

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Модернізація технічного обслуговування та ремонту рульової рейки автомобіля Nissan Qashqai з дослідженням керованості автомобіля

Виконав: студент 6 курсу, групи МАМ-61

спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Юрій ДУБОВИЙ

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Керівник

Олег ЛЯШУК

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Нормоконтроль

Михайло ЛЕВКОВИЧ

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Зав. кафедри

Олег ЦЬОНЬ

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент

(ім'я та прізвище)

(підпис)

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) (ім'я та прізвище)  
«14» листопада 2025 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 Дубовому Юрію Борисовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація технічного обслуговування та ремонту рульової рейки автомобіля Nissan Qashqai з дослідженням керованості автомобіля

Керівник роботи Ляшук Олег Леонтійович., д.т.н., проф.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19 грудня 2025

3. Вихідні дані до роботи Базовий ТП ремонту рульової рейки автомобіля Nissan Qashqai

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)

Механізм рульового керування – 1А1.

Рейка рульового механізму – 1А1.

Приспосіблення для розбирання-збирання рульової рейки – 1А1.

Пристосування для правки рульових валів – 1А1.

Стенд для перевірки рульових механізмів – 1А1.

Патентно-інформаційний пошук – 2А1.

Результати наукових досліджень – 1А1.

## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ                           | Посада, ім'я та прізвище 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 14.11.2025р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів роботи                               | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1     | Загально-технічний розділ                         | 17.11.25                       |          |
| 2     | Технологічний розділ                              | 24.11.25                       |          |
| 3     | Конструкторський розділ                           | 01.12.25                       |          |
| 4     | Науково-дослідний розділ                          | 08.12.25                       |          |
| 5     | Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях | 15.12.25                       |          |
| 6     | Оформлення графічної частини                      | 15.12.25                       |          |
| 7     | Захист кваліфікаційної роботи магістра            |                                |          |
|       |                                                   |                                |          |
|       |                                                   |                                |          |
|       |                                                   |                                |          |
|       |                                                   |                                |          |
|       |                                                   |                                |          |
|       |                                                   |                                |          |
|       |                                                   |                                |          |
|       |                                                   |                                |          |
|       |                                                   |                                |          |
|       |                                                   |                                |          |

Студент

(підпис)

Юрій ДУБОВИЙ

(ім'я та прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Олег ЛЯШУК

(ім'я та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Модернізація технічного обслуговування та ремонту рульової рейки автомобіля Nissan Qashqai з дослідженням керованості автомобіля».

Робота виконана на кафедрі автомобілів ТНТУ ім. І. Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи магістра д.т.н. професор Олег Леонтійович Ляшук.

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 72 сторінок формату А4 та 8 аркушів формату А1 графічної частини сторінок додатків.

Ключові слова: технічне обслуговування; ремонт; модернізація; діагностування; відновлення деталей.

## ЗМІСТ

|                                                                                               |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Вступ.....</b>                                                                             | <b>6</b>  |
| <b>1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....</b>                                                       | <b>7</b>  |
| 1.1 Особливості конструктивного виконання рульового керування.....                            | 7         |
| 1.2 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу магістра.....                    | 11        |
| <b>2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....</b>                                                            | <b>14</b> |
| 2.1 Огляд і контроль технічного стану рульового керування автомобіля.....                     | 14        |
| 2.2 Демонтаж і монтаж кермового колеса.....                                                   | 17        |
| 2.3 Демонтаж і монтаж кожуха рульової колонки.....                                            | 19        |
| 2.4 Демонтаж і монтаж рульової колонки.....                                                   | 20        |
| 2.5 Заміна зовнішнього наконечника рульової тяги.....                                         | 26        |
| 2.6 Заміна рульової тяги.....                                                                 | 28        |
| 2.7 Заміна рульового механізму.....                                                           | 29        |
| 2.8 Технологічний процес ремонту рульової рейки автомобіля Nissan Qashqa                      | 33        |
| <b>3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....</b>                                                         | <b>36</b> |
| 3.1 Розрахунок рульового керування.....                                                       | 36        |
| 3.2 Алгоритм розрахунку рульового керування.....                                              | 37        |
| 3.3 Рульовий механізм.....                                                                    | 40        |
| 3.4 Вихідні параметри та розрахунок рульового керування.....                                  | 42        |
| <b>4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ.....</b>                                                        | <b>46</b> |
| 4.1 Модель руху транспортних засобів малої тоннажності на криволінійних ділянках дороги ..... | 46        |
| <b>5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....</b>                               | <b>63</b> |
| 5.1 Основні заходи запобігання електротравматизму.....                                        | 63        |
| 5.2 Визначення та облік об'єктів підвищеної небезпеки 1 та 2 класу.....                       | 66        |
| <b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>                                                                 | <b>69</b> |
| <b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....</b>                                                                  | <b>71</b> |
| <b>ДОДАТКИ</b>                                                                                |           |

## ВСТУП

Сучасний етап розвитку автомобільного транспорту характеризується зростанням інтенсивності дорожнього руху, підвищенням вимог до активної безпеки транспортних засобів та необхідністю забезпечення їх надійної і стабільної експлуатації протягом усього життєвого циклу. Одним із ключових елементів, що безпосередньо впливає на безпеку руху, маневреність і комфорт керування автомобілем, є система рульового керування, центральною ланкою якої виступає рульова рейка. Її технічний стан значною мірою визначає точність реакцій автомобіля на дії водія та рівень керованості в різних дорожніх умовах.

У процесі експлуатації легкових автомобілів, зокрема Nissan Qashqai, рульова рейка зазнає значних змінних навантажень, впливу вібрацій, ударів від нерівностей дорожнього покриття, а також дії агресивних факторів зовнішнього середовища. Це призводить до прискореного зносу робочих поверхонь, появи люфтів, погіршення герметичності та зниження ефективності рульового керування загалом. Традиційні підходи до технічного обслуговування та ремонту рульових механізмів не завжди забезпечують необхідний рівень відновлення їхніх функціональних властивостей і потребують удосконалення з урахуванням сучасних вимог до безпеки та економічної доцільності.

Актуальність даної кваліфікаційної роботи зумовлена необхідністю модернізації процесів технічного обслуговування і ремонту рульової рейки автомобіля Nissan Qashqai з метою підвищення надійності рульового керування та покращення показників керованості транспортного засобу. Особливої уваги потребить дослідження взаємозв'язку між технічним станом рульової рейки та параметрами керованості автомобіля, що безпосередньо впливають на активну безпеку руху.

Метою магістерської роботи є обґрунтування та розроблення удосконалених технологічних рішень з технічного обслуговування і ремонту рульової рейки автомобіля Nissan Qashqai, а також дослідження впливу її технічного стану на керованість автомобіля.

## 1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Особливості конструктивного виконання рульового керування

У конструкції автомобілів Nissan Qashqai незалежно від рівня комплектації реалізовано рульове керування з електричним підсиленням, яке поєднане з енергопоглинальною (травмобезпечною) рульовою колонкою. Колонка має механізми регулювання як за кутом нахилу, так і за осьовим вильотом, що дозволяє адаптувати робоче місце водія до індивідуальних антропометричних особливостей. Передавання руху від кермового колеса до керованих коліс здійснюється рульовим механізмом рейкового типу, виконаним за схемою «шестерня–рейка».

До складу рульового керування входять кермове колесо, рульова колонка з інтегрованим електропідсилювачем, рульовий механізм, а також пара рульових тяг із наконечниками, які за допомогою кульових шарнірів з'єднані з поворотними кулаками передньої підвіски. Така компоновка забезпечує компактність системи, зниження маси та високу точність передавання керувальних впливів.

Функції керування електропідсилювачем виконує спеціалізований електронний блок управління. Він обробляє сигнали, що надходять від датчика крутного моменту на рульовому валу, датчика швидкості руху автомобіля та датчика кута повороту кермового колеса. На основі аналізу цих параметрів блок управління формує керувальний сигнал для мотор-редуктора, який створює додатковий крутний момент і зменшує фізичне навантаження на водія.

Окрім електронного блока управління, система електропідсилювача містить комплекс вимірювальних датчиків, виконавчих пристроїв, електричні з'єднання та елементи захисту електричного кола. Усі складові системи об'єднані в єдину мережу, що забезпечує безперервний обмін даними та коректну роботу рульового керування в різних режимах руху.

Алгоритм функціонування електропідсилювача передбачає змінний характер допоміжного зусилля залежно від швидкості автомобіля. Під час руху з малою швидкістю або маневрування на обмеженому просторі підсилення

збільшується, що полегшує поворот кермового колеса. Із підвищенням швидкості руху інтенсивність підсилення зменшується, завдяки чому забезпечується краща інформативність керма та відчуття зворотного зв'язку від дорожнього покриття.

У разі виникнення несправностей електронний блок управління електропідсилювачем здійснює діагностику, фіксує код помилки у пам'яті та переводить систему в аварійний режим роботи з відключенням підсилення. При цьому водій інформується про несправність шляхом увімкнення відповідного індикатора на панелі приладів.

Датчики кута повороту кермового колеса та крутного моменту конструктивно інтегровані в модуль електропідсилювача, що підвищує точність вимірювань і надійність системи. Додатково електронний блок управління двигуном передає в систему електропідсилювача інформацію про частоту обертання колінчастого вала, яка використовується для уточнення режимів роботи підсилювача.

Мотор-редуктор електропідсилювача, розміщений на рульовій колонці, під дією керувальних сигналів створює допоміжний крутний момент, який безпосередньо додається до зусилля водія, забезпечуючи оптимальне поєднання керованості, комфорту та безпеки руху.

Кермове колесо конструктивно поєднує в собі засоби активної та пасивної безпеки й елементи керування допоміжними системами автомобіля. Зокрема, воно оснащено модулем подушки безпеки, функціональними клавішами управління аудіосистемою та контактом увімкнення звукового сигналу, що підвищує ергономічність робочого місця водія.

Рульова колонка (рис. 8.1) виконана за травмобезпечною схемою та має механізми регулювання як за кутом нахилу, так і за осьовим переміщенням. У її конструкції передбачені енергопоглинальні елементи, призначені для зменшення дії ударних навантажень на водія під час дорожньо-транспортної пригоди, а також інтегрований протиугінний пристрій, який забезпечує блокування рульового вала 8. Проміжний вал 2 рульового керування за допомогою карданних шарнірів 1 і 3 з'єднує рульовий вал 1 з валом-шестернею рульового механізму. Конструктивно проміжний вал складається з верхньої та



нижньої частини, з'єднаних зрізними штифтами. У разі фронтального зіткнення автомобіля штифти руйнуються, внаслідок чого верхня частина вала телескопічно входить у нижню, зменшуючи загальну довжину вузла та знижуючи ймовірність травмування водія.

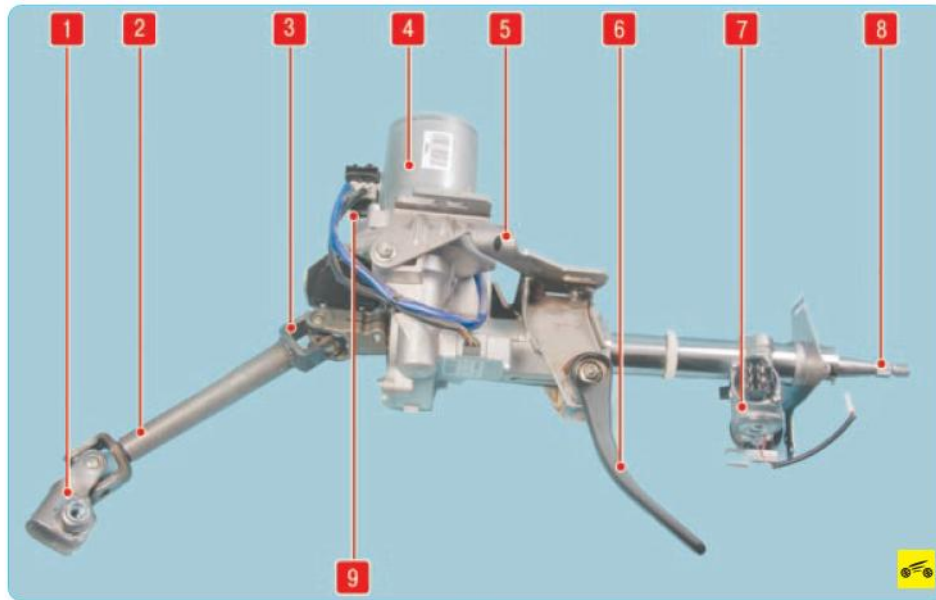


Рис. 1.1. Рульова колонка:

1 – нижній карданний шарнір проміжного вала; 2 – проміжний вал; 3 – верхній карданний шарнір проміжного вала; 4 – мотор-редуктор електропідсилювача рульового керування; 5 – кронштейн кріплення рульової колонки; 6 – важіль регулювання положення рульової колонки; 7 – вимикач (замок) запалювання; 8 – рульовий вал; 9 – електронний блок управління системою електропідсилювача рульового керування.

Рульовий механізм (рис. 1.2) розташований у підкапотному просторі та жорстко закріплений на підрамнику передньої підвіски, що забезпечує необхідну міцність і стабільність його положення відносно кузова.

Передавання зусилля від рульового механізму до керованих коліс здійснюється через рульові тяги 2 і 7, які з'єднані з рейкою рульового механізму кульовими шарнірами. Наконечники 1 і 8 рульових тяг, у свою чергу, через кульові шарніри приєднані до поворотних кулаків передньої підвіски, забезпечуючи необхідну рухливість і коректну кінематику повороту керованих коліс.

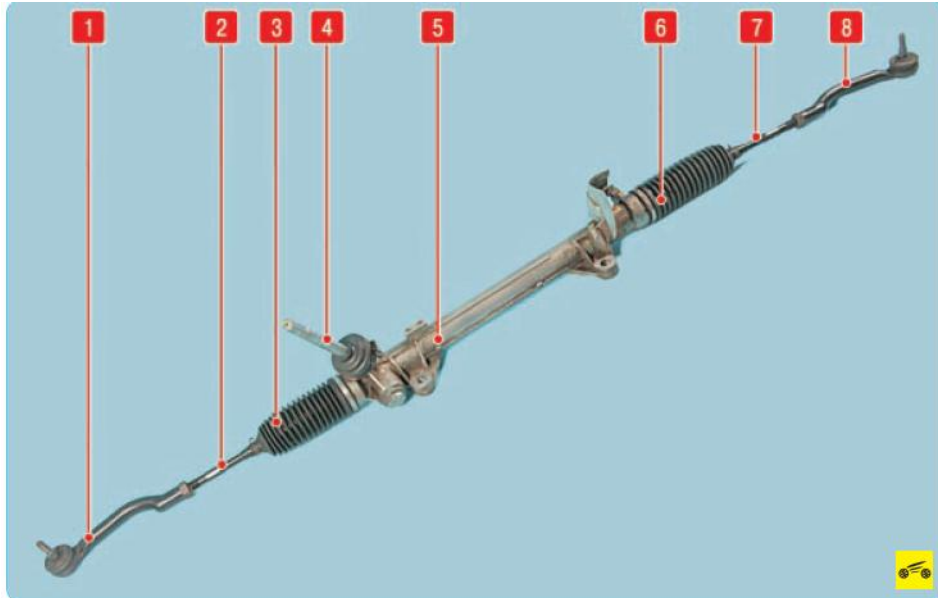


Рис. 1.2. Рульовий механізм:

1 – наконечник рульової тяги (лівий); 2 – ліва рульова тяга; 3, 6 – захисні чохли; 4 – вал-шестерня; 5 – корпус рульового механізму; 7 – права рульова тяга; 8 – наконечник рульової тяги (правий).

