

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Удосконалення технологічного процесу ремонту рульового керування
з дослідженням підвісок з незалежним налаштування висоти та жорсткості

Виконав: студент 6 курсу, групи МАМ-61
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Назарій СОЛТИС

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Іван ГЕВКО

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Роман ХОРОШУН

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Зав. кафедри

Олег ЦЬОНЬ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олег ЦЬОНЬ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«12» листопада 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Солтису Назарію Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технологічного процесу ремонту рульового керування з дослідженням підвісок з незалежним налаштування висоти та жорсткості

Керівник роботи Гевко Іван Богданович., д.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 12 » листопада 2024 року № 4/7-1089

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 грудня 2024

3. Вихідні дані до роботи Базовий технологічний процес ремонту рульового керування

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

1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ. 4 Науково-дослідний розділ. 5 Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Люфтомір – 1А1.

Приспосіблення для розбирання-збирання рульової рейки – 1А1.

Пристосування для правки рульових валів – 1А1.

Стенд для перевірки рульових механізмів – 1А1.

Стенд для перевірки рульового механізму – 1А1.

Блок силовий – 2А1.

Порівняння силових конфігурацій з'єднань – 1А1.

Моделювання дорожніх умов – 1А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н. доц. Ткаченко І.Г.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	ст. викл. Стручок В.С.		

7. Дата видачі завдання 12.11.2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	21.11.24р	
2	Технологічний розділ	28.11.24р	
3	Конструкторський розділ	03.12.24р	
4	Науково-дослідний розділ	12.12.24р	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	19.12.24р	
6	Оформлення графічної частини	19.12.24р	
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра	29.12.24р	

Студент _____
(підпис)

Солтис Назарій Вікторович _____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Гевко Іван Богданович _____
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Удосконалення технологічного процесу ремонту рульового керування з дослідженням підвісок з незалежним налаштування висоти та жорсткості».

Робота виконана на кафедрі автомобілів ТНТУ ім.. І. Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи магістра д.т.н. професор Гевко І.Б.

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 65 сторінки формату А4 та 8 аркушів формату А1 графічної частини сторінок додатків.

Ключові слова: діагностика, керування, аналіз, налаштування, жорсткість.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	7
1.1 Огляд систем керування та підвіски.....	7
1.2 Конструкція рульової колонки та її елементи.....	9
1.3 Класифікація та характеристика систем гідравлічного керування.....	16
1.4 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу магістра.....	19
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	20
2.1 Типові несправності рульового механізму.....	20
2.2 Типові операції з обслуговування та ремонту рульової системи.....	24
2.3 Удосконалені операції з технічного обслуговування та ремонту рульового механізму.....	26
2.4 Огляд і діагностика систем керма з електропідсилювачем.....	31
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	33
3.1 Принцип функціонування новорозробленого стенду.....	33
3.2 Аналіз конструктивних елементів і механізмів стенду.....	34
3.3 Опис конструкції стенду.....	42
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ.....	44
4.1 Сполучені повітряні камери.....	44
4.2 Аналіз розподілу навантаження.....	48
4.3 Порівняння основних конфігурацій з'єднань.....	48
4.4 Аналіз режимів руху.....	51
4.5 Моделювання дорожніх умов.....	52
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	56
5.1 Виконання робіт із застосуванням домкратів.....	56
5.2 Оцінка пожежної та інженерної обстановки.....	59
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	63
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Тема кваліфікаційної роботи магістра обертається навколо значущої проблематики удосконалення технологічних процесів ремонту рульового керування автомобілів, спеціально зосереджуючи увагу на підвісках з можливістю незалежного налаштування висоти та жорсткості. В сучасному автомобілебудуванні, де основним акцентом є безпека, комфорт та адаптивність до умов дороги, інноваційні системи рульового керування відіграють ключову роль. Впровадження гнучких налаштувань підвісок, що дозволяють змінювати висоту та жорсткість залежно від умов експлуатації, вимагає нового підходу до ремонтних робіт, що значно підвищує вимоги до точності та адаптивності технічного обслуговування.

Ця кваліфікаційна робота має на меті аналізувати існуючі методики ремонту та обслуговування рульових систем і підвісок, ідентифікувати їхні недоліки та розробити вдосконалені технологічні рішення. Особлива увага буде приділена розробці стенду, який дозволить з високою точністю діагностувати стан і регулювання підвісок, що є критично важливим для забезпечення оптимальної роботи транспортного засобу.

Значущість дослідження обумовлена потребою ринку в підвищенні безпеки та комфорту водіння, що може бути досягнуто через впровадження більш ефективних і точних методів ремонту і налаштувань рульової системи автомобілів. Результати цього дослідження будуть сприяти покращенню якості обслуговування автомобілів і можуть бути використані сервісними центрами і виробниками автомобільної техніки для оптимізації ремонтних процесів.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Огляд систем керування та підвіски

Система керування автомобілем взаємодіє з системою підвіски, забезпечуючи точний контроль над напрямком руху та мінімізуючи зусилля водія на кермі. Вона також адаптується під динаміку підвіски, забезпечуючи гладке керування. Система керування складається з кермового редуктора, кермових тяг, колонки та керма. В автомобілів сучасного типу переважають два основних типи систем керування: рейкова та редукторна.

Рейкова система керування ця система перетворює обертання керма на лінійний рух рейки через зачеплення шестерні з рейкою, що має зубці. Це дозволяє виконувати повороти коліс. Рейкове керування є популярним у легкових автомобілях, мінівенів і компактних позашляховиках, оскільки це рішення економічніше та простіше у виготовленні ніж редукторні системи.

Редукторне керування передає рух від керма до коліс через серію механічних зв'язків, які перетворюють обертання в зигзагоподібний рух важелів. Це керування відоме як система з "обертковою кулькою" або "черв'ячний редуктор" за типом використаної передачі, чи "паралелограмна", "трапецієподібна" або "важільна" за конфігурацією механізму. Така система зустрічається переважно в автомобілях з заднім приводом, легковантажних авто та великих мікроавтобусах.

Кінцевий вузол рульової тяги, подібно до шарнірного з'єднання, є кульковим шарніром, що має аналогічну внутрішню структуру. У конструкції вузла куля утримується всередині корпусу за допомогою підшипників. Зазвичай пружина забезпечує додатковий тиск на кулю, щоб уникнути зазорів та люфтів, які можуть призвести до прискореного зносу та неправильного вирівнювання коліс. Конічний штифт шарніра вставляється у відповідний конічний отвір у рульовому кулаку або іншому елементі системи, а затягування корончастої гайки або контргайки забезпечує надійне і міцне сполучення.

Щодо внутрішніх кінцевих вузлів рулевих тяг, що входять до складу рейкових механізмів, вони зазвичай прикручуються до кінця рейки і фіксуються за допомогою спеціальних засобів. Це забезпечує стабільність та точність керування транспортним засобом, а також дозволяє уникнути небажаних рухів у рулевому механізмі, забезпечуючи безпечне водіння.

Рульові тяги можуть бути попередньо змащені та герметизовані на етапі виробництва, або ж мати спеціальний отвір у корпусі для встановлення змазувального пристрою. Для захисту внутрішніх компонентів шарніра від зовнішніх забруднень та вологи, використовується гумовий пілозахисний чохол, який покриває вхід до шарнірного болта.

Стрижнева частина кінцевого вузла рульової тяги містить різьблення, яке може бути як внутрішнім (у вигляді порожнини), так і зовнішнім, а також мати ліве або праве виконання в залежності від конструкції та розташування в механізмі кермування. Різьблення на стрижні не лише дозволяє з'єднувати елементи системи, але й використовується для точного регулювання довжини рульової тяги, що є ключовим для коректного вирівнювання коліс (налаштування кута виходу коліс).

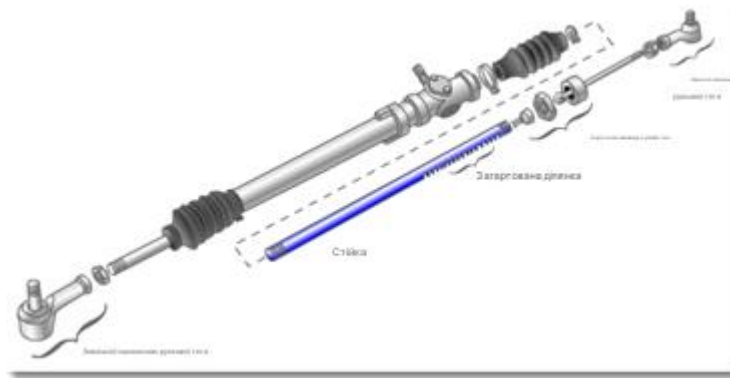


Рис. 1.1. Структура внутрішніх та зовнішніх кінцевих вузлів рулевих тяг у рейково-шестеренних механізмах.

У класичних системах кермування кінцеві вузли рулевих тяг зазвичай оснащені зовнішнім різьбленням. Вони входять до складу збірки рулевих тяг, що включає внутрішній та зовнішній кінцеві вузли, ввинчені в регулювальну муфту, по одній збірці для кожного боку автомобіля. Регулювальна муфта, що також відома як муфта рульової тяги, має конструкцію стрижневого замка із лівостороннім різьбленням на одному кінці та правостороннім на іншому.

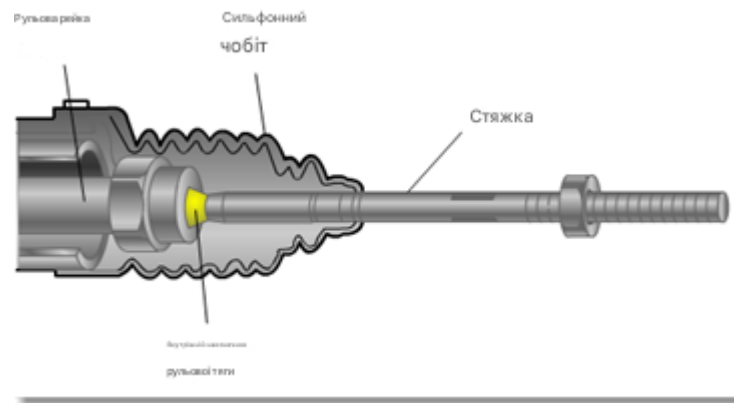


Рис. 1.2. Внутрішній кінцевий вузол рульової тяги у рейково-шестеренних системах.

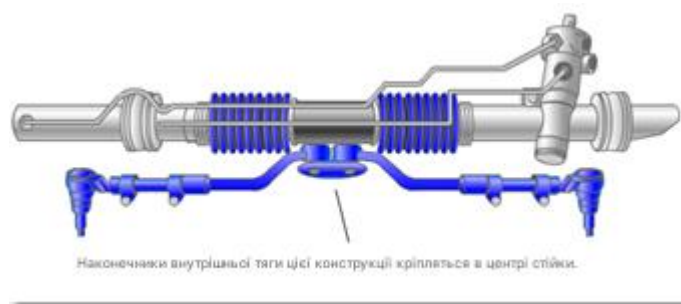


Рис. 1.3. Аналіз внутрішнього кінцевого вузла рульової тяги в рейково-шестеренних системах.

Таке влаштування кінцевих вузлів дозволяє здійснювати регулювання довжини рулевих збірок, що є ключовим для налаштування кута вирівнювання коліс, відомого як накат. Накат визначає кут, під яким передні колеса автомобіля спрямовані відносно одне одного в радіальному напрямку - усередину або назовні. Детальніше це питання буде розглянуто в розділі, присвяченому вирівнюванню.

1.2 Конструкція рульової колонки та її елементи

Комплекс рульової колонки автомобіля охоплює кілька ключових елементів: рульове колесо, саму колонку, рульовий вал, систему запалювання з ключем та вимикачем. Додатково, у багатьох випадках, до складу входять гнучке сполучення та карданний шарнір. Рульова колонка обладнана механізмами для керування поворотними сигналами та клаксоном, і може містити механізм регулювання нахилу для комфорту водія, протиугінний

механізм блокування, елементи управління освітленням, склоочисниками, омивачем, круїз-контролем, вибором передач та іншими функціями.

З середини 1970-х років у дизайн рульових колонок були впроваджені колапсуючі компоненти для підвищення рівня безпеки водіїв. Ці колонки розроблені так, щоб у разі зіткнення вони могли згортатися або телескопічно складатися, тим самим скорочуючись та поглинаючи енергію удару, що зменшує ризик травмування водія.

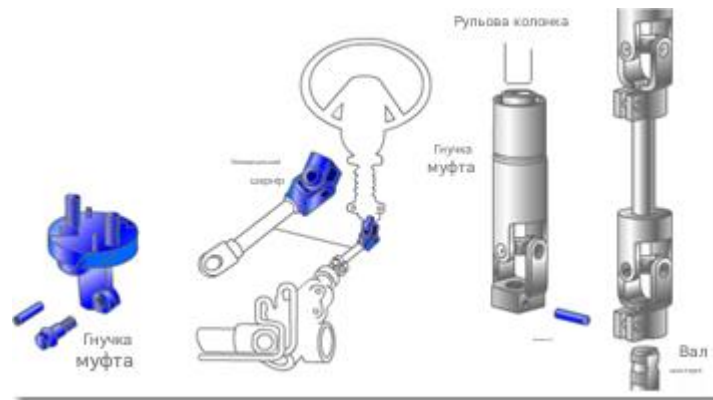


Рис. 1 4. Рульова колонка.

Новітні моделі автомобілів оснащені системами додаткового обмеження руху (SIR) з подушками безпеки, інтегрованими в кермо, які є частиною системи додаткових обмежувальних пристроїв (SRS). Перед проведенням будь-яких робіт з рульовою колонкою необхідно уважно ознайомитись з інструкцією з обслуговування транспортного засобу. Ідентифікаційний номер транспортного засобу (VIN) дозволяє з'ясувати, чи обладнано автомобіль системою SRS. Для уникнення випадкового спрацювання подушок безпеки систему SRS потрібно деактивувати. Методи деактивації SRS відрізняються в залежності від марки та моделі автомобіля. Після від'єднання акумулятора діагностичний модуль може зберігати подушку безпеки активованою до 30 хвилин. Слід точно слідувати інструкціям виробника щодо деактивації SRS, а також вживати заходів безпеки, таких як надійне закріплення негативного кабелю акумулятора та від'єднання жовтого кабелю.

Для демонтажу керма після зняття подушки безпеки потрібно використовувати спеціальний знімач. Оскільки обслуговування рульової колонки може бути складним процесом, надзвичайно важливо перед

розпочаттям ремонтних робіт проконсультуватися з технічним посібником з обслуговування автомобіля.

Ключовим компонентом системи рульового керування рейка-шестерня є рульовий механізм. Як уже було зазначено, шестерня передає обертовий рух на рейку, що перетворює його в лінійне переміщення з одного боку на інший. Нижче описані фундаментальні принципи дії цієї рульової системи. Рейка закріплюється на підрамнику (або на рамі) за допомогою гумових амортизуючих втулок, що сприяє зниженню ударного навантаження. З'єднання рейки з рульовими кулаками здійснюється через внутрішні та зовнішні збірки рульових тяг, забезпечуючи надійність та точність керування.

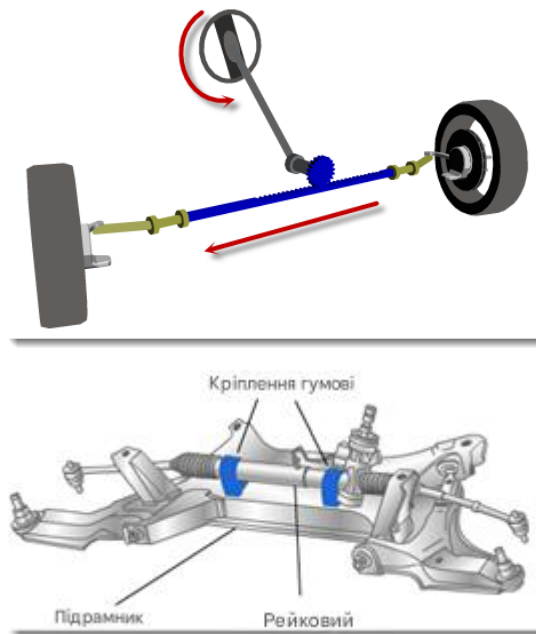


Рис. 1.5. Основні аспекти системи рульового керування рейка-шестерня.

Системи рульового керування типу "рейка-шестерня" поділяються на ручні та з електрогідравлічним підсилювачем. Системи з підсилювачем мають схожу до ручних роботу, але оснащені вбудованим гідравлічним поршнем, що діє у двох напрямках, інтегрованим безпосередньо в рейку. Регулювання потоку гідравлічної рідини здійснюється за допомогою клапана, розташованого на валу шестерні. Гідравлічну потужність надає насос, який працює від ремня, аналогічно до насосів, що використовуються в традиційних системах кермового управління. Нижче наведено перелік основних елементів системи рульового керування "рейка-шестерня".

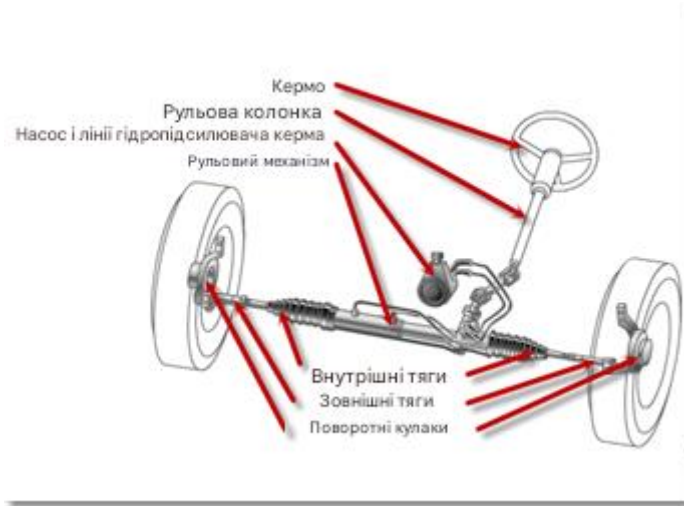


Рис. 1.6. Елементи та принципи дії системи рульового керування типу "рейка-шестерня".

