

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки**

Кафедра механічної інженерії та автомобільного транспорту

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
освітнього ступеня
магістр

Галузь знань 27 – «Транспорт»
Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

на тему: «Удосконалення технологічного процесу реновації та
випробування рульових механізмів з зубчатою рейкою»

Виконав: студент групи ААГ-22м



Олександр ЮРЧУК

Керівник:



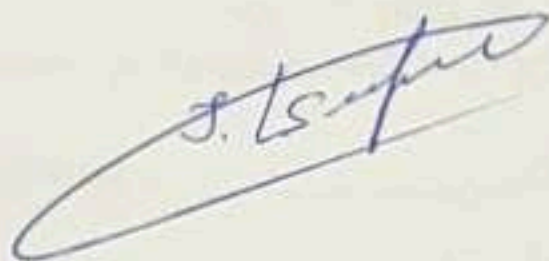
Олександр ПИЛИПЕНКО

Завідувач кафедри:



Олександр МЕЛЬНИК

Рецензент:



Ігор Шендеров

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет: комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки

Кафедра: механічної інженерії та автомобільного транспорту

Освітній ступінь: «магістр»

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 274 – «Автомобільний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МІ та АТ

Олександр МЕЛЬНИК

«06» 10 2025р.

ЗАВДАННЯ

до кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «магістр»

Юрчука Олександра Вікторовича

1.Тема роботи: «Удосконалення технологічного процесу реновації та випробування рульових механізмів з зубчастою рейкою» затверджена наказом вищого навчального закладу від 06 жовтня 2025 р. № 569-с

Керівник роботи: д.т.н., Олександр ПИЛИПЕНКО

2. Строк подання студентом завершеної роботи 01.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: літературні джерела, інтернет джерела, результати спостережень та досліджень.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Загально-технічний розділ. 2. Технологічний процес реновації рульового механізму з зубчастою рейкою. 3. Технологія випробування рульових механізмів з зубчастою рейкою після реновації. 4. Оцінка ефективності удосконаленого технологічного процесу реновації рульових механізмів з зубчастою рейкою. Загальні висновки та рекомендації.

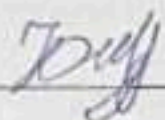
5. Пояснювально - роздавальний матеріал (презентація) – 18 слайдів.

Дата видачі завдання « 06 » 10 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Загально-технічний розділ	17.09.2025	
2.	Технологічний процес реновації рульового механізму з зубчастою рейкою	22.10.2025	
3.	Технологія випробування рульових механізмів з зубчастою рейкою після реновації	05.11.2025	
4.	Оцінка ефективності удосконаленого технологічного процесу реновації рульових механізмів з зубчастою рейкою	19.11.2025	
5.	Оформлення пояснювальної записки	30.11.2025	
6.	Рецензування	01.12.2025	
7.	Попередній захист	04.12.2025	
8.	Захист	08.12-31.12.2025	

Студент



Олександр ЮРЧУК

Керівник роботи



Олександр ПИЛИПЕНКО

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1. Загальна характеристика рульових механізмів з зубчастою рейкою	9
1.2. Конструктивні особливості рульових рейкових механізмів	12
1.3. Умови експлуатації та фактори, що впливають на зношування рульових механізмів з зубчастою рейкою	20
1.4. Типові несправності рульових механізмів з зубчастою рейкою	24
1.5. Аналіз підходів до реновації рульових механізмів	27
Висновки до розділу 1	29
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС РЕНОВАЦІЇ РУЛЬОВОГО МЕХАНІЗМУ З ЗУБЧАСТОЮ РЕЙКОЮ	31
2.1. Загальна характеристика технологічного процесу реновації рульового механізму з зубчастою рейкою	31
2.2. Діагностика та дефектація рульового механізму з зубчастою рейкою перед реновацією	32
2.3. Технологічні операції реновації основних елементів рульового механізму	38
2.4. Складання, регулювання та контроль параметрів рульового механізму після реновації	46
2.5. Використання полімерних композитних матеріалів для удосконалення технології реновації опорних втулок ковзання	56
Висновки до розділу 2	63
3 ТЕХНОЛОГІЯ ВИПРОБУВАННЯ РУЛЬОВИХ МЕХАНІЗМІВ З ЗУБЧАСТОЮ РЕЙКОЮ ПІСЛЯ РЕНОВАЦІЇ	65
3.1. Мета та завдання випробувань рульових механізмів з зубчастою рейкою після реновації	65

3.2. Нормативні вимоги та критерії оцінки результатів випробувань рульових механізмів	66
3.3. Обладнання та засоби для випробування рульових механізмів з зубчастою рейкою	67
3.4. Методика випробування рульових механізмів з зубчастою рейкою після реновації	70
3.5. Методика випробування рульових механізмів з зубчастою рейкою після реновації	75
Висновки до розділу 3	77
4. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ УДОСКОНАЛЕНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РЕНОВАЦІЇ РУЛЬОВИХ МЕХАНІЗМІВ З ЗУБЧАСТОЮ РЕЙКОЮ	78
4.1. Загальні положення щодо оцінки ефективності технологічного процесу реновації	78
4.2. Оцінка впливу удосконаленої технології реновації на якість відновлених рульових механізмів	78
4.3. Оцінка надійності та ресурсу рульових механізмів після реновації	79
4.4. Практична доцільність впровадження удосконаленого технологічного процесу в умовах автосервісних підприємств	80
4.5. Економічна оцінка ефективності реновації рульового механізму у порівнянні з його заміною	80
Висновки до розділу 4	84
ВИСНОВКИ	86
БІБЛІОГРАФІЯ	87

ВСТУП

Сучасний автомобільний транспорт висуває підвищені вимоги до безпеки, надійності та керованості транспортних засобів. Однією з ключових систем, що безпосередньо впливають на безпеку дорожнього руху, є система рульового керування. Особливе місце серед її елементів займають рульові механізми з зубчастою рейкою, які набули найбільшого поширення в легкових та легких комерційних автомобілях завдяки компактності, високій точності керування та конструктивній простоті.

В умовах експлуатації рульові механізми зазнають значних змінних навантажень, впливу вібрацій, забруднень та агресивних факторів зовнішнього середовища. Це призводить до зношування зубчастої рейки, втулок ковзання, ущільнювальних елементів, підшипників, а також до появи люфтів, шумів і втрати герметичності. Повна заміна рульового механізму на новий у більшості випадків є економічно недоцільною, що зумовлює широке застосування процесів реновації та відновлювального ремонту на станціях технічного обслуговування.

Разом із тим, на практиці технологічні процеси реновації рульових механізмів часто мають фрагментарний характер, базуються на емпіричному досвіді персоналу та не завжди супроводжуються належними післяремонтними випробуваннями. Відсутність уніфікованих методик контролю якості та обґрунтованих режимів випробувань знижує надійність відновлених вузлів і може призводити до повторних відмов у процесі експлуатації.

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває удосконалення технологічного процесу реновації рульових механізмів з зубчастою рейкою, яке повинно охоплювати не лише операції демонтажу, дефектації, відновлення та складання, але й обов'язкову розробку ефективної методики випробувань після ремонту. Такий підхід дозволяє об'єктивно оцінити технічний стан відновленого механізму, підтвердити відповідність його параметрів нормативним вимогам та забезпечити належний рівень безпеки рульового керування.

Актуальність теми дослідження

Актуальність теми магістерської роботи зумовлена необхідністю підвищення якості та надійності відновлення рульових механізмів з зубчастою рейкою в умовах сучасних станцій технічного обслуговування. Зростання інтенсивності експлуатації транспортних засобів, збільшення середнього строку їх служби, а також економічні чинники сприяють широкому застосуванню реновації вузлів замість їх повної заміни.

Незважаючи на це, існуючі технологічні процеси ремонту рульових механізмів часто не забезпечують стабільної якості відновлення через недостатню регламентованість операцій дефектації, обмежений контроль геометричних і силових параметрів, а також відсутність стандартизованих випробувань після завершення ремонту. Особливої уваги потребують питання оцінки люфтів, герметичності, зусиль керування та плавності роботи механізму після реновації.

Удосконалення технологічного процесу реновації з урахуванням сучасних вимог до безпеки та експлуатаційної надійності, а також розробка методики випробувань рульових механізмів після ремонту дозволяють знизити ймовірність повторних відмов, підвищити довговічність відновлених вузлів і покращити якість послуг автосервісних підприємств.

Таким чином, обрана тема є актуальною, має практичну спрямованість та відповідає сучасним потребам автомобільної галузі у підвищенні ефективності ремонтно-відновлювальних процесів і забезпеченні безпеки дорожнього руху.

Мета магістерської роботи – удосконалення технологічного процесу реновації рульових механізмів з зубчастою рейкою шляхом розробки раціональних методів відновлення та післяремонтних випробувань.

Задачі дослідження

Для досягнення поставленої мети у магістерській роботі необхідно вирішити такі задачі:

1. Здійснити аналітичний огляд конструктивних особливостей та характерних несправностей рульових механізмів з зубчастою рейкою, що виникають у процесі експлуатації та ремонту.

2. Розробити та обґрунтувати удосконалений технологічний процес реновації рульових механізмів з зубчастою рейкою, який включає операції дефектації, відновлення та складання.

3. Розробити методику випробувань рульових механізмів після реновації для оцінки їх технічного стану, герметичності, плавності роботи та відповідності експлуатаційним вимогам.

4. Оцінити ефективність удосконаленого технологічного процесу реновації за показниками трудомісткості, якості та надійності відновлених рульових механізмів.

Об'єкт і предмет дослідження

Об'єкт дослідження – процеси технічного обслуговування, реновації та випробування рульових механізмів з зубчастою рейкою в умовах автосервісних підприємств.

Предмет дослідження – технологічний процес реновації та методи випробувань рульових механізмів з зубчастою рейкою, що визначають їх технічний стан, надійність та відповідність експлуатаційним вимогам після ремонту.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Загальна характеристика рульових механізмів з зубчастою рейкою

1.1.1. Призначення рульового механізму.

Система рульового керування включає механізми, які дозволяють змінювати напрямок руху керованих коліс за допомогою водійського керма. Ця система охоплює рульовий механізм і привод, які можуть бути оснащені підсилювачами для легшого керування. Для підвищення комфорту та покращення безпеки руху, система може включати амортизатори. Основна функція рульової системи полягає в перетворенні кута обертання рульового колеса у відповідний кут повороту керованих коліс, а також у наданні водію зворотного зв'язку про умови дороги [1-3].

Завданням рульового керування є можливо однозначніше перетворення кута повороту рульового колеса в кут повороту коліс і передача водієві через рульове колесо інформації про стан руху автомобіля [1, 12-14].

Рульовий механізм призначений для передачі зусилля від водія до рульового приводу і для збільшення моменту, прикладеного до рульового колеса. Він складається з рульового колеса, рульового валу і редуктора. Рульовий привід служить для передачі зусилля від рульового механізму (редуктора) до керованих коліс автомобіля і для забезпечення необхідного співвідношення між кутами їх повороту. Амортизатор компенсує ударні навантаження і запобігає биттю рульового керування.

Високі вимоги до надійності рульового керування обумовлені тим, що його відмова або блокування може призвести до втрати керованості автомобіля і небезпечної ситуації на дорозі. Під час формулювання вимог до окремих компонентів рульового управління враховуються ці аспекти. Наприклад, чутливість автомобіля до поворотів керма та граничні зусилля на рульовому колесі обмежують передавальне відношення рульового керування. Для досягнення кращого "відчуття дороги" і зменшення зусиль на кермі прямий коефіцієнт

корисної дії рульового механізму повинен бути мінімальним, але для збільшення інформативності рульового управління і його повернення в центральне положення обернений коефіцієнт корисної дії має бути значним. Крім того, важливе значення для коефіцієнта корисної дії може мати зниження втрат на тертя у шарнірах підвіски та рульового управління, а також в самому рульовому механізмі.

1.1.2. Аналіз відомих механізмів рульового керування.

Рульове управління складається з набору пристроїв, що дозволяють водієві змінювати напрямок руху керованих коліс за допомогою рульового колеса. Включаючи в себе рульовий механізм та рульовий привід, система може бути оснащена підсилювачем для спрощення керування, а також амортизатором для покращення комфорту водіння. Рульовий механізм перетворює обертальний момент від рульового колеса в сили, які через бічні тяги діють на поворотні лапки, що обертають поворотні цапфи на відповідний кут відносно осей шворнів.

Рульові системи поділяються на механізми з вихідним обертальним рухом і зворотно-поступальним рухом. Для легкових авто зазвичай використовуються механізми типу «черв'як-двогребеневий ролик», «гвинт-гайка з циркулюючими кульками» та «шестерня-рейка» (обертальнопоступальний).

Схема рульового механізму типу «черв'як-двогребеневий ролик» представлено на рис 1.1.

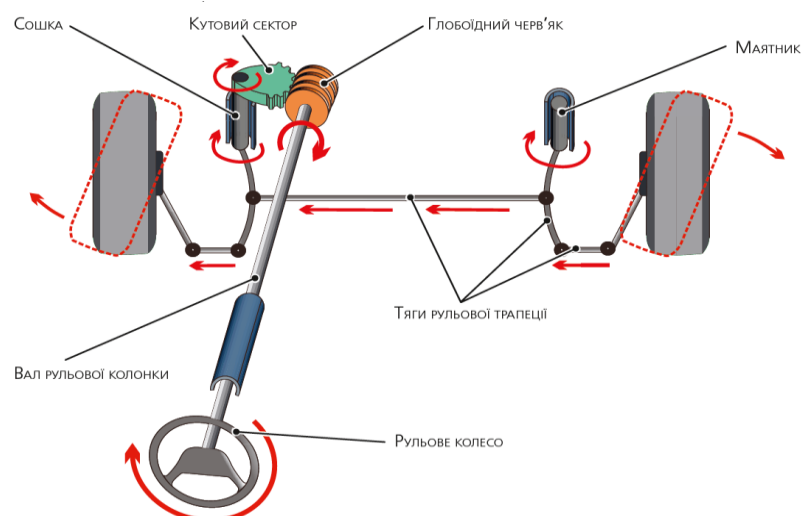


Рис. 1.1. Схема рульового механізму типу «черв'як-двогребеневий ролик»

[1]

Черв'ячний рульовий механізм складається з глобоїдного черв'яка і кутового сектора, на який встановлено ролик. Черв'ячна передача — це такий тип передачі, в якій є черв'як, тобто різьбова частина болта, але з багаторазово збільшеними витками, і шестерня, що входить у зачеплення з цим черв'яком. Глобоїдним черв'як називається через свою форму: його профіль увігнутий.

Механізм "гвинт-гайка з циркулюючими кульками" вирізняється високою технологічністю і вартістю. У ньому замість ковзання відбувається кочення, що знижує знос. Гайка цього механізму, служачи одночасно і рейкою, залучена у зубчасте зачеплення, дозволяючи легко реалізувати змінне передавальне співвідношення. Висока ефективність, надійність і стабільність під час великих навантажень роблять його ідеальним для використання в авто великого та середнього класу.

Рульовий механізм «Шестерня-рейка» (рис. 1.2) зручний для передньопривідних авто та переважно використовується через її компоновочні переваги, незважаючи на те, що за багатьма параметрами вона поступається "черв'як-ролик" механізму. Тертя в рульовій системі відіграє важливу роль, впливаючи як на стабільність кочення, так і на зусилля, потрібні для керування. Зазори в системі можуть покращувати або погіршувати відчуття керма та швидкодію управління. Конструкція рульового колеса, включаючи його розмір, має велике значення для зручності керування та безпеки. Розробники прагнуть до мінімізації регулювань в рульовій системі, а також до забезпечення безпеки через спеціальні конструктивні рішення в разі аварії.

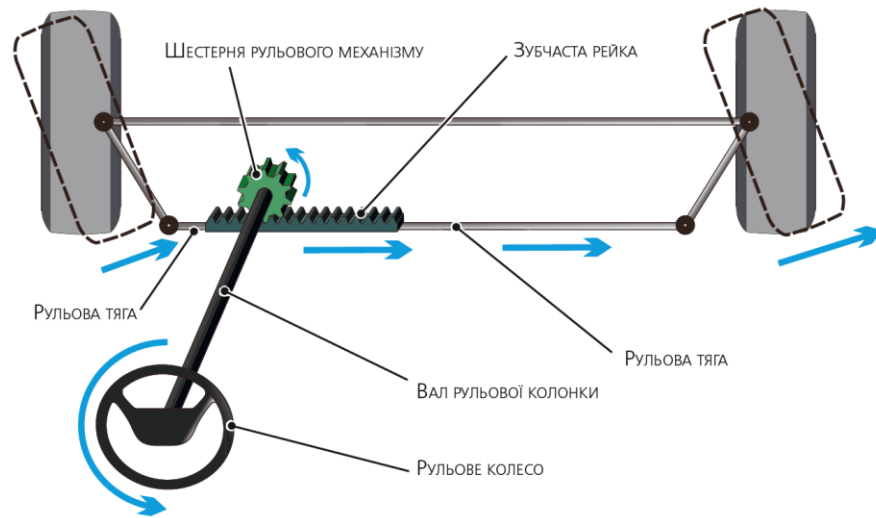


Рис. 1.2. Схема рульового механізму типу «Шестерня-рейка» [1]

Рульові механізми з зубчастою рейкою набули найбільшого поширення у легкових та легких комерційних автомобілях завдяки простоті конструкції, компактності, малій масі та високій точності передавання керуючих зусиль від рульового колеса до керованих коліс. Основою такого механізму є пара «шестерня – зубчаста рейка», яка перетворює обертальний рух рульового вала у поступальний рух рейки.

Залежно від конструктивного виконання та наявності допоміжних систем рульові механізми з зубчастою рейкою поділяються на механічні, з гідравлічним підсилювачем керма та з електричним або електрогідравлічним підсилювачем. Незважаючи на відмінності в допоміжних елементах, базова кінематична схема та принцип роботи залишаються однаковими, що дозволяє розглядати їх у межах єдиного класу механізмів з точки зору реновації та ремонту.

1.2. Конструктивні особливості рульових рейкових механізмів

Рульові механізми з зубчастою рейкою є найбільш поширеним типом рульових механізмів у сучасних легкових та легких комерційних автомобілях. Це зумовлено їх конструктивною простотою, компактністю, невеликою масою та високою точністю передавання керуючих зусиль. Основним принципом роботи таких механізмів є перетворення обертального руху рульового вала у поступальний рух зубчастої рейки, який через рульові тяги забезпечує поворот керованих коліс.

Загальна конструктивна схема

Типовий рульовий рейковий механізм складається з таких основних елементів:

- корпусу рульового механізму;
- зубчастої рейки;
- шестерні (пінйона);
- опорних втулок або підшипників;
- притискного (компенсаційного) механізму;
- ущільнювальних елементів;
- вузлів приєднання рульових тяг.

У механізмах з гідравлічним або електричним підсилювачем керма додатково використовуються силові циліндри, золотникові розподільники, електродвигуни, датчики та блоки керування, однак базова кінематична схема рейкового механізму залишається незмінною.

Перший тип рульових механізмів, механічний, без підсилювача, ділиться на дві категорії: без сервотроніки (див. рис. 1.3) та з сервотронікою (рис. 1.4).

