

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни

«Основи мехатроніки»

для студентів спеціальності 133

«Галузеве машинобудування»

(«Колісні та гусеничні транспортні засоби»),
усіх форм навчання

Частина 3 - змістовий модуль 2.

Автомобільні мехатронні системи

2020

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни «Основи мехатроніки» для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» («Колісні та гусеничні транспортні засоби») усіх форм навчання. Частина 3 - змістовий модуль 2. Автомобільні мехатронні системи / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. 68 с.

Укладачі: О.М. Артюх, доцент, канд.техн.наук;
О.В. Дударенко, доцент, канд.техн.наук;
А.Ю. Сосик, доцент, канд.техн.наук;
А.В. Щербина, доцент, канд.техн.наук

Рецензенти: О.С. Слюсаров, доцент, канд.техн.наук;
С.М. Турпак, професор, д-р.техн.наук

Відповідальний за випуск: А.Ю. Сосик, доцент, канд.техн.наук

Затверджено
на засіданні кафедри «Автомобілі»
Протокол № 8
від « 30 » червня 2020.

Рекомендовано для видання
НМК Транспортного факультету
Протокол № 88
від « 31 » серпня 2020.

ЗМІСТ

Частина 3

Вступ	188
Тематичний план лекційних занять	190
Лекція № 8. Автомобіль як складна мехатронна система	193
Лекція № 9. Системи керування автомобільними двигунами	206
Лекція № 10. Системи керування трансмісією автомобілів	224
Лекція № 11. Системи керування підвіскою автомобілів	234
Рекомендована література	248
Базова	248
Допоміжна	248
Інформаційні ресурси	251

ВСТУП

На сьогоднішній день мехатроніка є напрямком сучасної науки, техніки і технології який виключно динамічно розвивається і визначає вигляд техносфери нового століття. Головним завданням мехатроніки є створення інтелектуальних машин і рухомих систем, які мають якісно нові функції і властивості.

Провідною тенденцією розвитку сучасного машинобудування є перехід від механіки до мехатроніки. Вона особливо чітко проявляється при створенні нового покоління автотранспортних засобів, інтелектуальних роботів і реконфігурованого обладнання, авіаційної та військової техніки, мікросистем і медичного обладнання.

У всьому світі відзначається швидко зростаючий інтерес до мехатроніки в освітній, науково-дослідній та виробничій сферах. Обсяги світового виробництва мехатронних модулів і систем щорічно збільшуються, охоплюючи все нові сфери професійної і повсякденному житті сучасної людини.

Відповідно до оригінального визначення мехатроніки, запропонованого компанією Yasakawa Electric Company, та визначень, що з'явилися з тих пір, багато інженерних продуктів, розроблених і виготовлених за останні роки, можна класифікувати як мехатронні системи оскільки вони інтегрують механічні та електричні системи.

У документах про заявку на торговельну марку, Yasakawa визначила мехатроніку таким чином: слово «mechatronics» складається з «mecha» від механізму, та «tronics» від електроніки.

Іншими словами, технології та розроблені вироби надалі будуть все активніше та органічніше включати електроніку в механізми, що робить неможливим визначити, де закінчується одне, а починається інше. Адже поява мікрокомп'ютерів, вбудованих комп'ютерів та пов'язаних з цим інформаційних технологій та вдосконалення програмного забезпечення, призвело до значних успіхів у галузі мехатроніки.

Наприклад, розглянемо автомобіль. У ранніх конструкціях автомобілів радіо було єдиною значною електронікою в ньому. Усі інші функції були повністю механічними або електричними. Сьогодні в автомобілі є близько 30-60 мікроконтролерів. А із прагненням до розробки модульних систем для «plug-n-play» підсистем мехатроніки, очікується тільки зростання кількості мікроконтролерів в автомобілі.

Даний лекційний курс «Основи мехатроніки» є вступом до такої

яскравої і цікавої галузі інженерної науки як мехатроніка. Оскільки поділ що історично існував між різними галузями інженерії та інформатики стає все менш чітко визначеним, галузь мехатроніки стає своєрідною дорожньою картою для студентів-інженерів, які навчаються в рамках традиційної структури більшості інженерних спеціальностей.

Очевидно й те, що заняття з мехатроніки в університетському середовищі розширюються у всьому світі. Це відображає перелік бібліографічних посилань наведений в даному курсі лекцій, який включає авторів з усього світу.