З огляду на ваше розуміння системи "рейка-шестерня" та ключових компонентів, які є загальними для обох типів систем, освоєння принципів традиційних систем керування вам має бути простіше.

Як ми згадували на початку, традиційні системи керування часто називають паралелограмними або трапецієвидними через форму їхнього зчленування. Нижче ви можете ознайомитися з базовими принципами роботи такого рульового зчленування.

Традиційні системи керування автомобілем застосовують рульовий механізм із рециркуляцією куль, який перетворює обертальний рух керма на лінійні коливання рульового важеля (важеля Пітмана). Цей рух, який в основному відбувається в бічному напрямку, здійснюється по дузі завдяки дизайну важеля Пітмана. Рульовий механізм монтований на рамі автомобіля, а вся рульова зчіпка утримується з іншого боку за допомогою вільного важеля, що також кріпиться до рами.

Важелі і вільний важіль з'єднуються з центральним з'єднанням, формуючи основу рульової зчіпки. Ці системи можуть бути як із механічним управлінням, так і з підсилювачем, проте більшість сучасних автомобілів оснащені системами з підсилювачем. Керувальні елементи гідравлічного підсилювача зазвичай інтегровані в корпус рульового механізму, формуючи

єдиний блок. Нижче наведено детальний перелік компонентів традиційної системи керування.



Традиційний рульовий
редуктор



Вільний важіль



Кінцевий вузол рульової
тяги



Бічний вид важеля



Верхній вид важеля

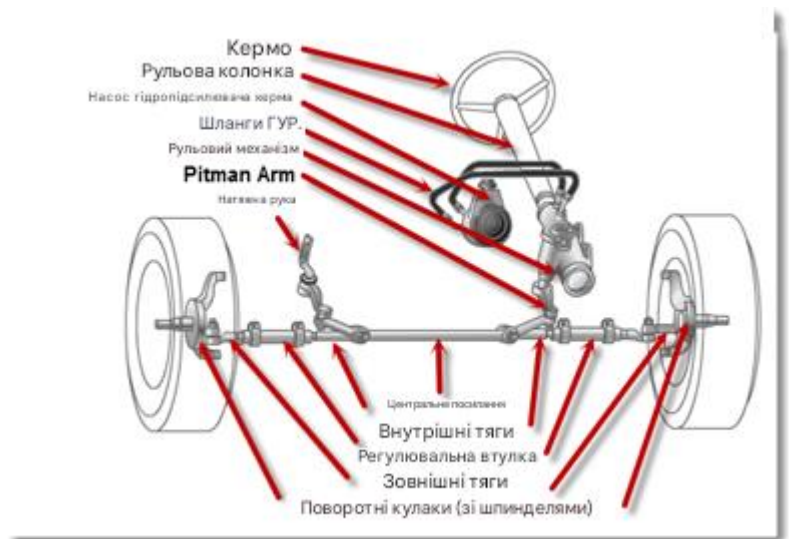


Рис. 1.7. Конструктивні елементи та механізми традиційної системи керування

Рульовий механізм із рециркуляцією куль включає в себе вхідний вал, який з'єднується з валом рульової колонки і носить назву черв'ячного вала через наявність на його кінці черв'ячної шестерні. Черв'ячні шестерні, подібні до різьбових валів, ефективно знижують швидкість обертання деталей, до яких вони приєднані. Це можна уявити, якщо ви уявите, що накручуєте гайку на середину болта, тримаєте головку болта, поки інший кінець опирається на стіл, і обертаєте головку, намагаючись утримувати гайку від обертання. Гайка буде

змушена рухатися вгору або вниз по болту, і для зміщення її на невелику відстань потрібно буде здійснити багато обертів.

Такий самий принцип використовується в традиційних рульових механізмах. Черв'ячна шестерня забезпечує значне зниження швидкості, що допомагає зменшити зусилля, необхідне для керування автомобілем. У рульовому механізмі "гайка" оснащена зубцями з одного боку, які рухаються в одному напрямку з гайкою на валу, відтак приводять у рух іншу шестерню. Зуби входять у зачеплення з зубами секторної шестерні (вихідної), передаючи рух через секторний вал до важеля, що забезпечує переміщення рульового керування. [7]

У типовому рульовому механізмі гайка, з якою зачеплюється черв'ячна шестерня, відома як кулькова гайка. Оскільки черв'ячний вал не здатен переміщатися уздовж при обертанні, кулькова гайка змушена рухатися вгору або вниз по валу. Відмінністю черв'ячного вала рульової шестерні від звичайного різьбового вала є наявність канавок, які служать для розміщення рециркулюючих сталевих куль. Відповідні канавки в кульковій гайці дозволяють кулям котитися, а при обертанні вала кулі активно взаємодіють з канавками в гайці, ініціюючи її крутіння вгору або вниз, як нитка на гвинті. Кулі обертаються та повторно проходять через канавки, повертаючись у вихідну позицію через трубки або напрямні.

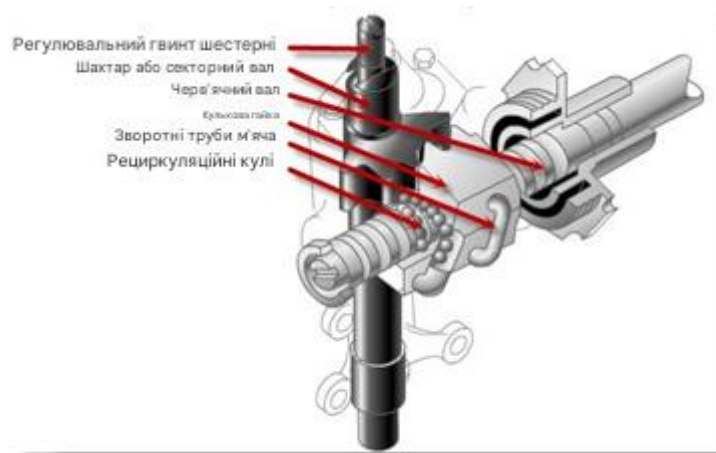


Рис. 1.8. Основи роботи рульового механізму з рециркуляцією куль.

Застосування рециркулюючих куль значно зменшує тертя та сприяє більш плавному та легшому керуванню, мінімізуючи знос, що було б неможливим при використанні звичайного різьбового черв'ячного механізму.

Рульовий редуктор змащується рідиною гідравлічного підсилювача керма, якщо він передбачений, або трансмісійною оливою в ручних системах.

Зверніть увагу на регулювальний гвинт у верхній частині зображення рульового механізму, який використовується для регулювання зазору секторної шестерні. Зазвичай це регулювання не потрібне при стандартному обслуговуванні. Зверніться до посібника з обслуговування транспортного засобу для отримання специфікацій і процедур регулювання, якщо воно необхідне. Недостатній зазор може пошкодити рульовий механізм, проте причину люфту в кермі слід шукати в інших місцях.

У рамках традиційної рульової системи основними компонентами, окрім рульових тяг, є важіль Пітмана, центральне з'єднання та вільний важіль. Використання цих елементів забезпечує ефективну передачу кермових зусиль від керма до коліс. [8]

Інші типи рульових систем, що застосовуються в автомобілях з прямим мостом або у позашляховиках, часто включають одну довгу рульову тягу, яка з'єднує обидва рульові кулаки. Це дозволяє забезпечити синхронізацію рухів лівого та правого коліс, що критично важливо для стабільності керування.

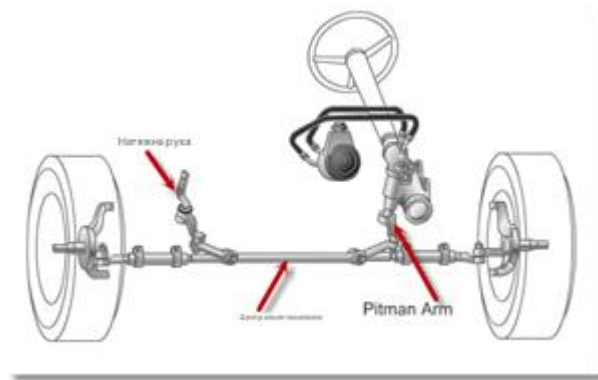


Рис. 1.9. Елементи традиційної рульової системи.

У системі Cross Steer використовуються дві рульові тяги та регулювальний муфт, що з'єднує колеса. Лівий рульовий важіль приєднаний до рульового механізму через додаткову рульову тягу, яка іноді називається штовхальною тягою. Регулювальний муфт використовується для вирівнювання керма під час налаштування коліс, забезпечуючи точність рульового управління. Зауважте, що важіль Пітмана кріпиться до рульового механізму затискним болтом, що є типовим для багатьох застосувань у легкових

вантажівках та автомобілях з повним приводом. Додатково використовується гаситель керма для зниження вібрацій.

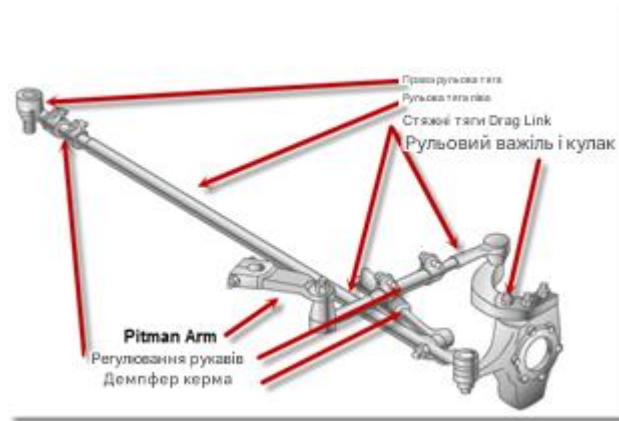


Рис. 1.10. Система Cross Steer.

Система Haltenberger ця унікальна система використовується в автомобілях з подвійною осьюовою підвіскою і на підвісках з подвійним І-подібним балком. Відмітною особливістю є відсутність вільного важеля, заміненого довгим правим з'єднувальним стрижнем, прикріпленим до важеля, а лівий внутрішній кінцевий вузол рульової тяги кріпиться до цього стрижня. Ця конфігурація дозволяє досягти високої точності та надійності керування, що буде детальніше розглянуто у відповідному розділі курсу про підвіски.

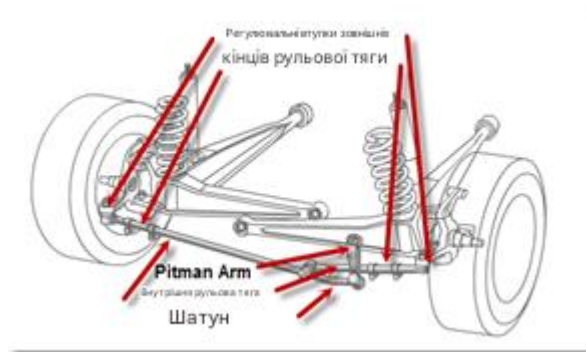


Рис. 1.11. Система Haltenberger

1.3 Класифікація та характеристика систем гідравлічного керування

Серед систем гідравлічного керування можна виділити два основних типи: система керування "рейка-шестерня" з гідравлічним підсилювачем та традиційна система з рециркулюючими кульками, інтегрована з гідравлічним управлінням у єдиний блок рульового редуктора.

Системи "рейка-шестерня" з гідравлічним підсилювачем мають наступні ключові елементи:

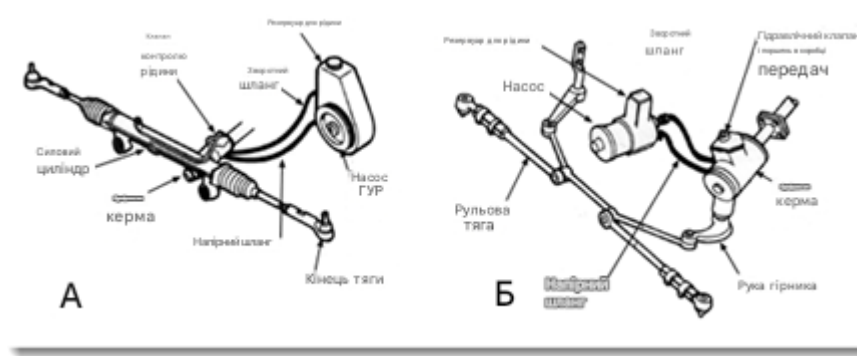


Рис. 1.12. Система гідравлічного керування.

Гідравлічний циліндр: вмонтований всередину корпусу рейки або редуктора, що забезпечує основу для роботи поршня.

Гідравлічний поршень: подвійної дії, розташований у гідравлічному циліндрі, безпосередньо впливає на переміщення рейки.

Механізм керувального клапана: інтегрований у рульовий механізм, задача якого - відчувати та керувати рівнем гідравлічного підсилення.

Гідравлічні лінії: металеві трубки, які проводять рідину гідравлічного підсилювача від керувального клапана до гідравлічного циліндра.

Більшість одиниць "рейка-шестерня" з підсилювачем оснащені спеціальною тонкою трубкою, яка проходить вздовж корпусу та з'єднується з балонами на обох кінцях. Таке рішення дозволяє вирівнювати тиск повітря в балонах під час поворотів керма. [12]

Гідравлічний циліндр і поршень виготовлені з високою точністю і герметизовані за допомогою гумових ущільнювачів типу O-ring. У процесі роботи рідина направляється до однієї з камер гідравлічного циліндра, створюючи необхідний тиск для руху поршня, а відтак і рейки, вліво чи вправо. Залежно від моделі системи, для відчуття та контролю підсилювання використовуються або обертові, або штокові керувальні клапани. Обертові клапани працюють від торсійної штанги, приєднаної до вхідного валу, яка рухає клапан для вирівнювання масляних проходів з відповідною камерою. В системах зі штоковими клапанами штоковий клапан реагує на тягові зусилля вхідного валу, спричинені спробами повернути кермо, і направляє рідину до потрібної камери гідравлічного циліндра.

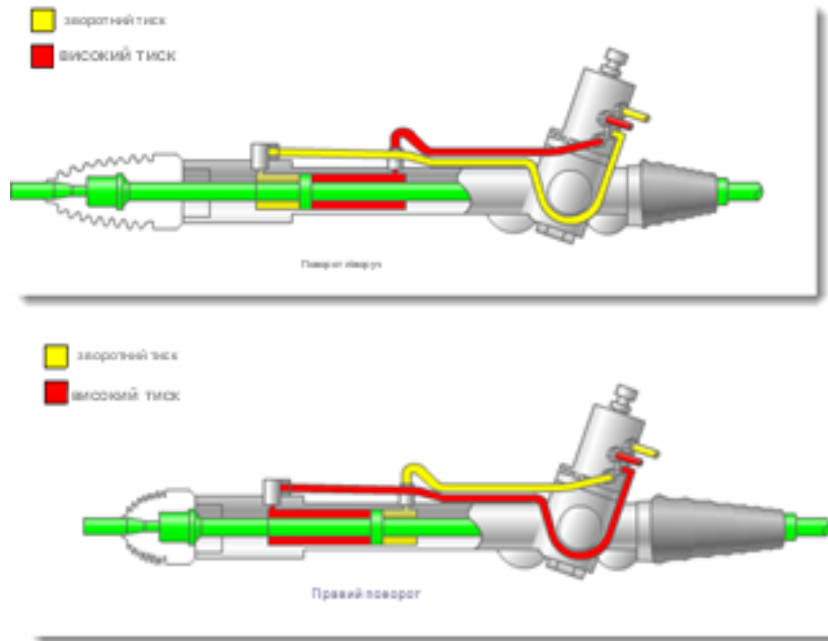


Рис. 1.13. Рульова рейка.

Комплексні гідравлічні системи керування широко застосовуються у системах зчленування керма. У складі таких систем рульовий редуктор включає черв'ячну передачу та секторну шестерню. Гідравлічний поршень та руховий клапан розміщені всередині корпусу редуктора. Схоже на системи керування "рейка-шестерня" з підсилювачем, в яких можуть використовуватися штокові або обертові клапани з торсіонною штангою.

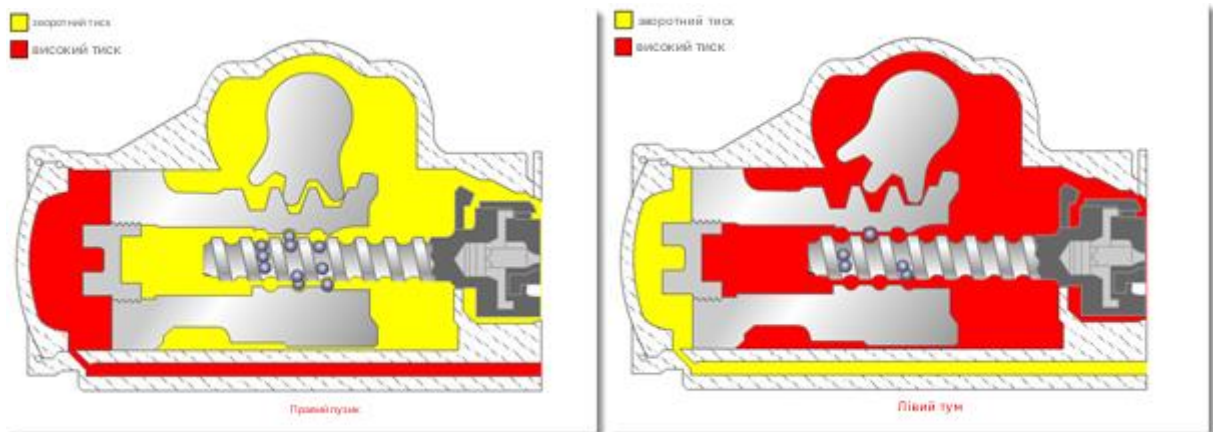


Рис. 1.14. Рульовий механізм.