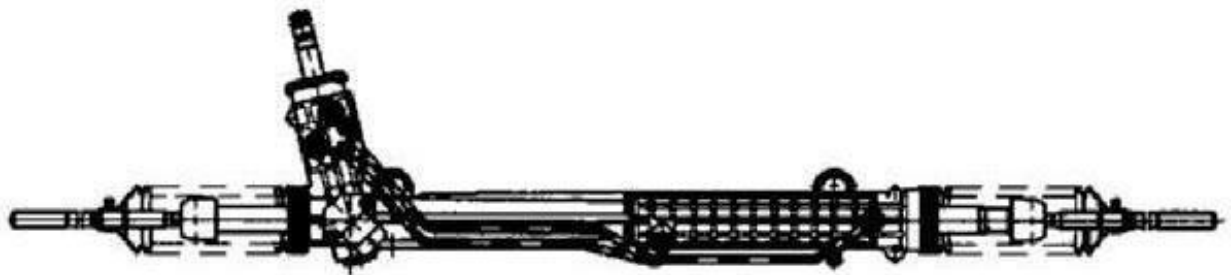


Рис. 1.3. Рульовий механізм без сервотроніки [12, 13]

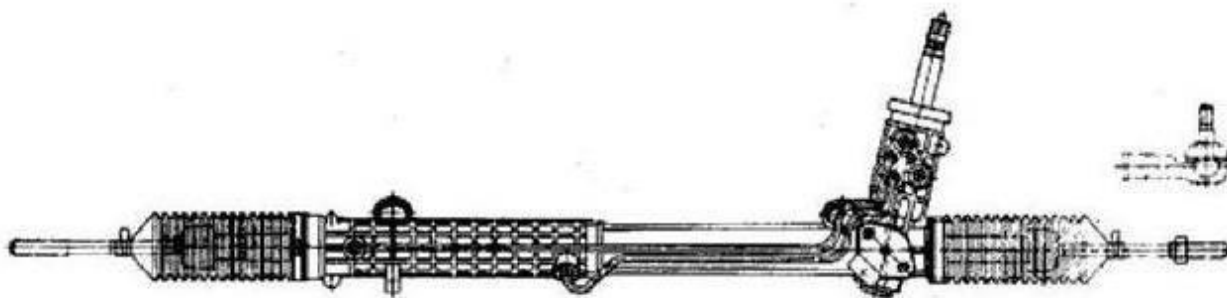


Рис. 1.4. Рульовий механізм, що оснащений сервотронікою [12, 13].

Механічні рейки з'явилися першими. Будова проста, недорога, надійна та з високою ремонтпридатністю. Ведучій вал-шестерня з похилими (в більшості випадків) зубцями заходить у зчеплення із зубчастою ділянкою рейки та передає на неї зусилля від кермової колонки. Під час повороту керма він пересуває рейку у ту ж саму сторону. До рейки (до кінців або посередині) кріпляться тяги з наконечниками, останні прикручені до поворотних цапф.

Будь-які підсилювачі відсутні, поворот виконується за рахунок м'язової сили водія. Інколи, особливо на великих машинах старих моделей, це робити не надто легко, що негативно впливає на керованість та маневреність техніки. Проте не виникає критичних складнощів у процесі роботи, а за якісного та своєчасного ТО вузол надійно працює довгий час.

Система рульового керування з механічною рейкою складається з таких основних вузлів та деталей:

- Ведучій вал-шестерня з підшипниками на торцях. Зроблений із загартованої сталі. Розташований під кутом до рейки, передає на неї зусилля від кермової колонки. Шестерня зчеплена із зубчастою ділянкою рейки. Зубці її можуть бути прямими або косими. Працюють вони однаково, але перші вважаються застарілими та застосовуються все рідше, тому що, хоча вони простіші та дешевші у виготовленні, проте в них менший термін придатності. Крім того, система з косозубою шестернею більш надійна, бо вона не заклинює, а виконувати повороти з нею легше, що особливо важливо за відсутності підсилювача. Кількість зубців та діаметр валу розраховані так, щоб для переводу коліс із одного граничного

положення у друге знадобилося б 2,5-4 оберти керма. В таких умовах на колесах забезпечується достатнє зусилля і в той же час присутній зворотний зв'язок, коли водій «відчуває» машину. Мається на увазі, що для повороту коліс на потрібний кут йому слід прикладати тим більше зусиль, чим складніші умови руху. Для безпеки між ведучою шестернею та кермовою колонкою може бути розташований складовий вал з карданами. Під час ДТП він складається, через що імпульс від фронтального удару не передається до салону.

- Рейка. Це горизонтальна штанга (пруток) із загартованої сталі зазвичай круглого перетину, на якій є ділянка із нарізаними зубцями. В них заходять зубці вала-шестерні. У торцях виконані отвори з різьбою для кермових тяг. Останні зроблені у вигляді металевих стрижнів з двосторонньою різьбою та шарніром. До тяг прилаштовані наконечники, у кожного з яких також є шарнір та внутрішня різьба. Іншим кінцем кожен наконечник кріпиться до колеса.

- Притискний механізм. Являє собою пружину, що з певним зусиллям притискає рейку до ведучої шестерні. Його необхідність пояснюється тим, що під час руху пара шестерня-рейка отримує значне навантаження, через що рейка намагається вийти із зачеплення. В той же час жорстка фіксація небажана через небезпеку заклинювання із втратою можливості керування. Невеликий люфт запобігає цьому, та ще й забезпечує зворотний зв'язок, коли водій отримує можливість «відчувати» шлях.

- Пильовики, сальники, зносостійкі втулки, підшипники. Вони захищають від потрапляння пилу та бруду, виключають втрату мастила, забезпечують легкий рух рейки та обертання деталей, не допускають люфтових коливань.

Також існує дві варіації конструкції рулевих механізмів із гідравлічним посилювачем керма: без використання сервотроніки (див. рис. 1.5), та з її застосуванням (див. рис. 1.6).

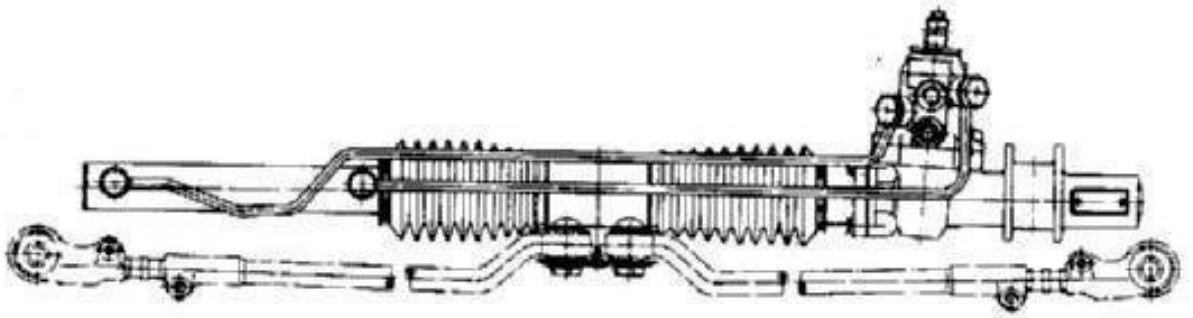


Рис. 1.5. Рульовий механізм з гідропідсилювачем та без використання сервотроніки [12, 13]

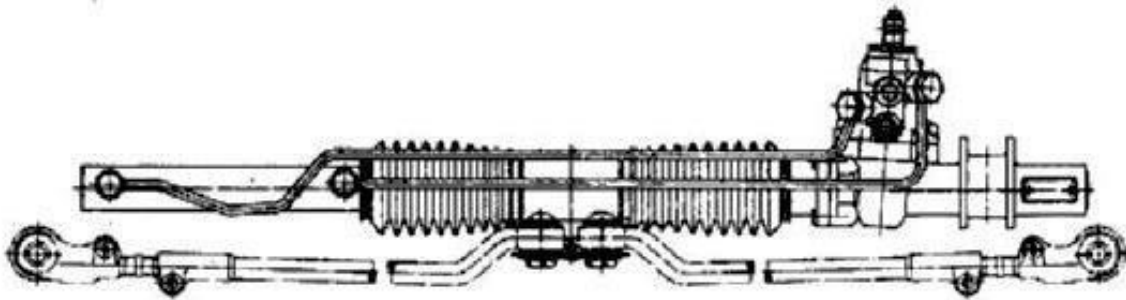


Рис. 1.6. Рульовий механізм з гідропідсилювачем та із застосуванням сервотроніки [12, 13]

Рейка з гідропідсилювачем (ГПК) відрізняється від механічної тим, що на ній, крім зубчатої ділянки, є відділ гідрокамери з поршнем посередині та сальниками по краях. Крім того, система має розподільник, що складається з торсіону та двох підшипників, пластинчатий насос і гідрошланги.

Насос створює тиск оливи. Під час повороту керма торсіон спрямовує робочу рідину у відповідний контур таким чином, щоб вона потрапила до гідрокамери з потрібної сторони циліндру. Як наслідок, рейка рухається під дією двох сил:

- ведучого вала-шестерні, що обертається від кермової колонки та пересуває рейку через зубчате зчеплення;
- поршня, на який тисне олива та рухає його, а разом з ним і всю рейку, у тому ж напрямку, що й шестерня.

Рейки з ГПК полегшують керування автомобілем, внаслідок чого рух стає більш комфортним та безпечним. Але є в них і недоліки. Функціонування неможливе без спеціальної рідини, конструкція більш складна, отже дорожча,

зокрема й у ремонті, та менш надійна: олива просочується крізь сальники на рейці чи в корпусі розподільника тощо. Крім того, частина потужності двигуна йде на забезпечення роботи насосу, ТО більш клопітке, а після вимикання двигуна ГПК взагалі не працює. Не зважаючи на перелічені мінуси, плюсів все-таки набагато більше, тому ГПК наразі є найбільш поширеною системою.

Корпус рульового механізму

Корпус рульового механізму виконує несучу та захисну функції, забезпечуючи взаємне розташування основних елементів і їх захист від зовнішніх впливів. Зазвичай корпус виготовляється з алюмінієвих сплавів або високоміцного чавуну, що дозволяє поєднати достатню жорсткість конструкції з невеликою масою.

У корпусі розміщуються:

- напрямні поверхні для зубчастої рейки;
- посадкові місця під втулки або підшипники;
- канали для мастила або робочої рідини (у механізмах з підсилювачем);
- місця встановлення ущільнювальних елементів.

Зношування внутрішніх поверхонь корпусу, особливо в зоні напрямних рейки, є одним із критичних чинників, що обмежують можливість повторної реновації механізму.

Зубчаста рейка

Зубчаста рейка є основним силовим елементом механізму, який сприймає навантаження від рульового колеса та передає його на рульові тяги. Рейка зазвичай виготовляється зі сталі з термічно обробленими зубцями, що забезпечує високу зносостійкість робочої поверхні.

Конструктивно рейка має:

- зубчасту частину, яка перебуває у постійному контакті з шестернею;
- гладкі напрямні поверхні, що взаємодіють з втулками ковзання;
- різьбові або шарнірні з'єднання для кріплення рульових тяг.

Нерівномірний знос зубців рейки, особливо в центральній зоні, є характерною ознакою тривалої експлуатації та безпосередньо впливає на появу люфтів у рульовому керуванні.

Відповідно і конструкція рульової рейки відрізняється залежно від типу рульового механізму. Так, на рис. 1.7 представлено конструкцію рульової рейки рульового керування з гідروпідсилювачем та використання сервотроніки.



Рис. 1.7. Конструкція зубчастої рульової рейки рульового механізму без підсилювача та використання сервотроніка [1]

Завдяки ГПК машина отримує простір для маневрування, а рух стає безпечнішим. Але є у гідропідсилювача є й недоліки – він перебирає на себе частину потужності мотора, вимагає використання спеціальної рідини, а вартість ремонту такого механізму може неприємно здивувати.

Механізм доповнюється пластинчастим насосом, поршнем і торсіоном. Працює все просто: ГПК розподіляє необхідний тиск і зусилля на торсіон і золотник, які спрямовують і нагнітають тиск. Коли ви повертаєте кермо, масло вприскується через золотник саме у ту зону, у яку йде поворот. ГПК зробив керування автомобілями (особливо великими вантажівками) простішим, до того ж механізм дуже надійний і рідко виходить з ладу, головне стежити за пильовиками.

Шестерня (пінйон) та рульовий вал

Шестерня рульового механізму жорстко з'єднана з рульовим валом і перебуває у зачепленні із зубчастою рейкою. Вона забезпечує перетворення обертального руху у поступальний. Для підвищення довговічності шестерня виготовляється зі зносостійких сталей і піддається термічній обробці.

Шестерня встановлюється на підшипниках або втулках, що забезпечують її точне позиціонування в корпусі. Зношування підшипників або порушення співвісності шестерні призводить до нерівномірного контакту зубців і прискореного зношування рейки.

Опорні втулки та підшипники

Опорні втулки ковзання або підшипники виконують функцію направлення та стабілізації руху зубчастої рейки і шестерні. У сучасних механізмах найчастіше застосовуються полімерні або металополімерні втулки, які поєднують достатню зносостійкість з хорошими антифрикційними властивостями.

Зношування втулок є однією з найпоширеніших причин появи сторонніх шумів і ударів у рульовому механізмі. Саме втулки ковзання найчастіше підлягають заміні або відновленню в процесі реновації [3].

Притискний (компенсаційний) механізм

Притискний механізм призначений для компенсації зазорів у парі «рейка – шестерня» в процесі експлуатації. Він зазвичай складається з притискного вкладиша, пружини та регульовального гвинта або гайки.

Неправильне регулювання притискного механізму може призвести до:

- підвищеного зусилля на рульовому колесі;
- прискореного зношування зубчастої пари;
- появи люфтів при недостатньому притиску.

Стан притискного механізму є важливим об'єктом контролю під час дефектації та випробувань рульових механізмів після реновації [3].

Ущільнювальні елементи та захисні пристрої

Ущільнювальні елементи (сальники, кільця, пильовики) забезпечують герметичність механізму та захист його внутрішніх елементів від потрапляння вологи, пилу та абразивних частинок. У механізмах з підсилювачем керма ущільнювачі додатково виконують функцію утримання робочої рідини під тиском.

Пошкодження або зношування ущільнювачів призводить до втрати герметичності, вимивання мастила та різкого прискорення зносу зубчастих і напрямних поверхонь, що значно ускладнює подальшу реновацію механізму [3].

Особливості конструкцій рейкових механізмів з підсилювачем керма

У рульових механізмах з гідравлічним або електричним підсилювачем додатково використовуються силові циліндри, золотникові розподільники, електродвигуни та датчики, інтегровані в корпус механізму. Наявність цих елементів ускладнює конструкцію та підвищує вимоги до точності складання і контролю герметичності.

Разом із тим, незалежно від типу підсилювача, основні механічні елементи рейкового механізму залишаються визначальними з точки зору зношування та реновації, що дозволяє застосовувати уніфіковані підходи до їх відновлення [3].

1.3 Умови експлуатації та фактори, що впливають на зношування рульових механізмів з зубчастою рейкою

Рульові механізми з зубчастою рейкою в процесі експлуатації транспортних засобів працюють в умовах складних і змінних навантажень, що формуються під впливом дорожніх, кліматичних та експлуатаційних факторів. Сукупна дія цих факторів визначає інтенсивність зношування основних елементів рульового механізму та обумовлює характер і швидкість розвитку несправностей.

Механічні навантаження та режими роботи

Основним джерелом навантажень рульового механізму є зусилля, що передаються від керованих коліс на рульову рейку під час руху транспортного

засобу. Ці навантаження мають змінний характер і залежать від швидкості руху, маси автомобіля, стану дорожнього покриття та режиму маневрування.

Особливо інтенсивні навантаження виникають [2, 12]:

- під час руху по нерівностях, вибоїнах і ґрунтових дорогах;
- при різких маневрах і поворотах на малій швидкості;
- під час наїзду коліс на перешкоди;
- при русі з перевантаженим транспортним засобом.

У таких режимах у зоні контакту зубчастої рейки та шестерні виникають підвищені контактні напруження, що призводять до прискореного зношування зубців і порушення кінематичної точності механізму.

На рис. 1.8. видно, що при повороті кермового валу на вал-шестерню діють сили:

$P_{ч-р.ос}$, яка намагається перемістити вал-шестерню з певною швидкістю в осьовому напрямку;

$P_{ч-р.}$, яка тягне вал-шестерню у напрямку від рейки;

момент сил $M_{пов}$, що передається від кермового колеса через розподільник.

У результаті взаємодії сил $P_{ч-р.ос}$ і $P_{ч-р.}$ з навантаженням через вал-шестерню, рульова рейка виконує зворотно- поступальний рух.

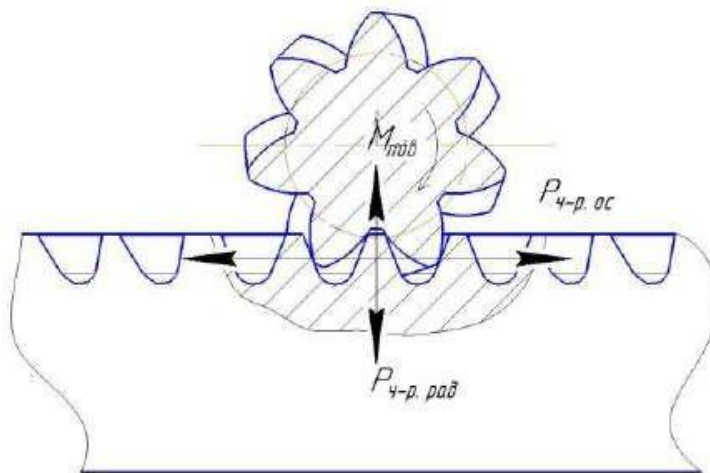


Рис. 1.8 – Схема зони контакту на рульовій рейці під час передачі зусиль на поворот

Вібраційні та ударні впливи

Вібрації та ударні навантаження, що передаються від дорожнього покриття через підвіску на рульовий механізм, є одним із ключових факторів його зношування. Часті ударні впливи викликають [2, 12]:

- мікропереміщення деталей у спряженнях;
- поступове збільшення зазорів у втулках ковзання;
- порушення стабільності регулювання притискного механізму.

У результаті вібраційного впливу знижується стабільність роботи ущільнювальних елементів, що сприяє втраті герметичності та проникненню забруднень у внутрішні порожнини рульового механізму.

Тертя та умови мащення

Процеси тертя у рульових рейкових механізмах зосереджені насамперед у таких вузлах [2, 12]:

- у парі «зубчаста рейка – шестерня»;
- у спряженнях рейки з опорними втулками;
- у підшипникових вузлах шестерні.

Ефективність мащення безпосередньо впливає на інтенсивність зношування. Порушення умов мащення, спричинене вимиванням мастила або його забрудненням, призводить до переходу від гідродинамічного або граничного режиму тертя до сухого, що різко підвищує знос робочих поверхонь.

Особливо критичними є ситуації, коли пошкодження пильовиків призводить до втрати мастила і потрапляння абразивних частинок у зону тертя.

Вплив забруднень та абразивного зношування

Одним із найбільш руйнівних факторів для рульових механізмів є проникнення пилу, піску, вологи та продуктів корозії у внутрішні порожнини механізму. Абразивні частинки, потрапляючи у спряження, спричиняють інтенсивне абразивне зношування зубців рейки та напрямних поверхонь.

Найчастіше джерелом забруднення є [2, 12]:

- пошкоджені або зношені пильовики;

- неякісне ущільнення корпусу;
- порушення герметичності після попереднього ремонту.

Абразивне зношування призводить до втрати геометричної точності деталей, що значно ускладнює подальшу реновацію механізму.

Кліматичні та температурні фактори

Рульові механізми експлуатуються в широкому діапазоні температур, що впливає як на властивості матеріалів, так і на характеристики мастильних матеріалів та ущільнювачів. Низькі температури призводять до підвищення в'язкості мастил, що ускладнює рух рейки та збільшує навантаження на зубчасту пару.

Високі температури та різкі температурні коливання сприяють [3]:

- прискореному старінню ущільнювальних матеріалів;
- втраті еластичності полімерних втулок;
- виникненню термічних деформацій деталей.

Кліматичні умови експлуатації, особливо підвищена вологість та використання протиожеледних реагентів, також сприяють розвитку корозійних процесів.

Корозійні процеси та їх вплив на зношування

Корозія металевих елементів рульового механізму виникає внаслідок потрапляння вологи та агресивних середовищ у внутрішні порожнини корпусу. Корозійні пошкодження поверхонь зубчастої рейки та корпусу призводять до утворення осередків локального зношування та порушення плавності роботи механізму.

Продукти корозії, потрапляючи в зону тертя, виконують роль абразиву, що додатково прискорює зношування опорних і зубчастих поверхонь.