Даний курс лекцій з мехатроніки був задуманий як опорний ресурс для спеціальності «Галузеве машинобудування», зі спеціалізацією «Колісні та гусеничні транспортні засоби». Тому в ньому викладені не тільки загальні питання побудови сучасних мехатронних систем загального машинобудування, а й розглянуті варіанти реалізації автоматичного електронного керування механічними вузлами, системами та агрегатами сучасних автотранспортних засобів.

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

Загальний об'єм курсу становить 30 годин і складається з двох змістових модулів. Даний конспект лекцій дисципліни «Основи мехатроніки» складається з п'яти частин, і розроблений відповідно до:

Робоча програма з дисципліни «Основи мехатроніки» для студентів за напрямом підготовки 6.050503 – «Машинобудування», спеціальністю 133 - Галузеве машинобудування (Колісні та гусеничні транспортні засоби), усіх форм навчання. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. 22 с.

Нижче наведено назву змістового модуля дисципліни «Основи мехатроніки», найменування тем лекційних занять в модулі і вказано кількість годин аудиторних занять, для студентів денної форми навчання, окремо для кожної лекції.

Для кожної теми лекції вказано перелік питань які треба розглянути під час даної лекції. Слід враховувати те, що в даному конспекті лекцій приведено лише стислий огляд питань кожної лекції. Крім того навчальним планом дисципліни передбачено активну самостійну роботу студентів за вказаними темами курсу.

Вкінці кожної лекції наведено перелік питань для самоперевірки. Для самостійної роботи студенту слід користуватися рекомендованою літературою для вивчення дисципліни, перелік якої наведено в кінці даного конспекту лекцій, а також використовувати розроблені методичні вказівки:

Методичні вказівки з вивчення дисципліни «Основи мехатроніки» та виконання контрольних завдань, для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» («Колісні та гусеничні транспортні засоби»), усіх форм навчання / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. 62 с.

Змістовий модуль 2. Автомобільні мехатронні системи.**Тема 8. Автомобіль як складна мехатронна система (2 год.)**

Історія появи і розвитку автомобільних мехатронних систем. Типи автомобільних датчиків. Системи управління автомобільним двигуном, трансмісією, підвіскою і гальмами. Рульове управління. Допоміжні та контрольно-діагностичні системи.

Тема 9. Системи керування автомобільними двигунами (2 год.)

Призначення, принципи роботи систем керування двигунами. Критерії керування. Параметри керування, що забезпечують потрібну потужність, паливну економічність та екологічність двигунів. Особливості систем керування бензинових двигунів. Особливості систем керування дизельних двигунів.

Тема 10. Системи керування трансмісією автомобілів (2 год.)

Типи трансмісій автомобілів. Системи керування зчепленням. Автоматичні коробки передач. Конструктивні схеми повного приводу. Системи контролю тягового зусилля.

Тема 11. Системи керування підвіскою автомобілів (2 год.)

Призначення та особливості будови електронних систем керування підвіскою. Керовані системи різних типів автомобільних підвісок. Електронне керування жорсткістю підвіски, амортизаторами та регулювання висоти кузова.

Тема 12. Системи керування гальмовими системами автомобілів (2 год.)

Призначення електронного керування гальмами, види використовуваної енергії та способи її передачі. Антиблокувальні системи автомобілів. Варіанти систем АБС. Системи регулювання гальмівних зусиль. Повністю електронні системи гальмування. Керування гальмовою системою при круїз-контролі.

Тема 13. Системи управління мікрокліматом в салоні та рульового керування автомобілів (2 год.)

Призначення та основні компоненти системи керування мікрокліматом в салоні автомобіля. Схема розташування повітророзподільних пристроїв. Схема розподілення повітряних потоків в автомобілі. Схема допоміжного повітробігрівача незалежного від роботи двигуна. Особливості роботи електронного блока керування кондиціонера. Типи систем рульового керування автомобілів. Напрямки вдосконалень систем рульового керування. Конструктивні схеми рульових підсилювачів.

Тема 14. Допоміжні та контрольні-діагностичні системи автомобілів (2 год.)

Способи реалізації електронного захисту автомобіля від угону. Класифікація автомобільних охоронних систем. Датчики охоронних систем. Імобілайзери. Робота охоронної системи з дистанційним керуванням. Пристрої розкриття кодів сигналізації. Допоміжні пристрої охоронних систем. Системи визначення місцезнаходження автомобілів та навігаційне устаткування. Класифікація систем контролю за переміщенням автотранспорту. Методи визначення місцезнаходження автомобіля. Обладнання навігаційних систем. Економічна ефективність та окупність навігаційних систем.

Тема 15. Безпілотні автомобілі (2 год.)