У нормальному положенні, коли кермо направлене прямо, клапан утримує однаковий тиск по обидва боки поршня. В цей час олія вільно циркулює назад у резервуар насоса. В моменти повороту керма, руховий клапан направляє олію до однієї сторони поршня, забезпечуючи його рух у потрібному напрямку, що сприяє асистуванню у керуванні. Олія з протилежної,

ненапруженої сторони поршня, витісняється назад через клапан у резервуар насоса, забезпечуючи неперервний цикл роботи системи.

1.4 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу магістра

Зібрати дані про часті несправності рульових механізмів та проаналізувати їх причини. Класифікувати типові несправності за їх впливом на безпеку та ефективність рульової системи. Розробка інструкцій по стандартним процедурам обслуговування і ремонту рульових систем. Розробити тренінгові матеріали для техніків сервісних центрів. Провести аналіз існуючих методик обслуговування та виявити потенційні можливості для їх поліпшення. Розробити нові, більш ефективні процедури, що використовують сучасні технології і матеріали. Встановити критерії оцінки стану електронних компонентів системи керування. Розробити систематичний план діагностики для виявлення і виправлення помилок у роботі системи. [16]

Описати конструктивні особливості і принципи роботи стенду. Провести тестування стенду для визначення його надійності та точності. Вивчити матеріали та технології, що були використані при конструкції стенду. Оцінити ергономічність і безпеку використання стенду.

Розробити математичні моделі для симуляції різних дорожніх умов. Аналізувати вплив цих умов на поведінку автомобіля при різних конфігураціях з'єднань.

Створити детальні інструкції безпеки для використання домкратів. Провести тренінги з безпеки для технічного персоналу. Розробити план дій на випадок надзвичайних ситуацій.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Типові несправності рульового механізму

Обслуговуванні рульового механізму, зокрема компонентів, пов'язаних із роботою гідропідсилювача керма, рульових редукторів та інших елементів цієї системи. Водночас деталі, що стосуються з'єднувальних вузлів і шарнірів (таких як кульові опори, рульові тяги, підтримувальні важелі тощо), будуть розглянуті окремо в рамках аналізу підвісних механізмів. Вони зазвичай перевіряються під час повної діагностики рульової системи та підвіски, яка проводиться перед налаштуванням кутів розвалу-сходження коліс або при діагностуванні несправностей шасі. Тому їх вивчення та обслуговування буде інтегровано у відповідний розділ.

Для забезпечення безпечної експлуатації транспортного засобу та його стабільної керованості, усі компоненти рульової та підвісної систем повинні бути ретельно перевірені на предмет зносу і наявності люфтів. Такий аналіз також дозволяє впевнитися, що автомобіль здатний утримувати кути розвалу-сходження коліс у межах заводських параметрів. Подібна діагностика зазвичай здійснюється на спеціалізованому підйомному стенді, який дозволяє легко підняти транспортний засіб і розвантажити підвіску за допомогою підйомного обладнання, інтегрованого з домкратом.

Компоненти рульової системи, що з'єднують кермо із виходом рульового механізму, зазвичай демонструють високу надійність, однак існують окремі винятки.

Одним із потенційно проблемних елементів є гнучкі з'єднання рульового вала, які з часом можуть втрачати працездатність, спричиняючи надмірний люфт. Крім того, у деяких рейкових механізмах несправності гідравлічних контурів підсилювача керма можуть призводити до нерівномірної або переривчастої роботи підсилювача. Основні проблеми, які виникають у рульовій та підвісній системах, включають труднощі з кермуванням, сторонні звуки, нерівномірний знос шин, погіршену керованість автомобіля, витoki

рідини підсилювача, а також значний люфт рульового колеса, викликаний різноманітними факторами.

Ситуації, коли кермування стає важким, можуть бути викликані низкою причин. До найпоширеніших належать недостатній тиск у шинах, низький рівень рідини в системі підсилювача керма або зношений чи ослаблений ремінь приводу підсилювача. Іншими факторами можуть бути порушення параметрів розвалу-сходження коліс, заїдання у вузлах рульового механізму або в верхніх опорах стійок МакФерсона, а також несправності самого рульового редуктора.

Під час діагностики цієї проблеми необхідно звертати увагу на будь-які сторонні звуки, що супроводжують скарги на ускладнене кермування. Рекомендується розпочати перевірку з найпростіших чинників. Огляньте ремінь приводу, оцініть його стан і переконайтеся, що рівень рідини підсилювача відповідає нормі. У разі зниженого рівня необхідно детально оглянути систему для виявлення можливих витоків. Якщо ж причина залишається нез'ясованою, доцільно провести комплексну перевірку рульової системи та підвіски.

Різні види шумів можуть свідчити про несправності рульового механізму. Наприклад, якщо з'єднання в рульовій системі мають люфт або сухі шарнірні з'єднання, це може викликати характерні стуки чи клацання, які зазвичай проявляються при поворотах керма або під час руху по нерівній дорозі.

Джерелом шуму може бути і система гідропідсилювача керма. Низький рівень робочої рідини призводить до того, що насос видає характерні звуки - виття або гудіння - особливо помітні під час максимального повороту керма до упору. Однак невеликий шум у таких умовах може бути нормальним явищем через перепуск надлишкового тиску рідини, який супроводжується шипінням чи легким гудінням. Водночас ослаблений або зношений ремінь приводу гідропідсилювача керма часто спричиняє гучний свист, особливо при різких поворотах або значних навантаженнях. Цей свист може супроводжуватися ривками керма. Рекомендується перевірити натяг і стан ремня та виконати його регулювання, щоб уникнути пошкоджень ремня чи шківів.

Шуми також можуть бути зумовлені несправними або зношеними підшипниками коліс. У задньоприводних автомобілях зношені передні

підшипники часто видають скрип чи гул, тоді як проблеми із задніми підшипниками супроводжуються характерним гарчанням. У передньоприводних авто несправні шарніри рівних кутових швидкостей (ШРКШ) можуть створювати клацання чи викликати вібрації. Пошкоджений шарнір ШРКШ зазвичай проявляє себе швидкими клацаннями під час руху назад із повернутими колесами. У таких випадках необхідно перевірити пильовики шарнірів на наявність пошкоджень або витоків мастила. У багатьох випадках доцільно замінити всю піввісь, оскільки вона постачається з новими шарнірами та пильовиками, що знижує трудовитрати порівняно з відновленням окремого шарніра. [23]

Несправності в рульовій або підвісній системі часто призводять до нерівномірного зносу шин або погіршення керованості автомобіля. Наприклад, шини можуть зношуватися нерівномірно або мати характерний «зубчастий» малюнок. У таких ситуаціях правильне регулювання розвалу-сходження коліс зазвичай усуває ці проблеми. Подальший розгляд зношення шин буде представлено в розділі, присвяченому налаштуванню кутів коліс.

Значний люфт рульового колеса може бути спричинений кількома факторами. Найчастіше це пов'язано зі зношенням кульових шарнірів, рульових тяг, підпірних важелів, гнучких з'єднань рульового вала чи пошкодженням рульового механізму.

Перевірка цих компонентів зазвичай проводиться під час комплексної діагностики підвіски та рульової системи перед регулюванням розвалу-сходження коліс. Однак деякі з них можна оцінити за допомогою методу «сухої перевірки», коли автомобіль залишається на колесах. Цей метод дозволяє виявити значний люфт у рульових з'єднаннях, але не завжди ефективний для діагностики зношення кульових шарнірів або втулок важелів підвіски. Для таких випадків підвіску необхідно повністю розвантажити.

Метод сухої перевірки з адаптацією є одним із найефективніших способів виявлення надмірного люфту у внутрішніх наконечниках рульових тяг в системах із рейковим механізмом.

Для виконання сухої перевірки" найбільш зручним місцем є стенд для регулювання розвалу-сходження, хоча за необхідності ця процедура може бути виконана і на рівній поверхні.

Щоб провести перевірку, залучіть помічника, який обертатиме кермо невеликими рухами вліво і вправо, поки ви здійснюєте огляд точок з'єднання та шарнірів кожного компонента рульової і підвісної системи. Особливу увагу звертайте на можливі незалежні переміщення в цих точках. У внутрішніх і зовнішніх наконечниках рулевих тяг, а також у центральній тязі, не повинно бути навіть незначного люфту. Окремий розгляд перевірки підпірних важелів і кульових шарнірів буде представлено в наступних розділах.

У випадку автомобілів із гідропідсилювачем керма перевірка повинна виконуватися при працюючому двигуні. Аналогічну діагностику можна провести, якщо автомобіль піднятий, а колеса звисають у повітрі. У цій ситуації також попросіть помічника злегка обертати кермо, а ви тим часом уважно оглядайте компоненти на предмет можливих люфтів чи інших несправностей.

Внутрішні наконечники рулевих тяг у системах із рейковим механізмом доцільно перевіряти на стенді для регулювання розвалу-сходження до того, як розвантажувати підвіску шляхом підйому автомобіля. Для цього залиште автомобіль із повною вагою на колесах і зніміть блокувальні штифти з поворотних пластин на стенді. Залишаючи кермовий механізм розблокованим, візьміться за передню і задню частини шини та спробуйте імітувати кермування, переміщуючи колесо вперед і назад.

Якщо у внутрішньому наконечнику рульової тяги є люфт, це буде легко відчуту до початку переміщення рейки, оскільки для її руху потрібне значно більше зусилля. Ви також помітите зміну кута розвалу-сходження, яку спричиняє цей люфт. Для підтвердження попросіть помічника переконатися, що інше колесо не рухається, а джерелом люфту не є зовнішній наконечник рульової тяги чи підшипник колеса.

Однією з найбільш поширених несправностей у системі гідропідсилювача керма є витіки рідини. Оскільки ця система працює під високим тиском, гумові шланги можуть втрачати цілісність, з'єднання можуть протікати, а ущільнення виходити з ладу.

Для ідентифікації таких витоків у кінці розділу наведені процедури та діагностичні таблиці, які можна роздрукувати для зручності. Зокрема, знайти інструкцію можна під назвою PD3. Діагностика витоків рідини підсилювача керма на сторінці робочих листів, присвячених рульовій системі.

2.2 Типові операції з обслуговування та ремонту рульової системи

Рівень робочої рідини у системах гідропідсилювача керма перевіряється залежно від конструкції. У деяких системах встановлено прозорий резервуар із маркуваннями, які вказують на рекомендований рівень. В інших випадках для цього використовується щуп, інтегрований у кришку резервуара.

На прикладі насоса гідропідсилювача керма можна побачити, що щуп розташований безпосередньо на кришці резервуара. У цій моделі регулювання натягу ремня здійснюється за допомогою направляючої пластини, яка знаходиться за шківом.

Рівень рідини вказується для двох станів: холодного та нагрітого. Під час роботи системи нагріта рідина займає більший об'єм, тому рівень у резервуарі зростає. Важливо не перевищувати допустимого рівня, щоб уникнути можливих збоїв у роботі системи.

Детальні інструкції з перевірки рівня мастильних матеріалів та робочих рідин, придатні для друку, подані наприкінці цього розділу разом із відповідними робочими листами. Цей документ доступний під назвою "PD2. Контроль рівнів рідини для ручного та гідропідсилювача керма" на сторінці робочих листів із рульової системи. [10]

Змащування є однією з ключових процедур технічного обслуговування рульової та підвісної систем, особливо для шарнірних з'єднань і рулевих тяг, які не оснащені постійними герметичними ущільненнями. Ця операція часто виконується як частина загального змащування елементів шасі і потребує уважного підходу. Перед застосуванням нагнітача мастила необхідно ретельно видалити залишки бруду та старого мастила з поверхні прес-маслянки, а також очистити наконечник нагнітача, щоб уникнути забруднення внутрішніх елементів системи абразивними частинками.

Деякі типи шарнірів оснащені спеціальними каналами для виходу мастила, розташованими в основі гумового пильовика. Коли мастило повністю заповнює шарнір, воно починає виходити через ці канали. Якщо таких каналів немає, пильовик злегка роздувається, сигналізуючи про завершення процесу змащування. Однак надмірне наповнення мастилом може спричинити розрив пильовика, що призведе до швидкого зносу вузла.

Під час обслуговування підвіски рекомендується наносити тонкий шар мастила на обмежувачі повороту, розташовані на рульових кулаках та важелях підвіски. Окрім цього, змащування слід виконувати для інших точок контакту та зношування. Для точного визначення всіх мастильних точок і підбору рекомендованих мастил необхідно звернутися до технічної документації конкретного автомобіля.

Контроль стану ремня гідропідсилювача керма є важливою частиною технічного обслуговування. Перевірка включає оцінку наявності дефектів, таких як глянсувата або тверда внутрішня поверхня, тріщини, потертості країв та правильність вирівнювання ремня. Для вимірювання натягу використовується спеціальний натяжний манометр, а отримані дані порівнюються із заводськими нормами.

У багатьох автомобілях із багаторучейковими ремнями застосовуються автоматичні натягувачі, які не потребують ручного регулювання. У випадку ременів V-профілю або інших конструкцій, що вимагають налаштування, натяг може регулюватися за допомогою гвинтового механізму або важеля. Варто пам'ятати, що надмірний натяг ремня може пошкодити підшипники насоса, тому налаштування слід виконувати з максимальною точністю.

У системах, де натяг ремня регулюється гвинтовим механізмом, перед початком роботи необхідно послабити всі відповідні шарнірні з'єднання та кріплення кронштейнів. Це дозволить уникнути пошкодження або викривлення регулювального вузла. У випадку, якщо натяг встановлюється за допомогою важеля, також послабте кріплення, після чого відрегулюйте натяг, використовуючи важіль, і лише потім надійно закріпіть болт прямої пластини. При роботі з важелем слід бути обережним, уникаючи натискання на корпус насоса або резервуар, щоб уникнути їх пошкодження.

Для більш зручного налаштування шукайте квадратний отвір розміром 3/8 або 1/2 дюйма, розташований на корпусі або кронштейні. Він передбачений для вставлення рукоятки, що робить процес налаштування більш безпечним і ефективним.

Системи гідропідсилювача керма зазвичай обладнані двома типами шлангів: напірним і зворотним. Ці шланги виготовлені з матеріалів, що забезпечують високу стійкість до механічних і термічних навантажень. Незважаючи на це, з часом вони можуть піддаватися зносу, пошкодженням або протіканням.

Огляньте місця з'єднань шлангів із металевими трубами, звертаючи увагу на ознаки пошкоджень, такі як здуття, потертості, тріщини або м'які ділянки, які можуть свідчити про внутрішню деградацію матеріалу.

Під час заміни шлангів обов'язково замініть всі ущільнювальні кільця (О-кільця) і затягуйте з'єднання відповідно до технічних рекомендацій виробника. Після заміни обов'язково промийте систему, заправте свіжу рідину та видаліть повітря з системи шляхом прокачування.

У певних ситуаціях може виникнути потреба у тестуванні тиску в системі гідропідсилювача керма. Цей процес допомагає оцінити працездатність насоса, перепускного клапана, керуючого клапана, силового поршня та шлангів.

Для виконання тесту в напірний шланг інтегрується манометр із запірним клапаном. Точна процедура тестування, а також необхідні параметри зазначені в сервісному посібнику до автомобіля. Дотримуйтесь рекомендацій виробника, щоб гарантувати точність і безпеку під час перевірки.

2.3 Удосконалені операції з технічного обслуговування та ремонту рульового механізму

Як було зазначено раніше, більшість рулевих механізмів, незалежно від їх типу (класичний чи рейковий), мають можливість налаштування зазору в зубчастій передачі або натягу пініона. Проте така потреба виникає рідко і зазвичай не є необхідною протягом усього терміну служби автомобіля. Якщо ж виконання регулювання є неминучим, ця операція має здійснюватися

максимально обережно, щоб уникнути пошкоджень механізму. Для цього слід обов'язково звертатися до технічної документації виробника, яка містить точні параметри та послідовність виконання регулювань.

Класичні рульові механізми зазвичай залишаються працездатними протягом усього життєвого циклу транспортного засобу. Хоча їх відновлення можливе як у випадку механічних, так і гідропідсилювальних систем, у багатьох ситуаціях це може бути економічно не вигідним.