Експлуатаційні та людські фактори

На інтенсивність зношування рульових механізмів суттєво впливають умови експлуатації транспортного засобу та стиль керування. До найбільш поширених експлуатаційних факторів належать [6]:

- тривала експлуатація з підвищеними люфтами;
- ігнорування перших ознак несправностей;
- використання неякісних мастильних матеріалів;
- некоректне виконання попередніх ремонтних робіт.

Неправильне регулювання притискного механізму або використання неоригінальних комплектуючих може значно скоротити ресурс рульового механізму після реновації.

1.4. Типові несправності рульових механізмів з зубчастою рейкою

Рульові механізми з зубчастою рейкою є ключовими елементами системи керування автомобіля, забезпечуючи точну передачу обертального руху від кермового колеса на керовані колеса. Надійність їх роботи визначає не лише комфорт водія, а й безпеку руху. Протягом експлуатації рейкові механізми піддаються різноманітним навантаженням, що може призводити до появи типових несправностей. Розглянемо найбільш поширені з них та механізми їх розвитку.

Однією з основних несправностей є зношування зубців рейки та шестерні (рис. 1.6.), що проявляється в появі люфтів кермового колеса і зниженні точності керування [7]. Знос може мати локальний характер у вигляді стирання окремих ділянок профілю зубів або розповсюджуватися рівномірно по всій довжині рейки. Основними причинами цього явища є тривала експлуатація механізму під високими навантаженнями, недостатнє або нерівномірне мастило робочих поверхонь, а також потрапляння абразивних частинок. Наслідком зношування є не тільки зростання люфту та погіршення точності керування, а й підвищене тертя, що прискорює подальше зношування та може спричинити шумові ефекти під час обертання керма. Діагностика цієї несправності здійснюється за допомогою візуального огляду зубчастих елементів, контролю люфту керма та перевірки стану мастила.



Рис. 1.6.. Зношування зубців рейки та шестерні [9]

На рис. 1.6 видно механічне і корозійне зношування зубців вал-шестерні та рульової рейки рульового механізму.

Іншою поширеною проблемою є зношування або руйнування опорних втулок ковзання, які забезпечують стабільне положення рейки у корпусі. Зношені втулки призводять до виникнення сторонніх шумів, стуків та ударів під час маневрування або руху по нерівній дорозі. При цьому збільшується люфт рейки відносно корпусу, що негативно впливає на плавність та передбачуваність реакції рульового колеса. Основними причинами зносу втулок є тривала експлуатація механізму, недостатнє змащення, а також наявність сторонніх домішок у робочих зазорах. Діагностика здійснюється шляхом вимірювання зазорів між рейкою і втулками та оцінки характеру шумів під час руху.

Для рулевих механізмів з гідропідсилювачем характерною несправністю є порушення герметичності ущільнювальних елементів, що призводить до витoku робочої рідини [11]. Втрата герметичності може бути спричинена старінням манжет, механічним пошкодженням ущільнень або перевищенням робочого тиску

в системі. Внаслідок цього спостерігається зниження ефективності підсилювача, збільшення зусилля на кермовому колесі та підвищене навантаження на зубчасті елементи рейки та шестерні. Поява витоків також негативно впливає на довговічність системи та може призвести до прискореного зносу механізму. Діагностика передбачає візуальний контроль стану манжет і шлангів, перевірку рівня і прозорості робочої рідини, а також оцінку роботи підсилювача під навантаженням.

Ще однією поширеною несправністю є порушення регулювання притискного механізму рейки, що проявляється або підвищеним зусиллям на кермовому колесі, або надмірним люфтом [14]. Невідповідне регулювання може виникати через експлуатаційне розбавтування кріплень, ослаблення пружних елементів або похибки при проведенні попередніх ремонтних робіт. Наслідки порушення регулювання включають зниження точності керування, підвищений знос зубців рейки та шестерні, а також дискомфорт для водія при тривалих поїздках. Діагностичні заходи передбачають перевірку моменту обертання кермового колеса, оцінку величини люфту та при необхідності коригування або заміну елементів регулювального механізму.

Не менш значущим фактором є корозійне пошкодження поверхонь деталей, яке виникає внаслідок тривалого впливу вологи, реагентів і агресивних домішок [14]. Корозія призводить до підвищеного тертя, нерівномірного зносу деталей, утворення задирок та обмежує ресурс рульового механізму. Уражені корозією поверхні втрачають нормальну геометрію зубців рейки та шестерні, що негативно впливає на плавність руху та точність керування. Діагностика корозії включає візуальний огляд поверхонь, виявлення ознак окислення та контроль стану захисних покриттів.

Варто відзначити, що більшість перелічених несправностей розвиваються поступово, що створює можливості для їх своєчасного виявлення і усунення шляхом планової реновації окремих вузлів без повної заміни рульового механізму. Це дозволяє не лише підвищити безпеку руху, але й зменшити експлуатаційні витрати на технічне обслуговування транспортного засобу.

1.5. Аналіз підходів до реновації рульових механізмів

Реновація рульових механізмів є одним із ключових напрямків підтримання технічного стану автомобілів, що дозволяє продовжити ресурс вузлів без повної заміни агрегату. Особливо актуальною реновація є для рульових механізмів з зубчастою рейкою, які піддаються інтенсивним експлуатаційним навантаженням, впливу абразивних частинок та корозійних процесів. Розробка ефективних підходів до реновації потребує системного аналізу конструктивних особливостей, типових несправностей та сучасних технологій відновлення [16, 17].

1.5.1. Принципи реновації рульових механізмів

Основним принципом реновації є відновлення працездатності вузлів до рівня, що відповідає технічним вимогам виробника, без зниження експлуатаційної надійності. Реновація передбачає комплексну діагностику, визначення ступеня зношування деталей, їхній ремонт або заміну, а також контроль точності складання та регулювання механізму. Підхід до реновації визначається характером несправностей, які виявлені під час огляду та тестування, і може включати локальний ремонт окремих елементів або комплексну відновлювальну обробку всього механізму [16, 17].

1.5.2. Локальна реновація

Локальна реновація передбачає усунення дефектів окремих вузлів або деталей. Найчастіше застосовується у випадках, коли несправності обмежені зносом зубців рейки, шестерні, втулок ковзання або наконечників рульових тяг. Основні технологічні заходи локальної реновації включають [16, 17]:

- Шліфування та полірування зубчастих елементів, що дозволяє відновити профіль зубців та зменшити люфт.
- Заміну втулок і манжет, що забезпечує відновлення точності положення рейки та герметичності системи.
- Обробку поверхонь антикорозійними складами, що запобігає подальшому руйнуванню металу та продовжує ресурс деталей.

Перевагою локальної реновації є економічна ефективність та мінімальна тривалість робіт. Проте її застосування обмежується випадками, коли знос або пошкодження незначні і не зачіпають критичних конструктивних елементів механізму.

1.5.3. Комплексна реновація

Комплексна реновація застосовується у випадках значного зносу або пошкодження рульового механізму, коли локальні ремонтні заходи не забезпечують необхідної точності та надійності. До основних етапів комплексної реновації належать [16, 17]:

1. Детальна розбирання механізму та оцінка стану всіх деталей.
2. Відновлення або заміна зубчастих елементів, що включає шліфування, хромування або наплавлення зубів для відновлення профілю та забезпечення нормального контакту рейки і шестерні.
3. Реновація корпусу та втулок, включаючи обробку антифрикційними матеріалами для зменшення тертя та підвищення ресурсу механізму.
4. Контроль геометрії та регулювання притискного механізму, що дозволяє відновити нормативні параметри зусилля на кермі та люфту.
5. Перевірка герметичності системи, особливо у механізмів з гідропідсилювачем, шляхом тестування під тиском.

Комплексна реновація забезпечує повне відновлення працездатності та довговічності механізму, але потребує більших витрат часу та ресурсів порівняно з локальним ремонтом.

1.5.4. Технології та методи відновлення

Сучасні підходи до реновації рульових механізмів включають як традиційні механічні методи, так і інноваційні технології [16, 17]:

- Механічна обробка деталей: шліфування зубців, токарна обробка втулок, полірування поверхонь.
- Нанесення покриттів: хромування, напилення антифрикційних та антикорозійних шарів для підвищення зносостійкості.

- Заміна критичних вузлів: застосування сертифікованих нових або відновлених деталей, включаючи шестерні, манжети та наконечники рульових тяг.
- Контроль точності та регулювання: використання калібрів, індикаторів та спеціальних пристроїв для перевірки люфту, зазорів та моменту обертання керма.

Вибір конкретних технологій залежить від стану механізму, вимог до ресурсу після реновації та економічної доцільності.

1.5.5. Критерії оцінки ефективності реновації

Для оцінки результатів реновації застосовують наступні критерії [16, 17]:

- Відновлення нормативних значень люфту та зусилля на кермовому колесі.
- Усунення шумів та стуків при роботі механізму.
- Відповідність геометрії зубців рейки та шестерні нормативним параметрам.
- Герметичність системи під робочим тиском у механізмах з підсилювачем.
- Підвищення ресурсу експлуатації до рівня, що забезпечує економічну доцільність реновації порівняно з повною заміною агрегату.

Системний підхід до реновації дозволяє забезпечити безпеку руху, підвищити точність керування та зменшити витрати на технічне обслуговування автомобілів.

Висновки до розділу 1

1. Виконано аналітичне дослідження конструктивних особливостей рульових механізмів з зубчастою рейкою, умов їх експлуатації та характерних відмов. Розглянуто принцип роботи рульових механізмів різних типів, визначено найбільш навантажені елементи та чинники, що впливають на інтенсивність їх зношування.

2. Проаналізовано типові несправності рульових механізмів з зубчастою рейкою, зокрема зношування зубчастої пари, опорних втулок ковзання, ущільнювальних елементів та порушення регулювальних параметрів. Встановлено,

що більшість цих несправностей мають поступовий характер розвитку, що створює передумови для ефективного застосування технологій реновації.

3. Виконано аналіз сучасних підходів до реновації рульових механізмів, визначено їх переваги та обмеження. Обґрунтовано доцільність комплексного підходу до відновлення, який поєднує дефектацію, відновлення, регулювання та контроль.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС РЕНОВАЦІЇ РУЛЬОВОГО МЕХАНІЗМУ З ЗУБЧАСТОЮ РЕЙКОЮ

2.1. Загальна характеристика технологічного процесу реновації рульового механізму з зубчастою рейкою

Технологічний процес реновації рульового механізму з зубчастою рейкою є сукупністю взаємопов'язаних операцій, спрямованих на відновлення працездатності, точності та надійності рульового керування транспортного засобу без повної заміни агрегату. Актуальність розробки та вдосконалення такого процесу обумовлена високою відповідальністю рульового механізму як елемента активної безпеки, а також економічною доцільністю відновлення вузлів в умовах сучасних автосервісних підприємств.

Як показано у першому розділі роботи, рульові механізми з зубчастою рейкою мають відносно просту кінематичну схему, проте працюють у складних умовах змінних механічних, ударних та вібраційних навантажень. У процесі експлуатації це призводить до поступового зношування зубчастої пари «рейка – шестерня», опорних втулок ковзання, ущільнювальних елементів та порушення регульовальних параметрів притискного механізму. Характерною особливістю більшості таких несправностей є їх поступовий розвиток, що створює передумови для ефективного застосування технологій реновації.

Технологічний процес реновації рульового механізму має бути спрямований не лише на усунення виявлених дефектів, а й на відновлення нормативних експлуатаційних параметрів, визначених виробником, з урахуванням реальних умов подальшої експлуатації транспортного засобу. До таких параметрів належать величина люфту рульового колеса, плавність та рівномірність ходу рейки, стабільність зусилля на кермі, герметичність механізму та ресурс його роботи після ремонту.

У загальному вигляді технологічний процес реновації рульового механізму з зубчастою рейкою включає такі основні етапи: демонтаж агрегату з транспортного засобу, попередню діагностику та дефектацію, виконання відновлювальних операцій щодо окремих елементів, складання механізму з подальшим

регулюванням та контрольними перевірками. Кожен із зазначених етапів має важливе значення для забезпечення кінцевої якості реновації та повинен виконуватися у чітко визначеній послідовності.

Особливістю технологічного процесу реновації рульових механізмів є необхідність комплексного підходу до оцінки технічного стану вузлів. Відновлення лише окремих деталей без урахування загального стану механізму та взаємодії його елементів може призвести до повторних відмов у процесі експлуатації. Тому сучасний підхід до реновації передбачає обов'язкове поєднання дефектації, відновлення та регулювання з подальшим контролем відповідності відновленого механізму нормативним вимогам.

В умовах автосервісних підприємств технологічний процес реновації повинен бути адаптований до наявної виробничої бази, рівня оснащеності та кваліфікації персоналу. Разом із тим він має забезпечувати відтворюваність результатів і стабільну якість відновлення незалежно від типу рульового механізму, зокрема механічного, з гідравлічним або електрогідравлічним підсилювачем. Це обумовлює необхідність уніфікації окремих операцій процесу та використання стандартизованих методів контролю.

Таким чином, загальна характеристика технологічного процесу реновації рульового механізму з зубчастою рейкою визначає його як системний, багатоетапний процес, що базується на результатах попереднього аналізу конструктивних особливостей і типових несправностей. Удосконалення цього процесу є ключовою умовою підвищення надійності та довговічності відновлених рульових механізмів, а також забезпечення необхідного рівня безпеки рульового керування транспортних засобів.

2.2. Діагностика та дефектація рульового механізму з зубчастою рейкою перед реновацією

Діагностика та дефектація рульового механізму з зубчастою рейкою є обов'язковим початковим етапом технологічного процесу реновації, від якого безпосередньо залежить обґрунтованість вибору відновлювальних операцій та якість кінцевого результату. Метою даного етапу є визначення фактичного

технічного стану механізму, виявлення характеру та ступеня зношування його елементів, а також прийняття рішення щодо доцільності реновації або необхідності заміни окремих деталей.

Як було встановлено у першому розділі, більшість несправностей рульових механізмів мають поступовий характер розвитку і на початкових стадіях не призводять до повної втрати працездатності. Це створює передумови для ефективного застосування технологій реновації за умови своєчасного та достовірного виявлення дефектів. У зв'язку з цим діагностика повинна носити комплексний характер і охоплювати як зовнішній огляд механізму, так і перевірку його функціональних параметрів.

На першому етапі виконується попередня діагностика рульового механізму без повного розбирання. Вона включає перевірку величини люфту рульового колеса, оцінку плавності його обертання, наявність сторонніх шумів і ударів у крайніх положеннях, а також контроль герметичності механізму. Для рульових механізмів з підсилювачем додатково оцінюється стан робочої рідини, наявність її витоків та стабільність зусилля на кермовому колесі при різних режимах роботи.

Після демонтажу рульового механізму з транспортного засобу здійснюється його детальна дефектація. Даний етап передбачає повне розбирання агрегату з подальшим очищенням деталей від забруднень та залишків мастильних матеріалів. Особлива увага приділяється стану зубчастої пари «рейка – шестерня», оскільки саме вона визначає точність і надійність рульового керування. Оцінюється ступінь зношування зубців, наявність задирів, корозійних пошкоджень та порушення геометрії профілю.

Важливим об'єктом дефектації є опорні втулки ковзання, які забезпечують центрування рейки та стабільність її положення в корпусі. Зношування втулок призводить до появи радіальних і осьових люфтів, що негативно впливає на роботу всього механізму. У процесі дефектації визначаються зазори між рейкою та втулками, наявність слідів інтенсивного тертя, локальних деформацій або руйнування матеріалу втулок.

Окрему групу дефектів становлять пошкодження ущільнювальних елементів. Зношування або втрата еластичності манжет і сальників є основною

причиною витоків робочої рідини у рульових механізмах з гідравлічним або електрогідравлічним підсилювачем. Під час дефектації перевіряється стан ущільнень, робочих поверхонь під них, а також відсутність корозії або задирів, які можуть призвести до повторної втрати герметичності після реновації.

На завершальному етапі дефектації здійснюється аналіз стану корпусу рульового механізму, регулювальних елементів та кріпильних вузлів. Виявляються можливі тріщини, деформації або порушення різьбових з'єднань, що можуть обмежувати можливість подальшої експлуатації агрегату. За результатами дефектації формується перелік деталей, які підлягають відновленню, заміні або подальшому використанню без додаткової обробки.

Таким чином, діагностика та дефектація рульового механізму перед реновацією є ключовим етапом технологічного процесу, що забезпечує обґрунтований вибір методів відновлення, підвищує ефективність реновації та знижує ймовірність повторних відмов у процесі експлуатації. Отримані на цьому етапі результати слугують вихідними даними для формування комплексу технологічних операцій, розглянутих у наступних підрозділах.

Дуже важливо, під час кожного сервісного обслуговування машини звертати увагу на умови експлуатації захисного покриття, захисних кришечок на шарнірах тяг та наскільки щільно вони встановлені.

Такі елементи потрібно замінити у випадку виявлення тріщин, пошкоджень чи інших вад, які впливають на їх водонепроникність.

Варто перевірити, чи рульове колесо розміщене горизонтально, коли колеса автомобіля спрямовані прямо. Якщо це не так, необхідно з'ясувати причину цього збою та виправити її.

Під час обертання рульового колеса від одного крайнього положення до іншого, необхідно оцінити візуально та за звуковими ознаками:

- міцність фіксації рульового агрегату та самого рульового колеса;
- відсутність люфту в гумометалевих вузлах шарнірів, на шарнірах рульових важелів та в заклепаних та шліцьових сполученнях гнучкої муфти рульового вала;

- міцне закручування та блокування болтів, які кріплять важелі до рейки, та

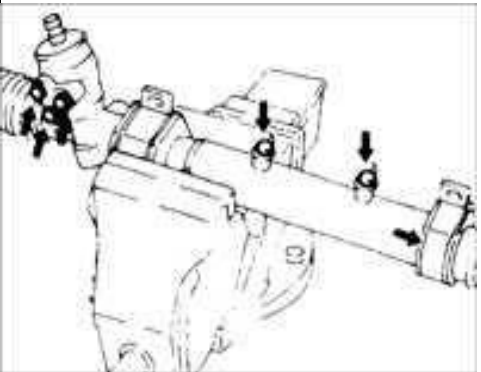
гайок на штирях сферичних шарнірів;

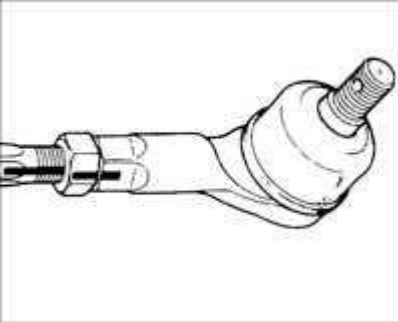
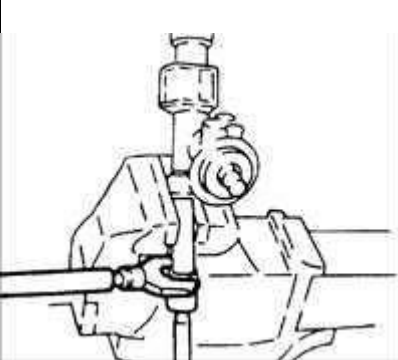
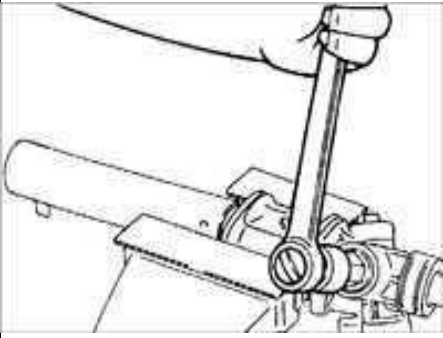
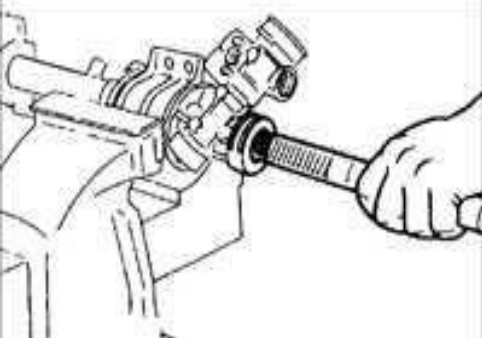
брак затрунень чи перешкод, які ускладнюють обертання рульового колеса.

