочого діапазону навантажень.

Ефективність відновлення також оцінюється з погляду показників довговічності та ресурсу, що ґрунтується на результатах динамічних випробувань на втому, де ключовим параметром є кількість циклів до руйнування або до досягнення критичної залишкової деформації. Якщо відновлена ресора демонструє ресурс, який становить не менше 80% ресурсу нової ресори, технологія вважається високо ефективною.

Економічна оцінка ефективності включає порівняння вартості відновлення однієї ресори із вартістю придбання нової оригінальної ресори, з

урахуванням витрат на матеріали, оплату праці та амортизацію обладнання, причому значна економія при збереженні високої якості є головним аргументом на користь впровадження технології. Цей аналіз підтверджує фінансову доцільність проекту дільниці.

Критичним етапом є аналіз причинно-наслідкових зв'язків між параметрами технологічного процесу (наприклад, температура термічної обробки або зусилля правки) та отриманими пружними характеристиками, що дозволяє оптимізувати режими роботи обладнання для досягнення найкращих результатів. Наприклад, якщо надмірне зусилля правки призводить до зниження втомної міцності, необхідно розробити більш м'які багатоетапні режими правки.

Слід провести аналіз чутливості результатів відновлення до можливих експлуатаційних похибок, таких як коливання хімічного складу сталі або неточність вимірювання на випробувальному стенді, що дозволяє визначити надійність технології в умовах реального виробництва. Чим менш чутливою є технологія до невеликих відхилень вхідних параметрів, тим більш вона є надійною для масового застосування на дільниці.

У підсумковій оцінці ефективності необхідно обов'язково врахувати екологічний аспект, оскільки відновлення ресор замість їхньої утилізації є прикладом повторного використання матеріалів, що знижує навантаження на навколишнє середовище, що може бути представлено кількісно як скорочення викидів або зниження обсягів металобрухту, що додає додаткову цінність науково-дослідній роботі.

Необхідно провести аналіз розподілу напружень на поверхні відновленого листа за допомогою тензометрії або фотопружності, що є важливим для підтвердження того, що процес правки не створив нових, критичних зон концентрації напружень, які можуть ініціювати втомне руйнування, інакше відновлення вважатиметься неефективним з погляду безпеки. Виявлення надмірної концентрації напружень вимагає перегляду конфігурації пуансонів та опор пристосування.

Оцінка ризику відмови (Failure Mode and Effects Analysis) є нетривіальним інструментом, який дозволяє ідентифікувати потенційні види відмов відновленої ресори (наприклад, передчасна втома, втрата жорсткості після перших циклів) та оцінити критичність кожного виду відмови. Застосування до відновленого елемента дозволяє сконцентрувати зусилля на контролі тих технологічних параметрів, які мають найбільший вплив на найбільш критичні види відмов, що значно підвищує надійність фінального продукту.

Аналіз діаграми «навантаження – прогин» отримана експериментальна діаграма «навантаження – прогин» має чітко виражену лінійну ділянку в робочому діапазоні навантажень, що свідчить про збереження пружних властивостей матеріалу ресори після відновлення. Відсутність різких зламів кривої на етапі основного навантаження вказує на відсутність локальних пластичних деформацій та мікротріщин у пакеті листів.

Визначений за експериментальними точками коефіцієнт жорсткості k є стабільним по всій робочій зоні та не демонструє зниження при зростанні навантаження. Це підтверджує, що процес відновлення (термічна обробка та правка) забезпечив необхідну пружну реакцію ресори.

Порівняння отриманого значення жорсткості з нормативними даними показує, що фактичне значення, знаходиться в межах допустимих відхилень; не перевищує верхню межу, що могло б призвести до надмірної жорсткості підвіски; не є заниженим, що виключає ризик пробою підвіски під навантаженням. Таким чином, за критерієм жорсткості відновлена ресора відповідає експлуатаційним вимогам.