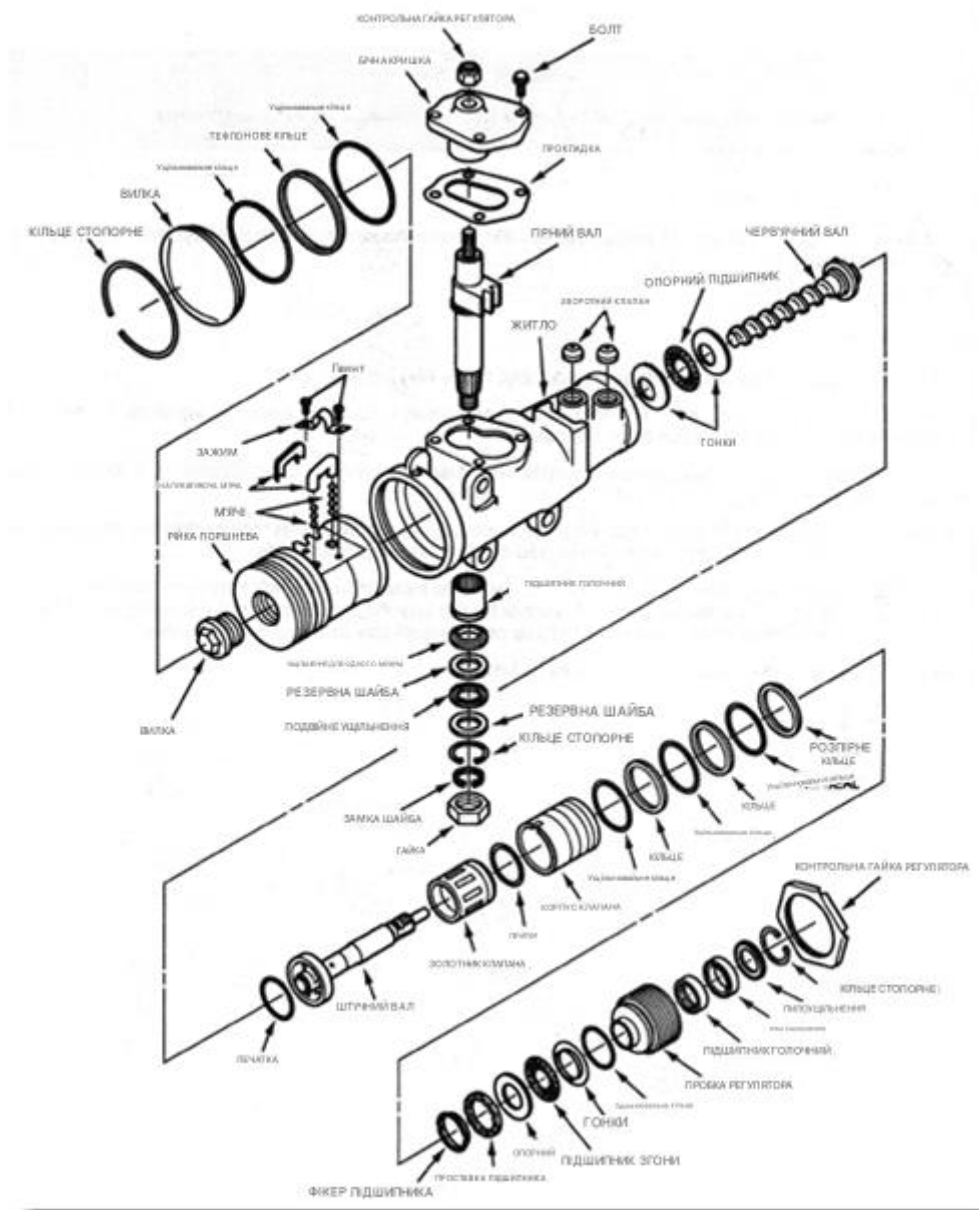


Рис. 2.1. Інтегральний рульовий механізм.

Для уточнення доступності ремонтних комплектів і запасних частин, таких як ущільнення, втулки, підшипники чи клапани гідропідсилювача, а також для ознайомлення з методиками відновлення та налаштування, слід звернутися до сервісної документації автомобіля. Важливо ретельно порівняти

вартість відновлення з витратами на придбання нового чи вживаного рульового механізму, щоб визначити найбільш раціональний варіант усунення несправностей.

Перевірка рульового механізму рейкового типу.

Оцінка стану зовнішніх наконечників рульових тяг.

Підйом автомобіля.

Для забезпечення доступу до рульових тяг підніміть автомобіль, щоб зняти навантаження з коліс. Це дозволить виконати більш точну діагностику.

Використовуйте лише сертифіковане підйомне обладнання та суворо дотримуйтеся вимог безпеки під час роботи.

Процес перевірки наконечників. [22]

Огляньте наконечники рульових тяг на предмет пошкоджень, зносу або тріщин. Руками спробуйте змістити наконечники вгору і вниз, перевіряючи наявність люфту в шарнірних з'єднаннях. Попросіть помічника обертати кермо до крайніх положень у обидві сторони, щоб перевірити стан шарнірів та вирівнювання їх елементів. Перевірте цілісність пильовиків шарнірів, шукаючи тріщини чи інші пошкодження. Огляньте регулювальні втулки на предмет корозії, зношення чи деформації. Перевірте стан хомутів та болтів регулювальних втулок. Вони не повинні мати корозії або інших дефектів. Переконайтеся, що рульові тяги вирівняні правильно, без деформацій чи погнутості.

Діагностика внутрішніх шарнірів рульових тяг.

Оскільки внутрішні шарніри рульових тяг зазвичай приховані під гумовими або пластиковими пильовиками, їх перевірка може бути ускладнена. У разі використання м'яких пильовиків виконайте такі дії:

Підніміть автомобіль за допомогою підйомного обладнання, забезпечивши доступ до внутрішніх рульових тяг.

Дотримуйтеся всіх правил безпеки при роботі з підйомником.

Стисніть пильовик руками, перевіряючи наявність внутрішнього люфту в шарнірі.

Перевірка внутрішніх шарнірів.

Попросіть помічника повернути кермо на невелику амплітуду (приблизно на чверть оберту в кожную сторону). Помічник також може злегка натискати на колеса та зміщувати їх уперед і назад. Якщо відчувається люфт або внутрішній шарнір виглядає пошкодженим, його необхідно замінити.

Використовуйте підйомник для підняття автомобіля та візуально огляньте пильовики на предмет тріщин або пошкоджень.

Заміна рульового механізму рейкового типу. Рульові механізми типу "рейка і пініон" зазвичай замінюють на нові або відновлені вузли. Відновлені механізми, як правило, постачаються з уже інтегрованими внутрішніми наконечниками рульових тяг, що полегшує монтаж і скорочує час на їх установку.

Попри можливість ремонту рульових механізмів цього типу безпосередньо у сервісній майстерні, у багатьох випадках економічно вигідніше виконати повну заміну вузла на новий або відновлений. Такий підхід забезпечує надійність роботи рульового механізму та зменшує ризик повторних поломок.

Для вибору оптимального варіанту ремонту чи заміни зверніться до технічної документації автомобіля. У ній ви знайдете інформацію про доступні комплекти для ремонту, запасні частини та рекомендації з налаштування й регулювання рульового механізму. Порівняйте загальні витрати на придбання запчастин і виконання робіт із вартістю нового або відновленого вузла, щоб визначити найкраще рішення для вашого автомобіля. [20]

Рульові механізми цього типу є важливим елементом сучасних автомобільних систем керування, забезпечуючи точну передачу зусиль і мінімальний люфт у рульовій системі. Їх конструктивна простота і компактність роблять ці системи популярними у більшості легкових автомобілів.

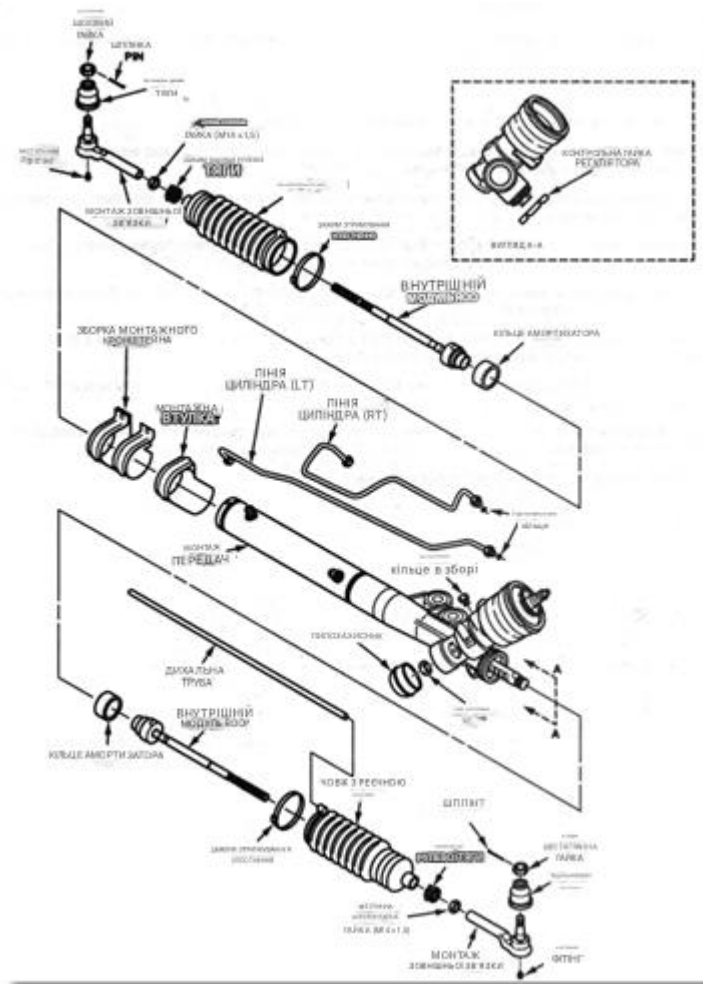


Рис. 2.2. Системи рейка і пініон.

Системи гідропідсилювача керма в деяких автомобілях обладнуються спеціальними фільтрами, що потребують регулярної діагностики та, у разі потреби, заміни. Перед початком обслуговування необхідно ознайомитися з технічними рекомендаціями виробника, щоб визначити наявність і місцезнаходження фільтрів у конкретній моделі автомобіля.

Етапи обслуговування фільтрів гідропідсилювача керма

1. Ознайомлення з документацією. Перегляньте технічні матеріали, щоб отримати інструкції щодо перевірки, демонтажу та заміни фільтрів у системі гідروпідсилувача.
2. Діагностика стану фільтра. Зніміть фільтр відповідно до рекомендацій виробника. Проведіть візуальний огляд на предмет забруднення або наявності часток гуми чи металу. Такі знахідки можуть свідчити про знос інших компонентів системи, які також слід перевірити.

3. Заміна фільтра. Встановіть новий фільтр, дотримуючись інструкцій і рекомендованих специфікацій виробника автомобіля.

4. Заправка системи та прокачування. Після заміни фільтра заправте систему відповідною рідиною та виконайте прокачування для видалення повітря, щоб забезпечити стабільну роботу.

5. Контроль роботи системи. Після завершення всіх процедур перевірте ефективність роботи гідропідсилювача керма та переконайтеся у відсутності витоків у системі. [14]

Додаткові зауваження. У деяких випадках для доступу до фільтра необхідно підняти автомобіль. Використовуйте лише сертифіковане підйомне обладнання та дотримуйтесь усіх заходів безпеки. Не всі автомобілі обладнуються заводськими фільтрами гідропідсилювача. Якщо фільтр було встановлено додатково, його розташування може бути нестандартним. Деякі моделі фільтрів інтегровані в напірний шланг, тому їх заміна можлива лише разом зі шланговим вузлом. Ця послідовність дій допоможе ефективно підтримувати функціональність системи гідропідсилювача керма та подовжити термін її служби.

2.4 Огляд і діагностика систем керма з електропідсилювачем

Сучасні системи керма з електричним підсилювачем використовують електромотори та інтегровані комп'ютерні системи для зменшення зусиль, які водій прикладає до керма. У частині механіки їх перевірка має багато спільного з гідравлічними системами підсилювача керма, оскільки обидва типи систем використовують рульові тяги, колонки та вали. Проте електричні системи не мають гідравлічних компонентів, але натомість включають додаткові електронні елементи, що потребують окремого аналізу та діагностики.

Перевірка механічних компонентів. Розпочніть перевірку електричної системи з оцінки стану її механічних елементів:

Наконечники рульових тяг – перевірте як внутрішні, так і зовнішні наявність зносу чи люфту.

Кріплення рейки та пініона – огляньте їх на надійність та цілісність.

Елементи рульової колонки – оцініть стан з'єднань та відсутність надмірних люфтів.

Оцінка електричних і електронних компонентів.

1. Аналіз документації. На першому етапі зверніться до сервісної документації, щоб ідентифікувати компоненти системи електропідсилювача керма, їх розташування та особливості обслуговування.

2. Візуальний огляд. Огляньте всі електронні компоненти системи на предмет зношення, механічних пошкоджень чи ознак корозії.

3. Перевірка електричних ланцюгів. Використовуйте технічну інформацію для проведення базових тестів. Перевірте:

Запобіжники системи.

Реле та пристрої керування.

Електричні кола на безперервність та відсутність обривів.

4. Діагностика за допомогою сканера. Більшість сучасних систем керма з електропідсилювачем вимагають використання діагностичних інструментів для виконання тестів. Підключіть сканер та дотримуйтесь інструкцій виробника для перевірки стану системи, зчитування кодів помилок та оцінки працездатності компонентів. [4]

Комплексний підхід до перевірки систем електропідсилювача керма включає аналіз як механічних, так і електронних компонентів. Це дозволяє виявити та усунути потенційні несправності, підвищуючи точність і надійність роботи системи. Правильна діагностика гарантує стабільність керування автомобілем і подовжує термін служби компонентів.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Принцип функціонування новорозробленого стенду

Верифікація механізмів керування автомобілем з використанням тестового навантаження відбувається на спеціалізованому стенді з гідравлічною приводною системою. Підйомник служить для підвішування переднього мосту транспортного засобу, який додатково фіксується статичними опорами з затискачами. Кермове колесо утримується за допомогою спеціального утримувача, приєднаного до стійок водійської кабіни. Спроби змінити положення правого колеса натиском штоків гідроциліндрів на його обід в обох напрямках (за і проти руху годинникової стрілки) викликають альтернативне напруження у всій системі кермового управління. Інструмент для вимірювання деформації складається з мірної лінійки, закріпленої на штоку гідроциліндра, та стаціонарного ноніуса, зафіксованого у хомуті. Вимірювальна точність становить 0,05 мм. Визначальним діагностичним показником змін міцності компонентів кермового механізму є різниця в загальних деформаціях, отриманих при аналізі напружень з мінімальним навантаженням у 315 кгс та максимальним у 1050 кгс.

Мінімальне навантаження для випробувань встановлюється на рівні трохи вищому, ніж сила повного стискання пружин у кульових з'єднаннях, яка складає 300 кгс. Це дозволяє ефективно вибрати необхідні вузли і запобігти зміщенню компонентів в межах вузлів.

У ситуаціях, коли загальне збільшення деформації випробуваних кермових приводів під час тестового навантаження перевищує показники непошкоджених приводів, ідентифікація областей підвищеної деформації відбувається за допомогою базових вимірювальних інструментів (індикатор з фіксацією на поздовжню тягу та штангенциркуль на стійці).

Додатково, методика передбачає перевірку деталей кермового приводу для виявлення тріщин, що можуть розкриватися. Динаміка розкриття тріщин за різних деформацій відображається у вигляді графіків.

Ця методика також дозволяє оцінити ступінь прогину поздовжніх і поперечних тяг, адже прогин у формі залишкової деформації негативно впливає на керованість автомобіля та загальну безпеку руху. Залежності залишкових деформацій від тестового навантаження також подаються у вигляді графіків. [19]

3.2 Аналіз конструктивних елементів і механізмів стенду

Використовуваний у стенді гідроциліндр демонструється на ілюстрації 8. Визначення потрібного тиску на поршень, з урахуванням ефективності гідроциліндра:

$$P_n = \frac{P_p}{\eta_r}, \quad (3.1)$$

$P_p = 10500 \text{ Н}; \eta_r = 0,955.$

$$P_n = \frac{10500}{0,955} = 11000 \text{ Н}.$$

Площа поршня визначається:

$$F_n = \frac{\pi \cdot d_r^2}{4}, \quad (3.2)$$

$$F_n = \frac{3,14 \cdot 60^2}{4} = 28,27 \text{ см}^2.$$

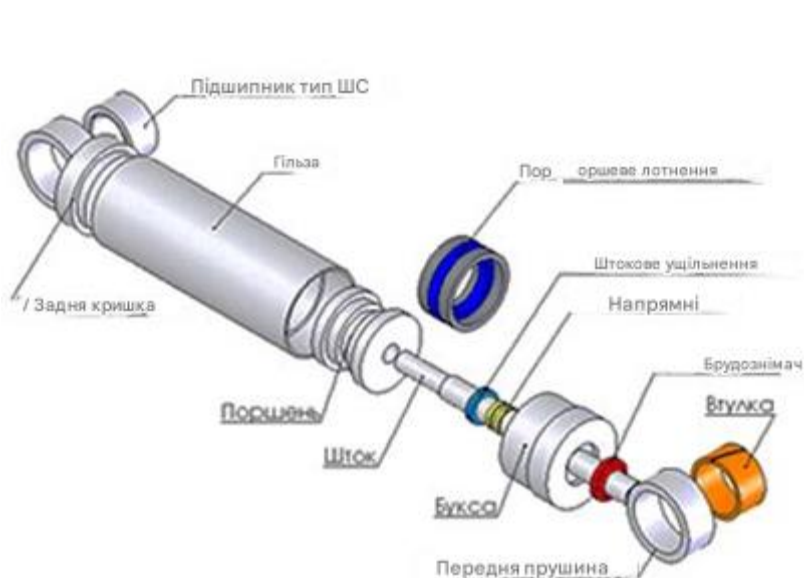


Рис. 3.1. Рисунок 8 – Схематичне зображення гідроциліндра.