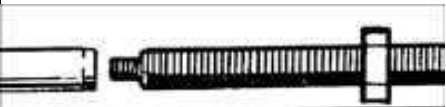
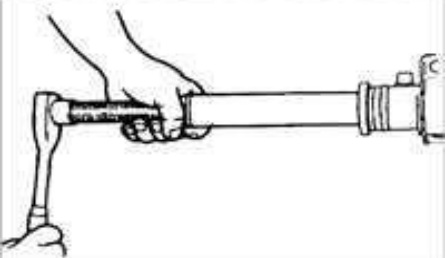
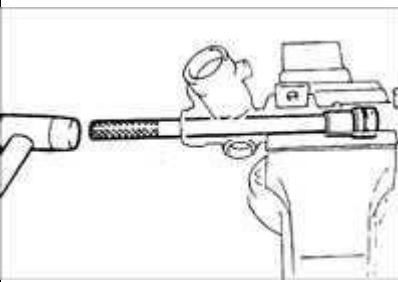
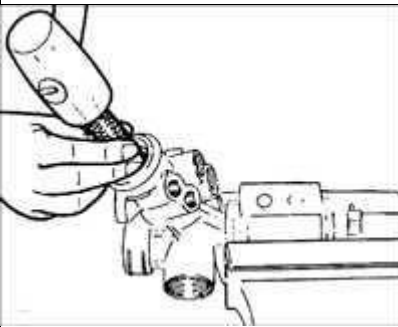
У разі виявлення стуків та скрипу, необхідно роз'єднати трансверсальні тяги з кермовими ричагами телескопічних амортизаторів і провести повторну перевірку. Після підтвердження, що джерелом шуму є рульове керування, його необхідно демонтувати з машини і оцінити розмір проміжку між опорою рейки і гайкою. Допустима максимальна відстань між опорою та гайкою становить 0,2 мм. У разі потреби необхідно замінити частини, що зносились та налаштувати проміжок між опорою і гайкою.

Якісна дефекація усіх деталей рульового механізму можлива лише за умови його демонтажу з автомобіля. Порядок демонтажу рульового механізму наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Схема демонтажу механізму рульового керування.

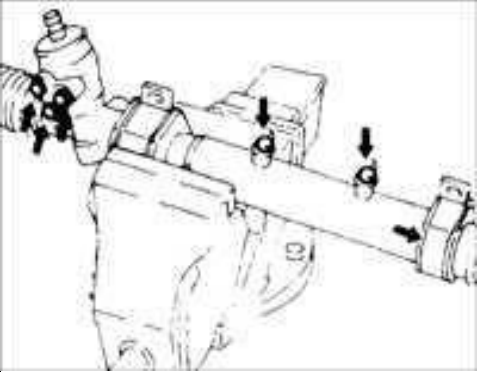
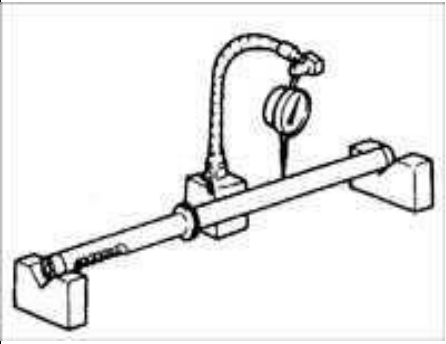
№	Операція	Ескіз
Розбирання		
001	Розкрутіть два болти й відкрутіть гайки, після чого зніміть утримувач масляного трубопроводу, а далі від'єднайте чотири масляні трубки від механізму керування.	
002	Перед тим, як розгвинтити наконечник рульової тяги, відзначте положення рульової тяги, контр-гайки і самого наконечника.	

003	Послабте контргайку і відкрутіть наконечник від рульової тяги.	
004	Використовуючи тонку вибивку та молоток, видаліть пружинний штифт.	
005	Розгвинтіть контр-гайку, яка утримує пробку.	
006	Поверніть та вийміть пробку.	
007	Демонтуйте пружину та підвісний упор.	
008	Розкрутіть контргайку.	
009	Зафіксуйте корпус рульового механізму в тисках та зніміть вал шестірні.	
010	Дістаньте втулку з рульового механізму	
011	За допомогою спеціального інструменту витягніть зубчатий механізм із корпусу з боку ведучого валу.	
012	Приєднайте специфічний інструмент до ниткової частини механізму з боку оболонки шестерні.	

013	Від'єднайте ущільнювач під час витягування зубчатої рейки.	
014	Вставте необхідний інструмент з боку ведучого валу так, щоб він зіткнувся з експансійною втулкою.	
015	Розмістіть інший спеціалізований інструмент з протилежного боку до раніше встановленого відповідного інструменту.	
016	Закріпіть корпус рульової передачі у ле щатах.	
017	Видавіть підшипник та ущільнювач рейки з корпусу.	
018	Спеціальним інструментом вибийте нижній підшипник з картера.	

При дефекації механізму рульового керування необхідно дотримуватись певного порядку контрольних операцій, що представлено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Порядок контрольних операцій

Контроль		
001	Перевірте деталі рульової передачі на відсутність тріщин чи пошкоджень, а також на нерівномірність зносу зубів рейки. За необхідності замініть зношені деталі.	
002	Огляньте ущільнювачі на предмет нерівномірного стирання та ушкоджень. У разі виявлення зношених елементів, проведіть їх заміну.	
003	Розмістіть зубчатий механізм на V-формних опорах та скористайтесь індикатором з годинниковим механізмом для оцінки вигину рейки. У разі перевищення вигину вище припустимих норм, потрібно провести заміну рейки. Вигин: 0,15 мм.	

2.3. Технологічні операції реновації основних елементів рульового механізму

2.3.1. Реновація зубчастої рейки та шестерні рульового механізму

Зубчаста рейка та шестерня є основними силовими і кінематичними елементами рульового механізму з рейковою передачею, які безпосередньо визначають точність, плавність та надійність керування транспортним засобом. У процесі експлуатації ці елементи працюють в умовах змінних контактних навантажень, ударних впливів та підвищеного тертя, що зумовлює їх поступове зношування. Саме тому реновація зубчастої пари займає центральне місце у технологічному процесі відновлення рульового механізму.

Після завершення діагностики та дефектації, описаних у підрозділі 2.2, здійснюється оцінка придатності зубчастої рейки та шестерні до реновації. До основних дефектів, що допускають відновлення, належать рівномірне зношування робочих поверхонь зубців, незначні задири, сліди корозії поверхневого характеру, а також локальні порушення мікрогеометрії профілю. Наявність тріщин, значних пластичних деформацій або глибоких викришувань матеріалу, як правило, є підставою для вибраковування деталей і їх заміни.

Першим етапом реновації зубчастої рейки та шестерні є ретельне очищення поверхонь від залишків мастила, абразивних частинок та корозійних продуктів. Очищення здійснюється з використанням мийних установок або спеціальних розчинів, що не порушують структуру матеріалу деталей. Якість очищення має принципове значення, оскільки залишкові забруднення можуть спотворювати результати контролю та знижувати ефективність подальших відновлювальних операцій.

Наступним етапом є контроль геометричних параметрів зубчастих елементів. Для рейки та шестерні перевіряється відповідність профілю зубців, рівномірність зношування по довжині робочої ділянки, а також відсутність відхилень, що можуть призводити до локального перевантаження у зачепленні. Контроль здійснюється з використанням вимірювальних приладів та шаблонів, а також шляхом візуального аналізу контактних поверхонь.

Відновлення робочих поверхонь зубців, як правило, виконується методами механічної обробки. До найбільш поширених належать шліфування та полірування, які дозволяють усунути сліди зношування, задири та нерівності поверхні без істотної зміни геометрії зубчастого профілю. При цьому особлива увага приділяється забезпеченню однакових умов контакту зубців рейки та шестерні по всій довжині зачеплення.

У випадках більш інтенсивного зношування можуть застосовуватися технології нанесення відновлювальних покриттів, зокрема твердого хромування або напилення зносостійких шарів. Такі методи дозволяють не лише компенсувати втрату матеріалу, а й підвищити зносостійкість зубчастих поверхонь у порівнянні

з початковим станом. Вибір конкретної технології покриття визначається матеріалом деталей, умовами експлуатації та економічною доцільністю реновації.

Після виконання відновлювальних операцій обов'язковим є контроль якості обробки зубчастих елементів. Перевіряється шорсткість поверхні, відповідність профілю зубців та відсутність локальних дефектів, що можуть стати джерелом підвищеного зношування або шуму під час роботи механізму. Результати контролю слугують підставою для допуску деталей до наступного етапу складання та регулювання рульового механізму.

Таким чином, реновація зубчастої рейки та шестерні є складним багатоетапним процесом, що потребує поєднання точної дефектації, якісної механічної обробки та контролю геометричних параметрів. Раціонально обрані технології відновлення дозволяють забезпечити необхідну точність зачеплення, знизити люфт і шумність роботи рульового механізму, а також істотно продовжити його експлуатаційний ресурс.

Схема операцій технологічного процесу відновлення зубчастої рейки та шестерні представлено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. Технологічна послідовність реновації зубчастої рейки та шестерні

№	Найменування операції	Зміст операції	Технічні вимоги	Обладнання	Інструмент і засоби контролю
001	Миття та очищення	Видалення мастила, абразивних частинок і корозійних нашарувань з поверхонь рейки та шестерні	Поверхні мають бути повністю очищені, без залишкових забруднень	Мийна установка, ультразвукова ванна	Щітки, промивні рідини, стиснене повітря
002	Первинний візуальний контроль	Огляд зубців на наявність тріщин, викришувань, задирів	Відсутність тріщин і критичних дефектів	Робоче місце контролю	Лупа, освітлювальні прилади

003	Контроль геометрії зубців	Вимірювання профілю, кроку та висоти зубців	Відхилення в межах допустимих значень	Вимірювальний стенд	Шаблони, мікрометри, індикатори
004	Шліфування	Усунення зношування та задирів робочих поверхонь зубців	Збереження профілю зубця, рівномірність обробки	Шліфувальний верстат	Абразивні круги, калібри
005	Полірування	Зменшення шорсткості поверхні зубців	Шорсткість у межах нормативних значень	Полірувальне обладнання	Полірувальні пасти
006	Нанесення покриття (за потреби)	Відновлення шару матеріалу та підвищення зносостійкості	Рівномірність покриття, адгезія	Установка хромування/напилення	Товщиноміри
007	Заключний контроль	Перевірка якості обробки та відповідності параметрів	Повна відповідність технічним вимогам	Контрольне робоче місце	Профілометри, індикатори

2.3.2. Реновація опорних втулок ковзання рульового механізму

Опорні втулки ковзання є важливими елементами рульового механізму з зубчастою рейкою, призначеними для забезпечення точного направлення руху рейки в корпусі та зниження сил тертя під час її переміщення. Від їх технічного стану безпосередньо залежить стабільність положення рейки, величина люфтів і рівномірність зусилля на рульовому колесі. У зв'язку з цим реновація опорних втулок ковзання є одним із ключових етапів технологічного процесу відновлення рульового механізму.

У процесі експлуатації втулки ковзання працюють в умовах постійного контакту з рухомою рейкою, піддаються впливу змінних навантажень, вібрацій, а також забруднень, що проникають у механізм через ущільнювальні елементи. Основними видами дефектів втулок є зношування внутрішньої поверхні, збільшення монтажних зазорів, локальні задирі, а також втрата геометричної

стабільності. Такі дефекти призводять до порушення центрування рейки та появи стуків і підвищеного люфту у рульовому механізмі.

Після виконання дефектації, описаної у підрозділі 2.2, визначається доцільність реновації або повної заміни опорних втулок. У більшості випадків втулки з вираженим зношуванням підлягають заміні, оскільки відновлення їхніх робочих поверхонь традиційними методами є технологічно складним та економічно необґрунтованим. Водночас у процесі реновації важливим є не лише сам факт заміни втулок, а й правильний вибір матеріалу та точність їх встановлення.

Перед установленням нових або відновлених втулок здійснюється підготовка посадкових поверхонь у корпусі рульового механізму. Поверхні очищуються від забруднень і корозійних нашарувань, після чого перевіряється їх геометрія та відсутність механічних пошкоджень. У разі необхідності проводиться легка механічна обробка або калібрування посадкових отворів з метою забезпечення нормативних посадок і співвісності втулок відносно осі руху рейки.

Установлення втулок ковзання повинно забезпечувати мінімальні, але достатні зазори для вільного переміщення рейки без заїдань. Надмірно великі зазори призводять до появи люфту та зниження точності керування, тоді як надто малі зазори викликають підвищене тертя і збільшення зусилля на рульовому колесі. Тому після монтажу втулок виконується контроль взаємного положення рейки та корпусу, а також перевірка плавності її переміщення.

Важливим аспектом реновації опорних втулок ковзання є забезпечення сприятливих умов тертя у парі «рейка – втулка». Для цього використовуються мастильні матеріали, рекомендовані виробником, або спеціальні склади, що знижують коефіцієнт тертя і зменшують інтенсивність зношування. Якість мастильного шару суттєво впливає на ресурс втулок і загальну надійність рульового механізму після реновації.

Таким чином, реновація опорних втулок ковзання є відповідальним технологічним етапом, який вимагає точного дотримання посадок, правильного вибору матеріалів та контролю умов тертя. Недооцінка значення цього етапу може звести нанівець результати відновлення зубчастої пари та інших елементів

рульового механізму. Саме тому вдосконалення технології реновації втулок ковзання, зокрема шляхом застосування сучасних матеріалів, є перспективним напрямком підвищення ресурсу та експлуатаційної надійності рульових механізмів, що буде розглянуто у наступних підрозділах.

Схема операцій технологічного процесу відновлення опорних втулок ковзання представлено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4. Технологічна послідовність реновації опорних втулок ковзання

№	Найменування операції	Зміст операції	Технічні вимоги	Обладнання	Інструмент і засоби контролю
001	Демонтаж втулок	Видалення зношених втулок з корпусу механізму	Відсутність пошкоджень корпусу	Прес або знімач	Монтажні оправки
002	Очищення посадкових місць	Видалення бруду та корозії	Чисті та рівні поверхні	Мийна установка	Щітки, розчинники
003	Контроль геометрії	Перевірка співвідносінь та діаметра посадкових отворів	Відповідність допускам	Вимірювальний стенд	Нутроміри, калібри
004	Підготовка втулок	Підбір матеріалу, контроль розмірів	Відповідність конструкторській документації	Робоче місце	Мікрометр
005	Запресування втулок	Установлення втулок у корпус	Забезпечення нормативної посадки	Гідравлічний прес	Оправки
006	Контроль руху рейки	Перевірка плавності переміщення	Відсутність заїдань	Контрольне робоче місце	Динамометр
007	Мащення	Нанесення мастильного матеріалу	Рівномірний мастильний шар	Мастильне обладнання	Шприци

2.3.3. Відновлення ущільнювальних елементів та забезпечення герметичності рульового механізму

Ущільнювальні елементи рульового механізму з зубчастою рейкою виконують важливу функцію захисту внутрішніх поверхонь і рухомих деталей від потрапляння забруднень, вологи та агресивних домішок, а також забезпечують герметичність системи у механізмах з гідравлічним або електрогідравлічним підсилювачем. Їхній технічний стан істотно впливає на довговічність рульового механізму та стабільність його експлуатаційних характеристик. У зв'язку з цим відновлення ущільнювальних елементів є обов'язковою складовою технологічного процесу реновації.

У процесі експлуатації ущільнювальні елементи зазнають старіння матеріалу, втрати еластичності, механічного зношування та впливу температурних коливань. Це призводить до порушення герметичності, витоків мастила або робочої рідини, а також до прискореного зношування зубчастої рейки, шестерні та опорних втулок ковзання. Як показав аналіз типових несправностей у першому розділі, навіть незначне порушення герметичності може суттєво скоротити ресурс рульового механізму.

Після розбирання рульового механізму всі ущільнювальні елементи підлягають обов'язковій дефектації. Оцінюється їх зовнішній стан, еластичність, наявність тріщин, деформацій та слідів інтенсивного зношування. Практика реновації свідчить, що повторне використання старих ущільнювальних елементів є недоцільним, навіть за відсутності видимих дефектів, оскільки це не гарантує довготривалої герметичності після складання механізму.

Перед установленням нових ущільнювальних елементів особлива увага приділяється стану робочих поверхонь, з якими вони контактують. Поверхні валів, рейки та посадкових гнізд очищуються від забруднень і корозійних нашарувань, після чого перевіряється відсутність задирів або інших дефектів, здатних пошкодити ущільнення у процесі роботи. За необхідності виконується полірування або легка механічна обробка контактних поверхонь.

Вибір ущільнювальних елементів для реновації здійснюється з урахуванням конструктивних особливостей рульового механізму, робочих тисків та

температурних режимів. Для механізмів з підсилювачем застосовуються ущільнення, виготовлені з матеріалів, стійких до дії робочих рідин і перепадів тиску. Правильний підбір матеріалу ущільнень дозволяє забезпечити стабільну герметичність та зменшити ризик повторних витоків у процесі експлуатації.

Після встановлення ущільнювальних елементів виконується перевірка герметичності рульового механізму. У механізмах з підсилювачем вона може проводитися шляхом створення робочого тиску з контролем відсутності витоків. Для механічних рулевих механізмів основна увага приділяється захисній функції ущільнень і забезпеченню збереження мастильного шару. Результати перевірки фіксуються як підтвердження готовності механізму до подальших етапів складання та регулювання.

Таким чином, відновлення ущільнювальних елементів є важливим технологічним етапом реновації, який забезпечує захист внутрішніх вузлів рульового механізму та стабільність його роботи. Комплексний підхід до заміни ущільнень, підготовки контактних поверхонь і контролю герметичності дозволяє суттєво підвищити ресурс відновленого механізму та знизити ймовірність передчасних відмов у подальшій експлуатації.

Схема операцій технологічного процесу відновлення ущільнювальних елементів представлено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5. Технологічна послідовність відновлення ущільнювальних елементів

№	Найменування операції	Зміст операції	Технічні вимоги	Обладнання	Інструмент і засоби контролю
001	Демонтаж ущільнень	Видалення старих ущільнювальних елементів	Без пошкодження посадкових поверхонь	Робоче місце	Монтажні гачки
002	Очищення поверхонь	Підготовка контактних зон	Відсутність задирів і бруду	Мийна установка	Серветки, розчинники
003	Контроль поверхонь	Оцінка стану валів і гнізд	Поверхні без дефектів	Контрольне місце	Лупа

004	Підбір ущільнень	Вибір ущільнень відповідного типу	Відповідність умовам експлуатації	Склад ЗІП	Каталоги
005	Монтаж ущільнень	Установлення нових ущільнень	Правильна орієнтація	Монтажне обладнання	Оправки
006	Перевірка герметичності	Контроль відсутності витоків	Повна герметичність	Випробувальний стенд	Манометри

2.4. Складання, регулювання та контроль параметрів рульового механізму після реновації

Складання та регулювання рульового механізму з зубчастою рейкою після виконання відновлювальних операцій є завершальним і одним із найбільш відповідальних етапів технологічного процесу реновації. Саме на цьому етапі формується кінцева якість відновленого агрегату, а результати попередніх технологічних операцій реалізуються у вигляді конкретних експлуатаційних параметрів рульового керування.

Складання рульового механізму здійснюється у суворій відповідності до технологічної послідовності з урахуванням конструктивних особливостей конкретної моделі. Відновлені або замінені деталі встановлюються у корпус із дотриманням нормативних посадок і співвісності. Особлива увага приділяється правильному розміщенню зубчастої рейки, опорних втулок ковзання та ущільнювальних елементів, оскільки від цього залежить плавність ходу рейки та відсутність перекосів у механізмі.