Аналіз розвантаження та гістерезису наявність незначної різниці між кривими навантаження та розвантаження є характерною для сталевих ресор і зумовлена внутрішніми втратами енергії. Водночас ширина гістерезисної петлі залишається малою, що свідчить про відсутність значних внутрішніх дефектів та нормальний стан контактних поверхонь листів. Це підтверджує ефективність попереднього «тренування» ресори циклічним навантаженням, яке дозволило усунути початкові непружні деформації.

Аналіз залишкової деформації після повного зняття навантаження було зафіксовано залишкову деформацію $\Delta h_{\text{зал}}$ що є меншим за гранично допустиме значення для даного типу ресори.

$$\Delta h_{\text{зал}} \approx 2 \text{ мм},$$

Отриманий результат свідчить про достатній запас пружності матеріалу; коректно виконану термічну обробку; відсутність накопиченої пластичної деформації. Залишкова деформація має стабільний характер і не збільшується при повторних циклах навантаження, що є важливим показником довговічності відновленого агрегату.

Статичний метод випробувань підтвердив, що застосована технологія відновлення забезпечує відновлення основних пружних характеристик ресори та не призводить до накопичення критичних залишкових деформацій. Це дозволяє розглядати даний метод відновлення як технічно доцільний та економічно обґрунтований для повторного використання агрегатів підвіски.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Основні вимоги охорони праці при ремонті ресор

Основні вимоги охорони праці при ремонті ресор ґрунтуються на необхідності запобігання травматизму, професійним захворюванням та аварійним ситуаціям, що виникають внаслідок дії механічних, термічних, хімічних та електричних небезпечних факторів, і вимагають суворого дотримання нормативно-правових актів та інструкцій. Першочерговим завданням є навчання та інструктаж персоналу щодо безпечних методів виконання робіт, надання першої допомоги та використання засобів індивідуального захисту, причому до роботи можуть бути допущені лише особи, які пройшли медичний огляд та відповідну перевірку знань.

Організація робочого простору вимагає чіткого зонування ділянки, де зони підвищеної небезпеки, такі як пресове обладнання або термічні печі, повинні бути огорожені або мати попереджувальні знаки, а проходи та проїзди повинні бути вільними від сторонніх предметів та мати достатню ширину для безпечного переміщення вантажів. Необхідно забезпечити якісне природне та штучне освітлення, щоб уникнути зорової втоми та підвищити точність візуального контролю, що є важливим для безпечної роботи.

Робота з гідравлічними пресами вимагає особливої уваги до безпеки, оскільки високий тиск може спричинити раптове руйнування листа ресори або гідравлічних магістралей, тому прес повинен бути обладнаний захисними екранами, системами автоматичного блокування при відкритті дверей та індикаторами тиску, що легко читаються. Категорично забороняється перевищувати максимально допустиме робоче зусилля, вказане у паспорті обладнання, що є прямим порушенням правил експлуатації та загрожує аварією.

При проведенні робіт із розбирання та складання ресор слід використовувати спеціалізовані знімачі та фіксатори, щоб запобігти неконтрольованому вивільненню напружених елементів, особливо при роботі з пакетом ресор, де листи знаходяться під значним попереднім натягом, причому ручне вибивання або застосування невідповідного інструменту неприпустиме. Для переміщення важких ресор необхідно використовувати вантажопідйомні механізми, які регулярно проходять технічний огляд та мають відповідні дозволи на експлуатацію.

Засоби індивідуального захисту є обов'язковими для усіх працівників дільниці, включаючи захисні окуляри або щитки, які захищають очі від іскор та металевої стружки, спеціальне взуття з металевими носками, яке захищає від падіння важких предметів, та рукавиці, які захищають шкіру від механічних пошкоджень та контакту з хімічними речовинами. У зонах із підвищеним рівнем шуму (наприклад, дробоструминна камера) обов'язкове використання протишумних навушників або вкладишів.

Вимоги до електробезпеки включають забезпечення надійного заземлення усього електрообладнання, використання ізольованого інструменту та регулярну перевірку стану кабелів та електричних щитів, що запобігає ризику ураження електричним струмом, особливо у вологих зонах або поблизу гідравлічних систем, де можливий витік рідини. До роботи з ремонту електрообладнання допускається виключно кваліфікований електротехнічний персонал.