Можливі несправності рульового керування, їх причини та способи усунення.

| Причина несправності                                               | Спосіб усунення                                           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Збільшений вільний хід кермового колеса                            |                                                           |
| Послаблення гайок кріплення пальців кульових шарнірів рульових тяг | Підтягніть гайки                                          |
| Збільшений зазор у кульових шарнірах рульових тяг                  | Замініть наконечники рульових тяг                         |
| Збільшений зазор між упором рейки та регулювальною гайкою          | Замініть зношені деталі та відрегулюйте рульовий механізм |
| Шум (стукіт) у рульовому керуванні                                 |                                                           |
| Послаблення гайок кульових шарнірів рульових тяг                   | Перевірте та підтягніть гайки                             |
| Збільшений зазор між упором рейки та регулювальною гайкою          | Замініть зношені деталі та відрегулюйте рульовий механізм |
| Послаблення кріплення рульового механізму                          | Підтягніть гайки кріплення рульового механізму            |
| Туге обертання кермового колеса                                    |                                                           |

|                                                       |                                                 |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Пошкодження підшипника верхньої опори стійки підвіски | Замініть підшипник або опору в зборі            |
| Пошкодження опорної втулки або упора рейки            | Замініть пошкоджені деталі та закладіть мастило |
| Знижений тиск у шинах передніх коліс                  | Установіть нормальний тиск                      |
| Пошкодження деталей кульових шарнірів рульових тяг    | Замініть пошкоджені деталі                      |
| Пошкодження підшипників вала рульової колонки         | Замініть рульову колонку                        |
| Несправність електропідсилювача рульового керування   | Замініть електропідсилювач у зборі              |

## **1.2 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу магістра**

У технологічному розділі кваліфікаційної роботи магістра необхідно розробити та обґрунтувати комплекс технологічних рішень, спрямованих на забезпечення ефективного технічного обслуговування і ремонту системи рульового керування автомобіля Nissan Qashqai. Особливу увагу слід приділити питанням діагностування, демонтажу, монтажу та відновлення рульової рейки з урахуванням вимог безпеки, надійності та нормативної документації.

Необхідно розглянути порядок виконання огляду та контролю технічного стану рульового керування автомобіля. Слід описати методи візуального, вимірювального та функціонального контролю, визначити основні діагностичні ознаки несправностей рульового механізму, рульових тяг і наконечників, а також допустимі значення люфтів і зазорів. Обґрунтувати значення систематичного контролю рульового керування з точки зору забезпечення керованості та активної безпеки руху.

Необхідно викласти технологічну послідовність операцій демонтажу та монтажу кермового колеса. Слід врахувати особливості конструкції системи пасивної безпеки, зокрема наявність модуля подушки безпеки водія, та обґрунтувати вимоги щодо електробезпеки. Окремо необхідно зазначити заходи,

що забезпечують збереження правильного положення кермового колеса після складання.

Слід описати порядок демонтажу та встановлення кожуха рульової колонки, звертаючи увагу на особливості кріплення пластикових елементів та фіксаторів. Необхідно обґрунтувати доцільність виконання даної операції в процесі ремонту рульового керування та визначити вимоги до запобігання пошкодженню облицювальних деталей салону автомобіля.

Розглянути технологію демонтажу і монтажу рульової колонки в зборі. Слід охарактеризувати її конструктивну роль у системі рульового керування та пасивної безпеки автомобіля. Необхідно навести перелік основних дефектів, наявності яких рульова колонка підлягає заміні, а також описати вимоги до правильного складання та регулювання після виконання ремонтних робіт.

Викласти технологічну послідовність заміни зовнішнього наконечника рульової тяги. Необхідно обґрунтувати важливість збереження початкових параметрів сходження керованих коліс та описати методи контролю довжини різьбової частини рульової тяги. Окрему увагу слід приділити вимогам до остаточного регулювання кутів встановлення коліс.

Розглянути порядок заміни рульової тяги з урахуванням демонтажу рульового механізму або підрамника передньої підвіски. Слід описати вимоги до дефектації шарнірних з'єднань, стану захисних чохлів та умов змащування. Обґрунтувати необхідність подальшої перевірки геометрії передніх коліс після виконання робіт.

Описати технологічний процес заміни рульового механізму автомобіля. Необхідно підкреслити відповідальність даної операції з точки зору безпеки руху, визначити основні етапи демонтажу і монтажу, а також вимоги до дотримання регламентованих моментів затягування різьбових з'єднань. Слід обґрунтувати доцільність використання контрольних операцій після завершення монтажу.

Розробити повний технологічний процес ремонту рульової рейки, що включає демонтаж, очищення, розбирання, дефектацію, відновлення або заміну зношених елементів, складання та випробування. Слід навести перелік необхідного обладнання та інструменту, описати критерії прийняття рішень

щодо відновлення або заміни деталей, а також вимоги до контролю якості відремонтованого вузла.

У конструкторському розділі необхідно виконати інженерний аналіз рульового керування автомобіля з метою обґрунтування його параметрів, передавальних характеристик і працездатності в експлуатаційних режимах.

Виконати загальний розрахунок рульового керування, визначивши силові та кінематичні параметри системи. Необхідно оцінити навантаження, що діють на елементи рульового механізму, та перевірити їх на міцність і працездатність.

Навести послідовний алгоритм розрахунку рульового керування, що включає визначення кутових і силових передавальних чисел, моментів опору повороту керованих коліс і зусилля на кермовому колесі. Слід обґрунтувати вибір розрахункових залежностей та вихідних даних.

Розглянути конструктивні та кінематичні особливості рульового механізму, визначити його передавальне число та коефіцієнт корисної дії. Необхідно оцінити вплив параметрів рульового механізму на чутливість керування та комфорт водія.

Задати вихідні геометричні та силові параметри системи рульового керування і на їх основі виконати розрахунок основних показників. Отримані результати необхідно проаналізувати з точки зору відповідності вимогам керованості, ергономіки та безпеки руху.

У науково-дослідному розділі необхідно виконати дослідження, спрямовані на встановлення взаємозв'язку між технічним станом рульового керування та показниками керованості автомобіля.

Розглянути математичну модель руху транспортних засобів малої тоннажності на криволінійних ділянках дороги. Необхідно проаналізувати вплив параметрів рульового керування, швидкості руху та геометрії траєкторії на курсову стійкість і керованість автомобіля, а також обґрунтувати використання даної моделі для оцінювання результатів модернізації рульової рейки.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Огляд і контроль технічного стану рульового керування автомобіля

Систематичний нагляд за справністю рульового керування є обов'язковою складовою технічного обслуговування автомобіля, оскільки саме цей вузол безпосередньо визначає рівень активної безпеки та точність керування під час руху.

У процесі огляду рульового керування першочергову увагу слід зосереджувати на стані захисних чохлів і різьбових з'єднань. Гумові елементи, що мають розриви, тріщини або втратили еластичність, підлягають негайній заміні. Ігнорування цих дефектів призводить до проникнення вологи, пилу та абразивних частинок у шарнірні з'єднання, що суттєво прискорює їх зношування та скорочує ресурс вузлів.

Необхідно також перевірити орієнтацію спиць кермового колеса. За умов прямолінійного руху передніх коліс вони повинні розташовуватися симетрично відносно вертикальної осі. Порушення цієї умови свідчить про можливі відхилення в регулюванні або несправності рульового приводу, які потребують додаткової діагностики та усунення.

Плавно повертаючи кермове колесо від крайнього лівого до крайнього правого положення, слід виконати комплексну візуальну та слухову перевірку, зокрема:

- надійності кріплення кермового колеса та рульового механізму;
- відсутності люфтів у шарнірних з'єднаннях рульових тяг і наконечників;
- відсутності заїдань або сторонніх опорів, що перешкоджають нормальному обертанню кермового колеса.

У разі появи стукотів або заїдань рекомендується від'єднати рульові тяги від поворотних важелів кулаків і повторити перевірку. Якщо після цього небажані явища зберігаються, рульовий механізм необхідно демонтувати з автомобіля та провести його ремонт або заміну дефектних елементів.



Під час детального огляду слід послідовно виконати такі операції:

Оцінити стан захисних чохлів наконечників рульових тяг і замінити їх у разі наявності пошкоджень чи втрати еластичності.

За різких поворотів кермового колеса в обидва боки (операцію доцільно виконувати з помічником) перевірити надійність кріплення рульового механізму; переміщення корпусу або поява стуків не допускаються.

Переконалися у відсутності люфтів у кульових шарнірах наконечників рульових тяг і перевірити момент затягування кріпильних гайок.

Оглянути захисні чохла самих рульових тяг і замінити їх у разі виявлення пошкоджень.

Перевірка вільного ходу (люфту) кермового колеса. Надмірний вільний хід кермового колеса негативно впливає на керованість автомобіля, оскільки реакція транспортного засобу на дії водія стає запізнілою. Якщо збільшений люфт не усувається регулюванням рульового механізму, це є ознакою технічної несправності, зумовленої ослабленням кріплень, зносом рульових тяг або елементів механізму.

Контроль люфту необхідно виконувати на автомобілі, встановленому на рівному неслизькому покритті. Допустиме значення вільного ходу кермового колеса не повинно перевищувати  $5^\circ$ .

За потреби кутовий люфт можна перевести у лінійні величини за залежністю:

$$L = \frac{5^\circ}{360^\circ} \cdot \pi \cdot D,$$

де  $L$  – лінійний люфт кермового колеса, мм;

$\pi = 3,14$ ;

$D$  – зовнішній діаметр кермового колеса, мм.

Для кермового колеса з діаметром 365 мм максимально допустимий лінійний люфт становить 16 мм.

Для виконання перевірки необхідно підготувати покажчик для фіксації положення кермового колеса, а також крейду або клейку стрічку для нанесення контрольних міток.

Першим етапом вимірювання є встановлення передніх коліс у положення, що відповідає прямолінійному руху автомобіля.



На панелі приладів зафіксуйте допоміжний елемент у вигляді покажчика таким чином, щоб його крайня частина торкалася зовнішньої поверхні обода кермового колеса. Зберігаючи незмінним положення покажчика, плавно поверніть кермове колесо у правий бік до моменту, коли почнеться відхилення передніх коліс. Після цього позначте відповідне положення на ободі кермового колеса.



Не змінюючи положення встановленого покажчика, поверніть кермове колесо у лівий бік до початку повороту передніх коліс.



У зафіксованому положенні нанесіть на обід кермового колеса другу контрольну позначку.





Визначте по колу обода відстань між нанесеними мітками. Отримане значення повинно відповідати або бути меншим за розрахункове допустиме. У разі перевищення цієї величини, що свідчить про надмірний вільний хід кермового колеса, необхідно виявити причини відхилення та виконати відповідні ремонтно-регулювальні роботи.

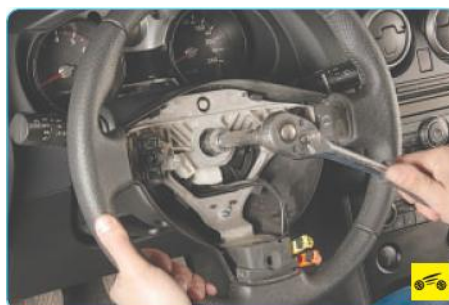
## **2.2 Демонтаж і монтаж кермового колеса**

Перед початком робіт від'єднайте електричний провід від негативної клеми акумуляторної батареї з метою забезпечення електробезпеки та запобігання спрацюванню систем пасивної безпеки.

Встановіть кермове колесо у положення, що відповідає прямолінійному руху автомобіля, для збереження коректної орієнтації під час подальшого складання.



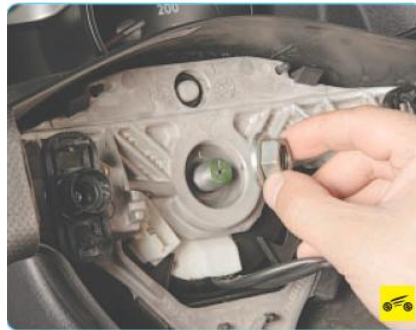
Акуратно демонтуйте модуль подушки безпеки водія, дотримуючись вимог безпеки та рекомендацій виробника.



Послабте гайку кріплення кермового колеса до рульового вала, не відкручуючи її повністю, при цьому утримуйте кермове колесо від самовільного обертання.



Прикладаючи короткі імпульсні зусилля руками, звільніть кермове колесо зі шліцевого з'єднання рульового вала.



Після послаблення з'єднання повністю відкрутіть і зніміть гайку кріплення.



Зніміть кермове колесо з рульового вала, уникаючи перекосів і механічних пошкоджень.

Установлення кермового колеса виконуйте у зворотній послідовності, забезпечуючи правильне суміщення шліців.



Перед остаточним затягуванням нанесіть на різьбу рульового вала фіксувальний склад і затягніть гайку з моментом, регламентованим технічною документацією (див. відповідні додатки).

Завершальним етапом встановіть модуль подушки безпеки водія, дотримуючись порядку, зворотного демонтажу.

### 2.3 Демонтаж і монтаж кожуха рульової колонки

За допомогою відповідного інструмента викрутіть три кріпильні гвинти, якими кожух рульової колонки зафіксований на корпусі колонки.



Акуратно відтисніть фіксувальні елементи кожуха з правого та лівого боків, після чого роз'єднайте та зніміть його нижню і верхню частини, уникаючи пошкодження пластикових засувок.



Монтаж елементів кожуха виконайте у зворотній послідовності, забезпечивши правильне суміщення частин та надійне закріплення всіх фіксаторів і гвинтів.

## 2.4 Демонтаж і монтаж рульової колонки

Рульова колонка належить до критично важливих вузлів системи активної та пасивної безпеки автомобіля, оскільки безпосередньо впливає на керованість і захист водія під час дорожньо-транспортних пригод. У разі виявлення дефектів окремих елементів рульового керування доцільно виконувати заміну валів, встановлених у колонці, або рульової колонки в зборі. До таких дефектів належать:

- порушення геометрії або механічні пошкодження проміжного вала, наявність надмірного люфту в карданному шарнірі, а також дефекти клемного з'єднання карданного шарніра з валом-шестернею рульового механізму;
- деформація чи пошкодження рульового вала та складових елементів рульової колонки, у тому числі знос або руйнування шліцевого з'єднання вала зі ступицею кермового колеса;
- відмова або некоректна робота механізму регулювання положення рульової колонки за висотою чи вильотом.

Для виконання робіт з демонтажу та встановлення рульової колонки необхідно підготувати такий інструмент: накидний ключ розміру 16, торцеві головки на 10, 12 і 17, ключ типу TORX T20, подовжувач для торцевих головок, а також викрутку з плоским лезом.

Послідовність виконання операцій передбачає такі етапи:

З метою запобігання короткому замиканню та несанкціонованому спрацюванню системи пасивної безпеки від'єднайте провід від негативної клеми акумуляторної батареї.



Акуратно зніміть модуль подушки безпеки водія, дотримуючись вимог техніки безпеки.



Демонтуйте кермове колесо, попередньо забезпечивши його фіксацію від провертання.

Зніміть захисний кожух рульової колонки. Від'єднайте лівий підкермовий перемикач.



Аналогічно зніміть правий підкермовий перемикач.

Демонтуйте модуль підкермових перемикачів у зборі разом із контактним кільцем подушки безпеки водія.



У салоні автомобіля відсуньте захисний чохол, що закриває нижній карданний шарнір проміжного вала рульового керування.



Виверніть та витягніть стяжний болт клемного з'єднання карданного шарніра проміжного вала з валом-шестернею рульового механізму.





За допомогою викрутки відтисніть фіксувальну рухому гайку стяжного болта, забезпечивши можливість подальшого роз'єднання елементів.



Роз'єднайте нижній карданний шарнір проміжного вала з валом-шестернею рульового механізму, забезпечивши повне відокремлення вузлів для подальшого демонтажу.



Викрутіть два кріпильні болти, якими рукоятки приводів замка капота та замка люка паливозаливної горловини зафіксовані на кронштейні.



Подолавши зусилля фіксувальних елементів, акуратно зніміть кришку монтажного блока, розташованого в салоні автомобіля.



Відтисніть засувки та протягніть колодку діагностичного роз'єму через відповідний отвір у нижній облицювальній частині панелі приладів, звільнивши її для подальших операцій.



Подолавши зусилля фіксувальних елементів, обережно опустіть нижню облицювальну панель приладів, після чого відкрутіть кріпильний болт датчика температури повітря в салоні та відокремте сам датчик від елементів облицювання.



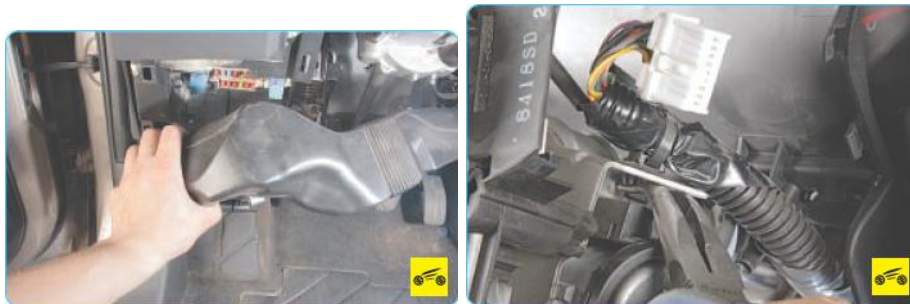
Після відведення фіксувального елемента рукояток приводів лючка паливного бака та замка капота обережно зніміть нижню облицювальну панель приладів, уникаючи пошкодження кріпильних елементів.