Визначення тиску робочої рідини здійснюється відповідно до формули (3.3):

$$\rho = \frac{P_{\pi}}{F_{\pi}}, \quad (3.3)$$

$$\rho = \frac{11000}{28,27} = 390 \text{ Н/см}^2.$$

Продуктивність насоса розраховується відповідно до формули (3.4).

$$W_H = \frac{v_u \cdot F_{\pi}}{\eta_o}, \quad (3.4)$$

$$v_{\text{ш}} = 5 \text{ см/с}, \eta_o = 0,99.$$

$$W_H = \frac{5 \cdot 28,27}{0,99} \approx 143,6 \text{ см}^3 / \text{с}.$$

З урахуванням аналізу даних, вибираємо відповідний гідроциліндр - обираємо модель П-60х80 МН 2255-61 із довжиною ходу штока $h_{\text{ш}} = 80$ мм.

Проектування насосної системи. У процесі розрахунку обрано шестеренний насос через його простоту у виробництві та обслуговуванні. Розрахунок потужності двигуна, який необхідний для роботи насоса, здійснюємо згідно з формулою (3.5).

$$N_{\text{дв.}} = \frac{\rho \cdot Q_H}{1000 \cdot 100 \cdot \eta_H}, \quad (3.5)$$

$$\eta_H = 0,92.$$

$$N_{\text{дв.}} = \frac{390 \cdot 143,6}{1000 \cdot 100 \cdot 0,92} = 0,6 \text{ кВт}$$

Вибір двигуна проводимо з каталогу модель АОЛ2-12 у комплектації МЖ-100. [17]

Торсійний момент на валу двигуна обчислюється згідно з формулою (3.6):

$$M_{\text{кр}} = \frac{N}{\omega}, \quad (3.6)$$

Кутова швидкість валу двигуна визначається формулою (3.7):

$$\omega = \frac{\pi \cdot 1000}{30}, \quad (3.7)$$

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 1000}{105} = 105 \text{ рад/с}.$$

$$M_{KP} = \frac{0,6 \cdot 10^3}{105} = 5,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Очікуваний торсійний момент розраховується за формулою (3.8):

$$M_{расч.} = K \cdot M_{KP}, \quad (3.8)$$

$K = 1,15$.

$$M_{расч.} = 1,15 \cdot 5,7 = 6,55 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для кріплення валу двигуна до валу насоса використовується сполучна муфта. Оцінюємо стійкість пальців до згинання згідно з формулою (3.9).

$$\sigma_U = \frac{M_{расч.} \cdot \ell_{II}}{0,1 \cdot d_{II}^3 \cdot D_1 \cdot Z}, \quad (3.9)$$

$$\sigma_U = \frac{6,55 \cdot 19 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 10^3 \cdot 58 \cdot 4} \approx 5,35 < [\sigma_u] = 80 \text{ Н/мм}^2.$$

Виконуємо перевірку гумових втулок на витягування, процедуру якої описано у формулі (3.10).

$$\sigma_{cm} = \frac{2M_{расч.}}{D_1 \cdot Z \cdot d_{II} \cdot \ell_B}, \quad (3.10)$$

$$\sigma_{cm} = \frac{2 \cdot 6,55 \cdot 10^3}{58 \cdot 4 \cdot 10 \cdot 15} \approx 0,376 < [\sigma_{cm}] = 2 \text{ Н/мм}^2.$$

Вибрана муфта відповідає вимогам міцності. Розрахунок діаметра валу насоса проводимо відповідно до формули (3.11). [11]

$$d_B \geq \sqrt[3]{\frac{M_{расч.}}{0,2[\tau_k]}}, \quad (3.11)$$

Допустиме напруження на кручення для Ст 45 $[\sigma_k] = 20 \text{ Н} / \text{мм}^2$.

$$d_B \geq \sqrt[3]{\frac{6,55 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 20}} \approx 12 \text{ мм}.$$

Приймаємо діаметр валу насоса $d_B = 18 \text{ мм}$.

Визначаємо кількість зубців у шестерні, $Z = 15$; модуль зубців $m = 5$ мм; з цього випливає, що оптимальна ширина шестерні для забезпечення необхідної продуктивності обраховується згідно з формулою (3.12).

$$b = \frac{Q_H \cdot 60}{3 \cdot \pi \cdot m^2 \cdot Z \cdot n_{ог}}, \quad (3.12)$$

$$b = \frac{143,6 \cdot 60}{3 \cdot 3,14 \cdot 5^2 \cdot 15 \cdot 1000} = 24,6 \text{ мм.}$$

З стандартного асортименту вибираємо ширину $b = 25$ мм. Величина корекції шестерні розраховується відповідно до формули (3.13).

$$\xi = \frac{17 - Z}{17}, \quad (3.13)$$

$$\xi = \frac{17 - 15}{17} = 0,118.$$

Абсолютне зсування інструменту для виготовлення визначається з формули (3.14).

$$X = \xi \cdot m, \quad (3.14)$$

$$X = 0,118 \cdot 5 = 0,59 \text{ мм.}$$

Розрахунковий діаметр дільничного кола обчислюється за формулою (3.15).

$$d_{до} = m \cdot Z, \quad (3.15)$$

$$d_{до} = 5 \cdot 15 = 75 \text{ мм.}$$

Вибрана муфта відповідає необхідним критеріям міцності. Діаметр кола виступів ведучої шестерні встановлюється за формулою (3.16).

$$D_{c1} = d_{до} + 2m + 2X, \quad (3.16)$$

$$D_{c1} = 75 + 2 \cdot 5 + 2 \cdot 0,59 = 86,18 \text{ мм.}$$

Діаметр кола виступів ведомої шестерні визначаємо за формулою (3.17).

$$D_{c2} = d_{до} + 2m - 2X, \quad (3.17)$$

$$D_{c2} = 75 + 2 \cdot 5 - 2 \cdot 0,59 = 83,82 \text{ мм.}$$

Міжвісна відстань між шестернями розраховується відповідно до формули (3.18).

$$A = (u + 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{\kappa \cdot M_{пасч}}{\psi_a \cdot u \cdot \kappa_{II}}} \cdot \left(\frac{340}{[\sigma_k]} \right)^2, \quad (3.18)$$

$$u = 1, \kappa = 1, 3, \kappa_{II} = 1, [\sigma_k] = 140 \text{ Н / мм}^2.$$

$$\psi_a = \frac{6}{m}, \quad (3.19)$$

$$\psi_a = \frac{25}{5} = 5.$$

Вносимо дані до формули (3.18):

$$A = (1 + 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{1,3 \cdot 6,55 \cdot 10^3}{5 \cdot 1 \cdot 1}} \cdot \left(\frac{340}{140} \right)^2 \approx 81,92 \text{ мм.}$$

Встановлено, що міжосьова відстань становить $A = 82 \text{ мм}$.

Розраховуємо кількість циклів навантаження для шестерень відповідно до формули (3.20)

$$N_H = 572,4 \cdot \omega \cdot T, \quad (3.20)$$

T вказує на тривалість експлуатації в годинах (за формулою 3.21):

$$T = T_{CM} \cdot c \cdot D_p, \quad (3.21)$$

$T_{CM} = 8 \text{ час.}$ $c = 2$; $D_p = 1825 \text{ днів.}$

$$T = 8 \cdot 2 \cdot 1825 = 29200 \text{ час.}$$

Вводимо відповідні дані у формулу (3.20):

$$N_H = 572,4 \cdot 105 \cdot 29200 = 175 \cdot 10^7.$$

Встановлене межеве напруження визначається відповідно до формул (3.22, 3.23):

$$[\sigma_{KH}] = 2,75 \cdot HB \cdot K_{pk}, \quad (3.22)$$

$$[\tau_{HH}] = 0,8 \cdot \sigma_T, \quad (3.23)$$

HB – показник твердості за Брінеллем, для сплаву АГ – 4В він дорівнює 140 одиницям; K_{pk} – коефіцієнт режиму навантаження (згідно з формулою 3.24). [15]

$$K_{pk} = \sqrt[3]{\frac{10^7}{N_H}}, \quad (3.24)$$

$$K_{pk} = \sqrt[6]{\frac{10^7}{128 \cdot 10^7}} \approx 0,78.$$

Застосовуємо ці дані до формул (3.22, 3.23) і в результаті отримуємо:

$$[\sigma_{KH}] = 2,75 \cdot 140 \cdot 0,78 = 300 \text{ Н/мм}^2,$$

$$[\tau_{HH}] = 0,8 \cdot 78,4 = 62,5 \text{ Н/мм}^2.$$

Швидкість обертання ведучої шестерні розраховуємо використовуючи формулу (3.25).

$$v_1 = \frac{\omega \cdot D_{c1}}{2 \cdot 1000}, \quad (3.25)$$

$$v_1 = \frac{105 \cdot 86,18}{2 \cdot 1000} \approx 4,5 \text{ м/с}.$$

Швидкість обертання ведомої шестерні визначаємо з формулою (3.26).

$$v_2 = \frac{\omega \cdot D_{c2}}{2 \cdot 1000}, \quad (3.26)$$

$$v_2 = \frac{105 \cdot 83,82}{2 \cdot 1000} \approx 4,4 \text{ м/с}.$$

Встановлюємо восьмий ступінь точності виробництва шестерень.

Коригований коефіцієнт навантаження визначаємо відповідно до формули (3.27).

$$k' = k_d \cdot k_{KH}, \quad (3.27)$$

$$k_d = 1,5; k_{KH} = 1.$$

$$k' = 1,5 \cdot 1 = 1,5.$$

Визначення розрахункового контактного напруження проводиться відповідно до формули (3.28).

$$\sigma_K = \frac{340}{A} \sqrt{\frac{M_{расч} \cdot K' (1+u)^3}{v \cdot u \cdot K_H}}, \quad (3.28)$$

$$\sigma_K = \frac{340}{82} \sqrt{\frac{6,35 \cdot 10^3 \cdot 1,5 \cdot (1+1)^3}{25 \cdot 1 \cdot 1}} = 123 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\sigma_K = 123 \text{ Н/мм}^2 < [\sigma_K] = 140 \text{ Н/мм}^2 < [\sigma_K]_H = 300 \text{ Н/мм}^2.$$

Обчислення недостатнього навантаження матеріалу здійснюється згідно з формулою (3.29). [21]

$$x = \frac{[\sigma_n] - \sigma_k}{[\sigma_n]} \cdot 100\%, \quad (3.29)$$

$$\sigma_k = \frac{140 - 123}{140} \cdot 100\% = 12\%.$$

Визначення розрахункових напружень від згину проводиться за формулою (3.30).

$$\sigma_u = \frac{2M_{расч} \cdot K'}{b \cdot m^2 \cdot Z' \cdot y}, \quad (3.30)$$

$$y = 0,092$$

$$\sigma_u = \frac{2 \cdot 6,55 \cdot 10^3 \cdot 1,5}{25 \cdot 5^2 \cdot 15 \cdot 0,092} \approx 22,8 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\sigma_u = 22,8 \text{ Н/мм}^2 < [\sigma_u] = 60 \text{ Н/мм}^2 < [\sigma_u]_{II} = 62,5 \text{ Н/мм}^2.$$

Ведома та ведуча шестерні задовольняють критеріям міцності. В рамках оптимізації виробничих витрат, вибираємо насос моделі НШ-30ГМ (див. рисунок 3.2) із міжвісною відстанню 82 мм. Також проводимо заміну його центральної частини та шестерень на виготовлені за новою технологією компоненти. [18]

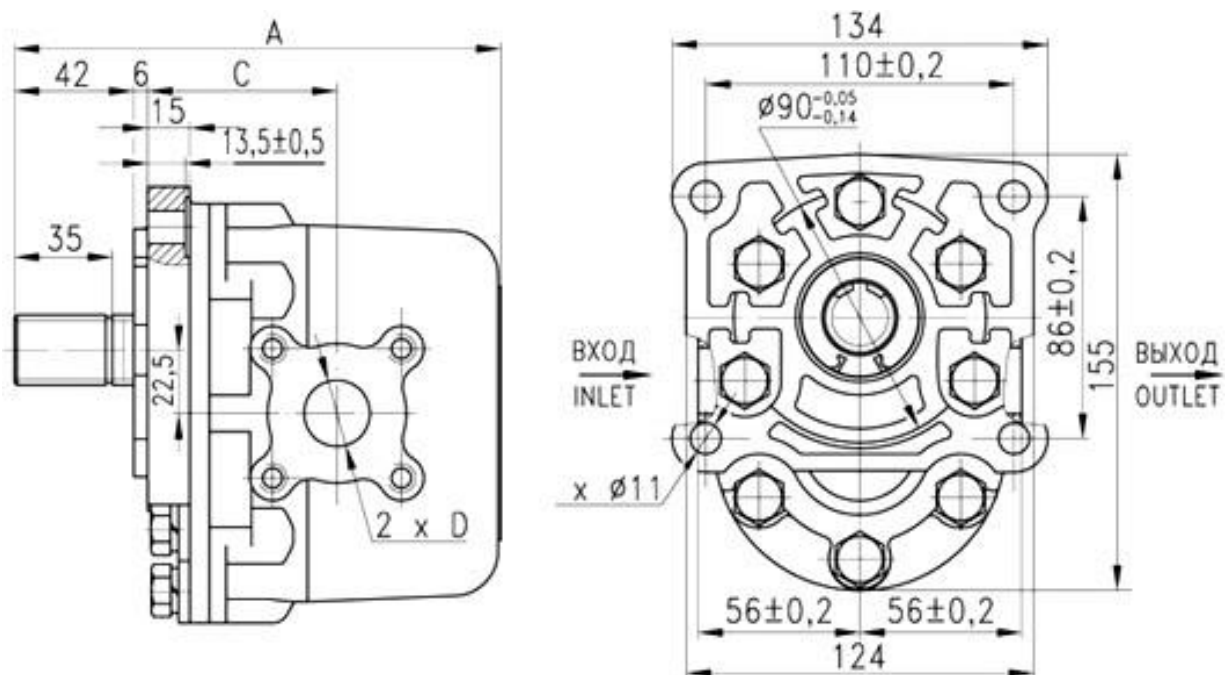


Рис. 3.2. Детальна схема насоса моделі НШ-30ГМ.

В зачепленні працюють наступні зусилля:

а) тангенціальне зусилля:

$$P = \frac{2M_{пасч}}{d_{гол}}, \quad (3.31)$$

$$P = \frac{2 \cdot 6,55 \cdot 10^3}{75} = 152 \text{ Н.}$$

б) радіальне зусилля:

$$R = P \cdot \operatorname{tg} \lambda, \quad (3.32)$$

$$\lambda = 26^\circ 39' 17''.$$

$$R = 152 \cdot 0,49 \approx 74,5 \text{ Н.}$$

Тиск на опору, створюваний радіальною силою R:

$$\rho = \frac{R}{F}, \quad (3.33)$$

F – площа опори (формула 3.34):

$$F = d \cdot l \quad (3.34)$$

d – діаметр валу насоса; d = 18 мм.;

l – ширина підшипника l = 18 мм.

$$F = 18 \cdot 18 = 324 \text{ мм}^2.$$

$$\rho = \frac{74,5}{324} \approx 0,23 \text{ Н/мм}^2.$$

Габарити l та d (зовнішній діаметр підшипника) були визначені на основі конструкційних особливостей задньої та середньої кришок насоса НШ-30 ГМ.

Допустимий питомий тиск для встановлений на рівні $1,2 \text{ Н/м}^2$, що означає:

$$p \leq [p] = 1,2 \text{ Н/м}^2$$

Швидкість ковзання вала вказана в пункті (3.35).

$$v = \frac{\pi d \cdot n}{60 \cdot 1000}, \quad (3.35)$$

$$v = \frac{3,14 \cdot 18 \cdot 1000}{60 \cdot 1000} \approx 0,9 \text{ Н/с.}$$

Кутова швидкість визначена в пункті (3.36).

$$\omega = \frac{v}{r}, \quad (3.36)$$

$$r = 9 \text{ мм.}$$

$$\omega = \frac{0,9}{0,009} = 100 \text{ Рад/с.}$$

Здійснюємо оцінку за критеріями, наведеними в пункті (3.37),

$$\sqrt{p \cdot v^3} = \sqrt{0,23 \cdot 0,9^3} \approx 0,01 \leq \sqrt{p \cdot v^3} = 5, \quad (3.37)$$

з яких випливає, що використовувані підшипники мають низький рівень навантаження.

3.3 Опис конструкції стенду

Стенд, призначений для діагностики кермових механізмів (див. рисунок 3.3), включає в себе основний корпус 9, насосну систему 3, силовий агрегат 1, вимірювальні інструменти та блок керування 2.