Після складання виконується регулювання притискного механізму, призначеного для забезпечення оптимального контакту між зубчастою рейкою та шестернею. Регулювання здійснюється таким чином, щоб забезпечити мінімальний допустимий люфт без виникнення надмірного тертя. Неправильне регулювання може призвести або до збільшення зусилля на рульовому колесі, або до появи шумів і прискореного зношування зубчастої пари, що знижує ефективність реновації.

Важливим етапом є контроль плавності переміщення зубчастої рейки по всій довжині робочого ходу. Перевіряється відсутність заїдань, локальних зон підвищеного опору та сторонніх шумів. Особлива увага приділяється крайнім положенням рейки, де найчастіше проявляються дефекти, пов'язані з перекосами або неточністю регулювання.

Для рульових механізмів з гідравлічним або електрогідравлічним підсилювачем додатково проводиться перевірка герметичності системи та стабільності зусилля на рульовому колесі. Контроль здійснюється при різних режимах роботи з метою виявлення можливих витоків робочої рідини та оцінки рівномірності дії підсилювача. Результати перевірок дозволяють підтвердити працездатність ущільнювальних елементів і правильність складання механізму.

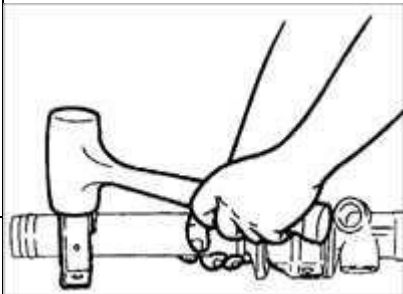
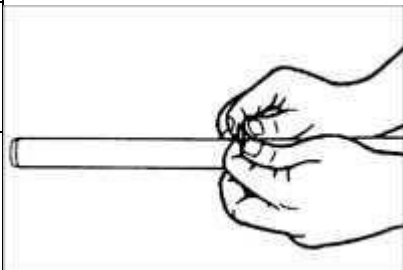
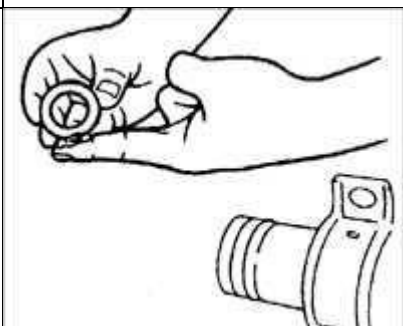
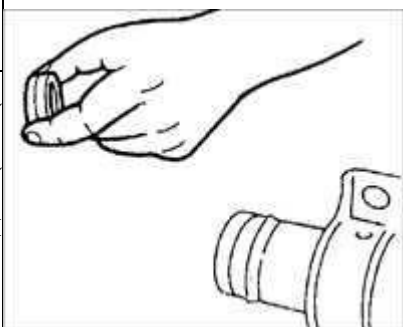
Завершальним етапом є контроль основних параметрів відновленого рульового механізму, зокрема величини люфту, зусилля на кермовому колесі та загальної функціональної надійності. Отримані значення порівнюються з нормативними вимогами виробника або технічними регламентами. У разі відповідності показників рульовий механізм допускається до подальших випробувань або встановлення на транспортний засіб.

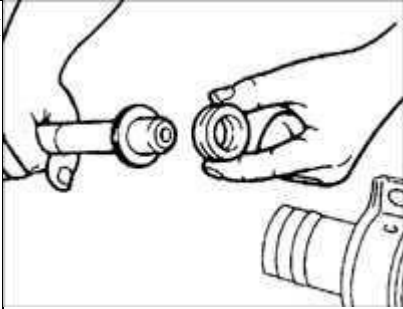
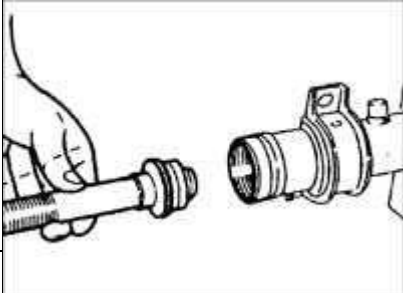
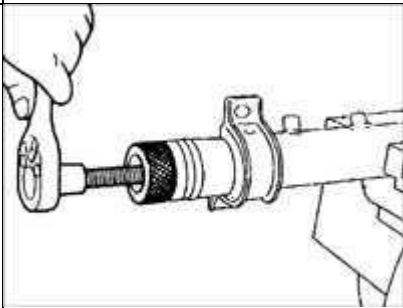
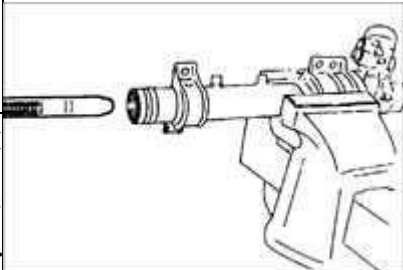
Таким чином, складання, регулювання та контроль параметрів після реновації є інтегруючим етапом технологічного процесу, що забезпечує досягнення необхідного рівня точності, безпеки та надійності рульового механізму. Якість виконання цього етапу визначає ефективність усієї технології реновації та створює передумови для підвищення ресурсу відновлених агрегатів у подальшій експлуатації.

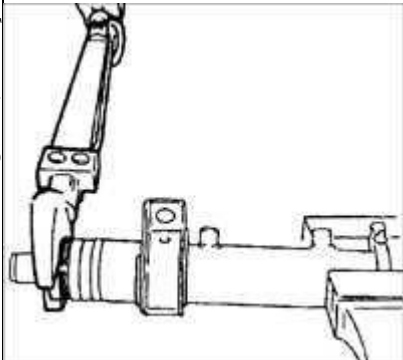
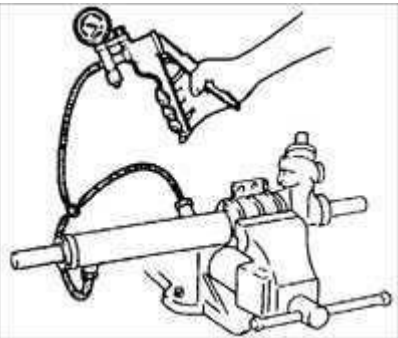
Порядок складальних операцій і встановлення на автомобіль механізму рульового керування представлено у таблиці 2.6.

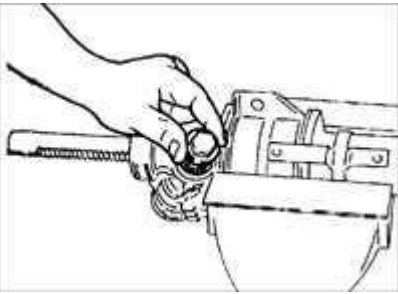
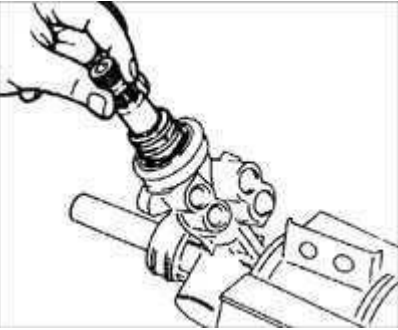
Таблиця 2.6. Порядок складання та монтажу на автомобіль

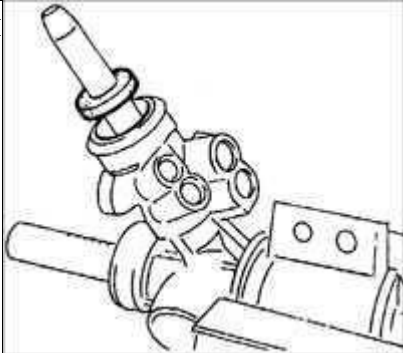
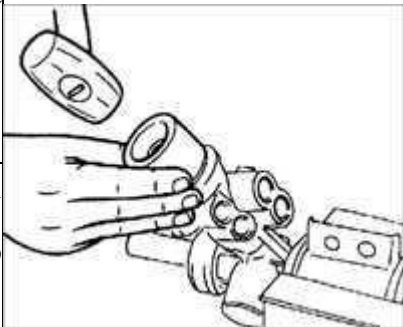
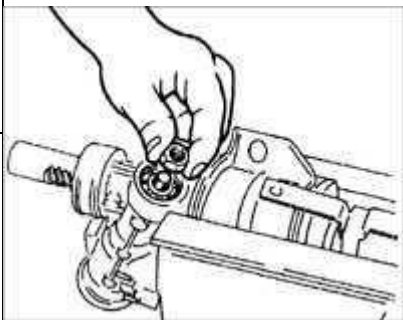
Складання		
001	Розмістіть гумові підкладки на корпусі механізму керування.	

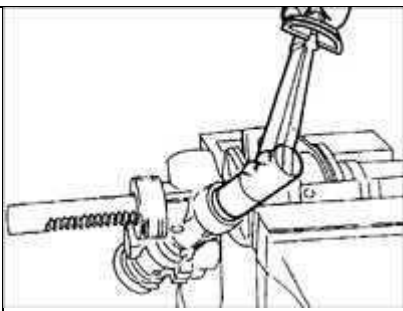
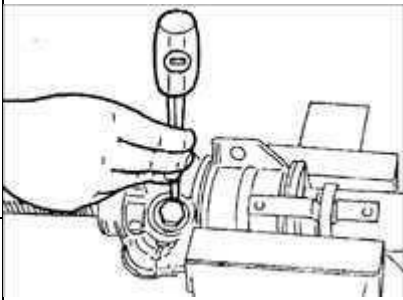
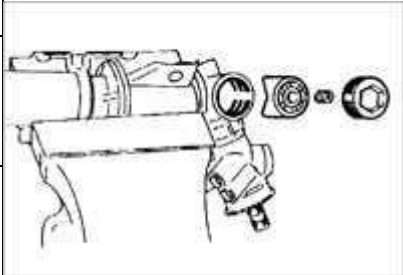
002	За допомогою пластикового молотка змонтуйте кріпильні елементи.	
003	Промажте тонким шаром трансмісійного масла кругле ущільнювальне кільце та інше ущільнювальне кільце.	
004	Розмістіть кругле ущільнювальне кільце у пазі зубчастого механізму.	
005	Встановіть інше ущільнювальне кільце в паз зубчастого механізму.	
006	Вручну помістіть ущільнювальне кільце так, аби воно вступило в паз.	
007	Нанесіть тонкий шар мастила на рівну поверхню вставки обшивки.	
008	Поєднайте ущільнення механізму з змащеною поверхнею вставки обшивки.	
009	Покрийте поверхню внутрішніх та зовнішніх елементів захисного оболонки та ущільнювача рейки тонким пластом трансмісійного масла.	

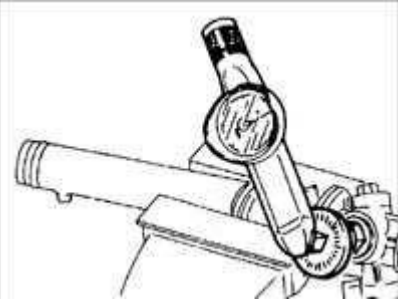
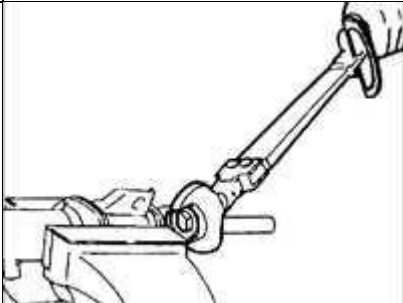
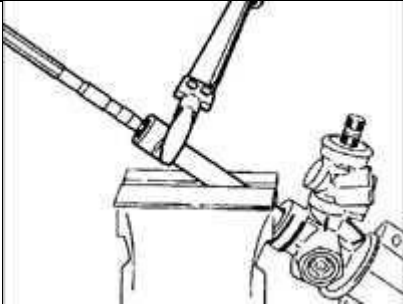
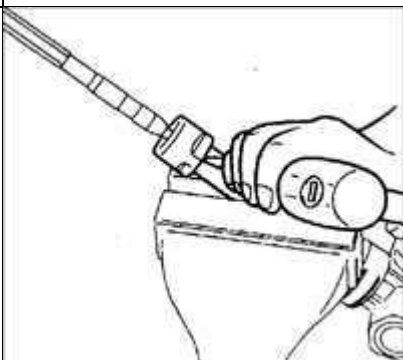
010	Розмістіть захисну оболонку та ущільнювач рейки на дедалізоване обладнання.	
011	Введіть цей інструмент у втулку зубчастого валу.	
012	Закрутіть та міцно закріпіть гвинти цього приладу.	
013	Поверніть ось дедалізованого обладнання якомога далі та заштовхніть ущільнювальне кільце та захисну оболонку.	
014	Зніміть це обладнання.	
015	Застосуйте мастило на літєвій основі (NLGI №2) на тертьову поверхню та зубці шестернястої рейки.	
016	З допомогою дедалізованого обладнання засуньте шестернясту рейку в корпус кермового механізму з боку приводної шестерні.	

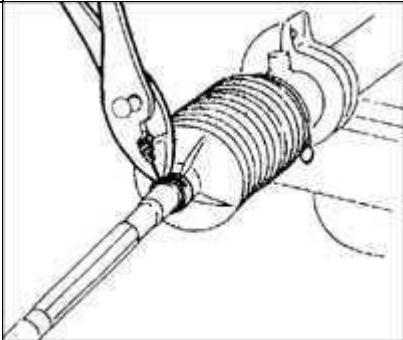
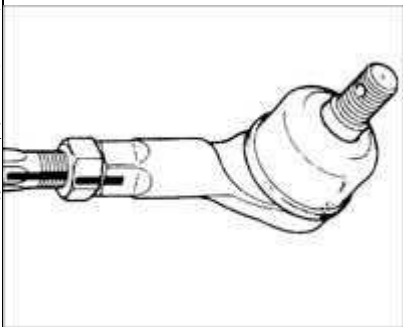
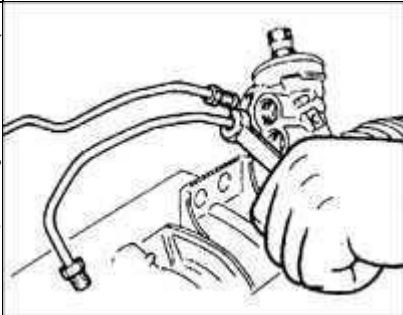
017	Зніміть це обладнання.	
018	Застосуйте ваш ущільнювач на ниткову ділянку гільзи.	
019	Монтувати гільзу у корпус рульової системи.	
020	Закрутіть гільзу, при цьому сегмент ущільнення рейки має потрапити в циліндр. Величина обертання при затягуванні: 88–98 Н•м.	
021	Поедняйте допоміжний прилад із оболонкою циліндра.	
022	Під'єднайте вакуумний помпу до допоміжного приладу.	
023	Утворіть вакуум у 400 мм ртутного стовпа.	
024	Перевірте стійкість вакууму на термін не менше 30 секунд. У випадку невдачі, перегляньте герметичність та конструкцію.	
025	Встановіть оболонку шестірні в тиску таким чином, аби нижній отвір під підшипник був звернений вгору.	

026	Промажте нижній підшипник тонким шаром трансмісійного масла та вмонуйте його до корпусу.	
027	Запресуйте підшипник в корпус шестерні за допомогою кришки шестерні. Міцно закрутіть заглушку до моменту відчутного збільшення обертового зусилля.	
028	Промажте літєвою мастилкою (NLGI №2) зубці шестерні.	
029	Покрийте ущільнювач та тертьову поверхню регуляторного клапана дрібним шаром трансмісійного масла.	
030	Монтувати вал шестерні в корпус.	
031	Протягніть тонке покриття трансмісійного масла на осьовий підшипник та зафіксуйте його.	
032	Промажте масляний ущільнювач та нанесіть змащувач на літєвій основі (NLGI №2) на виступ.	
033	Вмонуйте спеціальний пристрій (втулку) на зубці валу шестерні.	

034	Рухаючи втулкою, зафіксуйте масляний ущільнювач в корпусі кермового механізму.	
035	Використовуючи втулку підходящого розміру та молоток, розмістіть масляне ущільнюваче кільце таким чином, щоб була видима поглибина для установки пружинного кільця.	
036	Встановіть на час з'єднувальну деталь зі сторони трубопроводу корпусу кермового механізму.	
037	Закрутіть контр-гайку на осі шестерні до моменту зіткнення з'єднувального елемента з трубопроводом корпусу кермового механізму.	
038	Міцно затягніть контр-гайку. Сила затягування: 39–49 Н•м.	
039	Промажте різьбу кришки корпусу тонким шаром ущільнювача.	

040	Монтуйте верхню частину корпусу. Сила затягування: 44–54 Н•м.	
041	Двічі закріпіть верхню частину в корпусі.	
042	Розмістіть корпус кермового механізму у тисках так, щоб верхній обмежувач був нагорі.	
043	Промастіть верхній обмежувач мастилом на основі літію (NLGI №2).	
044	Розмістіть верхній обмежувач в корпусі.	
045	Розташуйте зубчастий механізм у нейтральному положенні.	
046	Міцно закрутіть заглушку верхнього обмежувача з силою 9,8 Н•м, а потім послабте.	
047	Закрутіть заглушку верхнього обмежувача з силою $4,9 \pm 0,5$ Н•м, після чого послабте на 45° .	

048	Промажте герметиком різьблену частину заглушки ковзаючого опору.	
049	Монтувати й міцно закрутіть контр- гайку. Сила затягування: 49–59 Н•м	
050	Зафіксуйте корпус кермового механізму в тиску.	
051	Монтуйте рульовий привід до кермового механізму. Сила затягування: 108–128 Н•м	
052	Розмістіть нову циліндричну шпильку.	
053	Наповніть новий захисний кожух кермового механізму відповідною кількістю мастила.	
054	Промажте поверхню захисного кожуха, що приєднується до корпусу кермового механізму, дрібним шаром ущільнювача.	

055	Промажте зсередини мастилом поверхню захисного кожуха, призначеного для монтажу на рульовий важіль.	
056	Посуваючись вздовж рульового важеля, монтуйте захисний кожух кермового механізму. Утримайте велику частину кожуха за допомогою дроту, зробіть два витки навколо і скрутіть кінці дроту 4–4,5 разів.	
057	Фіксуйте кожух з меншої сторони за допомогою стяжки.	
058	Закрутіть контргайку на рульовому важелі та синхронізуйте маркування, зроблене до розкручування гайки. Закрутіть кінцевик рульового важеля та синхронізуйте маркування, зроблене до розкручування кінцевика.	
059	Міцно закрутіть контргайку кінцевика рульового важеля. Утримайте корпус кермового механізму в тисках так, щоб отвори для нафтопроводів були спрямовані вгору.	

060	Монтувати опору нафтопроводу до нафтопроводів та корпусу кермового механізму та фіксуйте двома болтами і гайками. Сила затягування: 39–49 Н•м.	
-----	---	--

2.5. Використання полімерних композитних матеріалів для удосконалення технології реновації опорних втулок ковзання

У процесі реновації рульових механізмів з зубчастою рейкою особливу увагу привертає проблема підвищення ресурсу та стабільності роботи опорних втулок ковзання. Як було показано у попередніх підрозділах, саме стан втулок істотно впливає на величину люфтів, рівномірність ходу рейки та загальну точність рульового керування. Традиційні матеріали втулок, що застосовуються у серійному виробництві, не завжди забезпечують необхідну довговічність в умовах зношених або частково відновлених поверхонь рейки, що обумовлює доцільність пошуку альтернативних матеріалів для технології реновації.

Перспективним напрямком удосконалення технологічного процесу реновації є застосування полімерних композитних матеріалів для виготовлення або заміни опорних втулок ковзання. Такі матеріали характеризуються поєднанням високих антифрикційних властивостей, зносостійкості та здатності працювати в умовах обмеженого мастила. На відміну від традиційних металевих або металокерамічних втулок, полімерні композити здатні частково компенсувати мікронерівності контактних поверхонь, що є важливою перевагою саме в умовах реновації.