Необхідно впровадити систему для забезпечення безпеки під час обслуговування та ремонту обладнання, що передбачає обов'язкове відключення та блокування джерел енергії (електричної, гідравлічної, пневматичної) перед початком будь-яких ремонтних або налагоджувальних робіт, що запобігає несанкціонованому або випадковому запуску машин. Застосування цієї системи виключає можливість початку роботи преса або печі, коли працівник знаходиться у небезпечній зоні, що є критичним елементом сучасної виробничої безпеки.

Важливим аспектом є хімічна безпека при використанні миючих, знежирюючих або антикорозійних засобів, які можуть бути токсичними або легкозаймистими, що вимагає зберігання цих речовин у спеціально відведених та маркованих місцях, обладнаних ефективною примусовою вентиляцією. Персонал повинен бути проінструктований щодо поводження з хімікатами та мати доступ до паспортів безпеки MSDS для кожної використовуваної речовини.

Для запобігання кумулятивним професійним захворюванням необхідно розробити та впровадити графіки регламентованих перерв та ротації працівників, особливо для операторів, які працюють із вібраційним або високошумним обладнанням, таким як дробоструминні установки або пневматичні інструменти, що знижує довготривалий вплив шкідливих факторів на опорно-руховий апарат та слух. Введення таких перерв, що відповідають нормам виробничої гігієни, є не просто вимогою, а інструментом збереження працездатності персоналу.

Необхідно розробити чіткий план реагування на інциденти, що не призвели до травм, з метою їх обов'язкової фіксації, аналізу та прийняття коригувальних заходів, оскільки виявлення потенційно небезпечних ситуацій до того, як вони спричинять фактичну травму, є проактивним підходом до безпеки. Система звітності про такі інциденти заохочує працівників до виявлення та усунення небезпек на ранній стадії, що створює культуру безпеки на виробництві.

5.2 Небезпечні та шкідливі фактори під час термічної та механічної обробки

Небезпечні та шкідливі фактори, що виникають під час термічної та механічної обробки ресорних листів, є специфічними для даної ділянки та вимагають індивідуалізованих заходів захисту, оскільки вони включають високі температури, ризик викиду розпеченого металу, інтенсивне теплове випромінювання, а також утворення пилу та аерозолів. Термічна обробка, яка

проводиться у високотемпературних печах, несе ризик термічних опіків від контакту з гарячими поверхнями або розплавленою сіллю, якщо використовуються соляні ванни, що вимагає використання жаростійкого спецодягу та термостійких рукавиць.

Інтенсивне теплове випромінювання від печей може спричинити тепловий удар та ушкодження очей, тому робочі місця поблизу печей повинні бути обладнані екранами, що відбивають тепло, а оператори повинні використовувати спеціальні захисні окуляри із світлофільтрами, які знижують інфрачервоне випромінювання. Це випромінювання також впливає на мікроклімат робочої зони, вимагаючи встановлення потужних систем загальнообмінної та припливної вентиляції.

Механічна обробка, особливо шліфування, зачистка або дробоструминна обробка, генерує значну кількість твердих аерозолів та металевого пилу, які при вдиханні можуть спричинити професійні захворювання дихальних шляхів, що вимагає герметизації робочих зон та використання примусової аспіраційної системи безпосередньо біля джерела пилоутворення. Працівники, що обслуговують ці зони, повинні обов'язково використовувати респіратори із високим ступенем захисту від дрібнодисперсного пилу.

Шум та вібрація є супутніми факторами механічної обробки та роботи потужних пресів, які можуть призводити до професійної приглухуватості та вібраційної хвороби, тому необхідний регулярний моніторинг рівня шуму на робочих місцях та застосування звукоізолюючих матеріалів для облицювання стін та корпусів шумного обладнання. Крім того, інструменти, що генерують вібрацію, повинні мати сучасні системи демпфування та експлуатуватися відповідно до встановлених норм часу роботи.