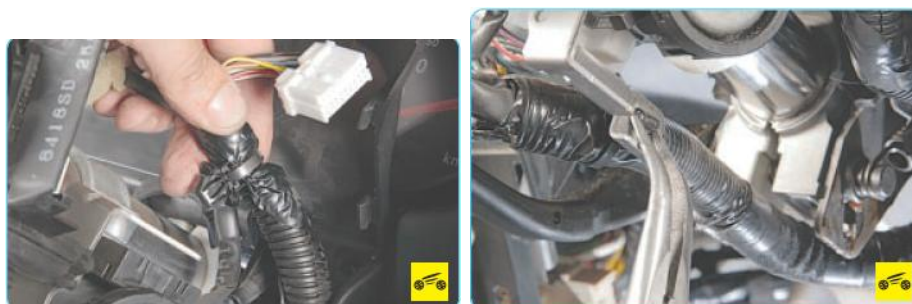
Далі відверніть і зніміть дві гайки, після чого викрутіть кріпильний болт кронштейна рукояток приводів лючка паливного бака та капота й демонтуйте кронштейн з місця його встановлення.



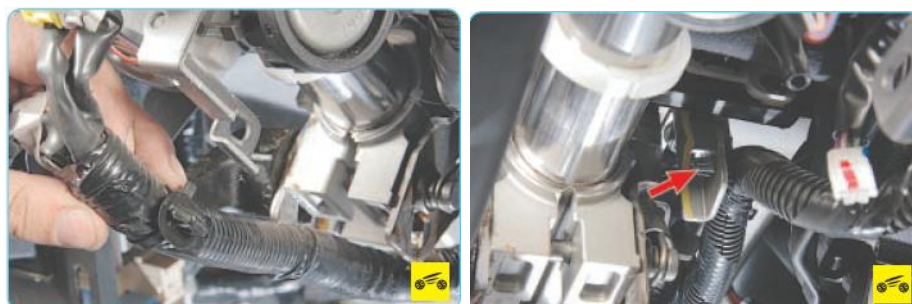
Скориставшись викруткою, обережно підважте фіксувальний елемент повітропроводу, після чого від'єднайте його та зніміть сам повітропровід.



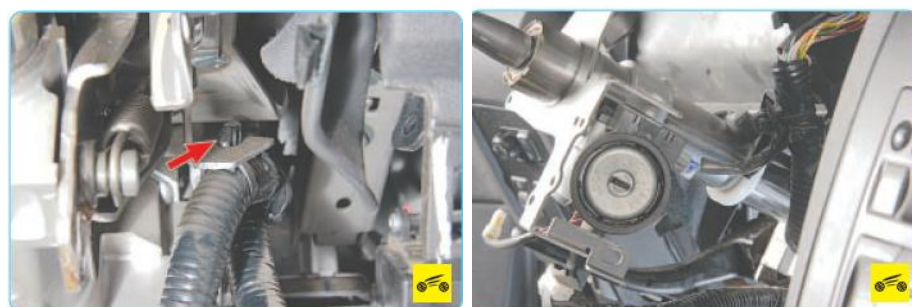
За допомогою пасатижів стисніть затискний елемент хомута джгута електропроводки, після чого відокремте фіксатор від кронштейна рульової колонки, забезпечивши вільне від'єднання проводів.



Скориставшись пасатизами, стисніть фіксувальний елемент хомута джгута електропроводки подушки безпеки водія та аудіосистеми, після чого від'єднайте його від кронштейна рульової колонки.

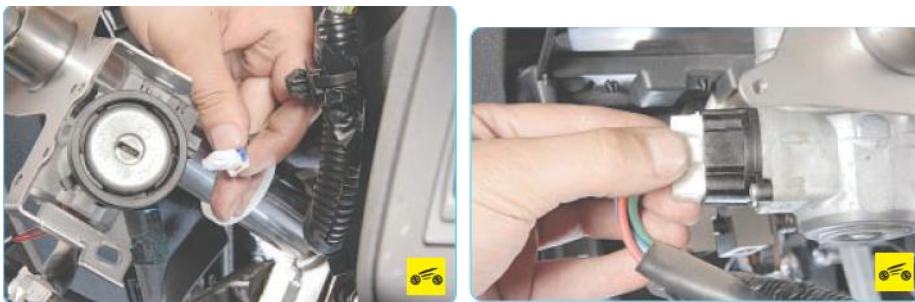


За тією самою процедурою відокремте передній та задній фіксатори джгута електропроводки від кронштейна рульової колонки.



Натиснувши на фіксувальний елемент, акуратно від'єднайте електричну колодку джгута проводів від антенного модуля імобілайзера, забезпечивши повне роз'єднання електричного з'єднання без пошкодження контактів.

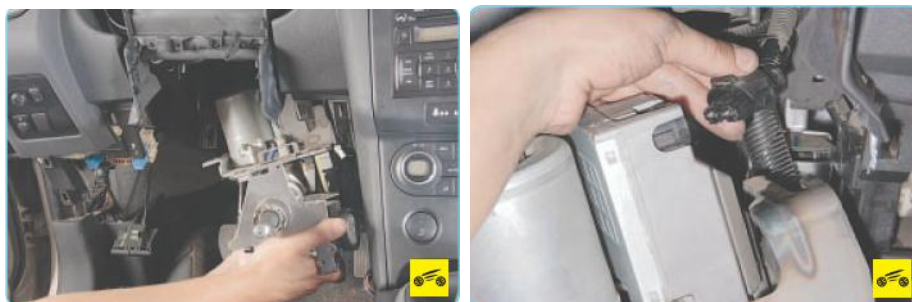




Натиснувши на фіксувальний елемент, обережно від'єднайте роз'єм джгута електропроводки від контактної вузла замка запалювання, уникаючи пошкодження контактів і фіксаторів.



Викрутіть чотири кріпильні гайки, якими рульову колонку зафіксовано на кузовних кронштейнах (один із елементів кріплення знаходиться поза прямою видимістю), після чого обережно опустіть рульову колонку донизу, забезпечивши її вільне переміщення для подальших операцій.



Активуйте фіксувальний елемент і від'єднайте електричну колодку джгута проводів від блока керування підсилювачем рульового керування.



Після натискання на засувку роз'єму відокремте колодку джгута електропроводки від блока управління підсилювачем рульового керування, забезпечивши повне роз'єднання контактів.

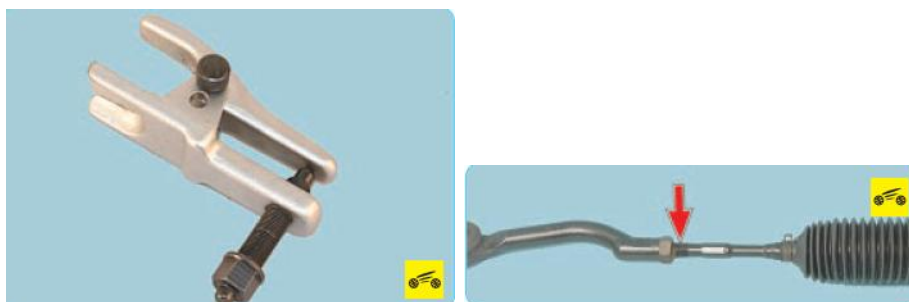


Демонтуйте рульову колонку разом із вузлом підсилювача рульового керування, забезпечивши її повне відокремлення від кріпильних і електричних з'єднань.

Монтаж рульової колонки та всіх раніше знятих компонентів виконайте у зворотній технологічній послідовності, дотримуючись вимог щодо правильного з'єднання елементів і моментів затягування кріплень.

## 2.5 Заміна зовнішнього наконечника рульової тяги

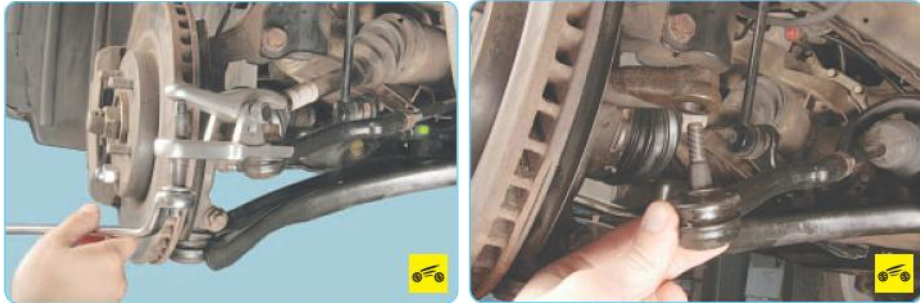
Підніміть передню частину автомобіля з боку рульового наконечника, який підлягає заміні, надійно зафіксуйте її на опорі та демонтуйте колесо.



Виконайте вимірювання і зафіксуйте значення довжини відкритої різьбової ділянки рульової тяги з метою збереження початкового кута сходження коліс під час подальшого складання (для наочності відповідну операцію зазвичай демонструють на знятому рульовому механізмі).



Викрутіть кріпильну гайку, якою кульовий палець наконечника зафіксований у важелі поворотного кулака.



Встановіть спеціальний знімач для кульових шарнірів і за його допомогою видавіть кульовий палець із посадкового гнізда поворотного кулака.



Ослабте фіксацію контргайки наконечника рульової тяги, забезпечивши можливість його вільного обертання під час подальших операцій (з метою наочності відповідну дію зазвичай демонструють на демонтованому рульовому механізмі).



Відгвинтіть наконечник від рульової тяги, обов'язково фіксуючи кількість виконаних обертів. Такий підхід дає змогу під час монтажу нового наконечника максимально зберегти початкові значення сходження керованих коліс (для пояснення методики операцію зазвичай ілюструють на знятому рульовому механізмі).



Монтаж нового наконечника виконайте у зворотній технологічній послідовності, накручуючи його на рульову тягу на ту саму кількість обертів, що була зафіксована під час демонтажу. Після цього затягніть контргайку з моментом.

Повторно проконтролюйте довжину відкритої різьбової ділянки рульової тяги. Отримане значення повинно відповідати параметрам, визначеним на попередньому етапі. У разі невідповідності послабте контргайку та, залежно від зміни довжини різьбової частини, відповідно підкрутіть або відкрутіть наконечник. Після коригування знову затягніть контргайку та виконайте контрольне вимірювання.

Завершальним етапом перевірте кути встановлення коліс і, за необхідності, відрегулюйте їх на спеціалізованій станції технічного обслуговування з використанням відповідного вимірювального обладнання.

## 2.6 Заміна рульової тяги

Виконайте демонтаж підрамника передньої підвіски в зборі з рульовим механізмом, попередньо забезпечивши повне від'єднання вузла від несівних елементів кузова та суміжних систем.



Після цього відокремте рульовий механізм від підрамника передньої підвіски, поетапно знімаючи кріплення та утримуючи агрегат у контрольованому положенні для запобігання його пошкодженню.





Далі зніміть захисний чохол рульового механізму, попередньо вивільнивши фіксувальні елементи, що дозволить провести детальний огляд технічного стану або виконати необхідні ремонтно-відновлювальні роботи.



Зафіксуйте рульовий механізм у слюсарних лещатах, дотримуючись рекомендованого просторового положення, що забезпечує зручність і безпеку виконання подальших операцій.



Відкрутіть різьбове з'єднання шарніра рульової тяги з рейкою рульового механізму та демонтуйте тягу. Проведіть детальний огляд захисного чохла. За наявності на його поверхні або в складках гофрованої ділянки надривів, порізів чи мікротріщин чохол підлягає обов'язковій заміні.

Монтаж нової рульової тяги та всіх демонтованих елементів виконайте у зворотній технологічній послідовності з дотриманням вимог до складання.

Під час складання, перед встановленням захисного чохла, нанесіть свіже мастило на робочу поверхню кульового шарніра рульової тяги для забезпечення належної зносостійкості та плавності роботи з'єднання.

Після завершення монтажних робіт перевірте кути встановлення передніх коліс і, у разі необхідності, виконайте їх регулювання на станції технічного обслуговування, обладнаній відповідними вимірювальними стендами.

## 2.7 Заміна рульового механізму

Рульовий механізм підлягає зняттю у випадках необхідності виконання відновлювальних робіт або його повної заміни. Слід наголосити, що даний

агрегат є одним із базових складників системи активної безпеки транспортного засобу, оскільки безпосередньо впливає на керованість і стійкість автомобіля. Порушення технології ремонту або використання неякісних методів відновлення може призвести до критичних відмов у процесі руху та створити загрозу безпеці водія і пасажирів.



На початковому етапі в салоні автомобіля необхідно відсунути захисний кожух від нижнього карданного шарніра проміжного вала рульового керування, відкривши доступ до зони з'єднання.



Далі слід викрутити стяжний болт клемного з'єднання, яким карданний шарнір проміжного вала з'єднаний з валом-шестернею рульового механізму, забезпечивши повне роз'єднання елементів.

Після цього виконується демонтаж підрамника передньої підвіски в зборі з рульовим механізмом, попередньо від'єднавши всі пов'язані кріпильні елементи та допоміжні вузли, що забезпечує безпечне та контрольоване зняття агрегату.



Відверніть два кріпильні елементи, за допомогою яких рульовий механізм зафіксований на підрамнику передньої підвіски, та обережно зніміть його з посадкового місця.



Установлення рульового механізму і всіх раніше демонтованих компонентів здійснюйте у зворотній послідовності, суворо дотримуючись технологічних вимог щодо суміщення з'єднань і регламентованих моментів затягування різьбових кріплень.

Заміна захисного чохла рульового механізму.

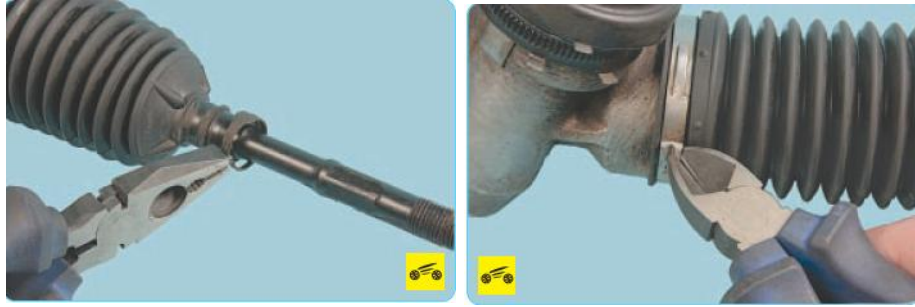


Відгвинтіть наконечник, відокремивши його від різьбової частини рульової тяги.



З нижнього боку автомобіля за допомогою пасатижів стисніть відігнуті фіксувальні вушка малого хомута, що утримує захисний чохол (з міркувань наочності відповідну операцію зазвичай демонструють на демонтованому рульовому механізмі). Після цього перемістіть хомут уздовж рульової тяги та зніміть його з посадкового місця.





За допомогою бокорізів переріжте великий хомут, що фіксує захисний чохол, після чого зніміть чохол з рульового механізму, забезпечивши доступ до внутрішніх елементів вузла.



Проведіть детальний візуальний контроль стану захисного чохла. У разі виявлення на його зовнішній поверхні або в зоні гофрованих складок ознак механічних пошкоджень, зокрема надривів, порізів чи мікротріщин, чохол підлягає обов'язковій заміні з метою запобігання потраплянню забруднень у вузол.

Під час зворотного складання, перед монтажем захисного чохла, нанесіть нове мастило на робочу поверхню кульового шарніра рульової тяги, що забезпечить зменшення тертя та підвищить довговічність з'єднання.

Закріпіть захисний чохол, використовуючи нові хомути, які гарантують необхідну герметичність і надійну фіксацію елемента в процесі експлуатації.

Для збереження початкових параметрів сходження керованих коліс під час складання наверніть рульовий наконечник на рульову тягу з тією самою кількістю обертів, що була зафіксована при його демонтажі.

Після завершення монтажних робіт обов'язково перевірте геометрію встановлення передніх коліс і, за потреби, виконайте коригування кутів на спеціалізованій станції технічного обслуговування, обладнаній відповідними вимірювальними стендами.

## 2.8 Технологічний процес ремонту рульової рейки автомобіля Nissan Qashqai

Перелік обладнання та інструменту:

підіймач або оглядова канава;

набір слюсарно-монтажного інструменту;

динамометричний ключ;

знімачі кульових шарнірів;

спеціальні ключі для розбирання рейки;

прес або знімач підшипників;

мікрометр, нутромір, індикатор годинникового типу;

мийна установка для деталей;

стенд перевірки рульових механізмів (за наявності).

Технологічна послідовність ремонту:

1 Демонтаж рульової рейки з автомобіля

Від'єднати мінусову клему акумуляторної батареї.