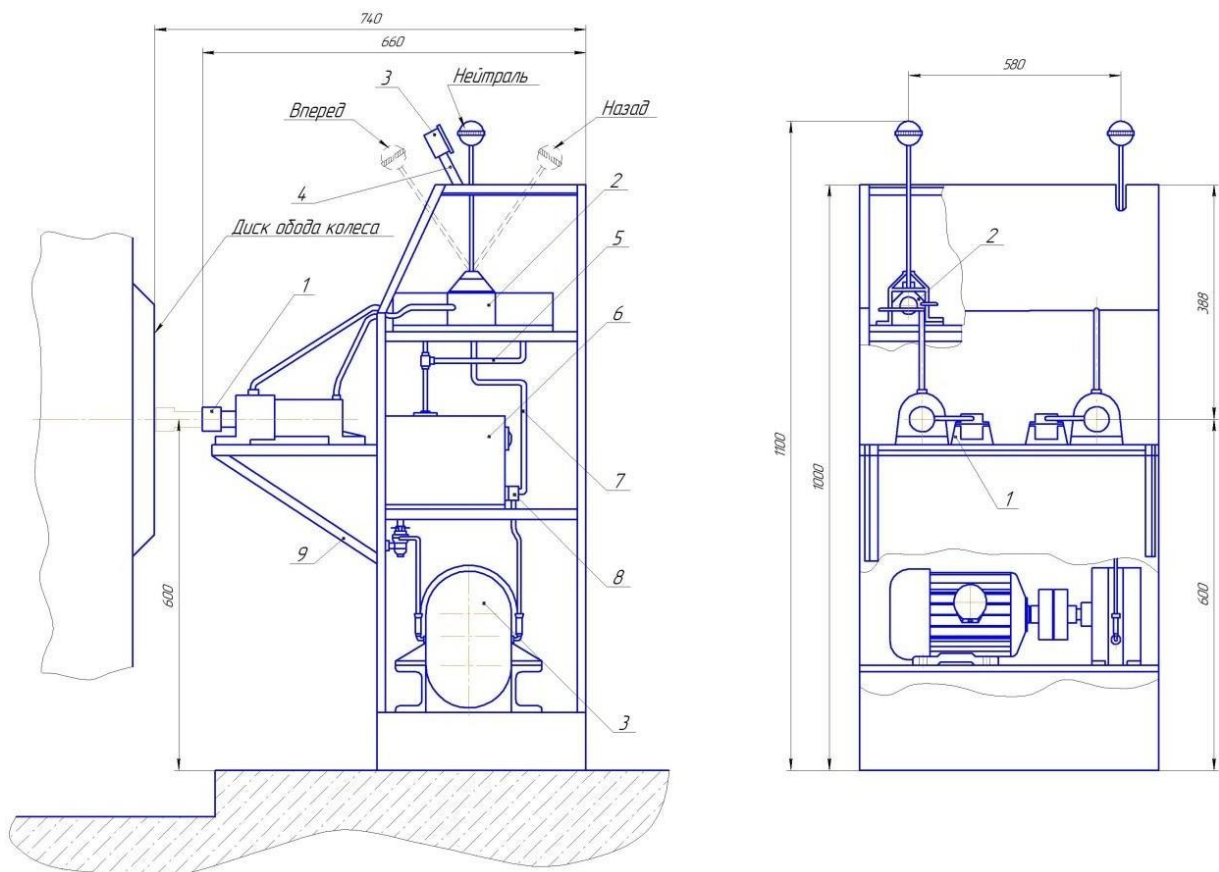


Рис. 3.3. Стенд для перевірки кермових систем.

Корпус стенду представляє зварену конструкцію, покриту полістиролом, яка забезпечує додаткову міцність і стійкість. У передній частині корпусу розташована рама, що служить опорою для силового блоку з устаткуванням для

вимірювань. Силовий блок (подивіться рисунок 3.4) містить два гідроциліндри. На кожному з штоків гідроциліндру встановлена втулка, до якої прикріплено вимірювальну лінійку. Ця лінійка є частиною комплексу для вимірювань, що включає нерухомий ноніус та його обойму. Вимірювальний комплекс кріпиться на стійку за допомогою гвинтів, що забезпечує надійність з'єднання з рамою, яка фіксується двома болтами.

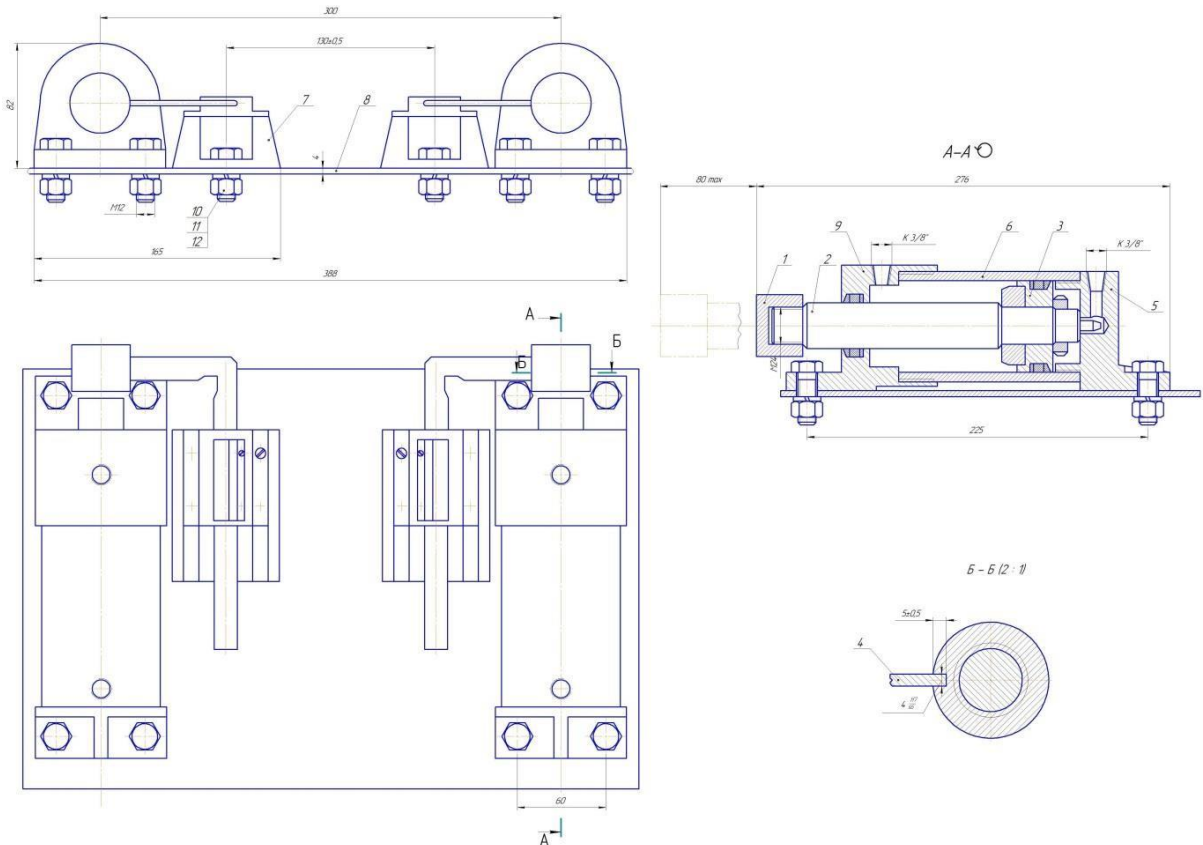


Рис. 3.4. Блок силовий.

Операції з гідроциліндрами керуються через управлінський блок, що містить два вентиля. Активація вентиля відбувається за допомогою рукоятки, яка через систему тяги, кільця та опори з'єднана з кінцевою частиною вентиля. В центральній частині корпусу розміщено масляний резервуар з об'ємом 20 літрів. Масло потрапляє з резервуара до насосу через фільтруючий елемент, а потім далі до вентилів через обратний клапан та розвантажувальну систему.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Сполучені повітряні камери

Головна функція будь-якої системи підвіски полягає в ізоляції кузова автомобіля від вібрацій, які викликані нерівностями на дорозі. Для оцінки ефективності систем підвіски існує чимало стандартів, які визначають критерії для їх вимірювання. Відомо, що тверда підвіска з високим рівнем демпфування оптимальна для покращення керованості та стабільності автомобіля, тоді як м'які пружини і слабе демпфування краще підходять для комфорту під час їзди. Таким чином, проектування підвіски є балансом між комфортом і керованістю транспортного засобу. Напівактивні системи підвіски, що включають регульовані амортизатори, забезпечують оптимізований комфорт і керованість, залежно від умов дороги. Варто підкреслити, що активні системи підвіски можуть вирішити проблему компромісу в дизайні, активно забезпечуючи необхідну силу між колесом і шасі, однак ці системи є значно дорожчими та складнішими в експлуатації. [13]

Газ, що знаходиться у самостійній повітряній камері, зображений на рисунку 4.1, демонструє поведінку, характерну для ізентропічного процесу:

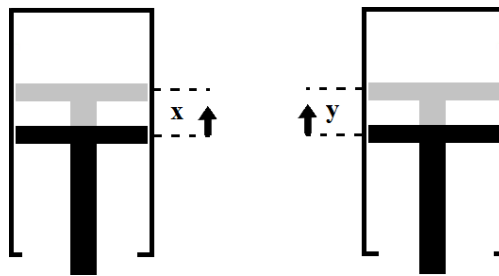


Рис. 4.1. Автономні повітряні камери.

$$\begin{aligned}
 PV^\gamma &= C \Rightarrow P = \frac{C}{V^\gamma} \\
 P(x) &= \frac{P_0 V_0^\gamma}{(V_0 - Ax)^\gamma} \Rightarrow F(x) = \frac{AP_0 V_0^\gamma}{(V_0 - Ax)^\gamma} \\
 P(y) &= \frac{P_0 V_0^\gamma}{(V_0 - Ay)^\gamma} \Rightarrow F(y) = \frac{AP_0 V_0^\gamma}{(V_0 - Ay)^\gamma}
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

У випадку, коли камери з'єднуються, як це зображено на рисунку 4.2, тиск у кожній з камер вирівнюється. Така умова вважається дійсною за умови, що елементи з'єднання, такі як труби та фітинги, не спричиняють втрат тиску.

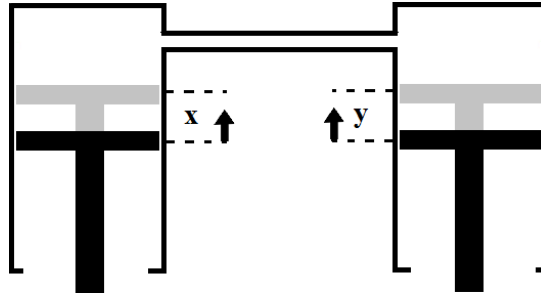


Рис. 4.2. З'єднані повітряні камери.

Таким чином, характеристику роботи системи можна визначити через ізентропічну залежність, яка описує об'єм газу в обох повітряних камерах.

$$P(x, y)(2V_0 - Ax - Ay)^{\gamma} = P_0(2V_0)^{\gamma}$$

$$F(x, y) = \frac{AP_0(2V_0)^{\gamma}}{(2V_0 - Ax - Ay)^{\gamma}} = \frac{AP_0V_0^{\gamma}}{\left(V_0 - A\left(\frac{x+y}{2}\right)\right)^{\gamma}} \quad (4.2)$$

За умови, що жорсткість повітряної камери є постійною величиною, позначеною як K , формула для сили у випадку двох взаємозв'язаних камер матиме вигляд:

$$F_{air-chamber} = F(x, y) = K \left(\frac{x+y}{2} \right) \quad (4.3)$$

Дане рівняння демонструє, що сила, створювана кожною з повітряних камер, пропорційна жорсткості та середньому відхиленню камер від точки рівноваги. Цей принцип можна поширити на будь-яку кількість повітряних камер, з'єднаних між собою. [5]

$$F_{air-chamber} = F(x_1, x_2, \dots, x_n) = K \left(\frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \right) \quad (4.4)$$

Для аналізу різних конфігурацій з'єднань у системах пропонується застосувати індекси, які характеризують ці з'єднання.

На рисунку 4.3 чорними лініями із позначенням i відображені можливі варіанти з'єднань між повітряними камерами. Значення $i = 0$ означає відсутність з'єднання, тоді як $i = 1$ свідчить про те, що відповідні повітряні камери з'єднані. Зазначені індекси використовуються для одного комплекту

повітряних камер (наприклад, камера 1 або камера 2) у кожній пневматичній системі підвіски. Для іншого комплекту камер приймається аналогічне позначення.

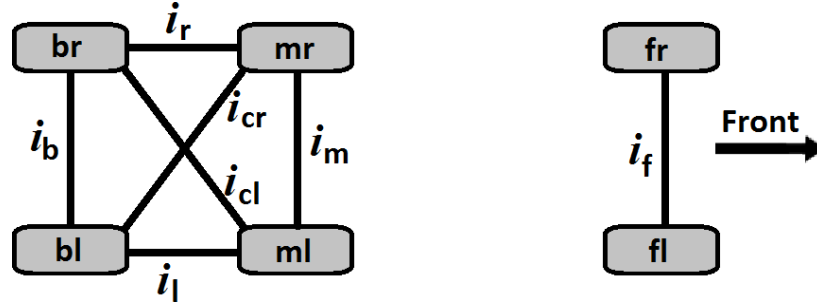


Рис. 4.3. Схематичний вигляд вантажівки зверху з позначенням індексів з'єднань.

$$\dot{X} = \underbrace{\begin{bmatrix} A_{C-\min} 9 \times 9 & A_{K-\min}^{IntCon-1} 9 \times 9 + A_{K-\min}^{IntCon-2} 9 \times 9 \\ I_{9 \times 9} & 0_{9 \times 9} \end{bmatrix}}_{A_{18 \times 18}} X + \underbrace{\begin{bmatrix} 0_{3 \times 12} \\ B_{C-\min} 6 \times 6 & B_{K-\min} 6 \times 6 \\ 0_{9 \times 12} \end{bmatrix}}_{B_{18 \times 12}} U \quad (4.5)$$

$$Y = \underbrace{\begin{bmatrix} 0_{6 \times 3} & C_{C-\min} 6 \times 6 & 0_{6 \times 3} & C_{K-\min} 6 \times 6 \end{bmatrix}}_{C_{6 \times 18}} X + \underbrace{\begin{bmatrix} D_{C-\min} 6 \times 6 & D_{K-\min} 6 \times 6 \end{bmatrix}}_{D_{6 \times 12}} U$$

$$K_z = 2K_{zf} + 4K_{zr}$$

$$K_1 = 2L_f K_{zf} - 2(L_m + L_b)K_{zr}$$

$$K_2 = 2L_f^2 K_{zf} + \left(2(L_m^2 + L_b^2) - (\text{sign}(i_r + i_l + i_{cr} + i_{cl})) (L_m - L_b)^2 \right) K_{zr}$$

$$K_3 = 2K_{zf} (1 - i_f) + 4K_{zr} (1 - \text{sign}(i_m + i_b + i_{cr} + i_{cl})) + \frac{K_{zf} + 2K_{zr}}{L_w^2}$$

$$K_{zf} = \frac{K_{ff}}{2L_w}$$

$$K_{zr} = \frac{K_{rr}}{2L_w}$$

$$a_1 = \frac{L_m (1 + i_m) + L_b (i_r + i_{cr})}{1 + i_m + i_r + i_{cr}}$$

$$a_5 = \frac{L_w (1 - i_m + i_r - i_{cr})}{1 + i_m + i_r + i_{cr}}$$

$$a_2 = \frac{L_m (1 + i_m) + L_b (i_l + i_{cl})}{1 + i_m + i_l + i_{cl}}$$

$$a_6 = \frac{L_w (1 - i_m + i_l - i_{cl})}{(1 + i_m + i_l + i_{cl})}$$

$$a_3 = \frac{L_b (1 + i_b) + L_m (i_r + i_{cl})}{1 + i_b + i_r + i_{cl}}$$

$$a_7 = \frac{L_w (1 - i_b + i_r - i_{cl})}{1 + i_b + i_r + i_{cl}}$$

$$a_4 = \frac{L_b (1 + i_b) + L_m (i_l + i_{cr})}{1 + i_b + i_l + i_{cr}}$$

$$a_8 = \frac{L_w (1 - i_b + i_l - i_{cr})}{1 + i_b + i_l + i_{cr}}$$

$$a_9 = \frac{L_f (1 + i_f)}{1 + i_f}$$

$$a_{10} = \frac{L_w (1 - i_f)}{1 + i_f}$$

$$\begin{aligned} a_{11} &= 1 + i_m + i_r + i_{cr} & a_{13} &= 1 + i_b + i_r + i_{cl} \\ a_{12} &= 1 + i_m + i_l + i_{cl} & a_{14} &= 1 + i_b + i_l + i_{cr} \end{aligned}$$

Як було зазначено, обидві підматриці жорсткості мають однакову загальну структуру, проте кожна з них відноситься до окремого набору повітряних камер:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} A_{K-\min} \\ \text{IntCon-1} \end{bmatrix} &\longrightarrow \begin{cases} K_{sf} = a_f^2 K_{sf1} \\ K_{sr} = a_r^2 K_{sr1} \end{cases} \\ \begin{bmatrix} A_{K-\min} \\ \text{IntCon-2} \end{bmatrix} &\longrightarrow \begin{cases} K_{sf} = b_f^2 K_{sf2} \\ K_{sr} = b_r^2 K_{sr2} \end{cases} \end{aligned} \quad (4.6)$$

де a_f , b_f і a_r , b_r , - коефіцієнти довжин для передніх і задніх пневматичних підвісок, відповідно.

K_{sf1} , K_{sf2} , and K_{sr1} , K_{sr2} , - жорсткості повітряних камер у передній і задній пневматичних підвісках, відповідно. [3]

Існує кілька можливих варіантів з'єднань для задніх пневматичних підвісок. У таблиці 4.1 представлено основні типи таких з'єднань для кожного набору повітряних камер. Усього можна реалізувати 25 різних конфігурацій з'єднань для задніх пневматичних підвісок. Наприклад, камери першого набору можуть бути з'єднані за схемою крок, тоді як камери другого набору - за схемою крен. Крім того, можливий сценарій, коли один набір камер з'єднаний, а другий залишається автономним (незалежним).

Таблиця 4.1. Основні конфігурації з'єднань.