Причини розробки та історія появи безпілотних автомобілів. Технології в сучасних безпілотних автомобілях. Полігони для випробування робомобілів. Проблеми заміни водія-людини автопілотом. Успішні розробки в даний час. Напрямки розвитку безпілотних автомобілів.

ЛЕКЦІЯ № 8. АВТОМОБІЛЬ ЯК СКЛАДНА МЕХАТРОННА СИСТЕМА

План лекції. Історія появи і розвитку автомобільних мехатронних систем. Типи автомобільних датчиків. Системи управління автомобільним двигуном, трансмісією, підвіскою і гальмами. Рульове управління. Допоміжні та контрольно-діагностичні системи.

Література: [1]-[5], [10], [12]-[17], [39]-[65].

Жорстка конкуренція на автомобільному ринку змушує фахівців у цій області до пошуку нових передових технологій. Мехатронні модулі знаходять усе більш широке застосування в різних транспортних системах. Отже сучасний автомобіль так начинений мехатронними пристроями, що його можна вважати складною мехатронною системою (МС) (рис. 8.1).

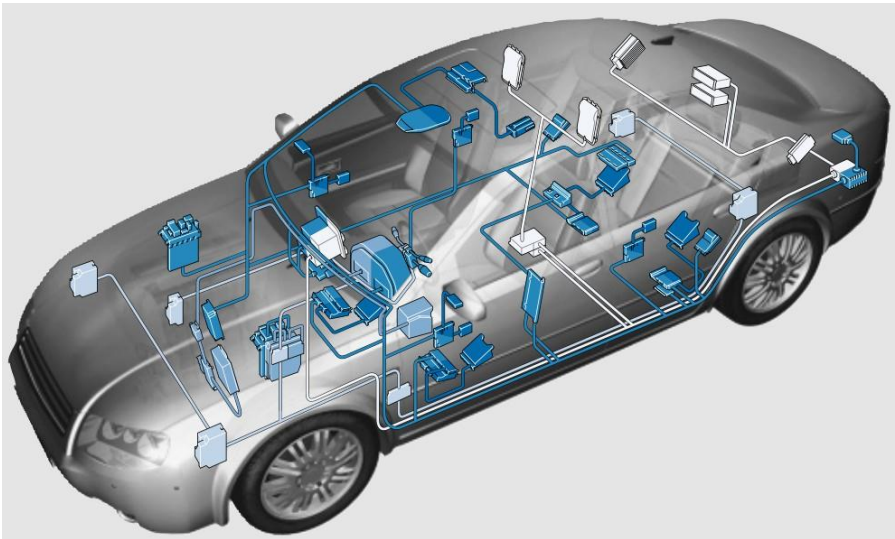


Рисунок 8.1 - Сучасний автомобіль як складна мехатронна система

Сучасна автомобільна МС включає, як правило, цілий ряд під-систем, що виконують функції:

- керування двигуном;

- керування коробкою передач;
- забезпечення безпеки руху (гальма, діагностика, підвіска, подушки безпеки, круїз-контроль, система навігації);
- забезпечення комфорту (клімат-контроль, автоматичне керування аудіо- і відеосистемами).

Одні з них покликані оптимізувати конструкцію автомобіля й найбільш раціонально використовувати його внутрішні ресурси. Тобто, оптимізувати внутрішнє середовище автомобіля. Це, наприклад, система керування роботою двигуна, електронною системою живлення автомобіля, керування коробкою передач, система гальмування, забезпечення комфорту та ін.

Автомобіль стає автомобілем тоді, коли він рухається. У цей час зовнішнє середовище активно міняється - міняється швидкість руху, конфігурація дороги, якість покриття, з'являються перешкоди на проїзній частині, міняється погода, освітленість і т.д.

Автомобіль повинен адаптуватися до змін цих умов, вчасно на них реагувати, від цього залежить безпека руху. Для цього сучасні автомобілі оснащуються багатьма датчиками й мехатронними пристроями, наприклад система навігації. Ці дві категорії пристроїв - система оптимізації внутрішнього середовища автомобіля й система адаптації до умов зовнішнього середовища - безумовно, пов'язані між собою.

Впровадження в автомобіль електроніки, по суті, почали із самої відповідальної ділянки - гальм.

У далекому 1970 році спільна розробка «Бош» і «Мерседес Бенц» під скромною абревіатурою АБС (антиблокувальна система гальм) зробила переворот в активній безпеці. Антиблокувальна система не тільки забезпечила керуваність машини з натиснутої «у підлогу» педаллю, але й дозволила створити кілька суміжних пристроїв - наприклад, систему тягового контролю (TCS, ESP). Ідея була вперше реалізована ще в 1987 році одним з лідерів розробки бортової електроніки - фірмою «Бош».