Зафіксувати передні колеса у прямолінійному положенні.

Демонтувати передні колеса.

Від'єднати наконечники рульових тяг від поворотних кулаків.

Від'єднати проміжний вал від вала-шестерні рейки.

Демонтувати підрамник (за потреби).

Зняти рульову рейку в зборі.

2 Очищення та попередній контроль:

Очистити рейку від бруду та мастила.

Виконати зовнішній огляд:

стан пильовиків;

корозійні ушкодження;

сліди витoku мастила;

механічні пошкодження корпусу.

3 Повне розбирання рульової рейки:

Закріпити рейку у слюсарних лещатах.

Зняти рульові тяги.

Демонтувати пильовики та хомути.

Вийняти вал-шестерню.

Демонтувати рейку з корпусу.

Зняти напрямні втулки, підшипники, ущільнення.

Розібрати вузол притискного механізму.

Дефектація деталей.

1 Контроль рейки:

перевірка зносу зубців;

вимір діаметра та овальності;

перевірка корозійних уражень.

2 Контроль вала-шестерні:

стан зубців;

знос шийок під підшипники;

наявність задирів.

3 Контроль корпусу:

знос посадкових отворів;

тріщини;

деформації.

4 Контроль допоміжних елементів:

втулки – зазор;

підшипники – шум, люфт;

ущільнення – обов'язкова заміна.

Відновлювальні роботи

Залежно від результатів дефектації виконують:

заміну напрямних втулок;

заміну підшипників;

заміну всіх ущільнювальних елементів;

полірування поверхні рейки (за допустимого зносу);

регулювання притискного механізму.

Зубчасті елементи з критичним зносом не відновлюють – рейка підлягає заміні.

Складання рульової рейки

Очистити всі деталі.

Закласти рекомендоване мастило.

Установити нові ущільнення.

Змонтувати рейку в корпус.

Установити вал-шестерню.

Відрегулювати притиск рейки.

Установити нові пильовики та хомути.

Перевірити плавність переміщення рейки.

Контроль та випробування:

перевірка відсутності люфтів;

рівномірність ходу;

зусилля на провертання;

відсутність заїдань;

герметичність вузла.

За можливості – перевірка на стенді.

Монтаж на автомобіль:

Установити рейку на підрамник.

Приєднати проміжний вал.

Установити рульові тяги та наконечники.

Змонтувати підрамник.

Під'єднати акумулятор.

Заключні операції

регулювання кутів встановлення передніх коліс (розвал–сходження);

тест-драйв автомобіля;

контроль відсутності шумів і люфтів.

Техніка безпеки:

забороняється працювати з під'єднаною АКБ;

використовувати ЗІЗ;

дотримуватись моментів затягування;

не допускати повторного використання старих ущільнень.

## 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 3.1 Розрахунок рульового керування

Під час інженерного аналізу рульового керування першочергову увагу приділяють перевірці міцності його основних складових, а саме елементів рульового механізму та деталей рульового приводу. Метою таких розрахунків є визначення силових впливів, що виникають у процесі експлуатації автомобіля, а також оцінювання рівня напружень, які формуються в окремих деталях під дією цих навантажень.

Силове навантаження в елементах рульового керування може визначатися двома підходами: шляхом задання граничного зусилля, прикладеного водієм до кермового колеса, або через розрахунок максимального опору повороту керованих коліс під час маневрування автомобіля на місці. У зазначених режимах дії навантаження мають переважно статичний характер.

Разом із тим, в умовах руху транспортного засобу нерівним дорожнім покриттям, а також під час гальмування за різних коефіцієнтів зчеплення коліс з дорогою, елементи рульового керування зазнають змінних, тобто динамічних, навантажень. Для урахування впливу таких режимів роботи у розрахунках застосовують коефіцієнт динамічності  $k_d$ , значення якого зазвичай перебуває в межах 1,5...3,0. Конкретне значення цього коефіцієнта обирають з урахуванням типу автомобіля, його функціонального призначення та характеру експлуатаційних умов.

У складі рульового механізму окремо виконують розрахунок кермового колеса, рульового вала та елементів рульової передачі. При цьому перевірка міцності здійснюється за гранично допустимими напруженнями вигину та кручення. Для вигину допустимі напруження приймають у межах 150...200 МПа, а для кручення – 60...80 МПа. Важелі поворотних кулаків, як правило, виготовляють із вуглецевих конструкційних сталей марок 30 та 35, що забезпечує необхідне поєднання міцності, зносостійкості та технологічності виготовлення.

### 3.2 Алгоритм розрахунку рульового керування

Зазначений показник кількісно характеризує чутливість рульового керування: чим більше значення кутового передавального числа, тим більший кут повороту кермового колеса необхідний для забезпечення заданого повороту коліс, що, у свою чергу, впливає на точність керування та зусилля, прикладене водієм. Аналітично кутове передавальне число рульового керування визначається співвідношенням відповідних кутів повороту і задається рівнянням:

$$i_0 = i_p \cdot i' = \frac{2 \cdot \varphi}{\alpha + \beta}$$

де  $\varphi$  – кутове відхилення кермового колеса від середнього положення;

$\alpha, \beta$  – відповідно кути повороту лівого та правого керованих коліс;

$i_p, i'_p$  – кутові передавальні числа рульового механізму та рульового приводу.

Силове передавальне число рульового керування  $i_p$  характеризує здатність системи перетворювати зусилля, прикладене водієм до кермового колеса, у сили, що діють на керовані колеса автомобіля. Його визначення базується на принципі еквівалентності виконаної роботи на вході та виході рульового керування з урахуванням втрат на тертя та деформації елементів системи.

У загальному вигляді силове передавальне число встановлюють із умови рівності роботи, здійсненої на кермовому колесі, та корисної роботи, реалізованої при повороті керованих коліс. Такий підхід дозволяє кількісно оцінити ефективність рульового керування, а також забезпечити раціональне поєднання між величиною кермового зусилля і необхідним моментом, що прикладається до поворотних кулаків у заданих експлуатаційних режимах.

$$P \cdot R \cdot \varphi = \frac{2 \cdot Q \cdot r \cdot (\alpha + \beta)}{2}$$

де  $P$  – сила, що створюється водієм і прикладається до обода кермового колеса;

$R$  – геометричний радіус кермового колеса;

$r$  – приведений радіус дії сили на керовані колеса під час їх повороту;

$Q$  – сумарний опір повороту керованих коліс, зумовлений силами тертя, деформаціями шин та взаємодією з дорожнім покриттям.

Виходячи з умови рівності виконаних робіт у вхідній та вихідній ланках рульового керування, отримують аналітичний вираз, який дозволяє визначити силове передавальне число системи:

$$i_p = \frac{2 \cdot Q}{P} = \frac{2 \cdot R \cdot \varphi}{r \cdot (\alpha + \beta)} = \frac{R}{r} \cdot i_0$$

Конструктивна схема рульового механізму та його кінематичні характеристики, зокрема величина передавального числа, істотно впливають на здатність автомобіля здійснювати маневри. Водночас використання лише геометричних і силових параметрів не дозволяє повною мірою оцінити маневреність транспортного засобу, оскільки вони не відображають динамічний аспект процесу керування – тривалість виконання повороту.

З огляду на це, для більш комплексного оцінювання властивостей рульового керування доцільно додатково вводити часовий показник, який характеризує інтервал, необхідний автомобілю для здійснення повороту на заданий кут. Час повороту безпосередньо пов'язаний із швидкістю реакції системи «водій – автомобіль – дорога» та суттєво впливає на безпеку руху й комфорт керування, особливо в умовах інтенсивного міського трафіку або при виконанні аварійних маневрів.

Час повороту автомобіля ( $t$ ), с:

$$t = \frac{S}{V} = \frac{R \cdot \gamma}{V}$$

де  $S$  – довжина траєкторії, яку описує автомобіль під час виконання повороту;

$v$  – лінійна (поступальна) швидкість руху автомобіля в процесі маневру;

$R$  – радіус повороту, відкладений по центру вибраної (заданої) осі транспортного засобу;

$\psi$  – кут повороту заданої осі, що визначає величину зміни напрямку руху автомобіля.

До вихідних даних для розрахунку рульового керування належать геометричні, кінематичні та силові параметри системи, зокрема радіус кермового



колеса  $R$ , приведений радіус повороту керованих коліс  $R_1$ , довжина траєкторії руху автомобіля під час маневру  $S$ , поступальна швидкість руху на повороті  $V$ , зусилля  $P_k$ , що прикладається водієм до кермового колеса, а також максимальний робочий тиск у гідравлічній системі підсилювача  $P_{\max}$ . Окремо враховується частка маси автомобіля, що припадає на передню вісь, оскільки саме вона визначає рівень навантаження на керовані колеса та величину опору їх повороту.

Кутові параметри рульового керування, а саме кут повороту кермового колеса  $\varphi$ , а також кути відхилення правого  $\alpha_i$  і лівого  $\beta$ . Такий вибір забезпечує узгодженість розрахункових даних із вимогами до керованості та безпеки руху.

На основі заданих вихідних параметрів у процесі розрахунку рульового керування визначають основні передавальні характеристики системи – кутове передавальне число  $i_\omega$ , що відображає кінематичні властивості рульового механізму, та силове передавальне число  $i_p$ , яке характеризує ефективність передачі зусилля від кермового колеса до керованих коліс.

$$i_\omega = \frac{\alpha_{p.k}}{\alpha_{k.k}} = i_{\omega m} \cdot i_{\omega n};$$

$$i_p = \frac{\Sigma M_{k.k} \cdot R}{M_{p.k} \cdot C} = i_{p.m} \cdot i_{p.n},$$

де  $\alpha_{p.k}$  та  $\alpha_{k.k}$  – відповідно кути повороту кермового колеса і керованих коліс автомобіля; для попередніх інженерних оцінок їх орієнтовно приймають рівними  $\alpha_{p.k} \approx 800^\circ$  та  $\alpha_{k.k} \approx 40^\circ$ ;

$i_{\omega m}$  і  $i_{\omega n}$  – кінематичні передавальні числа рульового механізму та рульового приводу відповідно;

$i_{p.m}$  і  $i_{p.n}$  – силові передавальні числа рульового механізму і рульового приводу;

$M_\Sigma$  – сумарний момент опору повороту керованих коліс, який формується під дією сил тертя в контактні шини з дорогою, деформацій елементів підвіски та навантаження, що припадає на керовану вісь.

$$\Sigma M_{k.k} \approx 1,25 \cdot G \cdot (f_k + \varphi \cdot r_{ковз});$$

$G$  – навантаження, що сприймається керованими колесами автомобіля та визначається часткою його ваги,  $N$ ;

$f_k$  – коефіцієнт опору коченню шин, який для дорожніх умов загального користування зазвичай перебуває в межах  $0,02 \dots 0,04$ ;

$\varphi$  – коефіцієнт зчеплення шини з дорожнім покриттям, значення якого змінюється залежно від стану дороги та типу покриття і орієнтовно становить  $0,3 \dots 0,8$ ;

$r_{\text{ковз}}$  – ефективний радіус ковзання шини, що приймається у межах  $(0,12 \dots 0,15) r_k$ , м;

$r_k$  – радіус кочення колеса, м, який у розрахунках допускається прирівнювати до статичного та динамічного радіусів ( $r_k \approx r_{\text{ст}} \approx r_{\text{д}}$ );

$R$  – радіус кермового колеса, який для легкових автомобілів зазвичай приймають у діапазоні  $0,2 \dots 0,25$  м;

$M_k$  – момент, що створюється на кермовому колесі, Н·м, та визначається добутком зусилля водія на радіус керма  $M_k = P_k \cdot R$ ;

$P_k$  – сила, прикладена водієм до обода кермового колеса, Н; у практиці проєктування її граничне значення, як правило, обмежують рівнем  $P_k \leq 400\text{Н}$ , а у випадку перевищення цього значення застосування підсилювача рульового керування вважається обов'язковим;

$C$  – приведений радіус повороту (радіус обкочування) керованого колеса, що визначається як довжина перпендикуляра, опущеного з центра плями контакту шини з дорожнім покриттям на продовження осі шворня; орієнтовні значення цього параметра становлять  $0,02 \dots 0,03$  м.

Для серійних автомобілів силове передавальне число рульового керування зазвичай перебуває в межах  $i_p = 100 \dots 300$ , що забезпечує прийнятне поєднання між кермовим зусиллям та маневреністю транспортного засобу.

### 3.3 Рульовий механізм

Кінематичне передавальне число рульового механізму кількісно відображає ступінь «передачі» руху від водія до керованих коліс і суттєво впливає на чутливість керування, точність виконання маневрів та загальну керованість автомобіля. Його значення встановлюється на етапі розрахунку з

урахуванням типу рульового механізму, компоновки рульового приводу та вимог до ергономіки й безпеки руху.

$$i_{\omega m} = \frac{i_m}{i_{\omega n}},$$

де  $i_m$ — кінематичне передавальне число рульового механізму;

$i_{\omega n}$ — кінематичне передавальне число рульового приводу.

Для рульових механізмів, що застосовуються в сучасних автомобілях, кінематичне передавальне число, як правило, є сталою величиною і визначається конструктивною схемою вузла. Залежно від типу транспортного засобу його значення приймають у таких межах: для легкових автомобілів — приблизно 13...22, для вантажних — 20...25. Такий вибір забезпечує раціональний компроміс між чутливістю керування та допустимим кермовим зусиллям.

Необхідне зусилля на кермовому колесі,  $H$ , визначається з урахуванням силового навантаження рульового керування та використовується для оцінювання ергономічних властивостей системи, а також для обґрунтування доцільності застосування підсилювача рульового керування.

$$P_{p.k} = \frac{M_{k.k}}{i_{\omega} \cdot \eta_{p.m} \cdot \eta_{p.n} \cdot R_{p.k}}$$

де  $\eta_{p.m}$ — коефіцієнт корисної дії рульового механізму, який для розрахункових оцінок приймають рівним 0,7;

$\eta_{p.n}$ — коефіцієнт корисної дії рульового приводу, орієнтовне значення якого становить 0,9.

Загальний коефіцієнт корисної дії рульового керування визначається як добуток ККД його основних складових і може бути записаний у вигляді  $\eta = \eta_{p.n} \cdot \eta_{p.m}$ .

Числове значення сумарного ККД залежить від напрямку передачі зусилля в системі. У режимі прямої дії, коли зусилля передається від кермового колеса до керованих коліс, величина  $\eta$  зазвичай перебуває в межах 0,67...0,82. У разі зворотної передачі навантаження, тобто від коліс до кермового колеса, ефективність системи знижується, і коефіцієнт корисної дії становить орієнтовно

0,58...0,63, що зумовлено зростанням втрат на тертя та деформації елементів рульового механізму і приводу.

### 3.4 Вихідні параметри та розрахунок рульового керування

Для виконання розрахунку рульового керування задаються початкові геометричні та силові характеристики системи. Кут відхилення керованих коліс приймається рівним  $\alpha_{к.к} = 15^\circ$ , тоді як кут повороту кермового колеса становить  $\alpha_{р.к} = 90^\circ$ . Радіус кермового колеса відповідно до конструктивних вимог прийнято  $R = 0,25\text{м}$ .

Момент, що створюється на кермовому колесі внаслідок прикладення зусилля водієм, визначається як добуток сили на радіус керма і для заданих умов дорівнює

$$M_{р.к.} = 60 \cdot 0,25 = 15 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

Сумарний момент опору повороту керованих коліс, зумовлений взаємодією шин з дорожнім покриттям та навантаженням на передню вісь, приймається рівним

$$M_{к.к.} = 350 \cdot 0,8 = 280 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

На основі наведених вихідних даних у подальших розрахунках визначають кінематичне передавальне число  $i_\omega$ , яке характеризує співвідношення кутових переміщень у системі, а також силове передавальне число  $i_p$ , що відображає ефективність передачі моменту від кермового колеса до керованих коліс автомобіля.

$$i_\omega = \frac{\alpha_{р.к.}}{\alpha_{к.к.}};$$

$$i_\omega = \frac{90}{15} = 6$$

$$i_p = \frac{\Sigma M_{к.к.} \cdot R}{M_{р.к.} \cdot C}$$

$C$  – приведений радіус повороту керованого колеса, який також інтерпретується як радіус його обкочування; для розрахункових умов приймається значення  $C=0,25 \text{ м}$ .

$$i_p = \frac{280 \cdot 0,25}{15 \cdot 0,25} = 186,6$$

Необхідне зусилля, яке повинен прикласти водій до кермового колеса, визначається на основі рівноваги моментів у рульовому керуванні та обчислюється за відповідним аналітичним співвідношенням, що враховує сумарний опір повороту керованих коліс, передавальні характеристики системи та коефіцієнт корисної дії рульового механізму і приводу:

$$P_{p.k} = \frac{M_{k.k}}{i_{\omega} \cdot \eta_{p.m} \cdot \eta_{p.n} \cdot R}$$

$$P_{p.k} = \frac{280}{6 \cdot 0,7 \cdot 0,9 \cdot 0,25} = 296,2 \text{ Н}$$

Кут нахилу важелів поворотних цапф встановлюють на основі геометричного аналізу рульового приводу з урахуванням компоновки передньої підвіски та взаємного розташування керованих коліс:

$$\theta = \arctg\left(\frac{x \cdot L}{0,5 \cdot B}\right);$$

База автомобіля становить  $L = 2,45\text{м}$  і характеризує поздовжню відстань між осями коліс, що суттєво впливає на стійкість і маневреність транспортного засобу.