Основна конфігурація з'єднань	Активні лінії з'єднання ($i=1$)
Незалежна	$i_r = i_l = i_m = i_b = i_{cr} = i_{cl} = 0$
З'єднання за схемою "крок"	$i_r = i_l = 1$
З'єднання за схемою "крен"	$i_m = i_b = 1$
Перехресне з'єднання	$i_{cr} = i_{cl} = 1$
Повне з'єднання	$i_r = i_l = i_m = i_b = i_{cr} = i_{cl} = 1$

4.2 Аналіз розподілу навантаження

Одним із ключових завдань є вивчення характеру розподілу навантаження між задніми колесами. Для цього введено нову передавальну функцію, що дозволяє визначити співвідношення сил, які діють на задні шини, залежно від різних впливів дорожніх нерівностей. Дане співвідношення сил розраховується за допомогою такої формули:

$$FR_{br/mr} = \frac{F_{gmr}}{F_{gbr}} = \frac{\frac{F_{gmr}}{Z_{gmr}}}{\frac{F_{gbr}}{Z_{gbr}}} \quad FR_{ml/mr} = \frac{F_{gmr}}{F_{gml}} = \frac{\frac{F_{gmr}}{Z_{gmr}}}{\frac{F_{gml}}{Z_{gml}}} \quad FR_{bl/mr} = \frac{F_{gmr}}{F_{gbl}} = \frac{\frac{F_{gmr}}{Z_{gmr}}}{\frac{F_{gbl}}{Z_{gbl}}} \quad (4.7)$$

$FR_{br/mr}$, $FR_{ml/mr}$ та $FR_{bl/mr}$ відображають співвідношення сил, які діють на другу праву задню шину, першу ліву задню шину та другу ліву задню шину відповідно до сили, що діє на першу праву задню шину. Це відбувається за умови, що нерівності дороги впливають саме на першу праву задню шину. Варто зазначити, що під час цього моделювання статичне навантаження не враховувалося.

4.3 Порівняння основних конфігурацій з'єднань

Термін "основні конфігурації з'єднань" відноситься до ситуації, коли обидва набори повітряних камер мають однаковий тип з'єднання. Наприклад, система з'єднань за схемою "крок" означає, що повітряні камери 1 з'єднані між собою за тим самим принципом, що й повітряні камери 2, і для обох наборів справедливо $i_r = i_l = 1$. Цей аналіз дозволяє виявити основні переваги та недоліки різних основних конфігурацій. [2]

На рисунках 4.4 – 4.6 представлені діаграми Боде, що відображають розподіл навантаження між задніми шинами для основних конфігурацій з'єднань, коли перша права задня шина піддається впливу дорожніх нерівностей.

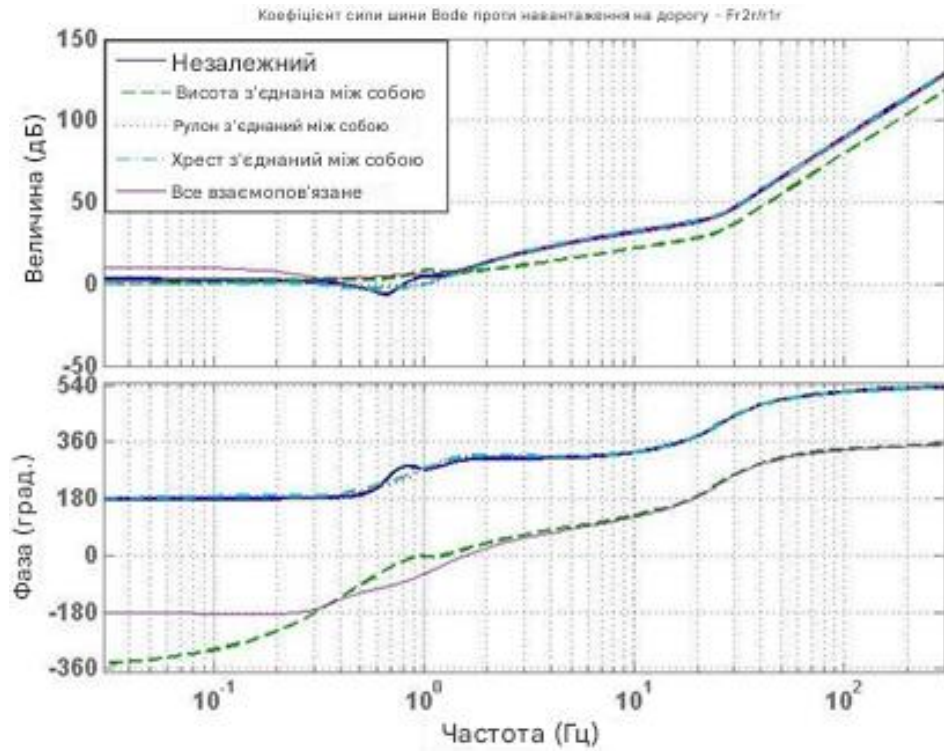


Рис. 4.4. Відношення сили другого правого заднього колеса до першого правого заднього.

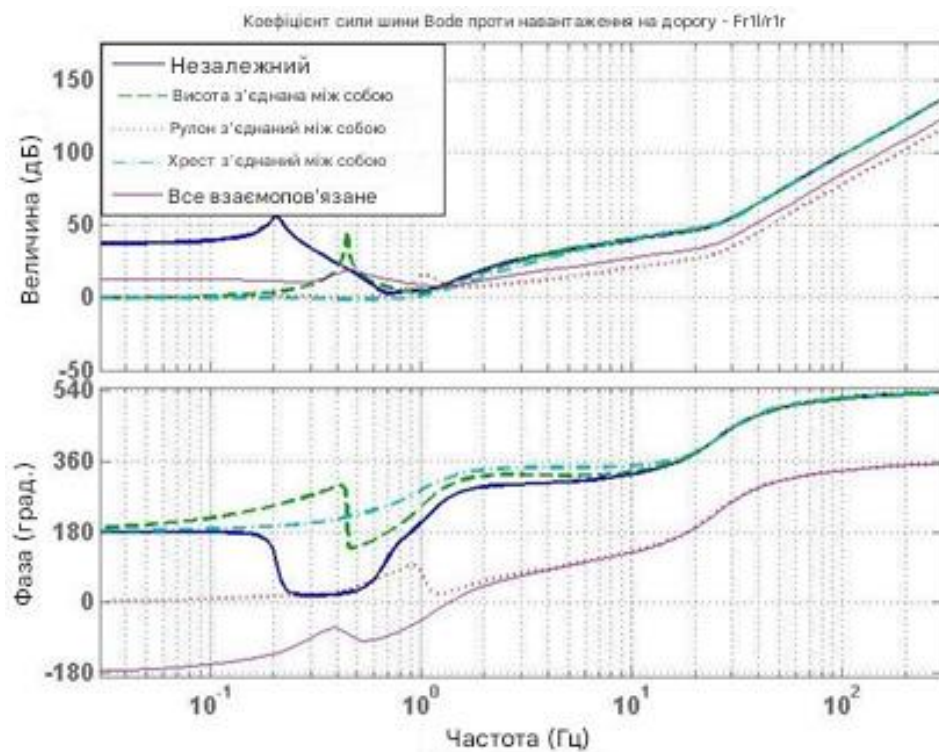


Рис. 4.5. Відношення сили першого лівого заднього колеса до першого правого заднього.

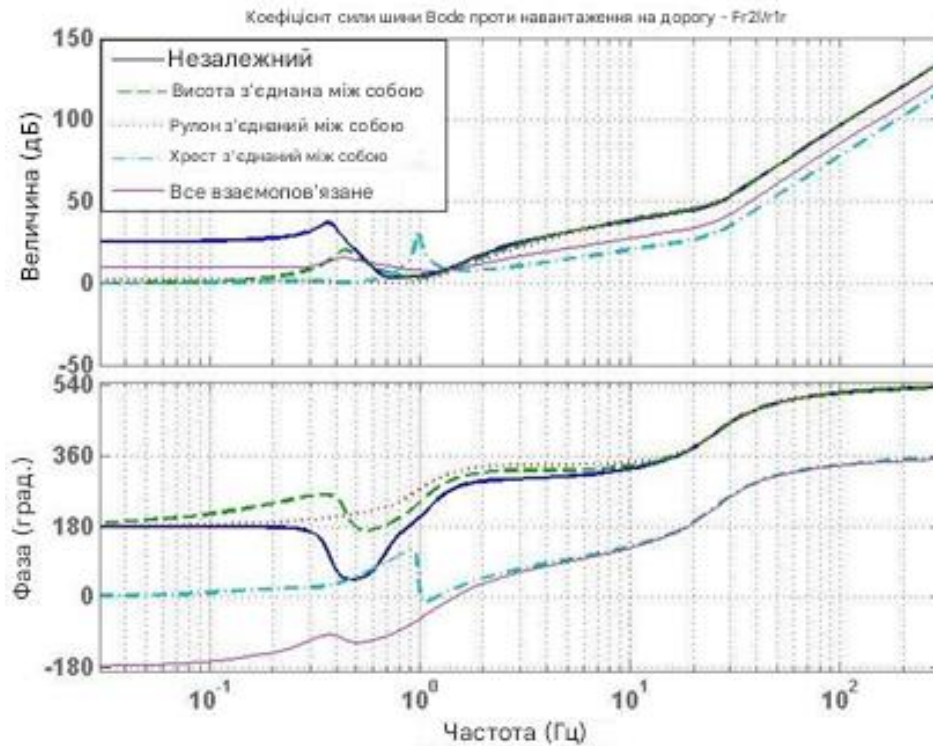


Рис. 4.6. Відношення сили другого лівого заднього колеса до першого правого заднього.

Оптимальне розподілення навантаження вимагає, щоб відношення сил між колесами досягало значення один. Це показує, що навантаження, прийняте одним колесом, рівномірно розподіляється між іншими колесами, і відношення сил дорівнює одиниці (нуль децибелів). На рисунках 17-19 видно, що парні задні колеса з обох сторін автомобіля ефективно використовують переваги сполучення через поперечну кренову взаємодію, завдяки чому навантаження більш рівномірно розподіляється між ними. Проте, таке сполучення не сприяє рівномірному розподілу навантаження між колесами різних осей. Тобто, поперечна кренова взаємодія не покращує розподіл навантаження між правими та лівими колесами.

Системи, що працюють на принципі крену та інші зв'язані з ними системи, ефективно здійснюють розподіл навантаження між колесами на осі. Натомість, лише системи поперечного з'єднання та пов'язані з ними здатні розподіляти навантаження між колесами різних осей. Виявлено, що саме пов'язані системи найкраще справляються з розподілом навантаження між правою і лівою частинами автомобіля. Однак, конфігурації, що включають з'єднання правих та лівих коліс (крен, поперечні з'єднання та всі пов'язані

системи), знижують кренову жорсткість. Обговорення цього недоліку продовжиться у подальших розділах. [1]

4.4 Аналіз режимів руху

Спектр власних значень системи визначає її природні коливальні частоти в залежності від режимів руху. Для виявлення цих значень застосовуються рівняння простору станів системи. Матриця "A" ілюструє основні характеристики системи. Власні значення визначаються з матриці "A" шляхом рішення даного рівняння:

$$\det(A - \lambda_i I) = 0 \quad (4.8)$$

де λ_i - власні значення системи. Природна частота та коефіцієнт демпфування комплексного числа, такого як " $\lambda_i = a + bj$ ", є:

$$\omega_i = |\lambda_i| = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{2\pi} \text{ (Hz)} \quad (4.9)$$

$$\zeta_i = \frac{|a|}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

Нижчі природні частоти визначають провідні режими вібрацій. Зазвичай виділяють три основні природні частоти, що кореспондують з частотами рухів відбою, нахилу та крену. Природні частоти для ключових конфігурацій зв'язків наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Основні природні частоти системи, визначені з власних значень системи.

Конфігурація з'єднань	Відбій (Гц)	Нахил (Гц)	Крен (Гц)
Без з'єднань	1.2485	1.3448	1.1330
З'єднання нахилу	1.2482	1.2991	1.1330
З'єднання крену	1.2485	1.3448	0.9304
Хрестоподібне з'єднання	1.2482	1.2991	0.9304
Повне з'єднання	1.2482	1.2991	0.9304

Таблиця 2.2 демонструє, що частота відбою залишається незмінною в усіх конфігураціях, в той час як частоти нахилу та крену змінюються залежно від

типу з'єднань. Згідно з прогнозами, з'єднання нахилу та крену призводять до зниження відповідних частот. Оскільки системи з хрестоподібним та повним з'єднанням включають характеристики з'єднань нахилу та крену, то природні частоти нахилу та крену також зменшуються. Більше того, різниця між з'єднаними та не з'єднаними частотами нахилу є мінімальною, проте для частоти крену вона сягає приблизно 20%.[9]

4.5 Моделювання дорожніх умов

Початковим етапом моделювання підвісної системи на дорозі є створення її профілю. Це вимагає перетворення спектральної функції в фізичний профіль дороги за стандартом ISO 8608, який є міжнародним стандартом для класифікації доріг. Процес переведення функції PSD, що описує певний дорожній профіль, у відношення висоти до відстані, може бути реалізований за допомогою методу:

$$Z_g(x) = \sum_{k=1}^s S_k \sin(2\pi k \Delta\Omega x + \theta_k) \quad (4.10)$$

$$S_k = \sqrt{2(\Delta\Omega)S(k\Delta\Omega)}$$

де S_k вказує на амплітуду гармонічних збуджень, оцінених за функцією PSD, $\Delta\Omega$ представляє ширину просторових частот, яка береться до уваги, а θ_k - це випадковий фазовий кут.

Таблиця 4.3 Ілюструє шорсткість поверхонь різних типів доріг.

Клас дороги	Шорсткість Діапазон (мм)	Геометричне Середнє (мм)
Дуже добра (A)	<8	4
Добра (B)	8-32	16
Середня (C)	32-128	64
Погана (D)	128-512	256
Дуже погана (E)	512-2048	1024

Рисунок 4.7 відображає різні дорожні профілі з однаковою фазою, але різною ступенем шорсткості.

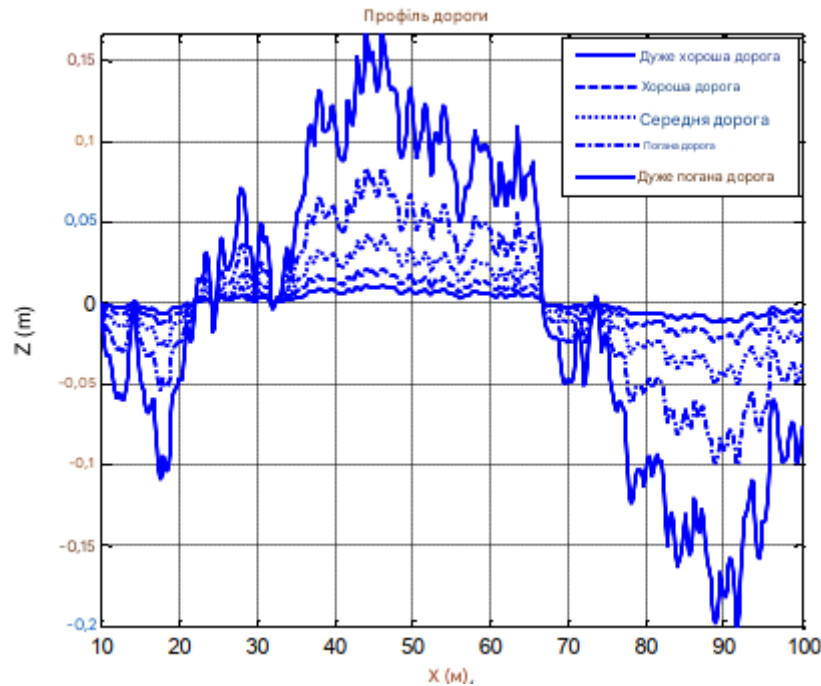


Рис. 4.7. Різноманітність доріг.

У рамках цієї роботи для моделювання з'єднаної підвіски в екстремальних умовах обрано погану дорогу (D). Використання програмного коду Matlab дозволяє визначити силу дії на шину та динаміку кузова автомобіля за сгенерованим профілем дороги. Для аналізу навантаження на шину в різних конфігураціях з'єднань застосовують квадратичне середнє значення (RMS) та максимальну силу на шині. [6]

Таблиці 4.4 та 4.5 демонструють RMS і максимальну силу на задньому колесі на відстані одного кілометра по поганій дорозі при швидкості 10 м/с. З даних таблиць видно, що системи з'єднань крену, хрестоподібні та комплексні з'єднання забезпечують приблизне покращення розподілу навантаження на 10% у порівнянні з класичною незалежною пневматичною підвіскою. Втім, нахилове з'єднання не призводить до більш рівномірного розподілу навантаження між шинами.

З'єднання пневматичних підвісок не спричиняє суттєвих змін у русі кузова автомобіля при відбої, нахилі та крені. Згідно з даними таблиці 4.6, різні типи з'єднань не впливають на рух під час відбою, і тільки хрестоподібне з'єднання може покращити ефективність підвіски при русі нахилу та крену.

Таблиця 4.4 RMS задньої шини (e4) для різних основних конфігурацій з'єднання.

Основні конфігурації	Сила першої правої задньої шини (mr)		Сила першої правої задньої шини (mr)		Сила другої правої задньої шини (br)		Сила другої лівої задньої шини (bl)		Середнє по всіх шинам
Незалежна	2.090	100%	2.132	100%	2.013	100%	2.043	100%	100%
З'єднання нахилу	2.053	98.2%	2.097	98.3%	2.051	101.9%	2.080	101.8%	100%
З'єднання крену	1.807	86.5%	1.847	86.6%	1.781	88.5%	1.811	88.6%	87%
Хрестоподібне з'єднання	1.820	87.1%	1.857	87.1%	1.772	88.1%	1.798	88%	87.6%
Повне з'єднання	1.802	86.2%	1.841	86.3%	1.789	88.9%	1.816	88.9%	87.6%

Таблиця 4.5. Максимальна сила задніх шин (e4) за різними основними конфігураціями з'єднання.