До складу полімерних композитних матеріалів для втулок ковзання, як правило, входить полімерна матриця з наповнювачами у вигляді волокон, порошків або твердих змащувальних компонентів. Така структура дозволяє досягти зниженого коефіцієнта тертя, стабільної роботи при змінних навантаженнях і підвищеної стійкості до абразивного зношування. Крім того, полімерні композити мають корозійну стійкість, що є суттєвою перевагою при експлуатації транспортних засобів у складних кліматичних умовах.

З технологічної точки зору використання полімерних композитних втулок спрощує окремі операції реновації. Виготовлення або підбір таких втулок не потребує складних термічних або фінішних механічних обробок, а їх монтаж може здійснюватися з мінімальним втручанням у конструкцію корпусу рульового механізму. Завдяки здатності полімерних матеріалів до пружної деформації досягається більш рівномірний розподіл навантажень між рейкою та втулкою, що знижує інтенсивність локального зношування.

Важливою перевагою застосування полімерних композитних матеріалів у технології реновації є підвищення стабільності регулювальних параметрів рульового механізму. Зменшення коефіцієнта тертя та більш рівномірний контакт у парі «рейка – втулка» сприяють збереженню заданих зазорів протягом тривалого періоду експлуатації. Це, у свою чергу, знижує ризик повторної появи люфтів і стуків після реновації, що є однією з типових проблем традиційних відновлювальних технологій.

Разом з тим застосування полімерних композитних матеріалів вимагає врахування їх температурних та навантажувальних обмежень. При розробці технологічного процесу реновації необхідно забезпечити відповідність характеристик матеріалу реальним умовам роботи рульового механізму, зокрема з урахуванням пікових навантажень та можливого теплового впливу. Раціональний вибір складу композиту та геометрії втулки дозволяє мінімізувати ці обмеження і забезпечити необхідний ресурс роботи.

Таким чином, використання полімерних композитних матеріалів для реновації опорних втулок ковзання є ефективним напрямком удосконалення технологічного процесу відновлення рульових механізмів з зубчастою рейкою. Застосування таких матеріалів дозволяє підвищити зносостійкість вузла, стабілізувати експлуатаційні параметри рульового керування та зменшити ймовірність повторних відмов після реновації. Це створює передумови для підвищення загальної надійності та конкурентоспроможності відновлених рульових механізмів у практиці автосервісних підприємств.

2.5.1. Термічні властивості ПКМ

Для з'ясування принципу збільшення стійкості до зносу та міцності надвисокомолекулярний поліетилену (НВМПЕ) з додаванням силікатів та визначення енергетичного рівня межових шарів між полімером та наповнювачем, а також для посилення адгезії між компонентами при створенні композитних матеріалів, було виконано аналіз термічних характеристик, залежно від кількості наповнювача. Дані представлено у таблиці 2.7.

З додаванням каолініту до НВМПЕ відзначено пониження температури, на якій розпочинається плавлення ПКМ. Найістотніше пониження спостерігалось в ПКМ з включенням механоактивованого каолініту (згідно з рисунком 2.1). Це можливо через утворення дефектних кристалів під час кристалізації НВМПЕ з механоактивованим каолінітом, що відповідає результатам РСА. Зростання дефектності кристалічної структури веде до зниження температури плавлення $T_{пл}$.

Таблиця 2.7. Термічні характеристики ПКМ, базованого на НВМПЕ.

Зразок	$T_{нач пл},$ °C	$T_{конец пл},$ °C	$\Delta H,$ Дж/г	$\Delta H_{вз.},$ Дж/г	$I_{ст},$ %
Вихідний НВМПЕ	126,3	149,6	160,0	-	55,6
НВМПЕ + 0,5% К	124,3	149,1	149,3	10,7	51,8
НВМПЕ + 1,0% К	124,2	149,0	148,0	12,0	51,4
НВМПЕ + 2,0% К	123,8	147,6	147,9	12,1	51,4
НВМПЕ + 5,0 % К	125,3	148,2	145,0	15,0	50,3
НВМПЕ + 0,5% К+ПП	125,0	149,2	158,4	1,6	55,0
НВМПЕ + 1,0% К+ПП	125,5	148,4	158,1	1,9	54,9
НВМПЕ + 2,0% К+ПП	125,5	148,8	157,9	2,1	54,8
НВМПЕ + 5,0 % К+ПП	125,2	148,2	152,4	7,6	52,9
НВМПЕ + 0,5% К + ЦТАБ	125,0	148,0	155,0	5,0	53,8
НВМПЕ + 1,0% К + ЦТАБ	124,6	148,6	155,5	4,5	54,0
НВМПЕ + 2,0% К + ЦТАБ	125,4	148,0	155,1	4,9	53,9

$T_{\text{поч.пл}}$ – температура початку плавлення, °С; $T_{\text{кінець.пл}}$ – температура кінця плавлення, °С; nH – теплота плавлення, Дж / г; $nH_{\text{вз}}$ – ентальпія взаємодії між наповнювачем та полімерною матрицею, $I_{\text{ст}}$ – ступінь кристалічності, %.

Окрім того, композити з наповнювачем демонструють ширший діапазон плавлення порівняно з первинним полімером (за даними рисунку 2.2.), оскільки додавання наповнювача впливає на динаміку кристалізації полімерної матриці. Так, ділянки поруч з наповнювачем кристалізуються з іншою швидкістю порівняно з первинним полімером. Це характерно для звичайних ПКМ на базі механоактивованого каолініту, але при модифікації ПАР каолініту з 2-5 мас.% наповнювача діапазон плавлення не розширюється.

В основній частині кристалічної структури дефекти зосереджуються на її зовнішньому шарі, що граничить з аморфною частиною. З підвищенням розмірів кристаліту зменшується його відносна поверхня та кількість дефектів. Тому крупні кристаліти тануть при вищих температурах. Різниця в розмірах кристалітів спричиняє, серед інших чинників, розширення температурного діапазону плавлення полімеру.

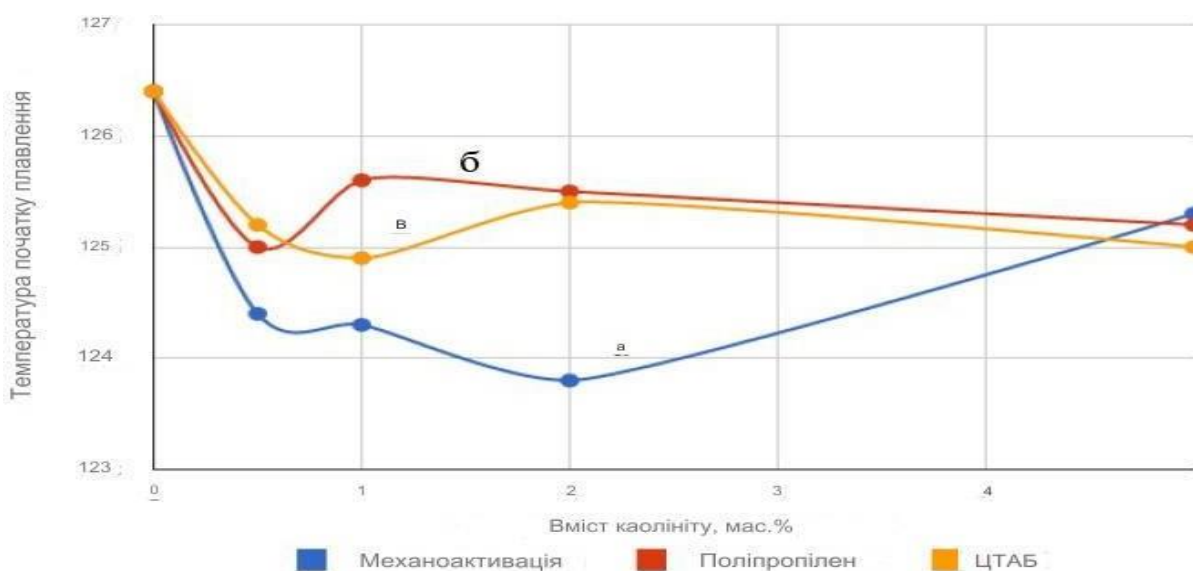


Рис. 2.1. Залежність температури, на якій розпочинається плавлення, від кількості каолініту та методу його модифікації: а – виключно механоактивація наповнювача; б – оброблення атактичним поліпропіленом; в – одночасна механоактивація наповнювача з ЦТАБ [17].

Враховуючи вищеописане, можна дійти висновку, що модифікація наповнювача ПАР і АПП сприяє формуванню кристалітів більших розмірів, ніж у традиційному композиті. Проте це суперечить даним РСА, які свідчать, що розміри ОКР у ПКМ, створених поєднанням НВМПЕ з модифікованим ПАР та ПП каолінітом, менші, аніж у звичайного композиту. Таке неспівпадіння може бути пояснене наявністю значної кількості дефектів у великих кристалітах НВМПЕ. Це підтверджують РСА дані про дефекти кристалічної структури, засновані на різниці в розмірах ОКР, визначених за різними методами. Структура ПКМ з механоактивованим каолінітом характеризується більшою кількістю дефектів та більшими розмірами ОКР.

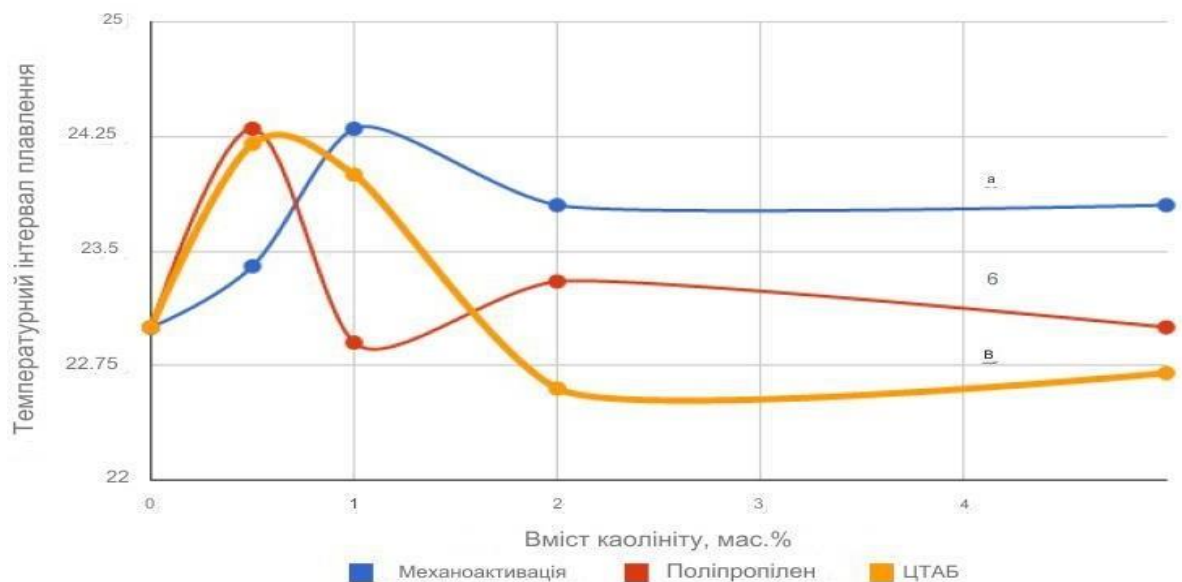


Рис. 2.2. Кореляція між діапазоном плавлення, кількістю каолініту та методом його модифікації: а – виключно механоактивація наповнювача; б – оброблення атактичним поліпропіленом; в – одночасна механоактивація наповнювача з ЦТАБ [17].

Невеликі розміри кристалічних елементів вказують на прискорення процесу кристалізації. Коли розглядається кристалізація первинного полімеру, вона зумовлена створенням початкового об'ємного (однорідного) ядра кристала, при цьому термодинамічна перешкода для створення таких ядер кристалізації є вищою в порівнянні з перешкодою, потрібною для створення плоского (неоднорідного)

ядра, що формується на поверхні структурно-чинного компоненту. Через це процес кристалізації полімеру в умовах наявності дисперсійного наповнювача проходить швидше.

Далі, розподіл кристалів за розміром у ПКМ із застосуванням модифікованого ПАР і АПП каолініту при концентрації 2-5 мас. % має меншу розкиданість, що пояснюється меншим діапазоном температур плавлення цих ПКМ порівняно з традиційними ПКМ на базі механоактивованого каолініту (за даними рисунку 2.2). Це, можливо, зумовлено більшою організованістю надмолекулярної структури в ПКМ з модифікованим ПАР каолінітом.

Зазначається, що наявність часток із збільшеною поверхневою активністю сприяє створенню більш рівномірної структури, оскільки зростання адгезії між полімером та наповнювачем веде до зниження енергетичної перешкоди для формування зародків. Як видно з рисунку 2.3, ПКМ, що включають силікати, оброблені ПАР, відрізняються збільшеними показниками ентальпії кристалізації та плавлення, що свідчить про інтенсивніші структурні перетворення у композиті з додаванням модифікованого наноелемента. Тим не менш, існує певний оптимальний вміст нанокomпоненту, обробленого функціональними добавками.

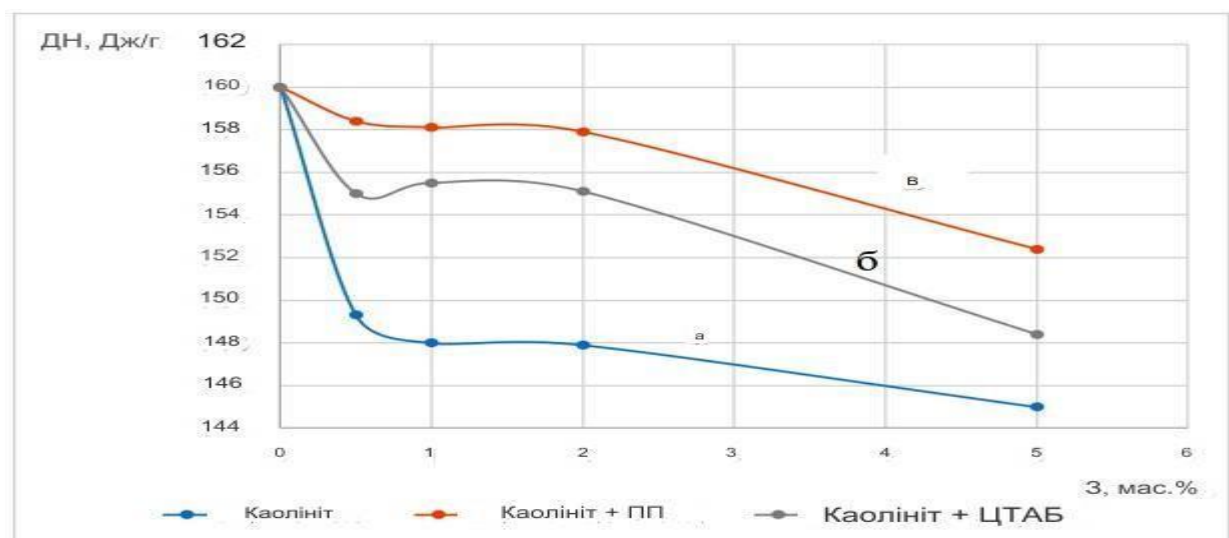


Рис. 2.3. Залежність ентальпії плавлення від вмісту каолініту та способу модифікування: а – механоактивація тільки наповнювача; б – спільна механоактивація наповнювача з ЦТАБ; в – обробка атактичним поліпропіленом [17].

Інтерфазна взаємодія у складній системі, що складається з полімерів та наповнювачів, може бути вивчена через аналіз кристалізаційних процесів. Це відомо, що при зростанні кількості наповнювача у композитних матеріалах спостерігається подальше падіння ентальпії кристалізації, пов'язане зі зменшенням гнучкості полімерних макромолекул у розплавленому стані. В системах з високим вмістом наповнювачів адсорбційні взаємодії між поверхнею твердих речовин та макромолекулами полімеру в розплаві призводять до обмеження їхньої теплової гнучкості. Це, у свою чергу, викликає зміни в енергетичних і кінетичних характеристиках процесу кристалізації у переохолодженому розплаві, що зазвичай веде до уповільнення, а при екстремально високих концентраціях наповнювача - до пригнічення процесу кристалізації полімеру.

Дослідження показало, що застосування поверхнево-активних речовин (ПАР) у ролі модифікуючих агентів для поверхні наповнювачів веде до відчутного пониження ентальпії при кристалізації (див. рисунок 2.4). Це дає підстави стверджувати про інтенсивні взаємодії на межі фаз між листовим силікатом та НВМПЕ, обумовлених використанням ПАР та утворенням лущеної структури.

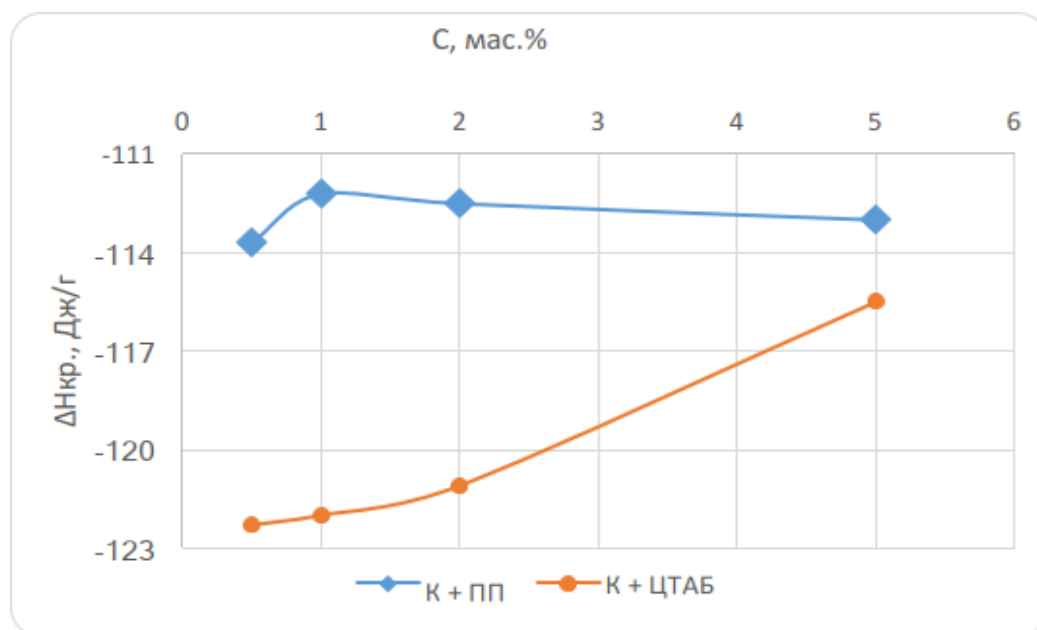


Рис. 2.4. ентальпія кристалізації залежить від кількості каолініту та методу його модифікації [17].

Вивчення кристалізаційних процедур у НВМПЕ, що включає біотит (згідно з рисунком 2.5), виявило, що динаміка зміни ентальпії кристалізації має схожі тенденції з варіаціями ентальпії кристалізації у ПКМ із включенням каолініту. Найнижчі показники корелюють із збільшенням деформаційної та міцностної властивостей.