Відстань між шворнями визначається конструктивними особливостями переднього моста та геометрією рульового приводу і є важливим параметром при розрахунку кутів повороту керованих коліс і кінематичних співвідношень рульового керування.

Ширина колії передніх коліс приймається рівною  $B = 1500\text{мм}$ . Відстань між геометричними центрами кульових шарнірів важелів рульової трапеції становить  $n = 1400\text{мм}$ , що визначає просторову конфігурацію рульового приводу.

Довжина важелів поворотних цапф прийнята  $m = 200\text{мм}$ . Для подальшого аналізу кінематики рульового керування обчислюють безрозмірне відношення

$$y = \frac{m}{n} = \frac{200}{1400} = 0,143,$$

на підставі якого, відповідно до рекомендацій графічного методу, обирають другу характерну лінію на розрахунковому графіку.

За результатами графічного визначення (рис. 3.1) значення коефіцієнта становить  $x = 0,72$ , що надалі використовується для встановлення кутових параметрів важелів поворотних цапф та перевірки відповідності кінематики рульового приводу умовам правильного повороту керованих коліс.

$$\theta = \arctg\left(\frac{0,72 \cdot 2,45}{0,5 \cdot 1,5}\right) = 67^\circ$$

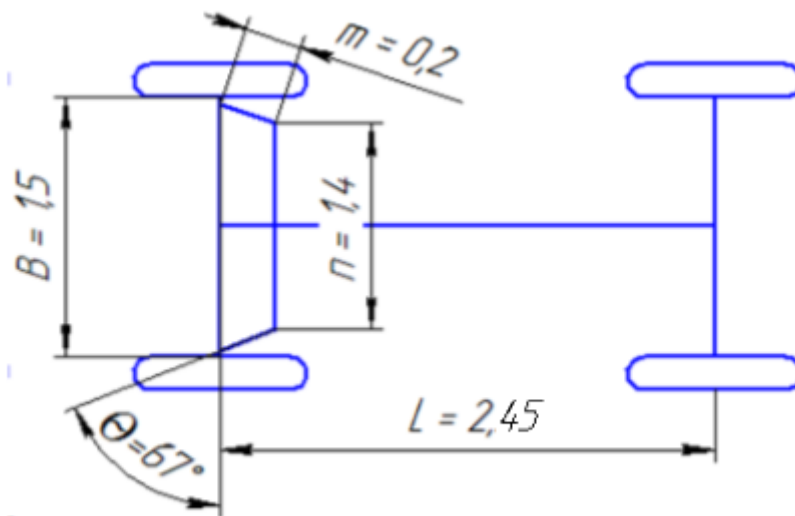


Рис. 6.1. Схема геометричних розмірів трапеції.

Теоретичне значення зовнішнього кута повороту керованих коліс встановлюють на основі геометричних співвідношень, що описують умову правильного повороту автомобіля. Отримане співвідношення використовується для перевірки відповідності кінематики рульового керування теоретичним вимогам та подальшого уточнення конструктивних параметрів системи:

$$\alpha_{\text{зоб}} = \text{arcctg}\left(\frac{B}{L} + \text{ctg}\alpha_{\text{вн}}\right)$$

$$\alpha_{\text{зоб1}} = \text{arcctg}\left(\frac{1,5}{2,45} + \text{ctg}5\right) = 4,35$$

$$\alpha_{\text{зоб2}} = \text{arcctg}\left(\frac{1,5}{2,45} + \text{ctg}10\right) = 8,86$$

$$\alpha_{\text{зоб3}} = \text{arcctg}\left(\frac{1,5}{2,45} + \text{ctg}15\right) = 12,7$$

$$\alpha_{\text{зоб4}} = \text{arcctg}\left(\frac{1,5}{2,45} + \text{ctg}20\right) = 16,3$$

$$\alpha_{\text{зов}5} = \text{arcctg}\left(\frac{1,5}{2,45} + \text{ctg}25\right) = 19,7$$

$$\alpha_{\text{зов}6} = \text{arcctg}\left(\frac{1,5}{2,45} + \text{ctg}30\right) = 22,9$$

$$\alpha_{\text{зов}7} = \text{arcctg}\left(\frac{1,5}{2,45} + \text{ctg}35\right) = 25,95$$

$$\alpha_{\text{зов}8} = \text{arcctg}\left(\frac{1,5}{2,} + \text{ctg}40\right) = 28,9$$

Таблиця 3.1. Параметри кутів відхилення керованих коліс.

| Кути<br>повороту<br>колеса | Внутрішній $\alpha_{\text{вн}}$    |                  | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 35    | 40   |
|----------------------------|------------------------------------|------------------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
|                            | Зовнішній<br>$\alpha_{\text{зов}}$ | Теоретич-<br>ний | 4,35 | 8,86 | 12,7 | 16,3 | 19,7 | 22,9 | 25,95 | 28,9 |

За даними таблиці 6.1 будуємо графік залежності  $\alpha_{\text{зов}} = f(\alpha_{\text{вн}})$

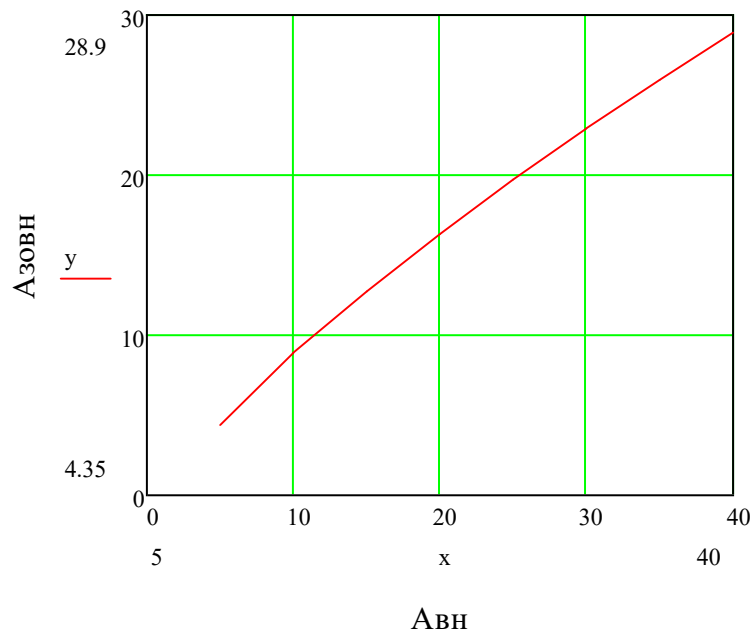


Рис. 3.2. Графік залежності  $\alpha_{\text{зов}} = f(\alpha_{\text{вн}})$ .

Геометрію рульової трапеції можна вважати такою, що відповідає вимогам працездатності, за умови, що в діапазоні повороту керованих коліс до  $20^\circ$  розрахункова (теоретична) та графічно отримана залежності практично накладаються одна на одну. За більших кутів повороту допустимими вважаються незначні розбіжності між цими залежностями, величина яких не повинна перевищувати  $2...3^\circ$ , що свідчить про коректну кінематику рульового приводу та відсутність суттєвого бокового проковзування коліс.



## 4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

### 4.1 Модель руху транспортних засобів малої тоннажності на криволінійних ділянках дороги

Дослідження курсової стійкості автомобілів під час руху за криволінійною траєкторією з урахуванням нестационарних силових впливів залишається одним із ключових завдань теорії автомобіля. Це зумовлено тим, що змінний характер динамічних процесів у русі безпосередньо впливає на параметри керованості та стійкості транспортного засобу. За таких умов збереження заданого напрямку руху можливе лише за умови узгодження кінематичних і динамічних режимів автомобіля з геометрією траси, коефіцієнтом зчеплення дорожнього покриття, метеорологічними факторами та іншими експлуатаційними чинниками. Сукупна дія зазначених факторів формує складне середовище руху, адекватний опис якого потребує застосування розвинених математичних моделей, актуальність яких суттєво зросла з упровадженням автоматизованих і напіваавтоматизованих систем керування транспортними засобами.

У сучасних автомобілях для підвищення стабільності руху під час маневрування широко використовуються електронні системи динамічної стабілізації, зокрема ESP, які здійснюють контроль відповідності фактичної траєкторії руху куту повороту кермового колеса та, у разі виникнення відхилень, формують коригувальні впливи шляхом вибіркового гальмування окремих коліс. Результати численних досліджень свідчать, що застосування таких систем істотно підвищує керованість автомобіля та зменшує ризик втрати стійкості під час заносу. Водночас слід зазначити, що ESP виконує переважно стабілізуючу функцію, компенсуючи прояви недостатньої або надмірної обертовості, але не здійснює цілеспрямованого формування оптимальної траєкторії руху транспортного засобу.

У зв'язку з цим актуальним є завдання визначення раціональної траєкторії руху автомобіля на криволінійних ділянках дороги з урахуванням змін кривизни траси, характеру маневрів та перебудови між смугами руху, а також узгодження цих параметрів зі швидкісним режимом. Розв'язання зазначеної задачі є

необхідною передумовою підвищення активної безпеки транспортних засобів малої тоннажності та вдосконалення алгоритмів роботи сучасних систем допомоги водієві й автономного керування.

Під час руху транспортного засобу по криволінійній ділянці дороги на нього діють інерційні сили, зумовлені виникненням відцентрового прискорення. Саме ці сили істотно впливають на курсову стійкість автомобіля, оскільки при їх зростанні підвищується ймовірність ковзання коліс та втрати керованості. З міркувань безпеки величина відцентрового прискорення не повинна перевищувати певної частки прискорення вільного падіння. Допустиме значення цього прискорення доцільно визначати з використанням коефіцієнта, який узагальнює вплив типу та технічного стану автомобіля, характеристик шин, стану дорожнього покриття, а також метеорологічних умов.

За таких припущень швидкісний режим руху автомобіля обмежується на ділянках траси зі значною кривиною, де перевищення допустимого відцентрового прискорення є найбільш імовірним. Прирівнюючи фактичне відцентрове прискорення, що виникає під час руху, до його гранично допустимого значення, можна отримати функціональну залежність максимально дозволених швидкостей від радіуса кривизни траси. Отриманий закон зміни швидкості є основою для формування раціональних алгоритмів керування рухом автомобіля на криволінійних ділянках дороги та для підвищення рівня активної безпеки в цілому:

$$v_{don}(l_u) = \sqrt{\frac{k_g g}{K_u(l_u)}} \quad (4.1)$$

Така функція забезпечує плавний характер зміни параметрів руху без різких стрибків, що є принципово важливим з точки зору забезпечення курсової стійкості та комфорту керування:

$$y(x) = \frac{u \cdot \tanh[\lambda(x - Q/2)] + u}{2} = \frac{u \cdot e^{\lambda(2x-Q)}}{1 + e^{\lambda(2x-Q)}} \quad (4.2)$$

У подальшому вважаємо, що величина  $d$  характеризує інтервал між осьовими лініями суміжних смуг руху, тобто фактичну ширину смуги. Параметр  $d$  використовується для регулювання плавності кривої перебудови та визначає ступінь її розтягнутості вздовж поздовжньої координати, тоді як  $L$  задає

протяжність ділянки дороги, на якій відбувається процес перестроювання автомобіля з однієї смуги на іншу.

З метою спрощення подальшого аналізу доцільно прийняти малу величину поперечного зміщення  $\Delta y$ , яка практично не впливає на динамічні властивості транспортного засобу та не спричиняє суттєвих змін його просторової траєкторії. За такої умови можна вважати, що  $\Delta y \ll d$ . Тоді, відповідно до відомих аналітичних залежностей, довжина зони перебудови  $L$  визначається з умови забезпечення плавності зміни поперечної координати та безперервності її похідних уздовж траси, що створює передумови для стабільного та безпечного виконання маневру.

$$Q = \frac{1}{\lambda} \ln \left( \frac{u - \varepsilon_Q}{\varepsilon_Q} \right) \quad (4.3)$$

У подальшому параметр  $Q$  інтерпретується як величина зсуву кривої, сформованої за законом гіперболічного тангенса, відносно осі смуги руху. Зазначений зсув має другорядний характер і практично не впливає на загальну конфігурацію траєкторії автомобіля, проте визначає момент початку плавного входження транспортного засобу в межі цільової смуги. Таким чином, параметр  $Q$  виконує роль коригувального чинника, який дозволяє узгодити математичний опис маневру з реальною схемою перестроювання.

Графічне представлення траєкторій перебудови, отриманих для різних значень параметра  $Q$ , наведене для смуг руху шириною  $d_m$  на відрізку дороги завдовжки 40 м (рис. 4.1). Аналіз наведених кривих демонструє вплив цього параметра на початкову ділянку маневру без суттєвої зміни загальної форми траєкторії, що підтверджує доцільність його використання в моделі руху автомобіля.

Зміна напрямку руху автомобіля в процесі виконання маневру перестроювання між смугами описується відповідною аналітичною залежністю, яка задає кутову орієнтацію вектора швидкості вздовж траєкторії:

$$y'(x) = dy / dx = 0,5 \lambda u \operatorname{sech}^2 [\lambda \cdot (x - Q / 2)] , \quad (4.4)$$

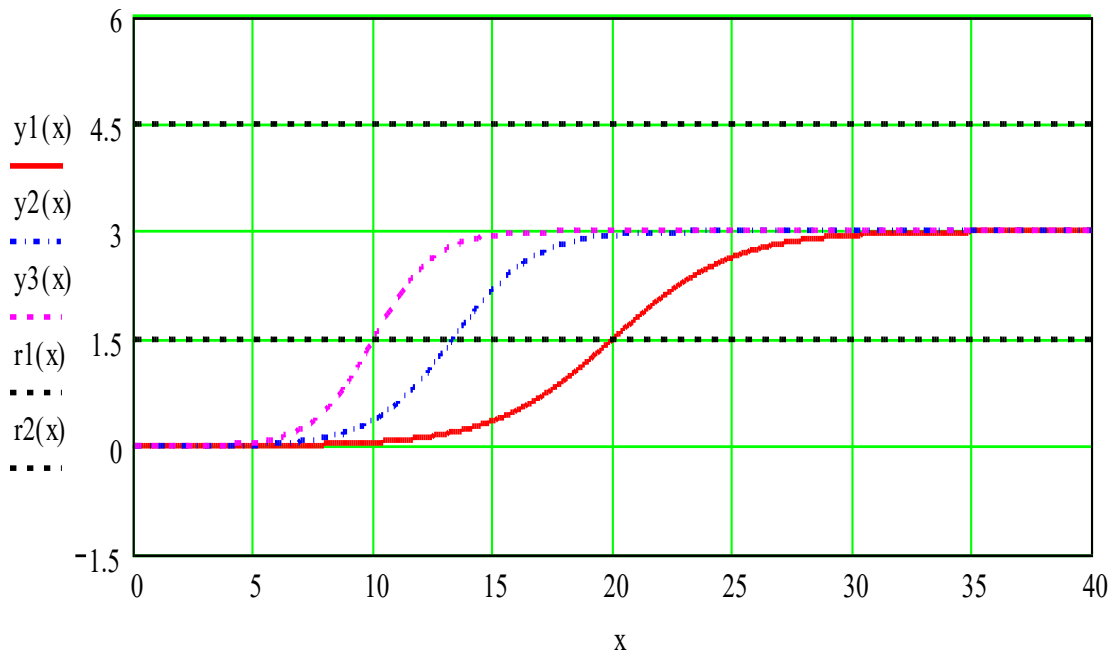


Рис. 4.1. Траєкторії перебудови автомобіля із однієї смуги на іншу для різних значень параметру згладжування траєкторії руху (по мірі зростання довжини перебудови):  $\lambda=0,4 \text{ м}^{-1}$ ;  $\lambda=0,3 \text{ м}^{-1}$ ;  $\lambda=0,2 \text{ м}^{-1}$ .