Основні конфігурації	Сила першої правої задньої шини (mr)		Сила першої правої задньої шини (mr)		Сила другої правої задньої шини (br)		Сила другої лівої задньої шини (bl)		Середнє по всіх шинам
Незалежна	7.002	100%	5.969	100%	6.483	100%	5.437	100%	100%
З'єднання нахилу	7.070	101%	5.900	98.8%	6.624	102%	5.653	104%	101.5%
З'єднання крену	5.906	84.3%	5.406	90.6%	5.627	86.8%	5.497	101%	90.7%
Хрестоподібне з'єднання	5.953	85%	5.690	95.3%	5.683	87.6%	5.29	97.4%	91.3%
Повне з'єднання	5.924	84.6%	5.396	90.4%	5.677	87.5%	5.498	101%	90.9%

Таблиця 4.6 ілюструє динаміку руху кузова при відбої, нахилі та крені.

Основні конфігурації	Відбій (м)		Кут нахилу (град)		Кут крену (град)	
Незалежна	0.0327	100%	0.2229	100%	2.2256	100%

З'єднання нахилу	0.0327	100%	0.2098	94%	2.2256	100%
З'єднання крену	0.0327	100%	0.2229	100%	2.1313	95.7%
Хрестоподібне з'єднання	0.0327	100%	0.2098	94%	2.1313	95.7%
Повне з'єднання	0.0327	100%	0.2098	94%	2.1313	95.7%

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Виконання робіт із застосуванням домкратів

Технічний стан домкратів, режим їх роботи та обслуговування повинні відповідати вимогам заводських інструкцій. На кожному домкраті необхідно зазначати: інвентарний номер, вантажопідйомність, дату наступного випробування та належність домкрата певному підрозділу. Для піднімання та переміщення вантажів необхідно застосовувати тільки справні домкрати. Перед початком виконання робіт із застосуванням домкратів їх необхідно оглянути. Домкрати, що перебувають в експлуатації, повинні проходити технічне опосвідчення (огляд і випробування) не рідше одного разу на рік. Технічне опосвідчення необхідно проводити також після ремонту або заміни головних деталей домкратів. Дату і результати випробувань домкратів необхідно записувати в «Журнал обліку та огляду такелажних засобів, механізмів і пристроїв» із зазначенням дати наступного випробування, а також відомостей про проведені ремонти або замінювання головних деталей.

Домкрати необхідно випробовувати протягом 10 хв статичним навантаженням, що перевищує номінальну вантажопідйомність домкрата на 10% . Під час проведення цього випробування гвинт (рейку, шток) домкрата необхідно висунути (підняти) у крайнє верхнє положення. Для гідравлічних домкратів не допускається зниження тиску наприкінці випробування більш ніж на 5%.

Під час піднімання вантажів домкратами слід дотримуватися таких вимог:

бруски, дошки завтовшки від 40 до 50 мм) більшої площі, ніж площа основи корпусу домкрата;

домкрат необхідно встановити строго в вертикальне положення відносно вантажу, що піднімається, а в разі пересування вантажу - без перекошування до опорної частини вантажу;

головку (лапу) домкрата необхідно упирати в міцні вузли обладнання, що піднімається домкратом, для запобігання їх зламу. У цьому разі між головою (лапою) та вантажем необхідно покласти пружну прокладку;

головка (лапа) домкрата повинна опиратись на вантаж, що піднімається домкратом, усією своєю площиною - для запобігання зісковзуванню вантажу під час піднімання;

усі обертові частини привода домкрата повинні вільно (без заїдань) обертатись вручну;

усі частини домкрата, що труться, необхідно періодично змащувати густим мастилом;

під час піднімання вантажу необхідно стежити за його стійкістю;

у міру піднімання вантажу під нього необхідно укласти підкладки, а в міру його опускання - поступово виймати їх.

Навантаження домкрата не повинно перевищувати його вантажопідйомність, зазначену в паспорті.

Звільняти домкрат з-під піднятого вантажу та переставляти його допускається тільки після надійного закріплення вантажу в піднятому положенні або укладання його на стійкі опори (шпальну кліть).

Не дозволяється застосовувати подовжувані (труби), що надягаються на рукоятку домкрата, знімати руку з рукоятки домкрата до опускання вантажу на підкладки та залишати вантаж на домкраті під час перерви в роботі, а також приварювати до лап домкратів труби або кутики.

Опорна поверхня головки домкрата повинна бути такою, що запобігає проковзуванню вантажу, який піднімається домкратом.

Гвинтові та рейкові домкрати повинні мати стопорні пристосування - для запобігання виходу гвинта або рейки в разі перебування штока у верхньому крайньому положенні.

Рейкові домкрати повинні мати автоматичне гвинтове гальмо (безпечну рукоятку) - для запобігання самочинному опусканню вантажу. Домкрати з електричним приводом повинні мати

пристрій для автоматичного вимкнення двигуна в крайніх (верхньому та нижньому) положеннях штока.

Під час піднімання вантажу рейковим домкратом собачку необхідно накинути на храповик.

Гідравлічні домкрати повинні мати:

щільні з'єднання - для запобігання витіканню рідини з робочих циліндрів під час піднімання та переміщування вантажів;

пристосування (зворотні клапани, діафрагму) - для забезпечення повільного та плавного опускання штока або зупинення його в разі пошкодження трубопроводів, що підводять або відводять рідину;

герметичні з'єднання гідросистеми (капання та підтікання робочої рідини не допускаються), чисті канали, чисті нарізи та внутрішні поверхні. Запірна голка повинна вільно обертатись за допомогою воротка, а гвинт робочого плунжера - від зусилля руки;

непогнуті спускні вентиля, масляну ванну без тріщин, зворотний клапан, що не пропускає робочу рідину, справні манжети, плунжер із прозіром між ним та корпусом менше 1 мм.

Підготовлений до роботи домкрат повинен працювати під повним навантаженням без заїдань.

Робоча рідина, яка застосовується в домкратах, повинна відповідати таким вимогам:

робоча рідина повинна бути чистою перед заливанням її в домкрат і профільтрованою через металеву сітку, виготовлену з дроту діаметром не менше 0,12 мм та кількістю отворів на 1 см² від 1200 до 1300;

робоча рідина повинна заливатись в домкрат до краю його наливного отвору за допомогою мірної посудини (перед заливанням цієї рідини в домкрат запірну голку необхідно відвернути, а плунжери опустити в крайнє положення);

тиск робочої рідини (який визначається за показаннями встановленого на домкраті манометра) не повинен перевищувати максимального значення, зазначеного в паспорті домкрата;

за мінусової температури довкілля в домкраті повинна застосовуватись робоча рідина, що не замерзає.

У разі необхідності утримувати гідравлічними домкратами вантаж у піднятому положенні під головку поршня між циліндром та вантажем

необхідно підкладати спеціальні сталеві підкладки у вигляді напівкілець - для запобігання раптовому опусканню поршня внаслідок зниження тиску в циліндрі.

За необхідності тривалий час утримувати вантаж у піднятому положенні його слід обперти на напівкільця і зняти тиск.

5.2 Оцінка пожежної та інженерної обстановки

Масштаби і характер пожеж залежать від типу і об'ємів ураження, характеристик забудови, пожежної небезпеки об'єктів, метеорологічних умов та інших факторів.

Під пожежною обстановкою треба розуміти масштаби і щільність ураження пожежами населених пунктів, об'єктів і прилягаючих до них лісних масивів, що оказують вплив на роботу об'єктів господарської діяльності, життєдіяльність населення, а також на організацію і проведення рятувальних та невідкладних робіт.

Попередня оцінка пожежної обстановки має мету виявити можливі осередки виникнення суцільних пожеж і вогневих штормів та спланувати проведення попереджувальних протипожежних- заходів, а також розробити план ліквідації суцільних пожеж та вогневих штормів на випадок їх виникнення.

При оперативній оцінці пожежної обстановки визначаються- зони суцільних пожеж, протяжність фронту вогню в осередках ураження і кількість протипожежних сил, необхідних для ліквідації пожеж. Всі розрахунки проводяться в залежності від ступеню ураження міста (населеного пункту) та їх площі.

Оперативна оцінка пожежної обстановки виконується на плані міста (населеного пункту, об'єкту) з відображенням на ньому: важливих об'єктів, основних джерел протипожежного- водозабезпечення і під'їзди до них, можливі зони суцільних пожеж і вогневих штормів, розміщення протипожежних сил, організацію взаємодії з іншими силами та органами управління з питань цивільної оборони та з надзвичайних ситуацій.

Підвали та інші заглиблені і підземні приміщення і споруди, які пристосовуються під простіші укриття, повинні бути достатньо міцні, з огорожуючими конструкціями із негорючих матеріалів і не мати транзитних комунікацій (трубопроводів опалення і забезпечення водою діаметром більше 70 мм, паропроводів більше 40 мм, кабелів високої напруги). Місткість укриттів в підвалах будинків рекомендується приймати 50-300 чоловік.

У підземних гірських виробітках в залежності від їх характеристик і місця розташування можуть створюватися сховища і протирадіаційні укриття. Гірські виробітки можуть використовуватися для розміщення пунктів управління, укриття матеріальних ресурсів, розміщення виробництв з унікальним обладнанням, холодильників тощо.

Для планування проведення Р і НР у населених пунктах при пожежах важливою є оцінка можливості проходження техніки, людей.

З метою визначення масштабів руйнування, обсягів, термінів і черговості, а також сил і засобів для проведення Р і НР проводиться оцінка інженерної обстановки.

Перш за все необхідно визначити ступінь руйнування населеного пункту і об'єкта господарювання. Знаючи ступінь руйнування, можна визначити величину збитків, обсяги рятувальних і невідкладних робіт.

Об'єми і терміни проведення аварійно-рятувальних і невідкладних- робіт залежать від ступеня руйнування будинків, споруд і об'єктів народного господарства. [24]

При визначенні ступеня руйнування враховується характер руйнування, збитків і можливості подальшого використання і відновлення.

Прийняті наступні ступені руйнування: повне, сильне, середнє і слабе. Кожному ступеню руйнування відповідає своє значення збитків, об'єму рятувальних і невідкладних аварійних- робіт, а також об'єми і терміни проведення відновлювальних робіт. Розглянемо характеристику ступенів руйнування.

Повні руйнування – це руйнування всіх елементів будівель, у тому числі й підвальних приміщень, ураження людей, що знаходяться в них, збитки становлять більше 70% вартості основних виробничих фондів (балансної

вартості). Подальше їх використання неможливе.

Сильні руйнування – збитки 30-70%. Потрібен капітальний ремонт. Середні руйнування – збитки 10-30%. При середньому ремонті відновлюється техніка, транспорт, промислове обладнання. Будівлям необхідно капітальний ремонт.

Слабкі руйнування – це руйнування вікон, дверей та перегородок. Ураження людей можливе уламками конструкцій. Збитки до 10%. Відновлення можливе після середнього або поточного ремонту.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота магістра, організована на основі декількох ключових розділів, демонструє глибоке занурення в тему рульових систем і підвіски автомобіля, інтеграцію технологічних інновацій, конструкційних розробок і наукових досліджень із застосуванням сучасних методів діагностики та тестування.

Загально-технічний розділ вводить читача в область рульових систем і підвіски, деталізуючи конструкцію рульової колонки та систем гідравлічного керування. Він закладає фундамент для подальших досліджень із чіткою постановкою завдань для дослідницької роботи.

Технологічний розділ зосереджується на несправностях, обслуговуванні та ремонті рульових механізмів, а також удосконаленнях у цих процесах. Особливу увагу приділено сучасним системам з електропідсилювачем, що вказує на актуальність та практичну значущість дослідження.

Конструкторський розділ представляє новорозроблений стенд для тестування рульових систем, аналізуючи його принципи роботи, конструктивні особливості та можливості. Це демонструє інноваційний підхід автора до розробки та впровадження нових технологічних рішень у практику.

Науково-дослідний розділ включає аналіз повітряних камер, навантажень, порівняльний аналіз конфігурацій з'єднань та режимів руху. Моделювання дорожніх умов допомагає краще зрозуміти вплив різних параметрів на поведінку автомобіля на дорозі, що є ключовим для підвищення безпеки руху.

Розділ охорони праці та безпеки акцентує на важливості безпечних методів роботи, особливо під час використання домкратів, та оцінює пожежну та інженерну безпеку в надзвичайних ситуаціях, підкреслюючи необхідність комплексного підходу до забезпечення безпеки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Methodology of Force Parameters Justification of the Controlled Steering Wheel Suspension. B. Sokil, O. Lyashuk, M. Sokil, Y. Vovk, I. Lebid, I. Hevko, M. Levkovych, R. Khoroshun, A. Matviyishyn. - COMMUNICATIONS, 2022. - Vol. 24, № 3, P. 247-258. (Scopus).
2. Sakhno, V.P., Yashchenko, D.M., Marchuk, R.M., Marchuk, N.M., Lyashuk, O.L.. Research of a truck train movement when driving semi-trailer by slow downing wheels of one axis pin on the mode. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering Open Access Volume 17, Issue 1, 1 January 2020, Pages 7749-7757 <https://www.scopus>.
3. Information Technologies Use in the Study of Functional Properties of Wheeled Vehicles. Lyashuk O., Stashkiv M., Lytvynenko Iaroslav, Sakhno V., Khoroshun R. CEUR Workshop Proceedings. 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, ITTAP 2023. Ternopil 22 November 2023 до 24 November 2023. 3628, с. 370-381. <https://www.scopus>.
4. Міронов Д.В., Ляшук О.Л., Гевко І.Б., Гупка А.Б., Слободян Л.М., Гевко Б.Р., Хорошун Р.В. Розробка моделі узагальненого діагностичного показника технічного стану ходової частини автомобіля з використанням математичних методів теорії планування експерименту. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. – № 2 (21). Луцьк: 2023. - С. 135 – 144.
5. 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.
6. Comprehensive Assessment Of Technical Condition Of Vehicles During Operation Based On Harrington's Desirability Function. Aulin V., Rogovskii I., Lyashuk O., Titova L., Hryniv A., Mironov D., Volianskyi M., Rogatynskyi R., Solomka O., Lysenko S. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Technology Center. Ukraine. Том 1. Випуск 3(127), 2024. с. 37-46.
7. Rogatynskyi, R., Lyashuk, O., Hevko I., Horoshyn, R., & Shevchuk, V. (2023). Модель руху автомобіля по криволінійній трасі. Вісник Львівського

державного університету безпеки життєдіяльності, 28, 115-122.

<https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20784643.28.2023.11>

8. Ляшук О. Л., Рогатинський Р. М., Гевко І. Б., Хорошун Р. В., Кашканова Г. Г., Антонюк О. П. Модель проходження повороту автомобілем . Вісник машинобудування та транспорту, ВНТУ.- No2(18) 2023.- С. 91-97.

9. Синтез підвіски автотранспортних засобів/ І.Б. Гевко, О.Л. Ляшук, Р.М. Рогатинський, А.Й. Матвіїшин, Р.В. Хорошун/ Центральноукраїнський науковий вісник. Технічна наука. -№ 8(39)_I, 2023.-С. 153-164.

10. Liashuk O., Hevko I., Hud V., Khoroshun R., Hevko B., Matviishyn A., Sipravska M. Stands for car suspension research. Bulletin of Lviv National Environmental University. Agroengineering Research, No. 26 (2022). С 93-103.

11. 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>. (Scopus).

12. Ляшук О. Л., Клендій В. М., Хорошун Р. В. Конспект лекцій з дисципліни «Технічна експлуатація автомобілів» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт». Тернопіль: Вид. ТНТУ, 2018. 302 с.

13. В.В. Аулін, О.Л. Ляшук, А.В. Гриньків, С.В. Лисенко, Д.В. Міронов, Л.М. Слободян, Р.М. Рогатинський Оптиміальний комплекс операцій технічного обслуговування і ремонту для підвищення надійності вузлів, систем та агрегатів мобільних машин Збірник наукових праць. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Випуск № 8(39)_II. - Кропивницький. - 2023. - С. 175-189.

14. О.Л. Ляшук, М.Г. Левкович, Д.В. Міронов, В.О. Тесля. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт» галузі знань 27 «Транспорт». – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2023. – 60 с.

15. Підручник з будови автомобіля. Видання третє. Виправлене й доповнене – Моноліт 2021 – 288 с.

16. 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.

17. 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.

18. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. – К.: Мінтранс України, 1998. – 16 с. – (Нормативний документ Мінтрансу України).

19. Андрусенко С. І. Технологічне проектування автотранспортних підприємств: навч. посіб. / Андрусенко С. І., Білецький В. О., Бортницький П. І.; за ред. проф. С. І. Андрусенка. – К. : Каравела, 2009. – 368 с.

20. Законодавство України про автомобільний транспорт: збірник законодавчих актів : станом на 1 травня 2005 р. / Верховна Рада України. – К.: Парламентське видавництво, 2005. – 140 с. – (Нормативні директивні правові документи).

21. 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.

22. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. Книга 2: організація, планування і управління : підручник / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигиринець – К.: "Вища школа", 1994. – 383 с.

23. Курніков І. П. Технологічне проектування підприємств автомобільного транспорту : навчальний посібник / І. П. Курніков, М. К. Корольов, В. М. Токаренко. – К. : Вища школа, 1993. – 191 с.

24. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.