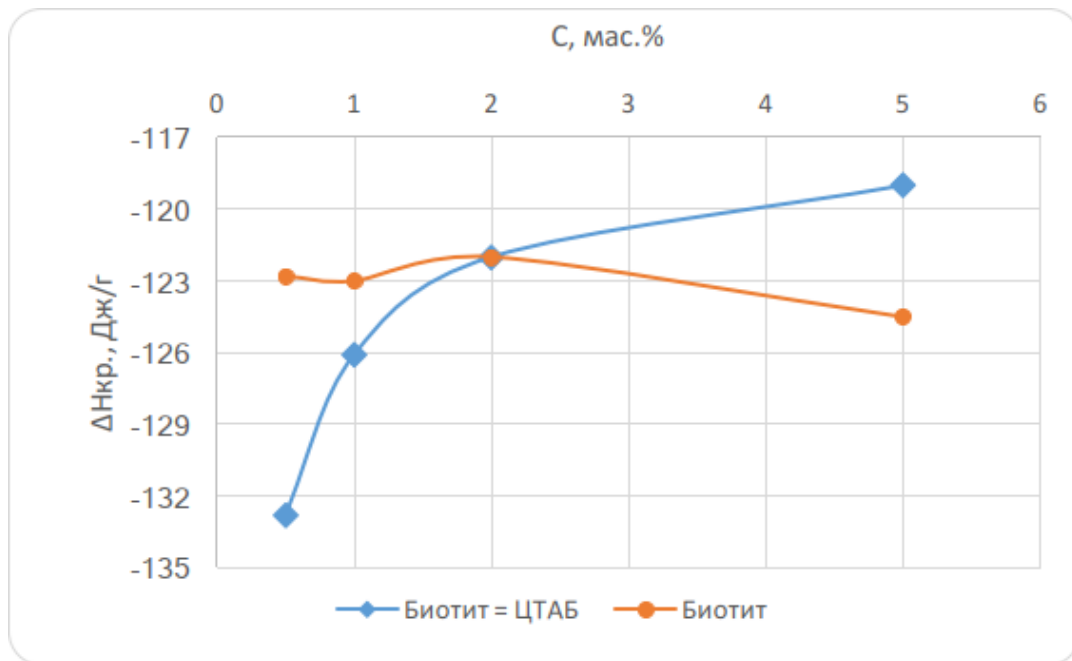


Рис. 2.5. Змінюється ентальпія кристалізації залежно від присутності каолініту та методики його змін [17].

Внаслідок аналізу термодинамічних властивостей ПКМ виявлено, що впровадження ПАР у шаруваті силікати сприяє створенню гетерофазних систем із збільшеною активністю між фазами порівняно з класичними мікрокомпозитами, що не зазнали поверхневої модифікації. Окрім того, було виявлено, що спосіб модифікації суттєво впливає на мікроструктуру ПКМ, включно з розсіюваністю, розміром та дефектами кристалітів.

Висновки до розділу 2

1. Розроблено технологічний процес реновації рульового механізму з зубчастою рейкою, адаптований до умов автосервісних підприємств. Визначено послідовність і зміст основних технологічних операцій, починаючи з дефектації та закінчуючи складанням і регулюванням механізму.

2. Особливу увагу приділено відновленню найбільш зношених елементів, зокрема опорних втулок ковзання, що суттєво впливають на точність керування та довговічність механізму. Обґрунтовано можливість використання полімерних композиційних матеріалів як перспективного напрямку удосконалення технології реновації, що дозволяє знизити інтенсивність зношування та підвищити ресурс відновлених вузлів.

3. Запропонований технологічний процес забезпечує відновлення нормативних експлуатаційних параметрів рульового механізму та створює передумови для підвищення стабільності якості реновації.

3 ТЕХНОЛОГІЯ ВИПРОБУВАННЯ РУЛЬОВИХ МЕХАНІЗМІВ З ЗУБЧАСТОЮ РЕЙКОЮ ПІСЛЯ РЕНОВАЦІЇ

3.1. Мета та завдання випробувань рульових механізмів з зубчастою рейкою після реновації

Випробування рульових механізмів з зубчастою рейкою після виконання технологічного процесу реновації є завершальним етапом відновлення агрегату та спрямовані на підтвердження його відповідності нормативним вимогам і експлуатаційним показникам. Проведення випробувань дозволяє оцінити якість виконаних відновлювальних операцій, правильність складання і регулювання, а також забезпечити необхідний рівень безпеки рульового керування транспортного засобу.

Метою випробувань є перевірка працездатності рульового механізму в умовах, максимально наближених до реальних режимів експлуатації, з урахуванням конструктивних особливостей механізму та результатів реновації. Особлива увага приділяється контролю параметрів, які безпосередньо впливають на точність керування, зокрема величини люфту, зусилля на кермовому колесі, плавності та рівномірності ходу зубчастої рейки, а також герметичності системи у механізмах з підсилювачем.

Завдання випробувань рульових механізмів після реновації включають:

- підтвердження відновлення нормативних значень люфту та зусилля на кермі;
- виявлення можливих дефектів складання або регулювання, що не були виявлені на попередніх етапах;
- перевірку стабільності роботи механізму при змінних навантаженнях;
- оцінку герметичності ущільнювальних елементів і працездатності підсилювача;
- обґрунтування придатності відновленого механізму до подальшої експлуатації.

Таким чином, випробування рульових механізмів після реновації є необхідною умовою завершення технологічного процесу відновлення та слугують інструментом контролю якості і безпеки виконаних робіт.

3.2. Нормативні вимоги та критерії оцінки результатів випробувань рульових механізмів

Нормативні вимоги до рульових механізмів з зубчастою рейкою визначають допустимі межі основних параметрів, що забезпечують безпечне та надійне керування транспортним засобом. У процесі випробувань після реновації саме ці вимоги використовуються як базові критерії для оцінки технічного стану відновленого механізму та прийняття рішення щодо його допуску до експлуатації.

Одним з основних контрольованих параметрів є величина люфту рульового колеса. Перевищення нормативних значень люфту свідчить про недостатню ефективність реновації зубчастої пари, зношування опорних втулок ковзання або помилки регулювання притискного механізму. У процесі випробувань люфт оцінюється у центральному положенні рейки та в зоні крайніх ходів, що дозволяє виявити локальні відхилення у роботі механізму.

Важливим критерієм є зусилля, необхідне для обертання кермового колеса. Значення цього параметра повинні відповідати нормативам та бути стабільними по всьому діапазону повороту. Підвищене зусилля може вказувати на надмірне притискання зубчастої пари або збільшене тертя у втулках ковзання, тоді як занадто низьке зусилля може бути наслідком надмірних зазорів або порушення регулювання.

Для рульових механізмів з гідравлічним або електрогідравлічним підсилювачем додатково встановлюються вимоги до герметичності системи. Відсутність витоків робочої рідини при номінальних і підвищених тисках є обов'язковою умовою допуску механізму до експлуатації. Порушення герметичності розглядається як критичний дефект, що потребує усунення до завершення реновації.

Оцінка плавності та рівномірності ходу зубчастої рейки також входить до переліку нормативних критеріїв. Наявність ривків, заїдань або сторонніх шумів

свідчить про дефекти поверхонь, перекоси або порушення співвісності елементів механізму. Такі відхилення не допускаються, оскільки вони негативно впливають на комфорт і безпеку керування.

За результатами випробувань приймається рішення щодо відповідності рульового механізму нормативним вимогам. У разі повної відповідності механізм визнається придатним до експлуатації. За наявності незначних відхилень допускається проведення додаткового регулювання з подальшим повторним контролем. У випадку виявлення суттєвих дефектів рульовий механізм направляється на повторну реновацію.

Таким чином, нормативні вимоги та критерії оцінки результатів випробувань є основою для об'єктивної перевірки ефективності технологічного процесу реновації та гарантування безпечної експлуатації відновлених рульових механізмів.

3.3. Обладнання та засоби для випробування рульових механізмів з зубчастою рейкою

Ефективність випробувань рульових механізмів з зубчастою рейкою після реновації значною мірою визначається рівнем технічного оснащення випробувальної ділянки та функціональними можливостями застосовуваного обладнання. Засоби випробування повинні забезпечувати відтворення основних режимів роботи рульового механізму, контроль його навантаженого стану та точне вимірювання параметрів, що характеризують якість реновації і відповідність агрегату нормативним вимогам.

Для випробування рульових механізмів з зубчастою рейкою після реновації використовувався спеціалізований стенд виробництва компанії MSG Equipment (рис. 3.1). Стенд забезпечує створення та регулювання гідравлічного тиску, контроль герметичності рульового механізму, а також оцінку його працездатності у різних режимах навантаження.



Рис. 3.1. Випробувальний стенд для рульових механізмів із зубчастою рейкою

Технічні характеристики представленого стенда наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3. 1. Технічні характеристики стенда для випробування рульових механізмів MSG

Параметр	Значення
Тип стенда	Стаціонарний, гідравлічний
Призначення	Випробування рульових механізмів з зубчастою рейкою
Тип підсилювача	Гідравлічний (ГУР)
Робоче середовище	Гідравлічна рідина типу ATF або PSF
Максимальний робочий тиск	до 140–160 бар
Контроль тиску	Манометр аналогового типу
Привід створення тиску	Електрогідравлічний насос
Регулювання тиску	Плавне, за допомогою редукційного клапана
Контроль герметичності	Візуальний та за показниками тиску

Параметр	Значення
Тип керування	Ручне (кнопки, тумблери)
Електроживлення	220 В, 50 Гц
Споживана потужність	до 2,2 кВт
Конструктивне виконання	Стіл з вертикальною панеллю керування
Кріплення рульового механізму	Універсальні монтажні елементи
Сфера застосування	СТО, ремонтні та відновлювальні дільниці

Рульовий механізм закріплюється на стенді у положенні, максимально наближеному до його встановлення на транспортному засобі. Це дозволяє забезпечити коректний розподіл навантажень і відтворити реальні умови роботи зубчастої пари та опорних втулок ковзання. Фіксація механізму здійснюється за допомогою регульованих кронштейнів, що дозволяють адаптувати стенд до різних типорозмірів і конструктивних виконань рульових механізмів.

Привід стенда призначений для створення керованого обертального руху шестерні або кермового вала. Він може виконуватися у вигляді електромеханічного або гідравлічного приводу з можливістю плавної зміни швидкості та напрямку обертання. Це дозволяє імітувати різні режими керування, включаючи повільні повороти керма та роботу в крайніх положеннях зубчастої рейки. Регулювання швидкості руху є важливим для оцінки плавності ходу та виявлення зон підвищеного тертя або заїдань.

Навантажувальний пристрій стенда забезпечує прикладання контрольованого зусилля до зубчастої рейки, що імітує опір керованих коліс під час руху транспортного засобу. Навантаження може створюватися механічним, гідравлічним або електропривідним способом і змінюватися у заданих межах. Це дозволяє оцінити роботу рульового механізму як у ненавантаженому, так і у навантаженому стані, що є принципово важливим для перевірки ефективності реновації.

Вимірювально-контрольна система стенда включає засоби для визначення величини люфту, зусилля обертання, переміщення рейки та стабільності роботи механізму. Для вимірювання люфту застосовуються індикатори лінійних і кутових

переміщень, які дозволяють фіксувати мікропереміщення з високою точністю. Зусилля обертання контролюється динамометричними датчиками, що дають змогу оцінити рівномірність навантаження по всьому діапазону роботи механізму.

Для рульових механізмів з гідравлічним або електрогідравлічним підсилювачем стенд додатково оснащується системою створення та контролю робочого тиску. До її складу входять насосна установка, манометри та регулювальні клапани, які дозволяють відтворювати номінальні та підвищені режими тиску. Це забезпечує можливість перевірки герметичності ущільнювальних елементів, стабільності роботи підсилювача та відсутності витоків робочої рідини під навантаженням.

У процесі випробувань стенд дозволяє здійснювати послідовний контроль роботи рульового механізму по всій довжині ходу зубчастої рейки. Реєстрація змін зусилля, переміщення та шумових характеристик дає змогу виявити локальні дефекти, пов'язані з неточністю регулювання, перекосами або нерівномірним зношуванням відновлених елементів. Отримані дані використовуються для об'єктивної оцінки результатів реновації.

Таким чином, випробувальний стенд є ключовим елементом технології випробування рульових механізмів з зубчастою рейкою після реновації. Його конструкція та функціональні можливості повинні забезпечувати відтворення реальних умов роботи механізму, точний контроль основних параметрів і високу достовірність результатів випробувань. Рациональне використання стендового обладнання дозволяє підтвердити ефективність технологічного процесу реновації та забезпечити безпечну експлуатацію відновлених рульових механізмів.

3.4. Методика випробування рульових механізмів з зубчастою рейкою після реновації

Методика випробування рульових механізмів з зубчастою рейкою після реновації являє собою впорядковану сукупність технологічних операцій, спрямованих на перевірку працездатності, надійності та відповідності відновленого механізму нормативним вимогам. Проведення випробувань за

уніфікованою методикою забезпечує відтворюваність результатів, об'єктивність оцінки та можливість порівняння ефективності різних варіантів реновації.

Перед початком випробувань рульовий механізм підготовляється до встановлення на стенд. Перевіряється правильність складання, відсутність зовнішніх пошкоджень та наявність необхідних мастильних матеріалів або робочої рідини у механізмах з підсилювачем. Механізм закріплюється на стенді з дотриманням співвісності та положення, що відповідає його експлуатаційній орієнтації на транспортному засобі.

Першим етапом випробувань є перевірка роботи рульового механізму у ненавантаженому режимі. Привід стенда забезпечує повільне обертання шестерні з переміщенням зубчастої рейки по всій довжині робочого ходу. На цьому етапі оцінюється плавність руху, відсутність заїдань і сторонніх шумів, а також рівномірність зусилля обертання. Ненавантажений режим дозволяє виявити дефекти складання або регулювання, які можуть бути замасковані при прикладанні навантаження.

Наступним етапом є вимірювання люфту рульового механізму. Люфт визначається у центральному положенні рейки та поблизу крайніх положень, що дозволяє оцінити рівномірність контакту зубчастої пари. Вимірювання здійснюється за допомогою індикаторів переміщення або кутових датчиків з фіксацією величини вільного ходу до початку переміщення рейки. Отримані значення порівнюються з нормативними вимогами і використовуються для оцінки ефективності реновації.

Після цього проводяться випробування у навантаженому режимі. Навантажувальний пристрій стенда створює контрольоване зусилля на зубчасту рейку, що імітує опір керованих коліс під час руху автомобіля. У процесі випробувань контролюється стабільність зусилля обертання, відсутність різких змін моменту та плавність роботи механізму по всьому діапазону переміщення рейки. Даний етап дозволяє оцінити роботу опорних втулок ковзання та якості їх взаємодії з рейкою після реновації.

Для рульових механізмів з гідравлічним або електрогідравлічним підсилювачем додатково проводяться випробування з подачею робочого тиску.

Система підсилювача виводиться на номінальний режим, після чого здійснюється контроль герметичності, стабільності тиску та рівномірності дії підсилювача при різних швидкостях переміщення рейки. Виявлення витоків або нестабільної роботи підсилювача розглядається як підстава для повторного втручання у механізм.

Завершальним етапом методики є комплексна оцінка результатів випробувань. Аналізуються отримані значення люфту, зусилля на кермі, плавності ходу та герметичності системи. За наявності незначних відхилень допускається проведення додаткового регулювання з подальшим повторним контролем. У випадку відповідності всіх параметрів нормативним вимогам рульовий механізм визнається придатним до подальшої експлуатації або встановлення на транспортний засіб.

Таким чином, запропонована методика випробування рульових механізмів з зубчастою рейкою після реновації забезпечує комплексну оцінку їх технічного стану, дозволяє виявити приховані дефекти та підтвердити ефективність застосованої технології реновації. Її використання створює передумови для підвищення надійності та безпеки відновлених рульових механізмів.

Використання стенда MSG у методиці випробувань рульових механізмів

Для реалізації методики випробувань рульових механізмів з зубчастою рейкою після реновації застосовується спеціалізований випробувальний стенд виробництва компанії **MSG Equipment**. Даний стенд забезпечує відтворення основних режимів роботи рульового механізму в умовах, наближених до експлуатаційних, та дозволяє здійснювати комплексну оцінку його технічного стану.

Стенд оснащений електрогідравлічним приводом, який створює необхідний робочий тиск у гідравлічній системі рульового механізму. Значення тиску контролюється за допомогою вбудованого манометра, що дозволяє оперативно оцінювати стабільність роботи механізму та своєчасно виявляти відхилення від нормативних параметрів. Регулювання тиску здійснюється плавно за допомогою редукційного клапана, що забезпечує можливість проведення випробувань у різних режимах навантаження.

У процесі випробувань рульовий механізм жорстко закріплюється на робочій поверхні стенда за допомогою універсальних монтажних елементів. Після під'єднання гідравлічних магістралей та заповнення системи робочою рідиною проводиться видалення повітря з контуру. Далі здійснюється запуск стенда та поступове підвищення тиску до заданих значень відповідно до програми випробувань.

З використанням стенда MSG реалізується перевірка герметичності рульового механізму шляхом візуального контролю з'єднань та оцінки стабільності тиску в системі. Падіння тиску або поява витоків робочої рідини розглядаються як ознаки несправності ущільнювальних елементів або внутрішніх дефектів механізму.

Крім того, стенд дозволяє оцінити плавність переміщення зубчастої рейки та рівномірність зусилля упродовж усього робочого ходу. Наявність заїдань, ривків або нестабільної роботи механізму фіксується як негативний результат випробувань і є підставою для коригування регулювань або повторної реновації окремих елементів.

Таким чином, використання стенда MSG у складі методики випробувань забезпечує об'єктивний контроль працездатності рульових механізмів з зубчастою рейкою після реновації, підвищує достовірність результатів випробувань та дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо придатності механізмів до подальшої експлуатації.

Для забезпечення уніфікованого підходу до контролю технічного стану відновлених рульових механізмів послідовність і зміст операцій випробувань систематизовано у вигляді таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Порядок та зміст випробувань рульового механізму з зубчастою рейкою після реновації

№	Назва етапу випробувань	Зміст етапу	Контрольовані параметри	Очікуваний результат	Пристрій, інструменти та засоби контролю
1	Підготовка до випробувань	Встановлення рульового механізму на стенд, перевірка правильності кріплення, заповнення робочою рідиною (для механізмів з підсилювачем)	Правильність монтажу, відсутність зовнішніх пошкоджень	Механізм готовий до випробувань	Випробувальний стенд MSG, монтажні кронштейни, ключі динамометричні, візуальний контроль
2	Перевірка у ненавантаженому режимі	Повільне переміщення зубчастої рейки по всій довжині ходу без прикладання зовнішнього навантаження	Плавність ходу, рівномірність зусилля, наявність шумів	Відсутність заїдань і сторонніх шумів	Стенд MSG, ручний привід або керуючий механізм, органолептичний контроль
3	Вимірювання люфту	Визначення величини вільного ходу рульового механізму в центральному та крайніх положеннях рейки	Люфт рульового механізму	Значення люфту в межах нормативних	Індикатор годинникового типу, вимірювальна стійка, фіксуючі пристрої
4	Випробування у навантаженому режимі	Прикладання контрольованого навантаження до зубчастої рейки з імітацією	Зусилля обертання, стабільність роботи	Рівномірна робота без різких змін зусилля	Стенд MSG, навантажувальний пристрій, динамометр, манометр

№	Назва етапу випробувань	Зміст етапу	Контрольовані параметри	Очікуваний результат	Пристрої, інструменти та засоби контролю
		опору керованих коліс			
5	Контроль роботи опорних втулок	Оцінка поведінки рейки під навантаженням по всьому ходу	Радіальні та осьові люфти, плавність руху	Відсутність стуків і перекосів	Індикатор годинникового типу, вимірювальна стійка, стенд MSG
6	Перевірка герметичності (для механізмів з підсилювачем)	Створення номінального та підвищеного тиску у системі	Наявність витоків, стабільність тиску	Повна герметичність системи	Стенд MSG, манометр, гідравлічний насос, візуальний контроль
7	Комплексна оцінка результатів	Аналіз усіх отриманих параметрів та їх порівняння з нормативними вимогами	Сукупність параметрів	Механізм придатний до експлуатації	Нормативна документація, протоколи вимірювань
8	Прийняття рішення	Допуск до експлуатації або повторне регулювання / реновація	Відповідність нормативам	Остаточне рішення щодо механізму	Технічна документація, акт контролю

3.5. Аналіз результатів випробувань та оцінка ефективності реновації рульових механізмів

Аналіз результатів випробувань рульових механізмів з зубчастою рейкою після реновації є завершальним етапом технології контролю та має на меті об'єктивну оцінку якості виконаних відновлювальних операцій. Отримані в процесі стендових випробувань дані дозволяють встановити відповідність відновленого механізму вимогам нормативної документації та визначити доцільність його подальшої експлуатації.