Зазначена функція досягає свого найбільшого значення в характерній точці  $t = t_{\max}$ , у якій її величина дорівнює  $\varphi_{\max}$ . Саме в цій точці інтенсивність зміни напрямку руху автомобіля є найбільшою, що відповідає середині процесу перебудови між смугами

$$s_Q = \int_0^Q \sqrt{1 + y_x'^2} dx. \quad (4.5)$$

З урахуванням того, що зазначена величина є малою порівняно з іншими параметрами моделі, доцільно прийняти спрощувальне припущення, яке не призводить до помітної втрати точності результатів:

$$s_Q = \int_0^Q (1 + y_x'^2 / 2) dx = Q + 0,5 \int_0^Q y_x'^2 dx. \quad (4.6)$$

Друга похідна заданої функції характеризує інтенсивність зміни кінематичних параметрів і безпосередньо відображає динамічні особливості руху автомобіля під час виконання маневру

$$y''(x) = d^2 y / dx^2 = -\lambda^2 u \tanh[\lambda(x - Q/2)] \operatorname{sech}^2[\lambda(x - Q/2)] \quad (4.7)$$

Функція (4.3) має два екстремуми, що рівні

$$y_{\text{ext}}'' = \pm k_\lambda \lambda^2 u, \quad (4.8)$$

ут коефіцієнт  $k$  є безрозмірною величиною, числове значення якої приймається рівним заданому параметру моделі. Зазначений коефіцієнт визначає інтенсивність зміни відповідної функції та впливає на характер перебігу динамічних процесів під час виконання маневру перестроювання.

Графічна інтерпретація закону зміни досліджуваної величини для логістичної кривої перебудови з обраним значенням параметра  $k$  наведена для ділянки руху завдовжки  $L_m$  при ширині смуги руху  $d_m$ . Відповідна залежність представлена на рис. 4.2 і наочно ілюструє особливості динаміки процесу перебудови автомобіля між смугами.

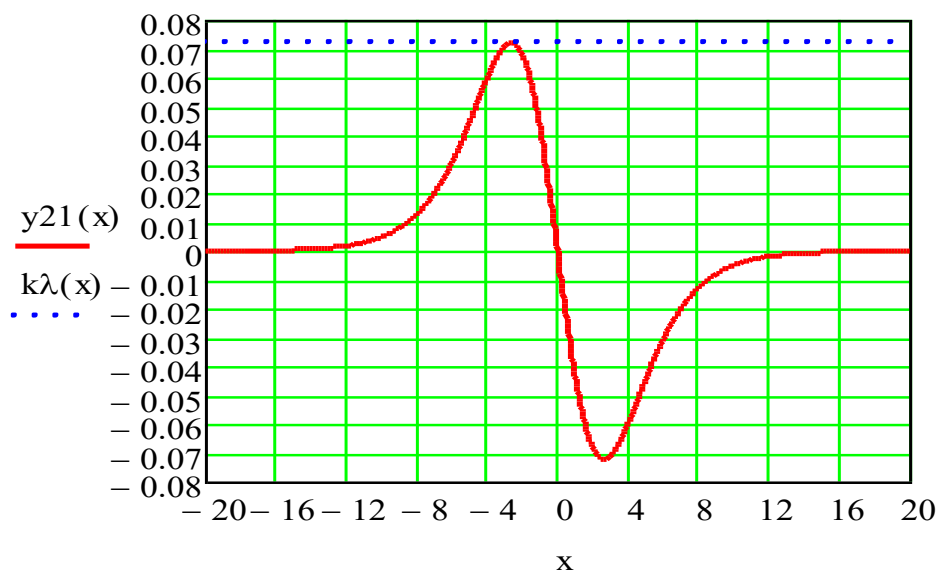


Рис.4.3. Графік функції другої похідної  $y''(x)$  функції логістичної кривої (25) з параметром  $\lambda = 0,25$  при зміні смуги руху шириною  $u = 3$  м на ділянці траси довжиною  $Q = 40$  м.

Для випадку плавного перестроювання транспортного засобу між суміжними смугами, коли траєкторія характеризується малими кутами повороту та відсутністю різких змін напрямку руху, кривизна шляху автомобіля може бути визначена на основі відповідної аналітичної залежності:

$$K_x = y''(x) / \sqrt{1 + y'^2} = k_K y''(x). \quad (4.9)$$

У процесі перестроювання між смугами на автомобіль діють інерційні навантаження, зумовлені виникненням відцентрового прискорення. Саме ці навантаження визначають граничні умови курсової стійкості, оскільки перевищення допустимого рівня відцентрового прискорення призводить до

погіршення керованості та зростання ймовірності втрати зчеплення коліс з дорожнім покриттям. У зв'язку з цим обмеження за допустимим відцентровим прискоренням під час перебудови накладають безпосередні вимоги на форму та параметри траєкторії маневру, які, у свою чергу, залежать від вибраного швидкісного режиму руху автомобіля.

З урахуванням співвідношень (4.4), (4.5) та (4.9) встановлюється, що параметр згладжування кривої перебудови  $a$  повинен задовольняти умову верхньої межі, яка забезпечує виконання вимог щодо курсової стійкості та безпеки руху. Перевищення цього граничного значення призводитиме до зростання динамічних навантажень і, відповідно, до погіршення умов керування автомобілем під час маневру.

$$\lambda = \sqrt{\frac{k_g g}{k_\Sigma v^2 u}} \quad (4.10)$$

У випадку, коли перестроювання транспортного засобу з однієї смуги на іншу здійснюється за траєкторією, аналітичний опис якої подано співвідношенням (4.3), з урахуванням залежностей (4.7) та (4.9) можна визначити необхідну протяжність ділянки перебудови

$$Q = v \sqrt{\frac{k_\Sigma u}{k_g g}} \ln \left( \frac{u - \varepsilon_Q}{\varepsilon_Q} \right) \quad (4.11)$$

У разі виконання маневру перестроювання на криволінійному відрізку дороги оцінювання впливу швидкісного режиму на форму траєкторії здійснюється за тим самим методичним підходом, що й для прямолінійних ділянок, однак із урахуванням додаткових геометричних чинників. Зокрема, сумарна кривизна руху формується як результат поєднання власної кривини дорожньої траси та кривини траєкторії перебудови між смугами. Таке накладання призводить до зміни величини відцентрового прискорення, а отже, потребує коригування розрахункових залежностей, що використовуються для визначення допустимих параметрів руху.

Водночас під час входження автомобіля в поворот принципово важливим є врахування не лише лінійних прискорень і відповідних інерційних сил, прикладених до центру мас транспортного засобу, але й кутових прискорень.

Останні зумовлюють виникнення інерційних моментів відносно центра мас, які істотно впливають на обертальну динаміку автомобіля та його курсову стійкість. Ігнорування цих моментів може призвести до спрощеного опису руху та заниження оцінки динамічних навантажень у процесі маневрування:

$$I_z d^2 \varphi / dt^2 = \Sigma M_z, \quad (4.12)$$

Тут  $J_z$  характеризує момент інерції автомобіля відносно вертикальної осі, що проходить через центр його мас, і визначає опір транспортного засобу обертальному руху в площині дороги. Величина  $\dot{\omega}_z$  відповідає кутовому прискоренню автомобіля відносно цієї осі та описує інтенсивність зміни його кутової швидкості під час маневру. Параметр  $\Sigma M_z$  являє собою алгебраїчну суму моментів, що виникають унаслідок дії поздовжніх і бокових реакцій дорожнього покриття на колеса або осі автомобіля:

$$d\varphi = k_f ds_1 = k_r ds_2 = \frac{ds_1 \sin(\theta - \delta_1 + \delta_2)}{A \cos \delta_2} = \frac{ds_2 \sin(\theta - \delta_1 + \delta_2)}{A \cos(\theta - \delta_1)}, \quad (4.13)$$

Тут  $k_f$  та  $k_r$  відповідають кривинам траєкторій руху уявних переднього та заднього коліс велосипедної моделі автомобіля. Величини  $\alpha_f$  і  $\alpha_r$  характеризують кути відведення відповідно переднього та заднього коліс у межах прийнятої моделі. Кут  $\delta$  визначає поворот уявного керованого колеса і функціонально пов'язаний із кутами повороту лівого та правого передніх коліс. Параметр  $L$  позначає колісну базу автомобіля.

Із співвідношення (4.13) випливає, що миттєва кривина траєкторії, по якій рухається середина осі задніх коліс у заданий момент часу, набуває значення  $k_r$ , що необхідно враховувати під час формування раціональної траєкторії проходження повороту. Це пояснюється тим, що геометрія руху задньої осі відрізняється від траєкторії передньої, особливо за наявності значних кутів повороту.

Оскільки водієм або системою керування безпосередньо задається траєкторія руху передньої осі, яка характеризується кривиною  $k_f$ , саме вона в рамках моделі виступає визначальним чинником при виборі загальної траєкторії автомобіля. Відповідно до залежності (4.13), кутове прискорення транспортного засобу може бути виражене через різницю кривин траєкторій осей та параметри

руху, що дозволяє пов'язати кінематичні характеристики маневру з обертальною динамікою автомобіля:

$$d^2\varphi / dt^2 = v_l \cdot dk_1 / dt + k_1 \cdot d^2s_1 / dt^2, \quad (4.14)$$

Тут величина  $v_f$  відповідає швидкості руху передньої осі автомобіля та використовується для опису кінематичних і динамічних характеристик маневру.

Під час переходу транспортного засобу від прямолінійного руху, що характеризується нульовою або малою кривиною траєкторії, до руху по коловій ділянці з кривиною  $\kappa = 1/R$ , де  $R$  – радіус повороту, визначений по серединній лінії смуги руху, має місце різка зміна геометрії траєкторії. Такий стрибкоподібний перехід супроводжується миттєвим зростанням кривини траєкторії та відповідною різкою зміною кута повороту керованих коліс. Наслідком цього є істотне збільшення кутового прискорення автомобіля.

З урахуванням співвідношення (4.12) зазначене зростання кутового прискорення призводить до різкого збільшення сумарного моменту, що діє відносно вертикальної осі, а отже – до перерозподілу поздовжніх і бокових сил взаємодії коліс із дорожнім покриттям. За несприятливих умов це може спричинити порушення курсової стійкості, погіршення керованості та виникнення заносу автомобіля. Саме тому при входженні в поворот між прямолінійною ділянкою дороги та коловою кривою доцільно передбачати перехідний відрізок, на якому кривина траєкторії змінюється плавно й без розривів.

З урахуванням того, що кутове прискорення безпосередньо пов'язане зі зміною кривини траєкторії, можна сформулювати обмеження, спрямовані на запобігання заносу автомобіля та його неконтрольованому повороту відносно вертикальної осі. Виконання цих умов є необхідною передумовою забезпечення безпечного та стійкого руху транспортного засобу під час маневрування:

$$v_l^2 \cdot dk_1 / ds + k_1 \cdot dv_l / dt \leq M_z / I_z = k_M g A (m / I_z), \quad (3.20)$$

Тут коефіцієнт  $\chi$  розглядається як узагальнений параметр, що характеризує здатність автомобіля зберігати стійкість у повороті та залежить від конструктивних особливостей транспортного засобу, технічного стану шин,



коефіцієнта зчеплення коліс із дорожнім покриттям, а також від дорожніх і кліматичних умов:

$$v_C^2 \cdot k_C \leq k_g mg, \quad (4.16)$$

Тут величина  $v$  характеризує поступальну швидкість руху центра мас автомобіля, параметр  $k$  визначає кривину траєкторії, по якій переміщується центр ваги транспортного засобу, а коефіцієнт  $\varphi$  відповідає динамічному рівню зчеплення коліс із дорожнім покриттям і відображає реальні умови контакту шини з дорогою.

Як впливає зі співвідношень (4.15) та (4.16), саме геометрія обраної траєкторії має вирішальний вплив на збереження стійкості руху та ефективність керування автомобілем. Найбільш критичним цей вибір є під час проходження поворотів, особливо в умовах перехресть, де значна кривина траси поєднується з обмеженим простором для маневру та змінними дорожніми умовами, що істотно ускладнює процес керування.

Розглянемо узагальнену схему виконання повороту автомобіля на перехресті (рис. 4.3). Введемо прямокутну систему координат  $OXY$  з початком у точці  $O$ , яка співпадає з центром уявного кола радіуса  $R$ , що обмежує проїжджу частину перехрестя. Вісь  $OX$  доцільно спрямувати у бік ділянки траєкторії з найменшою кривиною, тобто у напрямку до центра перехрестя. За такого вибору системи координат траєкторія руху автомобіля повністю розташовується в області додатних значень функції  $y(x)$ , що її описує.

Відстань від початку координат  $O$  до геометричного центра перехрестя позначимо через  $a$ . Траєкторія руху транспортного засобу перетинає вісь  $OX$  у точках  $x_1$  та  $x_2$ , які визначають межі області визначення математичної моделі руху. Для Х-подібного перехрестя, де осі доріг перетинаються під прямим кутом, відповідні геометричні співвідношення набувають спрощеного вигляду, що дозволяє отримати аналітичні залежності для подальшого аналізу траєкторії повороту:

$$x_{min} = -x_{max} = -\sqrt{2}(r_0 + u / 2) = -c + u / \sqrt{2}, \quad (4.17)$$

Тут величина  $u$  характеризує ширину смуги руху та визначає геометричні обмеження для формування траєкторії автомобіля в межах проїжджої частини.

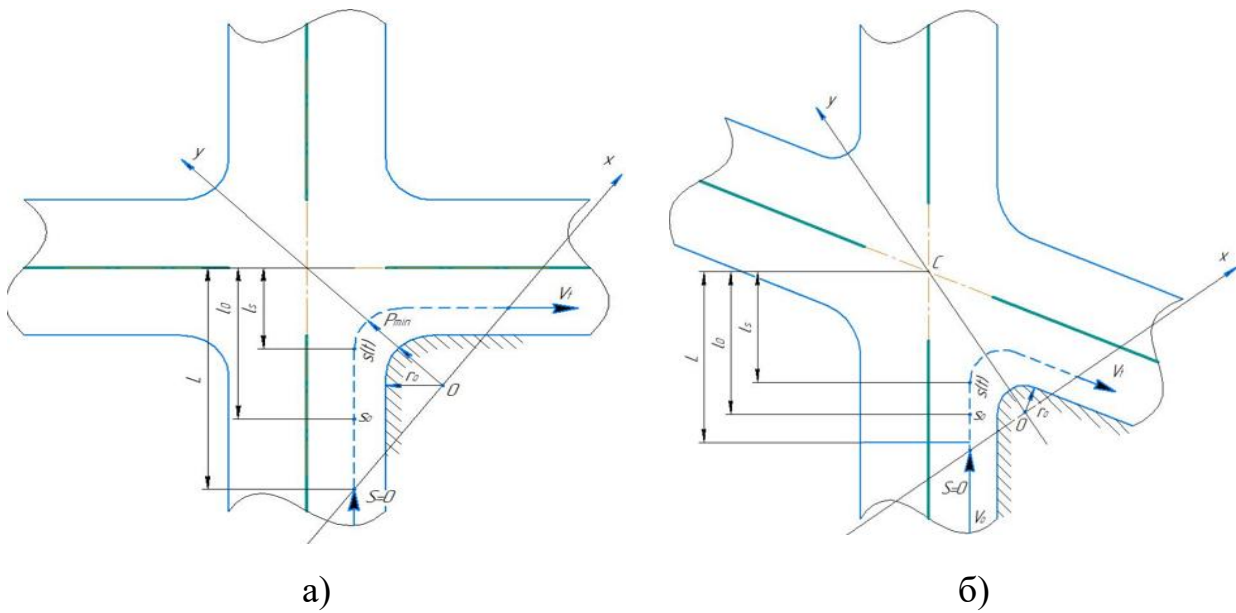


Рис. 4.3. Схема повороту автомобіля на перехресті: а - під прямим кутом; б - під довільним утом.

Відлік шляху транспортного засобу здійснювати від початкової точки  $A$ , для якої  $s = 0$ , що розташована на відстані  $a$  від центра перехрестя. У точці  $B$ , віддаленій від геометричного центра перехрестя на величину  $a$ , автомобіль переходить від прямолінійного руху до руху по криволінійній траєкторії, яка відповідає виконанню повороту.