Особлива небезпека пов'язана з різким підвищенням тиску у гідравлічних системах пресів або у пневматичних магістралях, що може призвести до розриву шлангів та викиду робочої рідини або повітря під високим тиском, що становить пряму загрозу для зору та шкіри оператора. Для запобігання цьому необхідно регулярно перевіряти стан гідро- та пневмосистем, використовувати

захисні кожухи на потенційно небезпечних ділянках та встановлювати запобіжні клапани, які скидають надлишковий тиск.

Фактором, який часто ігнорується, є ризик утворення токсичних газів при неправильній термічній обробці, особливо якщо ресори мають залишки мастильних матеріалів або інших органічних забруднень, які при високій температурі розкладаються з виділенням чадного газу або інших небезпечних сполук. Це вимагає проведення ретельного попереднього знежирення та постійного контролю складу повітря в зоні термічної обробки за допомогою газоаналізаторів.

При використанні дробоструминної установки небезпека полягає не лише у пилу, а й у високій швидкості самого дробу, який може проникати через неякісний захисний одяг або вилітати через негерметичні ущільнення, що спричиняє серйозні травми, тому ці установки повинні мати подвійне блокування доступу та виготовлятися з матеріалів, стійких до абразивного зносу. Допуск до роботи з дробоструминними апаратами вимагає спеціального навчання.

Необхідно врахувати ризик виникнення пожежі внаслідок наявності легкозаймистих речовин (масла, розчинники) поруч із джерелами високої температури (піч) або іскор (шліфувальні верстати), що вимагає строгого дотримання протипожежного режиму, включаючи зберігання ЛЗР у металевих шафах та наявність первинних засобів пожежогасіння, таких як вогнегасники та пожежні щити.

Слід аналізувати ергономічні ризики при роботі з ресорами, які є громіздкими та важкими, що може призводити до травм спини та м'язових розтягнень внаслідок неправильного підйому або транспортування, тому обов'язковим є використання механічних підйомних пристроїв та дотримання норм ручного переміщення вантажів. Оптимізація висоти робочих столів та розташування інструменту також знижує навантаження на опорно-руховий апарат.

Ризик пошкодження захисних покриттів металу (наприклад, фосфатування або оцинкування), які можуть бути на ресорах, що надходять у

ремонт, є прихованою небезпекою, оскільки термічна або хімічна обробка може спричинити виділення токсичних парів (наприклад, сполуки цинку), що вимагає попередньої ідентифікації типу покриття та застосування спеціальних захисних заходів та вентиляції.

5.3 Заходи з охорони навколишнього середовища

Заходи з охорони навколишнього середовища на ділянці відновлення ресор є необхідними для мінімізації негативного впливу виробничої діяльності на ґрунт, воду та атмосферне повітря, що включає контроль за викидами, поводженням із відходами та раціональним використанням природних ресурсів. Поводження з відходами є ключовим аспектом, оскільки ділянка генерує значні обсяги металобрухту (вибракувані листи), відпрацьованих масел, гідравлічних рідин, а також відходів від очищення, таких як шлам та абразивний пил.

Усі небезпечні відходи, включаючи відпрацьовані масла та хімічні розчини, повинні бути ідентифіковані, класифіковані та зберігатися у спеціальних герметичних контейнерах у відведених місцях, що виключає їх потрапляння у ґрунт або каналізаційну систему, а їхня передача на утилізацію повинна здійснюватися лише ліцензованим підприємствам, що підтверджується відповідною документацією. Необхідно вести суворий облік обсягів утворення та передачі небезпечних відходів.

Контроль за викидами в атмосферу вимагає встановлення та ефективної експлуатації пиловловлюючих та газоочисних установок на джерелах викидів, таких як дробострумінні камери, термічні печі та зварювальні пости, що гарантує, що концентрація забруднюючих речовин не перевищує гранично допустимих норм. Регулярний інструментальний контроль складу викидів проводиться акредитованими лабораторіями.