Основними показниками, що підлягають аналізу, є величина люфту рульового механізму, зусилля обертання кермового вала або шестерні, плавність переміщення зубчастої рейки, а також стабільність роботи механізму під навантаженням. Для рульових механізмів з гідравлічним або електрогідравлічним підсилювачем додатково оцінюються герметичність системи та сталість робочого тиску. Кожен з цих параметрів має безпосередній вплив на керованість транспортного засобу та безпеку дорожнього руху.

Аналіз величини люфту дозволяє оцінити якість відновлення зубчастої пари та ефективність регулювання притискного механізму. Зменшення люфту до нормативних значень свідчить про правильний вибір технології реновації та точність виконання ремонтних операцій. Нерівномірність люфту по довжині ходу рейки може вказувати на локальні дефекти відновлення або неточність геометрії деталей.

Зусилля обертання кермового вала аналізується з точки зору його рівномірності та відповідності допустимим значенням. Підвищене зусилля свідчить про надмірний притиск рейки до шестерні або про підвищене тертя у зоні опорних втулок ковзання. Занижене зусилля, у свою чергу, може бути ознакою недостатнього притиску, що призводить до появи люфту і зниження точності керування.

Плавність переміщення зубчастої рейки є комплексним показником, який відображає якість взаємодії відновлених поверхонь та правильність складання механізму. Наявність заїдань, стрибкоподібних змін зусилля або сторонніх шумів під час випробувань розглядається як негативний результат, що потребує повторного втручання у механізм або коригування технології реновації.

Для механізмів з підсилювачем особлива увага приділяється аналізу герметичності системи. Відсутність витоків робочої рідини та стабільність тиску в усьому діапазоні навантажень свідчать про ефективність заміни або відновлення ущільнювальних елементів. Порушення герметичності розглядається як критичний дефект, що унеможливорює подальшу експлуатацію рульового механізму.

На основі комплексного аналізу результатів випробувань формується висновок щодо ефективності реновації рульового механізму. У випадку

відповідності всіх контрольованих параметрів нормативним вимогам механізм визнається придатним до експлуатації. За наявності відхилень допускається проведення додаткового регулювання або повторної реновації окремих елементів з подальшим повторним випробуванням.

Таким чином, аналіз результатів стендових випробувань дозволяє не лише підтвердити працездатність відрновлених рульових механізмів з зубчастою рейкою, але й оцінити ефективність застосованих технологічних рішень. Отримані результати можуть бути використані для подальшого вдосконалення технології реновації та підвищення надійності рульових механізмів у процесі їх експлуатації.

Висновки до розділу 3

1. Розроблено та обґрунтовано технологію випробування рульових механізмів з зубчастою рейкою після реновації. Визначено основні завдання випробувань, нормативні вимоги та критерії оцінки технічного стану відрновлених механізмів.

2. Розглянуто конструкцію та принцип роботи випробувального стенда, який дозволяє відтворювати основні режими роботи рульового механізму та здійснювати контроль ключових параметрів. Запропоновано уніфіковану методику випробувань, що включає ненавантажені та навантажені режими, вимірювання люфту, контроль плавності ходу та перевірку герметичності.

3. Проведено аналіз результатів випробувань і сформовано критерії прийняття рішення щодо придатності рульового механізму до подальшої експлуатації.

4. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ УДОСКОНАЛЕНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РЕНОВАЦІЇ РУЛЬОВИХ МЕХАНІЗМІВ З ЗУБЧАСТОЮ РЕЙКОЮ

4.1. Загальні положення щодо оцінки ефективності технологічного процесу реновації

Оцінка ефективності удосконаленого технологічного процесу реновації рульових механізмів з зубчастою рейкою є завершальним етапом дослідження та базується на узагальненні результатів, отриманих у попередніх розділах роботи. Основною метою даного розділу є визначення доцільності впровадження запропонованого технологічного процесу в умовах автосервісних підприємств з точки зору якості, надійності та раціонального використання ресурсів.

Як було показано у попередніх розділах, рульові механізми з зубчастою рейкою працюють в умовах інтенсивних змінних навантажень, що призводить до поступового зношування основних елементів. Це створює передумови для застосування реновації як економічно та технічно обґрунтованої альтернативи повній заміні агрегату. Проте ефективність такого підходу безпосередньо залежить від регламентованості технологічного процесу та якості контролю після виконання відновлювальних операцій.

Запропонований у роботі удосконалений технологічний процес реновації відрізняється системним підходом до дефектації, відновлення, складання та обов'язковим застосуванням стендових випробувань. Саме поєднання технологічних і контрольних заходів дозволяє об'єктивно оцінити результати реновації та підвищити стабільність якості відновлених рульових механізмів.

4.2. Оцінка впливу удосконаленої технології реновації на якість відновлених рульових механізмів

Якість відновлених рульових механізмів оцінюється за сукупністю параметрів, що безпосередньо впливають на керованість та безпеку транспортного засобу. До таких параметрів належать величина люфту рульового механізму,

плавність та рівномірність ходу зубчастої рейки, стабільність зусилля на кермі та герметичність механізму у разі наявності підсилювача.

Застосування детальної дефектації та відновлення зношених елементів дозволяє суттєво зменшити величину люфту рульового механізму до нормативних значень. Особливо ефективним є відновлення опорних втулок ковзання та регулювання притискного механізму, що забезпечує стабільний контакт зубчастої пари без надмірного підвищення тертя.

Результати стендових випробувань, розглянуті у третьому розділі, підтверджують, що удосконалена технологія реновації забезпечує плавний і рівномірний хід зубчастої рейки по всій довжині робочого ходу. Відсутність заїдань, ривків і сторонніх шумів свідчить про якісне відновлення поверхонь тертя та правильність складання механізму.

Для рульових механізмів з гідравлічним або електрогідравлічним підсилювачем особливо важливим показником є герметичність системи. Комплексний підхід до заміни ущільнювальних елементів і перевірки їх працездатності під тиском дозволяє мінімізувати ризик витоків робочої рідини та забезпечити стабільну роботу підсилювача після реновації.

4.3. Оцінка надійності та ресурсу рульових механізмів після реновації

Надійність відновленого рульового механізму визначається його здатністю зберігати нормативні параметри у процесі подальшої експлуатації. Удосконалений технологічний процес реновації, запропонований у роботі, спрямований не лише на усунення наявних дефектів, а й на зниження інтенсивності повторного зношування.

Використання регламентованих операцій відновлення, точного регулювання та обов'язкових випробувань дозволяє забезпечити рівномірний розподіл навантажень у зубчастій парі та зонах опорних втулок. Це створює передумови для підвищення ресурсу рульового механізму після реновації у порівнянні з нерегламентованими ремонтними процесами.

Стендові випробування відіграють ключову роль у підвищенні надійності, оскільки дозволяють виявити приховані дефекти ще до встановлення механізму на

транспортний засіб. Таким чином зменшується ймовірність передчасних відмов і повторних звернень до автосервісу.

4.4. Практична доцільність впровадження удосконаленого технологічного процесу в умовах автосервісних підприємств

Запропонований технологічний процес реновації є адаптованим до умов сучасних автосервісних підприємств і не потребує використання складного або унікального обладнання. Основні операції можуть виконуватися із застосуванням стандартних верстатів, вимірювальних засобів і спеціалізованого випробувального стенда.

Впровадження удосконаленої технології дозволяє підвищити стабільність якості реновації, зменшити кількість повторних ремонтів і підвищити довіру споживачів до послуг автосервісу. Крім того, реновація рульових механізмів є економічно вигідною альтернативою їх повній заміні, що особливо актуально в умовах зростання вартості запасних частин.

Таким чином, результати дослідження підтверджують доцільність застосування удосконаленого технологічного процесу реновації рульових механізмів з зубчастою рейкою, який забезпечує підвищення якості, надійності та безпеки відновлених агрегатів.

4.5 Економічна оцінка ефективності реновації рульового механізму у порівнянні з його заміною

4.5.1 Загальні положення економічної оцінки

Економічна ефективність реновації рульових механізмів з зубчастою рейкою оцінюється шляхом порівняння витрат на відновлення агрегату з витратами на його повну заміну новим. Такий підхід є доцільним, оскільки рульові механізми належать до високовартісних агрегатів, а більшість їх відмов пов'язана зі зношуванням окремих елементів, що піддаються відновленню.

При розрахунках враховуються прямі витрати, пов'язані з виконанням реновації, а також вартість нового рульового механізму аналогічного типу. Непрямі витрати (логістика, простої транспортного засобу) у даному дослідженні не

враховуються, що робить оцінку консервативною та не занижує економічний ефект реновації [8].

4.5.2 Вихідні дані для розрахунків

Вихідні дані для економічної оцінки ефективності реновації рульового механізму з зубчастою рейкою формувалися з урахуванням реальних умов експлуатації та ремонту транспортних засобів на сучасних автосервісних підприємствах. При цьому за основу приймалися середньоринкові ціни на запасні частини та послуги, що є характерними для регіональних станцій технічного обслуговування [8].

Об'єктом розрахунків обрано типовий рульовий механізм з гідравлічним підсилювачем, який широко використовується на легкових і легких комерційних автомобілях. Такий вибір є обґрунтованим, оскільки саме рульові механізми цього типу найчастіше піддаються реновації у практиці автосервісу, а їх заміна супроводжується значними фінансовими витратами.

Вартість нового рульового механізму прийнята на основі аналізу цін на оригінальні та якісні аналогічні запасні частини. У розрахунках використано усереднене значення, що відповідає ринковому діапазону цін, без урахування крайніх мінімальних або максимальних значень. Такий підхід дозволяє уникнути завищення або заниження економічного ефекту реновації.

Вартість робіт з демонтажу та монтажу рульового механізму визначалась на підставі середніх тарифів СТО з урахуванням трудомісткості операцій та необхідності виконання регулювальних робіт після встановлення агрегату.

Витрати на реновацію включають вартість матеріалів, витратних елементів, оплату праці виконавців та проведення обов'язкових стендових випробувань. При цьому у розрахунках не враховувалися непрямі витрати, що дозволяє отримати консервативну оцінку економічної ефективності.

Для проведення економічної оцінки приймаємо типовий рульовий механізм з гідравлічним підсилювачем, що широко використовується на легкових та легких комерційних автомобілях.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для економічних розрахунків

Показник	Позначення	Значення
Вартість нового рульового механізму	Сн	18 000 грн
Вартість робіт з демонтажу/монтажу	Сдм	1 500 грн
Вартість матеріалів для реновації	См	2 200 грн
Вартість робіт з реновації	Ср	3 000 грн
Вартість випробувань після реновації	Св	800 грн

Значення відповідають середньоринковим умовам СТО України та не є завищеними.

4.5.3 Розрахунок вартості заміни рульового механізму

Вартість заміни рульового механізму включає не лише ціну нового агрегату, але й витрати, пов'язані з виконанням ремонтних робіт. Таким чином, загальні витрати на заміну рульового механізму можуть бути представлені у вигляді суми [8]:

$$C_3 = C_n + C_{дм}$$

де C_n — вартість нового рульового механізму; $C_{дм}$ — вартість робіт з демонтажу та монтажу агрегату.

Вартість нового рульового механізму прийнята рівною 18 000 грн. Це значення відповідає середній ціні рулевих механізмів з гідравлічним підсилювачем для масових моделей автомобілів, представлених на ринку.

Вартість демонтажно-монтажних робіт становить 1 500 грн. До складу цих робіт входять:

- демонтаж несправного рульового механізму;
- встановлення нового агрегату;
- під'єднання гідравлічних магістралей;
- первинна перевірка працездатності.

Таким чином, загальна вартість заміни рульового механізму становить:

$$C_3 = 18\,000 + 1\,500 = 19\,500 \text{ грн}$$

Отримане значення відображає повну суму витрат, необхідних для відновлення працездатності системи рульового керування шляхом заміни агрегату.

4.5.4 Розрахунок вартості реновації рульового механізму

Вартість реновації рульового механізму формується з витрат на матеріали, оплату праці та виконання контрольних операцій. Загальна вартість реновації визначається за формулою [8]:

$$C_{рн} = C_m + C_p + C_v$$

де C_m — вартість матеріалів та витратних елементів; C_p — вартість робіт з реновації; C_v — вартість стендових випробувань.

Вартість матеріалів для реновації (2 200 грн) включає:

- комплект ущільнювальних елементів;
- матеріали для відновлення опорних втулок ковзання;
- мастильні матеріали та робочі рідини;
- допоміжні витратні матеріали.

Вартість робіт з реновації (3 000 грн) враховує трудомісткість операцій дефектації, механічної обробки, складання та регулювання рульового механізму.

Вартість стендових випробувань (800 грн) визначається з урахуванням витрат часу, електроенергії та використання випробувального обладнання. Обов'язковість випробувань після реновації є принциповою відмінністю запропонованого технологічного процесу від спрощених ремонтних схем.

Загальна вартість реновації становить:

$$C_{рн} = 2\,200 + 3\,000 + 800 = 6\,000 \text{ грн}$$

4.5.5 Порівняльна економічна оцінка

Порівняльна економічна оцінка виконується шляхом зіставлення загальних витрат на заміну та реновацію рульового механізму.

Абсолютний економічний ефект від застосування реновації визначається як різниця між витратами на заміну та реновацію [8]:

$$E_a = C_z - C_{rn} = 19\,500 - 6\,000 = 13\,500 \text{ грн}$$

Це означає, що при кожному випадку застосування реновації замість заміни досягається економія у розмірі 13 500 грн.

Відносна економічна ефективність реновації визначається як частка економії відносно витрат на заміну [8]:

$$E_o = (E_a / C_z) \times 100\% = (13500 / 19500) \times 100\% \approx 69\%$$

Отриманий результат свідчить, що реновація рульового механізму дозволяє зменшити витрати майже на дві третини у порівнянні з повною заміною агрегату.

4.5.6 Аналіз результатів розрахунків

Проведений економічний аналіз показав, що за умови дотримання регламентованого технологічного процесу реновації та обов'язкового контролю якості відновлений рульовий механізм забезпечує необхідний рівень експлуатаційних характеристик при суттєво менших витратах.

Таким чином, економічна ефективність реновації підтверджується не лише величиною прямої економії, але й зниженням потреби у заміні дорогих агрегатів, що робить запропоновані технологічні рішення доцільними для практичного впровадження.

Висновки до розділу 4

1. Виконано оцінку ефективності удосконаленого технологічного процесу реновації рульових механізмів з зубчастою рейкою. Проведено аналіз впливу

запропонованих технологічних рішень на якість, надійність та експлуатаційні характеристики відроджених механізмів.

2. Показано, що застосування комплексного підходу до реновації у поєднанні з обов'язковими стендовими випробуваннями дозволяє підвищити стабільність якості відродження та зменшити ймовірність повторних відмов у процесі експлуатації. Обґрунтовано практичну доцільність впровадження удосконаленого технологічного процесу в умовах автосервісних підприємств.

3. Проведена економічна оцінка підтверджує, що реалізація удосконаленого технологічного процесу реновації рульових механізмів з зубчастою рейкою є економічно ефективною альтернативою їх заміні, забезпечуючи значне зниження витрат при збереженні необхідного рівня якості та надійності.

ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу конструктивних особливостей і умов експлуатації рульових механізмів з зубчастою рейкою встановлено основні причини їх зношування та відмов, що обґрунтовує доцільність застосування технологій реновації як альтернативи повній заміні агрегатів.
2. Розроблено технологічний процес реновації рульових механізмів з зубчастою рейкою, який забезпечує відновлення нормативних експлуатаційних параметрів та може бути реалізований в умовах автосервісних підприємств.
3. Запропоновано та обґрунтовано технологію випробування рульових механізмів після реновації, що дозволяє об'єктивно оцінити якість відновлення та підтвердити придатність механізмів до подальшої експлуатації.
4. Проведено оцінку ефективності удосконаленого технологічного процесу реновації, яка підтвердила його доцільність з точки зору якості, надійності та практичного впровадження. Проведена економічна оцінка підтверджує, що реалізація удосконаленого технологічного процесу реновації рульових механізмів з зубчастою рейкою є економічно ефективною альтернативою їх заміні, забезпечуючи значне зниження витрат при збереженні необхідного рівня якості та надійності.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Сукач М.К. Технічний сервіс машин. Навч. пос.. Гриф МОНМСУ - Ліра-К, 2017 – 288 с.
2. Формальчик Є. Ю., Качмар Р. Я. Основи технічного сервісу транспортних засобів - Львівська політехніка 2017, - 324 с.
3. Коробочка О.М. Основи розрахунків, проектування і експлуатації технологічного обладнання для автомобільного транспорту: Навч. посібник / Коробочка О.М., Скорняков Е.С., Сасов О.О. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007 – 252 с.
4. Кукурудзяк, Ю. Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів ТО і ПР навчальний посібник / Ю. Ю. Кукурудзяк, В. В. Біліченко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 198 с.
5. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. Книга 1 :теоретичні основи. Технологія: підручник / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигиринець – К. : "Вища школа", 1994. – 342 с.
6. Ляшук О.Л., Гудь В.З., Пиндус Ю.І., Левкович М.Г., Хорошун Р.В. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи магістра за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр» галузі знань 27 «Транспорт» спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2020. – 66 с.
7. Гевко І.Б Техніко-економічне обґрунтування процесу механічної обробки з використанням комбінованого свердла-мітчика / І.Б.Гевко, Р.Я., Лещук, І.І.Стойко, Н.М.Марчук, М.Д.Сіправська // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст.–Вип. 40.–Луцьк, 2018. С.21-31.
8. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Луциків І.В., Плекан У.М., Клендій В.М. - Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 276 с.
9. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Гудь В.З., Левкович М.Г., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. - Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 544 с.

10. Конспект лекцій з курсу «Технології обслуговування автотранспортних засобів». / Р.В. Хорошун, О.Л. Ляшук, Н.Т. Навроцька. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2021. – 194 с.
11. Ляшук О.Л. Конспект лекцій з дисципліни «Технічна експлуатація автомобілів» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / О.Л. Ляшук, В.М.Клендій, Р.В.Хорошун. – Тернопіль: Вид. ТНТУ – 2018. – С. 302.
12. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник – К.: Знання. 2003. – 511 с.
13. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: організація і управління: Підручник – К.: Знання. 2004. – 478 с.
14. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Технологія [Текст]: Підручник. / О.А. Лудченко. - Київ: Знання-Прес, 2007. - 527с.
15. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Левкович М.Г., Гудь В.З., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 544 с.
16. Lyashuk, O., Levkovych, M., Vovk, Y., Gevko, I., Stashkiv, M., Slobodian, L., Pyndus, Y. The study of stress-strain state elements of the truck semi-trailer body bottom. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 2023, 118, 161-172. ISSN: 0209-3324. DOI:<https://doi.org/10.20858/sjsutst.2023.118.11>.
17. Sokil, B., Lyashuk, O., Sokil, M., Vovk, Y., Lebid, I., Hevko, I., Khoroshun R Matviyishyn, A. (2022). Methodology of Force Parameters Justification of the Controlled Steering Wheel Suspension. Communications, 24(3), B247-B258.
18. Охорона праці в галузі та цивільний захист: навчальний посібник / Ю. А. Гасило, О. А. Крюковська. К. О. Левчук, Р. Я. Романюк. — Кам'янське : ДДТУ, 2017. — 369 с.
19. Безпека в надзвичайних ситуаціях : навч. посібник для студентів ЗВО України : у 2 ч. Ч. 1: Надзвичайні ситуації / М. Л. Лисиченко, В. В. Вамболь, С. О. Вамболь, М. М. Кірієнко, І. А. Черепньов, В. М. Власовець ; за

ред. М. Л. Лисиченка ; ХНТУСГ. – Харків : ТОВ —ПромАрт®, 2021. – 202 с.

20. Охорона праці на автомобільному транспорті : навчальний посібник / Пістун І. П., Хом'як Й. В., Хом'як В. В. - 2-ге вид., стер. - Суми : Університетська книга, 2015. - 374 с.

21. Навчальний посібник «Техноекологія та цивільна безпека. частина «Цивільна безпека»» / автор-укладач В.С. Стручок– Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с.