Забезпечення належної керованості автомобіля в цьому процесі передбачає безперервний контроль зміни кута повороту керованих коліс  $\delta$ , кривини траєкторії  $\kappa$ , її першої та другої похідних, а також інших кінематичних і динамічних параметрів. Усі ці величини розглядаються як функції пройденого шляху, який, у свою чергу, є функцією часу  $t$ . Для руху по прямолінійній ділянці цей шлях однозначно пов'язаний із поточною відстанню від автомобіля до центра перехрестя  $r$  відповідною геометричною залежністю.

На прямолінійних відрізках траєкторії – до моменту входження в поворот, тобто до точки  $B$  з координатою  $x = x_B$ , а також після завершення маневру (у точці з симетричною координатою  $x = -x_B$ ) – рух автомобіля може бути описаний спрощеним рівнянням прямої, яке використовується як гранична умова для побудови криволінійної частини траєкторії:

$$y = f_0(x) = c - u / \sin \varphi - |x| \operatorname{ctg} \varphi, \quad (4.18)$$

Тут параметр  $\alpha$  визначається як половина кута між осями доріг, що перетинаються, причому повний кут їх перетину дорівнює  $2\alpha$ . Дана величина задає геометричні умови виконання повороту та впливає на форму траєкторії руху автомобіля в межах перехрестя.

Маневр проходження повороту на інтервалі  $x \in [-x_0; x_0]$  реалізується по кривій, симетричній відносно осі  $OY$ . Для аналітичного опису цієї кривої, залежно від необхідної точності та характеру руху, можуть бути використані різні апроксимаційні залежності. Зокрема, траєкторія може бути змодельована у вигляді дуги кола, для якої радіус є сталим, параболічної кривої з відповідно підібраними коефіцієнтами, або функції гіперболічного косинуса, що забезпечує підвищену плавність зміни кривини. Крім того, для більш точного відтворення реальної траєкторії допускається застосування поліномів вищих порядків, які дозволяють гнучко враховувати обмеження за динамічними та кінематичними параметрами руху автомобіля:

Для випадку перехрестя автомобільних доріг, що перетинаються під прямим кутом (рис. 4.3, а), кут між їх осями дорівнює  $\pi/2$ , відповідно  $\alpha = \pi/4$ . За таких геометричних умов координати початку та завершення руху по коловій ділянці траєкторії набувають симетричних значень. Початкова точка переходу до криволінійного руху розташовується на певній відстані від центра перехрестя, що визначається геометрією смуги руху та радіусом повороту.

У точках спряження прямолінійної та колової частин траєкторії, які мають координати  $x_1$  та  $x_2$ , відбувається стрибкоподібна зміна кривини шляху: від нульового значення, характерного для прямої ділянки, до сталої кривини кола. Така різка зміна геометричних параметрів траєкторії на практиці зумовлює значне зростання кутових прискорень і, як наслідок, підвищує ймовірність порушення курсової стійкості автомобіля під час входження в поворот.

У разі використання параболічної траєкторії параметр  $a$  у її рівнянні визначається з умови дотикання параболі до прямолінійних ділянок руху, тобто забезпечення безперервності першої похідної у точках спряження. Координати початку та завершення процесу перебудови при цьому визначаються з геометричних умов контакту кривих, а відстань до центра перехрестя в точці початку маневру залишається сталою.

Для траєкторії, описаної функцією гіперболічного косинуса, параметри рівняння встановлюються з умов плавного спряження з прямолінійними ділянками руху. Зокрема, з вимоги рівності перших похідних функцій, що описують пряму та криволінійну частини, визначається значення параметра згладжування. Координати точок спряження знаходяться як розв'язок відповідного рівняння, що забезпечує безперервність геометричних і кінематичних характеристик траєкторії та зменшує динамічні навантаження на автомобіль під час проходження повороту.

На рис. 4.4 подано графічну інтерпретацію залежності (4.18) у вигляді ламаної лінії  $y_0(x)$ , яка відповідає прямолінійному відрізку траси, а також кривих  $y_1(x)$ ,  $y_2(x)$  та  $y_3(x)$ , що моделюють криволінійні ділянки дороги. Зазначені криві отримані на основі рівнянь кола, гіперболічного косинуса та параболи відповідно і побудовані таким чином, щоб забезпечити їх коректне спряження з прямолінійною частиною траєкторії.

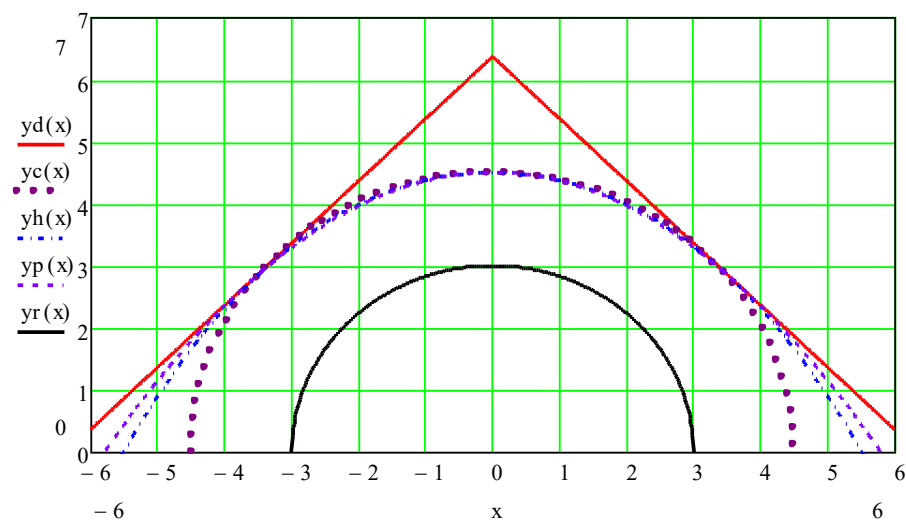


Рис. 4.4. Траєкторії трас, що описуються залежностями: ламаної прямої  $y_d(x)$ , кола  $y_c(x)$ , гіперболічного косинуса  $y_h(x)$  та параболи  $y_p(x)$ , для проходження автомобілем повороту на прямому перехресті.

Побудова графіків виконувалася для розрахункової схеми перехрестя з ортогональним перетином доріг. При цьому ширина смуги руху приймалася рівною заданому значенню, а радіус обочини, що обмежує проїжджу частину, також обирався рівним цій величині. Таке припущення відповідає реальним умовам руху та є близьким до мінімального радіуса розвороту легкового автомобіля. У всіх розглянутих випадках траєкторія руху автомобіля

прокладалася по середині смуги, тобто на однаковій відстані від крайки проїжджої частини.

На рис. 4.5. більш детально показані ділянки траєкторій у зоні їх спряження з прямою, тобто безпосередньо в області входження автомобіля в поворот. Саме на цих відрізках найбільш виразно проявляються відмінності між різними типами апроксимацій криволінійної частини траси.

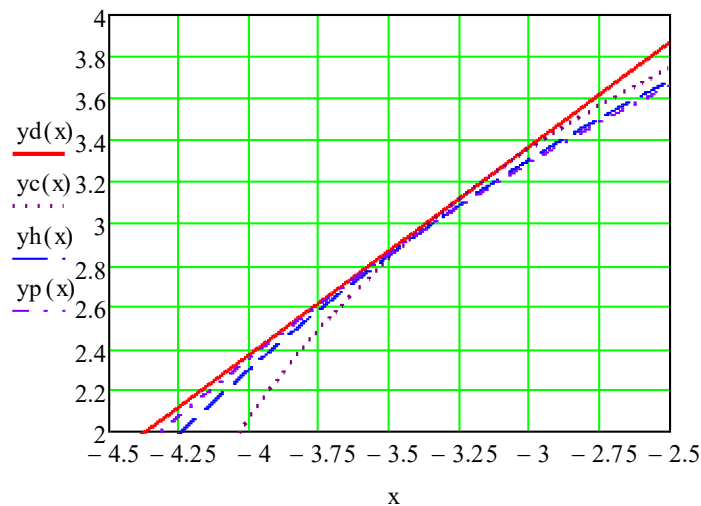


Рис. 4.5. Траєкторії трас, що описуються прямою  $y_d(x)$  та кривими, відповідно, кола  $y_c(x)$ , гіперболічного косинуса  $y_h(x)$  та параболи  $y_p(x)$  в місці їх спряження.

За результатами апробації розробленої моделі виконано порівняльний аналіз кривих, спряжених із прямолінійною ділянкою. Встановлено, що у вершині повороту максимальний радіус кривини спостерігається для траєкторії, описаної дугою кола. Для траєкторії, змодельованої за допомогою функції гіперболічного косинуса, радіус кривини є меншим, тоді як найменше його значення отримано для параболічної траєкторії. Зазначені відмінності мають принципове значення для оцінювання динамічних навантажень і рівня курсової стійкості автомобіля під час проходження поворотів.

Отримані розрахунки показують, що положення точок спряження траєкторій має істотні відмінності залежно від обраного закону опису криволінійної ділянки. Так, для дуги кола координата точки спряження становить приблизно  $x_{dl,2} = \mp 3,18$  м, у випадку використання траєкторії, описаної функцією гіперболічного косинуса, відповідне значення зменшується до  $x_{dl,2} = \mp 3,525$  м, тоді як для параболічної апроксимації точка переходу розташовується на відстані близько  $x_{dl,2} = \mp 3,73$  м.

Аналіз зміни геометричних характеристик у точці переходу від прямолінійного руху до криволінійного свідчить про наявність розриву в значеннях кривини траєкторії. Для переходу на колову траєкторію цей розрив є найбільшим, дещо меншим – у випадку застосування гіперболічного косинуса, і найменшим – при використанні параболічної залежності. Наявність такого стрибка кривини зумовлює виникнення значних кутових прискорень і відповідних моментів сил, що діють на автомобіль відносно вертикальної осі.

Використання апроксимації траєкторії повороту за допомогою спряжених відрізків, у яких криволінійна частина описується рівняннями типу  $y_2(x)$  або  $y_3(x)$ , у порівнянні з чисто коловою траєкторією  $y_1(x)$ , дозволяє зменшити різкість зміни кривини та, відповідно, знизити рівень динамічних моментів. Проте навіть за таких умов повністю усунути стрибкоподібний характер зміни кривини не вдається.

З огляду на це, для забезпечення максимально плавного переходу між прямолінійною ділянкою траєкторії, описаною залежністю  $y_0(x)$ , та криволінійною частиною, заданою довільним законом  $y(x)$ , доцільно застосовувати логістичну функцію

$$F(x) = \frac{f_0(x)e^{-\lambda_x p(x)} + f_i(x)e^{\lambda_x p(x)}}{e^{-\lambda_x p(x)} + e^{\lambda_x p(x)}}, \quad (4.19)$$

У наведеній залежності параметр  $\lambda$  виступає як коефіцієнт згладжування процесу спряження траєкторій і визначає інтенсивність переходу між прямолінійною та криволінійною ділянками, тоді як функція  $\sigma(s)$  використовується для вибору відповідного інтервалу шляху, на якому реалізується процес переходу. Саме ці параметри дозволяють адаптувати форму траєкторії до конкретних умов руху та вимог щодо динамічної стійкості автомобіля.

Графічне подання процесу спряження прямолінійної ділянки траєкторії з коловою кривою за допомогою зазначеної функції наведено на рис. 4.6. Основною перевагою використання такої залежності є те, що сама функція, а також її перша, друга й наступні похідні є неперервними та достатньо гладкими на всій області визначення. Це забезпечує плавну зміну кривини траєкторії та зменшує динамічні навантаження, що діють на транспортний засіб.

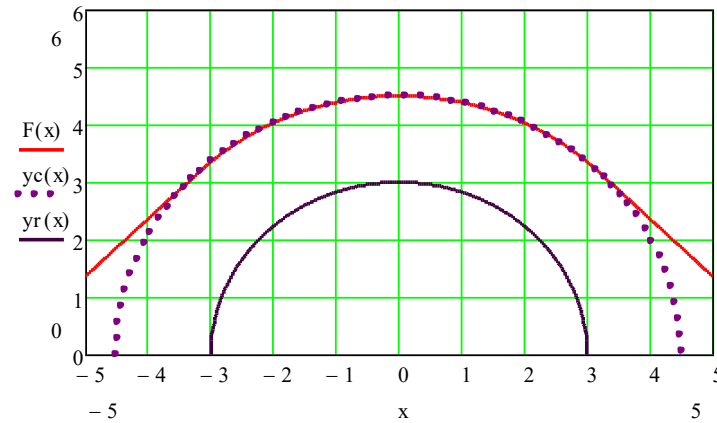


Рис. 4.6. Траєкторія траси, що описуються логістичною залежністю, що зшиває ломаної прямої  $ud(x)$ , та коло  $uc(x)$  із параметром згладжування  $\lambda=8$ .

Водночас значення параметра згладжування істотно впливає на характер переходу. За великих значень  $\lambda$  траєкторія на більшості ділянки майже збігається з прямою та коловою кривими відповідно, однак у зоні їх спряження спостерігається підвищений приріст кривини. За умов високих швидкостей руху це може призвести до збільшення кутових прискорень і, як наслідок, до порушення курсової стійкості автомобіля. При надто малих значеннях параметра  $\lambda$  перехід стає надмірно розтягнутим, що погіршує плавність повороту та ускладнює практичне слідування теоретично заданій траєкторії. Зазначені обмеження набувають особливої ваги під час руху з підвищеними швидкостями.

З огляду на це, для автомобільних доріг швидкісного типу доцільно формувати траєкторії поворотів із використанням поліномів вищих порядків. Шукану функцію доцільно вибирати симетричною відносно осі повороту, такою, що є неперервно диференційованою, і має нульову кривину в точці спряження з прямолінійною ділянкою траєкторії. Зазначеним вимогам відповідає многочлен спеціального виду, який дозволяє забезпечити плавний і безпечний перехід автомобіля від прямолінійного руху до криволінійного.

$$y_m = f_4(x) = R - a_m c^4 + a_m (c^2 - x^2)^4 \quad (4.20)$$

У наведеній моделі коефіцієнти  $a$  та  $b$  є настроювальними параметрами, значення яких визначаються просторовими координатами точок спряження  $x_1$  і  $x_2$  ( $x_1 < x_2$ ) та відповідними граничними умовами для функції траєкторії і її похідних. Саме ці параметри задають форму перехідної ділянки та забезпечують узгодження прямолінійної і криволінійної частин руху.

Координати точок спряження  $x_1$  та  $x_2$  знаходяться шляхом розв'язання відповідного рівняння, яке впливає з умов безперервності та гладкості траєкторії. Поєднання окремих функціональних залежностей за допомогою співвідношення (4.20) дає змогу реалізувати поступове та монотонне зростання кривини траєкторії – від нульового значення на прямолінійній ділянці до максимального у вершині повороту. Особливо важливо, що таке зростання зберігає плавний характер і в зоні спряження, де зазвичай виникають найбільші динамічні навантаження.

Приклад траєкторії, сформованої відповідно до залежності (4.11), наведено на рис.4.7 для умов прямого перехрестя з однаковою шириною смуг руху та заданим радіусом обочини, яка обмежує проїжджу частину. Для розглянутих параметрів мінімальний радіус кривини траєкторії у вершині повороту набуває меншого значення порівняно з раніше проаналізованими варіантами. Однак завдяки високій гладкості траєкторії в зоні переходу така апроксимація забезпечує зменшення кутових прискорень і відповідних динамічних моментів. З огляду на це використання залежності (4.20) є доцільним передусім для швидкісних автомобільних доріг із великими радіусами поворотів, де пріоритетом є плавність руху та збереження курсової стійкості автомобіля.

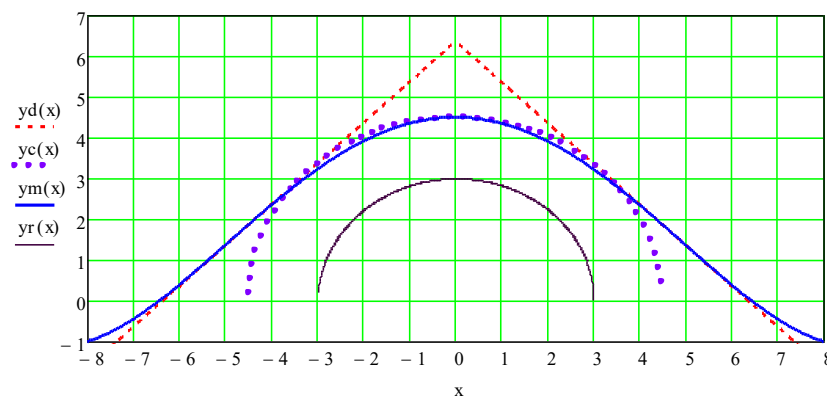


Рис. 4.7. Траєкторії трас, що описуються залежностями: ланцюгової прямої  $y_d(x)$ , кола  $y_c(x)$ , гіперболічного.