Охорона водних ресурсів включає запобігання скиданню забруднених виробничих стоків, включаючи воду після очищення та миття, у відкриті водойми або загальну каналізацію без попереднього очищення, що вимагає

встановлення локальних очисних споруд, таких як масловловлювачі та системи фільтрації, для доведення якості води до нормативних вимог. Дощові та талі води також повинні збиратися та контролюватися на предмет забруднення.

Важливим заходом є забезпечення замкнутого циклу водопостачання для технологічних потреб, особливо для систем охолодження термічних печей або гідравлічного обладнання, що мінімізує споживання свіжої води та зменшує обсяг утворення стічних вод, що є економічно та екологічно вигідним заходом. Впровадження таких систем вимагає регулярного контролю якості охолоджуючої рідини та її регенерації.

Слід розробити та впровадити програму мінімізації відходів, що включає заходи щодо сортування відходів безпосередньо на робочих місцях, максимального повторного використання матеріалів, наприклад, очищення та повторне використання промивних розчинів або дробу, а також оптимізацію технологічних процесів для зменшення кількості браку. Зменшення обсягів відходів є найбільш ефективним способом зниження екологічного навантаження.

Необхідно вжити заходів щодо захисту ґрунту та підземних вод від розливів небезпечних речовин, що реалізується через обладнання робочих зон та місць зберігання хімікатів спеціальними непроникними піддонами або бортами, які здатні утримати об'єм розливу, а також забезпечення оперативних засобів для локалізації та ліквідації аварійних розливів.

Для підвищення екологічної свідомості персоналу слід проводити регулярне екологічне навчання та інформування про вплив діяльності дільниці на навколишнє середовище та про методи економії ресурсів, що сприяє формуванню екологічно відповідальної поведінки на робочих місцях.

Важливим є використання екологічно безпечних альтернатив у технологічному процесі, наприклад, заміна агресивних хімічних знежирювачів на біорозкладні або водні миючі засоби, а також перехід на використання менш токсичних видів гідравлічних рідин, що значно знижує ризик забруднення у разі витоків та спрощує процес утилізації відходів. Ця міра вимагає інвестицій у нові матеріали, але має значний довгостроковий екологічний ефект.

Слід передбачити акустичний моніторинг та заходи щодо зниження шумового забруднення за межами території цеху, особливо якщо діляниця розташована поблизу житлових або рекреаційних зон, що може включати встановлення звукоізолюючих бар'єрів або використання обладнання з низьким рівнем шуму. Забезпечення акустичного комфорту для прилеглих територій є важливою складовою соціальної відповідальності підприємства.

5.4 Розрахунок освітлення робочого місця діляниці

Розрахунок освітлення робочого місця діляниці відновлення ресор є необхідним для забезпечення нормативних умов праці, що впливає на зорову працездатність, знижує втомлюваність та підвищує точність виконання робіт, особливо при дефектації та контролі якості, що вимагає високої контрастності та відсутності засліпленості. Основним методом розрахунку є метод коефіцієнта використання світлового потоку або точковий метод, які дозволяють визначити необхідну кількість та потужність світильників для досягнення встановленої норми освітленості.

Норми освітленості встановлюються державними будівельними нормами та санітарними правилами, причому для діляниці механообробки та контролю з високою точністю вимоги до мінімальної освітленості у робочій зоні можуть становити від 300 до 500 люкс, що є критичним для виявлення дрібних дефектів на поверхні ресорних листів. Вибір типу світильників має враховувати як енергоефективність, так і спектральний склад світла.

Для розрахунку загального освітлення використовуються формули, що враховують площу приміщення, висоту підвісу світильників, коефіцієнт відбиття стін і стелі, а також коефіцієнт запасу, який компенсує зниження світлового потоку внаслідок запиленості та старіння ламп, причому застосування LED-світильників є найбільш обґрунтованим через їхню високу світловіддачу та тривалий термін служби.

Локалізоване освітлення є обов'язковим для робочих місць із підвищеною зоровою напругою, таких як стенд дефектації, випробувальний стенд та

робочий стіл механіка, де воно доповнює загальне освітлення, але має бути спроектоване так, щоб не створювати різких тіней або засліплюючих відблисків на металевих поверхнях ресор, що досягається використанням регульованих світильників із матовими розсіювачами.