По суті, тяговий контроль - антипод АБС: остання не дає колесам скочити при гальмуванні, а TCS - при розгоні. Електронний блок відслідковує тягу на колесах за допомогою декількох датчиків швидкості. Слід водієві сильніше звичайного «тупнути» по педалі акселератора, створивши погрозу проковзування колеса, пристрій попросту «придушить» двигун.

Через кілька років була створена ESP - програма курсової стій-

кості (Electronic Stability Program). Оснастивши автомобіль датчиками кута повороту, швидкості обертання коліс і поперечного прискорення, гальма змусили допомагати водієві в найбільш складних ситуаціях. Підгальмовуючи те або інше колесо, електроніка зводить до мінімуму ризик зносу машини при швидкому проходженні складних поворотів.

Система керування роботою двигуна.

Системою управління двигуном називається електронна система управління, яка забезпечує роботу двох і більше систем двигуна. Система є одним з основних електронних компонентів електрообладнання автомобіля.

Генератором розвитку систем управління двигуном в світі є німецька фірма Bosch. Технічний прогрес в області електроніки, жорсткі норми екологічної безпеки обумовлюють неухильне зростання числа підконтрольних систем двигуна.

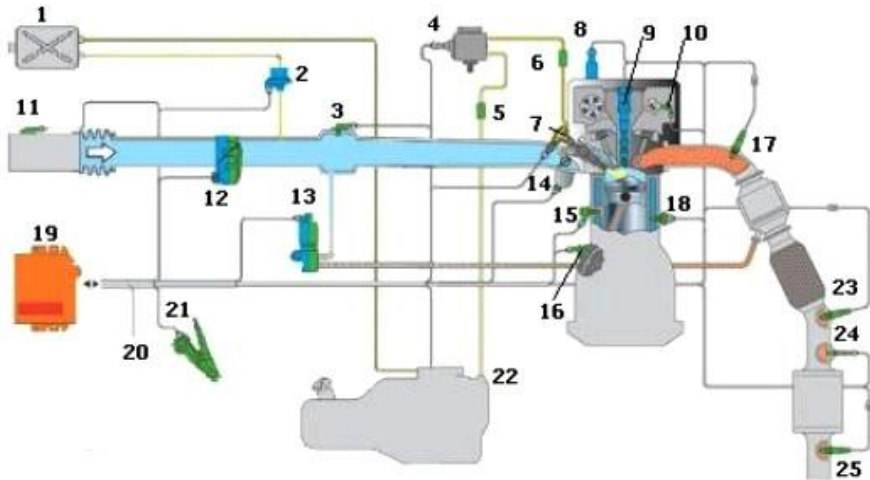
Свою історію система управління двигуном веде від об'єднаної системи упорскування й запалювання. Сучасна система управління двигуном об'єднує значно більше систем і пристроїв. Крім традиційних систем уприскування і запалення під управлінням електронної системи знаходяться: паливна система, система впуску, випускна система, система охолодження, система рециркуляції відпрацьованих газів, система уловлювання парів бензину, вакуумний підсилювач гальм.

Терміном "система управління двигуном" зазвичай називають систему управління двигуном внутрішнього згоряння. У дизельному двигуні аналогічна система називається системою управління дизелем.

Система управління двигуном включає вхідні датчики, електронний блок управління і виконавчі пристрої систем двигуна.

Вхідні датчики вимірюють конкретні параметри роботи двигуна і перетворюють їх в електричні сигнали. Інформація, що отримується від датчиків, є основою управління двигуном. Кількість і номенклатура датчиків визначається видом і модифікацією системи управління.

Наприклад, в системі управління двигуном Motronic-MED застосовуються такі вхідні датчики: тиску палива в контурі низького тиску, тиску палива, частоти обертання колінчастого вала, Холла, положення педалі акселератора, витратомір повітря (при наявності), детонації, температури охолоджуючої рідини, температури масла, температури повітря на впуску, положення дросельної заслінки, тиску у впускному колекторі, кисневі датчики та ін.