Проведений попередній аналіз показав, що реалізація входження автомобіля в поворот за траєкторією, сформованою на основі функції гіперболічного косинуса, є більш доцільною порівняно з іншими розглянутими варіантами. Це пояснюється тим, що така траєкторія забезпечує більш рівномірну зміну кривини в зоні спряження з прямолінійною ділянкою та



водночас зберігає достатній радіус повороту, необхідний для обмеження відцентрових сил і підтримання курсової стійкості транспортного засобу.

За результатами виконаних досліджень сформовано практичні рекомендації щодо вибору раціональної траєкторії входження в поворот і встановлення допустимих швидкісних режимів руху. Запропоновані підходи дозволяють забезпечити належний рівень стійкості та керованості автомобіля під час проходження поворотів різної конфігурації, у тому числі на перехрестях з непрямыми кутами перетину доріг.

Узагальнюючи отримані результати, можна зазначити, що математичний опис процесу проходження повороту за своєю суттю є задачею оптимізації. При цьому вибір самої траєкторії повороту слід розглядати як елемент структурної оптимізації, тоді як визначення параметрів рівняння цієї траєкторії належить до двокритеріальної оптимізаційної задачі. У межах такої постановки одночасно мінімізуються кутові прискорення, що характеризують обертальну динаміку автомобіля, та відцентрові прискорення, притаманні круговому руху, що в комплексі забезпечує підвищення безпеки й ефективності керування транспортним засобом.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Основні заходи запобігання електротравматизму

Безпека персоналу під час роботи з електроустановками забезпечується комплексним поєднанням конструктивних рішень обладнання, а також системою організаційних і технічних заходів. Нормативні вимоги до конструкції, будови та експлуатації електроустановок регламентуються системою стандартів безпеки праці (ССБП), державними стандартами та технічними умовами на електротехнічні вироби.

Вибір технічних засобів електрозахисту здійснюється з урахуванням електричних і експлуатаційних параметрів, зокрема: номінальної напруги, виду та частоти струму, способу електроживлення (стаціонарна електромережа або автономне джерело), режиму нейтралі джерела живлення (ізольована чи заземлена), типу виконання захисних засобів (стаціонарні, пересувні або переносні), умов виробничого середовища, можливості зняття напруги зі струмоведучих частин, характеру можливого ураження електричним струмом (однофазне або двофазне доторкання), ризику наближення до струмоведучих елементів на недопустиму відстань або потрапляння в зону розтікання струму, а також виду виконуваних робіт – монтажних, налагоджувальних, випробувальних чи експлуатаційних.

Для забезпечення електробезпеки технічними методами застосовують як окремі, так і комбіновані засоби захисту, до яких належать: захисне заземлення та занулення, системи вирівнювання електричних потенціалів, використання зниженої напруги, електричне розділення мереж, пристрої захисного відключення, різні види ізоляції струмоведучих частин (робоча, додаткова, посилена або подвійна), компенсація струмів замикання на землю, огорожувальні конструкції, світлова й звукова попереджувальна сигналізація, блокувальні пристрої, знаки безпеки, а також індивідуальні засоби захисту та запобіжні пристосування.

Організаційні та технічні заходи з електробезпеки передбачають допуск до робіт з електроустановками лише тих працівників, які пройшли відповідний

інструктаж, навчання безпечним методам праці та не мають медичних протипоказань. Обов'язковою є періодична перевірка знань правил і інструкцій з охорони праці відповідно до займаної посади та характеру виконуваних робіт із присвоєнням установленої кваліфікаційної групи з електробезпеки. Крім того, впроваджуються організаційні процедури, що включають призначення відповідальних осіб за безпечне проведення робіт, оформлення допуску та завершення робіт, регламентування перерв, переведення працівників на інші робочі місця, а також виконання робіт за нарядами або розпорядженнями відповідно до вимог чинної нормативно-технічної документації.

Реалізація зазначених заходів у сукупності створює необхідні умови для мінімізації ризику ураження електричним струмом і забезпечення безпечної експлуатації електроустановок у виробничих умовах.

Для працівників, які здійснюють експлуатацію та технічне обслуговування електроустановок, нормативними документами передбачено п'ять рівнів кваліфікації з електробезпеки, що відрізняються обсягом знань, відповідальністю та допуском до виконання робіт.

I кваліфікаційна група присвоюється особам, які володіють базовими уявленнями про небезпеку ураження електричним струмом і загальні вимоги електробезпеки під час роботи з електроустановками. Працівники цієї групи не мають спеціальної електротехнічної підготовки та не виконують самостійних робіт в електроустановках.

II кваліфікаційна група охоплює фахівців, які мають початкові знання про будову електроустановок, усвідомлюють основні ризики електротравматизму, знають елементарні заходи безпеки під час виконання робіт, а також володіють навичками надання першої допомоги постраждалим від дії електричного струму.

III кваліфікаційна група передбачає ґрунтовніші знання. Працівники цієї групи повинні орієнтуватися в конструкції електроустановок, уміти виконувати їх обслуговування, знати потенційні небезпеки під час роботи, дотримуватися вимог охорони праці та правил допуску до робіт в електроустановках напругою до 1000 В. Крім того, вони зобов'язані здійснювати нагляд за іншими працівниками та вміти надавати першу долікарську допомогу.

IV кваліфікаційна група надається спеціалістам, які мають системні теоретичні знання з електротехніки на рівні професійної освіти, добре обізнані з вимогами охорони праці, правилами технічної експлуатації та техніки безпеки. Вони повинні чітко визначати перелік елементів, які необхідно відключити для безпечного виконання робіт, організовувати та контролювати роботи в електроустановках напругою до 1000 В, знати електричні схеми й обладнання своєї ділянки, а також проводити навчання персоналу нижчих груп і інструктаж з надання першої допомоги.

V кваліфікаційна група є найвищою та передбачає повну відповідальність за організацію безпечної експлуатації електроустановок. Фахівці цієї групи повинні досконало знати правила технічної експлуатації та вимоги електробезпеки, забезпечувати безпечне виконання робіт і здійснювати нагляд в електроустановках будь-якої напруги, а також навчати персонал усіх інших груп правилам безпеки й надання першої допомоги.

Безпека виконання робіт у діючих електроустановках досягається шляхом повного або часткового відключення обладнання від джерел електроживлення, механічного блокування приводів відключених апаратів, вилучення запобіжників, роз'єднання живильних ліній та застосування інших заходів, що унеможливають подачу напруги в зону виконання робіт. Додатково забезпечується огороження струмоведучих частин, які залишаються під напругою, накладання заземлень, облаштування робочого місця та встановлення застережних і приписувальних знаків безпеки.

Роботи на струмоведучих частинах, що перебувають під напругою, або поблизу них допускається виконувати лише за нарядом не менше ніж двома працівниками із застосуванням електрозахисних засобів, під постійним наглядом і за умови безпечного розташування персоналу, механізмів та інструментів. Широке застосування мають також системи блокування, які автоматично знеструмлюють електроустановки під час відкриття огорожень або виконання перемикань, що суттєво знижує ризик помилкових дій персоналу та виникнення аварійних ситуацій.

## 5.2 Визначення та облік об'єктів підвищеної небезпеки 1 та 2 класу

Процедурі ідентифікації підлягають усі суб'єкти господарювання (СГ), у власності або користуванні яких перебувають об'єкти, на яких здійснюється використання, виробництво, перероблення, зберігання чи транспортування небезпечних речовин. До цієї категорії також належать суб'єкти господарювання, що планують розпочати будівництво об'єктів, потенційно пов'язаних із небезпечними речовинами. Такі об'єкти надалі розглядаються як потенційно небезпечні об'єкти (ПНО).

Окремій ідентифікації підлягають ПНО, на яких наявні радіоактивні речовини, об'єкти геологічної розвідки, видобування та розробки корисних копалин, ділянки перевезення небезпечних речовин транспортом за межами території суб'єкта господарювання, гідротехнічні споруди, а також об'єкти, на яких розміщені відходи, що становлять підвищену небезпеку.

Суб'єкт господарювання, який володіє або користується хоча б одним потенційно небезпечним об'єктом, або має намір здійснити його будівництво, зобов'язаний організувати проведення процедури ідентифікації. Відповідальність за своєчасність, повноту та достовірність результатів ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки покладається на відповідний суб'єкт господарювання згідно з чинним законодавством.

Потенційно небезпечний об'єкт відноситься до об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН) відповідного класу у випадку, якщо сумарна маса однієї або кількох небезпечних речовин, що перебувають в обігу на об'єкті, дорівнює або перевищує встановлені нормативними документами значення порогових мас.

ПНО розглядається як окремий апарат або як сукупність технологічно пов'язаних між собою апаратів, що функціонують у межах єдиного технологічного циклу та об'єднані за адміністративною та/або територіальною ознакою. За адміністративним критерієм ПНО може відповідати окремому структурному підрозділу суб'єкта господарювання (виробництву, цеху, дільниці, відділенню тощо). Якщо відстань між такими об'єктами не перевищує 500 м, вони вважаються одним ПНО. У разі перевищення цієї відстані відповідні

установки або дільниці розглядаються як самостійні потенційно небезпечні об'єкти.

У процесі ідентифікації для кожного ПНО здійснюється розрахунок сумарної маси кожної небезпечної речовини, зазначеної в нормативних переліках порогових мас індивідуальних небезпечних речовин або категорій небезпечних речовин. Якщо певна речовина за своїми властивостями може бути віднесена одночасно до кількох категорій небезпеки, для оцінювання використовується значення порогової маси тієї категорії, для якої встановлено найменше граничне значення. Саме така речовина вважається найбільш небезпечною з точки зору можливих наслідків аварійного викиду або розливу.

У випадку, коли сумарна маса жодної з індивідуально небезпечних речовин або небезпечних речовин відповідних категорій не перевищує 1 % порогової маси, встановленої для небезпечних речовин другого класу, об'єкт не відноситься до об'єктів підвищеної небезпеки.

Сумарну масу небезпечної речовини для цілей ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки визначають з урахуванням функціонального призначення та конструктивних особливостей відповідних елементів виробничої системи.

Для сховищ і резервуарів сумарною масою вважають максимально можливу кількість небезпечної речовини, яка може одночасно перебувати в них за умов повного заповнення відповідно до вимог технологічного регламенту, проєктної або експлуатаційної документації. При цьому обов'язково фіксується, для яких саме об'ємів і режимів завантаження виконувалися розрахунки. У разі перегляду або зміни норм завантаження процедура ідентифікації підлягає повторному проведенню у встановленому порядку.

Для технологічних установок за сумарну масу приймають найбільшу можливу кількість небезпечної речовини, що може одночасно знаходитися в апаратах і трубопроводах установки з урахуванням параметрів технологічного процесу, режимів роботи та правил експлуатації.

Для апаратів колонного типу сумарна маса визначається за умов максимального рівня рідини на контактних елементах (тарілках). У випадку використання колон із насадкою з пористих інертних матеріалів розрахунок маси

виконується з урахуванням максимального об'єму вільного простору, доступного для заповнення небезпечною речовиною.

Для міжцехових, внутрішньоцехових та внутрішньоскладських трубопроводів сумарна маса небезпечної речовини розраховується як повний її вміст по всій довжині трубопровідної системи.

Під час виконання операцій зливу та наливу сумарною масою вважають кількість небезпечної речовини, що одночасно знаходиться в залізничних або автомобільних цистернах, а також у вантажних танках суден у процесі здійснення технологічних операцій. Для розрахунків застосовують значення проєктної місткості та максимальної кількості цистерн або танків, які можуть одночасно розміщуватися на естакаді чи причалі.

Потенційно небезпечний об'єкт відноситься до об'єктів підвищеної небезпеки першого класу у разі, якщо розрахована відповідно до наведеного порядку сумарна маса хоча б однієї індивідуальної небезпечної речовини або небезпечної речовини певної категорії дорівнює або перевищує встановлену нормативами порогову масу для небезпечних речовин першого класу.

Якщо ж сумарна маса жодної з індивідуально небезпечних речовин або небезпечних речовин будь-якої категорії не досягає порогового значення, встановленого для першого класу, здійснюється класифікація речовин за їх фізико-хімічними властивостями з визначенням відповідних категорій небезпеки. Для кожної такої категорії порогова маса визначається розрахунковим шляхом за встановленою формулою.

У випадках, коли окрема небезпечна речовина за своїми характеристиками одночасно відповідає ознакам кількох категорій небезпеки, її сумарна маса враховується під час формування загальної маси небезпечних речовин у кожній з відповідних категорій. Це дозволяє коректно оцінити рівень потенційної небезпеки об'єкта з урахуванням найгіршого можливого сценарію аварійного розвитку подій.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі магістра на тему «Модернізація технічного обслуговування та ремонту рульової рейки автомобіля Nissan Qashqai з дослідженням керованості автомобіля» комплексно вирішено науково-практичну задачу підвищення надійності, ефективності та безпеки рульового керування легкового автомобіля шляхом удосконалення технологій технічного обслуговування і ремонту рульової рейки, а також оцінювання їх впливу на показники керованості транспортного засобу.

У ході виконання загально-технічного розділу проаналізовано конструктивні особливості системи рульового керування автомобіля Nissan Qashqai з електричним підсилювачем, встановлено характерні експлуатаційні навантаження та типові несправності рульової рейки. Обґрунтовано актуальність модернізації процесів її технічного обслуговування і ремонту з урахуванням сучасних вимог до активної безпеки, керованості та ресурсу вузлів.

У технологічному розділі розроблено та детально обґрунтовано удосконалений технологічний процес ремонту рульової рейки, який включає послідовність операцій демонтажу, дефектації, відновлення, складання та контролю якості. Запропоновані рішення базуються на раціональному використанні спеціалізованого інструменту, вимірювального обладнання та стендів перевірки, що дозволяє підвищити точність діагностування, зменшити трудомісткість робіт і забезпечити стабільність відновлених параметрів рульового механізму.

У конструкторському розділі виконано розрахунок основних параметрів рульового керування, зокрема кутових і силових передавальних чисел, моментів опору повороту керованих коліс та зусиль на кермовому колесі. Проведений аналіз підтвердив відповідність прийнятих конструктивних і розрахункових рішень вимогам міцності, надійності та ергономіки, а також забезпечив обґрунтування доцільності застосування електропідсилювача рульового керування для зниження фізичного навантаження на водія.

У науково-дослідному розділі досліджено вплив технічного стану рульової рейки на показники керованості автомобіля. Отримані результати підтвердили,



що своєчасне та якісне відновлення елементів рульового механізму сприяє зменшенню люфтів, підвищенню точності реакції автомобіля на кермові дії водія та покращенню стабільності руху, особливо в умовах маневрування і змінних дорожніх режимів.

Загалом результати кваліфікаційної роботи свідчать про досягнення поставленої мети та виконання всіх визначених завдань. Запропоновані технологічні та інженерні рішення мають практичну цінність і можуть бути використані в умовах станцій технічного обслуговування для підвищення якості ремонту рульових рейок, покращення керованості автомобілів і рівня безпеки дорожнього руху.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. Книга 1 :теоретичні основи. Технологія: підручник / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигиринець – К. : "Вища школа", 1994. – 342 с.
6. 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.
7. 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.
8. Автомобілі. Теорія : навч. посіб. / В.П. Сахно, В.І. Сирота, В.М. Поляков, В. Г. Головань, О.В. Лисий; Військ. акад. - Одеса: Військ. акад., 2017. - 412 с.
9. Кисликов В.Ф., Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. – 8-те вид. - К.: Либідь, 2018. – 400 с.
10. Кисликов В.Ф. Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів. – К.: Либідь, 2016. – 400 с. 5. Ю.А.

11. О.П. Строков, М.Г. Макаренко, В.Ф.Фролов Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів. Підручник: У 2 кн. К.: Грамота, 2005.

12. Ляшук, О., Гевко, І., Гупка, А., Слободян, Л., Гевко, Б., & Хорошун, Р. (2023). 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), 135-144.

13. Практикум з охорони праці. Навчальний посібник / За ред.. В.Ц. Жидецького. – Львів: Афіша, 2000. – 352 с.

14. Стручок В.С. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека»: навчальний посібник / В.С. Стручок.– Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. – 156 с.

15. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108.

16. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б., Гевко Ів. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.

17. Дикань С.А., Зима О.Є. Безпека в галузі та надзвичайних ситуаціях. Університетський курс [Текст]: підручник для студ. вищ. навч. закл. С.А. Дикань, О.Є. Зима. – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2015. – 273 с.: табл., іл.