Крім рівня освітленості, важливими параметрами є коефіцієнт пульсації світлового потоку та індекс передачі кольору, причому високий коефіцієнт пульсації може викликати стробоскопічний ефект, що є небезпечним при роботі з рухомими частинами обладнання, а низький індекс погіршує сприйняття кольорів, що є важливим при візуальній оцінці дефектів або стані металу після термічної обробки.

Розрахунок повинен включати визначення кількості світильників N за формулою, де E є нормована освітленість, A – площа, K_z – коефіцієнт запасу, U – коефіцієнт використання, а $F_{\text{лампи}}$ – світловий потік однієї лампи, що дозволяє отримати точну економічно обґрунтовану кількість світильників.

Необхідно розрахувати електричне навантаження системи освітлення, що є важливим для проектування електромережі ділянки та вибору захисних апаратів, а також для економічного обґрунтування проекту, оскільки енергоспоживання освітлення є однією зі складових експлуатаційних витрат.

При проектуванні слід передбачити аварійне освітлення, яке забезпечує мінімальний рівень освітленості на шляхах евакуації та в зонах розташування засобів пожежогасіння, що є обов'язковою вимогою безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Для економії енергії та підвищення комфорту слід обґрунтувати використання системи управління освітленням, що включає датчики присутності та датчики рівня природного освітлення, які автоматично регулюють інтенсивність штучного світла, що дозволяє підтримувати постійний рівень освітленості на робочих поверхнях, зменшуючи споживання електроенергії в періоди високої природної освітленості або відсутності персоналу.

Розрахунок рівномірності освітлення є важливим для запобігання швидкій втомі очей, оскільки різкі перепади яскравості в межах робочої зони

призводять до постійної адаптації зіниці, що вимагає, щоб співвідношення мінімальної та середньої освітленості не перевищувало встановлених норм, що досягається правильним розташуванням світильників та вибором їхнього типу, що розсіює світло.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведено огляд існуючих методів вимірювання пружних характеристик ресор до та після відновлення, включаючи статичні та динамічні випробування, що є основою для кількісної оцінки ефективності технологічного процесу.

Для виконання технологічного процесу по відновленню ресор автомобіля Mercedes Sprinter було запропоновано та обґрунтовано вибір сучасного технологічного обладнання, зокрема гідравлічного преса зі спеціалізованим пристосуванням та установок для термічної обробки/дробоструминного зміцнення.

У роботі проведено визначення параметрів пластичної деформації та зусилля правки. Визначено необхідний коефіцієнт перепрогину для компенсації пружної післядії та розраховано максимальне робоче зусилля, що є критичним для проектування пристосування.

Запропоновано методику по визначенню якості параметрів ресори після її відновлення, яка включає обов'язковий неруйнівний контроль для виявлення мікротріщин та фінальне випробування на стенді для підтвердження відповідності нормативній жорсткості.

Обрано необхідні заходи по охороні праці та їх забезпечення на ділянці відновлення ресор, що охоплює електробезпеку, контроль шкідливих факторів (шум, пил, тепло) та розробку плану дій у надзвичайних ситуаціях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ляшук О.Л., Левкович М.Г., Міронов Д.В., Тесля В.О. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 274 Автомобільний транспорт галузі знань 27 Транспорт. – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2023. – 60 с.
2. Gypka, A., Aulin, V., Mironov, D., Leshchuk, R., Yarema, I., Bukhovets, V., & Teslia, V. (2024). Structural and energetic self-organization of antifriction composite materials of car parts during friction and wear. *Problems of Tribology*, 29(2/112), 67–73.
3. Левкович М.Г. , Пиндус Ю.І. , Тесля В.О. , Босюк П.В. Конспект лекцій з дисципліни «Автомобілі. аналіз конструкцій, робочі процеси та основи розрахунку автомобілів» для студентів всіх форм навчання за напрямком підготовки «Автомобільний транспорт» / М.Г. Левкович, Ю.І. Пиндус, В.О. Тесля, П.В. Босюк Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль.: ТНТУ, 2016. – 242 с.
4. Способи підвищення показників дизелів тракторів і автомобілів в умовах рядової експлуатації / А. М. Пугач, В. В. Аулін, В. І. Мельниченко [та ін.] // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - Вип. 8(39). - Ч. 2. - С. 125-133.
5. Lyasuk , OL; Gypka , AB; Tesla , VO Operational methods of increasing the wear resistance of friction pairs of a car . Innovative technologies of development and efficiency of motor transport operation : International scientific and practical Internet conference , Central Ukrainian National Technical University Kropivnitsky , Collection of scientific materials (November , 14-15), Ukraine : Kropivnitsky , 2018, pp . 212-217.
6. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Технологія [Текст]: Підручник. / О.А. Лудченко. - Київ: Знання-Прес, 2007. - 527с.

7. Тесля В.О., Левкович М.Г., Гупка А.Б., Сіправська М.Д. Конспект лекцій з дисципліни “Діагностика автомобілів” для студентів спеціальності 274 “Автомобільний транспорт” усіх форм навчання / Тесля В.О., Левкович М.Г., Гупка А.Б., Сіправська М.Д. – Тернопіль: ТНТУ, 2023. – 296 с.
8. Тесля В.О., Слободян Л.М., Сіправська М.Д. Методичні вказівки для лабораторних робіт з дисципліни “Діагностика автомобілів” для студентів спеціальності 274 “Автомобільний транспорт” усіх форм навчання / Тесля В.О., Слободян Л.М., Сіправська М.Д. – Тернопіль: ТНТУ, 2023. – 140 с.
9. Теоретико-методичні засади підвищення ефективності використання парку машин в регіональних транспортних системах та підприємствах на основі лізингових відносин / В. В. Аулін, О. Л. Ляшук, А. В. Гриньків [та ін.] // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - Вип. 7(38). - Ч. 2. - С. 165-180.
10. Абрамов Д.В., Тесля В.О. Визначення доцільності проведення позапланового технічного обслуговування автомобілів за критерієм витрат на паливо в експлуатації / Вісник Національного транспортного університету науково-технічний збірник. – Київ: НТУ, – Випуск 25. – 2012. – С. 286-290.
11. Структурний синтез кузова напівпричепа вантажного автомобіля з техніко-економічним обґрунтуванням / Ів. Б. Гевко, Р. М. Рогатинський, О. Л. Ляшук [та ін.] // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. – Вип. 5 (36). – Ч. 2. – С. 186–194.
12. Ляшук, О.Л., Гупка, А.Б., Тесля, В.О. Експлуатаційні методи підвищення зносостійкості пар тертя автомобіля / Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту : Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., 14-15 листоп. 2018 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2018. - С. 212-217.

13. Пулька Ч.В., Кузнецов В.Д., Д.В. Степанов, В.С. Сенчишин Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни «Наплавлення та напилення» / Ч.В. Пулька, В.Д. Кузнецов, Д.В. Степанов, В.С. Сенчишин. – Тернопіль.: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2018. – 59 с.
14. Dzyura, V., Maruschak, P., Bytsa, R., Komar, R., Teslia, V., & Menou, A. (2025). Failure Analysis of ICE Cylinder Units and Technology for Their Elimination. Eng, 6(7), 152.
15. Абрамов, Д.В. Вплив показників якості палива та технічний стан автомобіля під час руху [Текст] / Д.В. Абрамов, В.О. Тесля, А.Б. Гупка, М.Д. Сіправська // Центральнотраїнський науковий вісник. Технічні науки. – 2023. – Т. 8, № 39, ч. II. – С. 169–175.
16. Способи підвищення показників дизелів тракторів і автомобілів в умовах рядової експлуатації / А. М. Пугач, В. В. Аулін, В. І. Мельниченко [та ін.] // Центральнотраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - Вип. 8(39). - Ч. 2. - С. 125-133.
17. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С. Стручок. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – 156 с.
18. Стручок В.С. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Навчальний посібник / В.С. Стручок, – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2022. – 150 с.