1 - адсорбер, 2 - запірний клапан системи уловлювання парів бензину, 3 - датчик тиску у впускному колекторі, 4 - паливний насос високого тиску, 5 - датчик тиску палива в контурі низького тиску, 6 - датчик тиску палива в контурі високого тиску, 7 - форсунка упорскування, 8 - клапан регулювання фаз газорозподілу, 9 - котушка запалювання, 10 - датчик холу, 11 - датчик температури повітря на впуску, 12 - блок керування дросельною заслінкою з датчиком положення, 13 - керуючий клапан системи рециркуляції відпрацьованих газів, 14 - потенціометр заслінки впускного колектора, 15 - датчик детонації, 16 - датчик частоти обертання колінчастого вала, 17 - кисневий датчик, 18 - датчик температури охолоджуючої рідини, 19 - блок керування, 20 - діагностичний інтерфейс, 21 - датчик положення педалі акселератора, 22 - паливний насос, 23 - кисневий датчик, 24 - датчик температури відпрацьованих газів, 25 - датчик оксидів азоту

Рисунок 8.2 - Схема системи управління двигуном

Кожен з датчиків використовується в інтересах однієї або декількох систем двигуна. Електронний блок керування двигуном приймає інформацію від датчиків і відповідно до закладеного програмним забезпеченням формує керуючі сигнали на виконавчі пристрої систем двигуна. У своїй роботі електронний блок управління взаємодіє з блоками управління автоматичною коробкою передач, системою ABS (ESP), електропідсилювача керма, подушками безпеки та ін.

Виконавчі пристрої входять до складу конкретних систем двигуна і забезпечують їх роботу. Виконавчими пристроями паливної си-

стеми є електричний паливний насос і перепускний клапан. В системі упорскування керованими елементами є форсунки і клапан регулювання тиску. Робота системи впуску управляється за допомогою приводу дросельної заслінки і приводу впускних заслінок.

Котушки запалювання є виконавчими пристроями системи запалювання. Система охолодження сучасного автомобіля також має ряд компонентів, керованих електронікою: термостат (на деяких моделях двигунів), реле додаткового насоса охолоджуючої рідини, блок управління вентилятора радіатора, реле охолодження двигуна після зупинки.

У випускній системі здійснюється примусовий підігрів кисневих датчиків і датчика оксидів азоту, необхідний для їх ефективної роботи. Виконавчими пристроями системи рециркуляції відпрацьованих газів є електромагнітний клапан управління подачею вторинного повітря, а також електродвигун насоса вторинного повітря. Управління системою уловлювання парів бензину виробляється за допомогою електромагнітного клапану продувки адсорбера.

Принцип роботи системи управління двигуном заснований на комплексному управлінні величиною крутного моменту двигуна. Іншими словами, система управління двигуном призводить величину крутного моменту у відповідності з конкретним режимом роботи двигуна. Система розрізняє такі режими роботи двигуна:

- запуск;
- прогрів;
- холостий хід;
- рух;
- перемикання передач;
- гальмування;
- робота системи кондиціонування.

Зміна величини крутного моменту проводиться двома способами - шляхом регулювання наповнення циліндрів повітрям і регулюванням кута випередження запалювання.

Система керування коробкою передач.

Коробка передач сполучає двигун з навантаженням, тому керування коробкою передач інтегроване з керуванням двигуном. Для цього потрібні датчики швидкості двигуна, вихідної швидкості коробки передач або швидкості машини й при гідравлічному керуванні передачею датчики положення гідравлічних клапанів і тиску масла.

Для виміру швидкості машини використовується індуктивний датчик у коробці передач, від якої надходить вхідний сигнал для електронного спідометра. При використанні крокових двигунів як виконавчих механізмів для гідравлічних клапанів, спеціальних датчиків не потрібно. Якщо буде потреба на кінці штока клапана встановлюється електромагнітний або оптичний датчик. Для виміру тиску в гідравлічних системах автомобіля застосовуються мембранні датчики.

На вхід мікропроцесорної системи керування коробкою передач подаються команди водія й відомості про режим роботи автомобіля.

Водій, управляючи п'ятипозиційним важелем перемикавання передач, подає одну з наступних команд: початок руху, автоматичний режим, 3-я передача, 4-та передача, задній хід. У систему керування надходять сигнали про швидкість руху автомобіля, про тиск у гідросистемі, про передачу, включену в теперішній момент часу.

При помилкових діях водія, які можуть привести до поломки коробки передач, команда водія не виконується. Процесор управляє роботою зчеплення, механізмом перемикавання передач, гальмовим пристроєм для зниження частоти обертання колінчатого вала двигуна. Електронний блок обчислює відносні кутові швидкості валів коробки передач і видає команду на включення в зачеплення відповідних шестірень за допомогою гідравлічних виконавчих механізмів.

Система виконує також функцію діагностики: при якій-небудь несправності загоряється сигнальна лампочка на передній панелі.

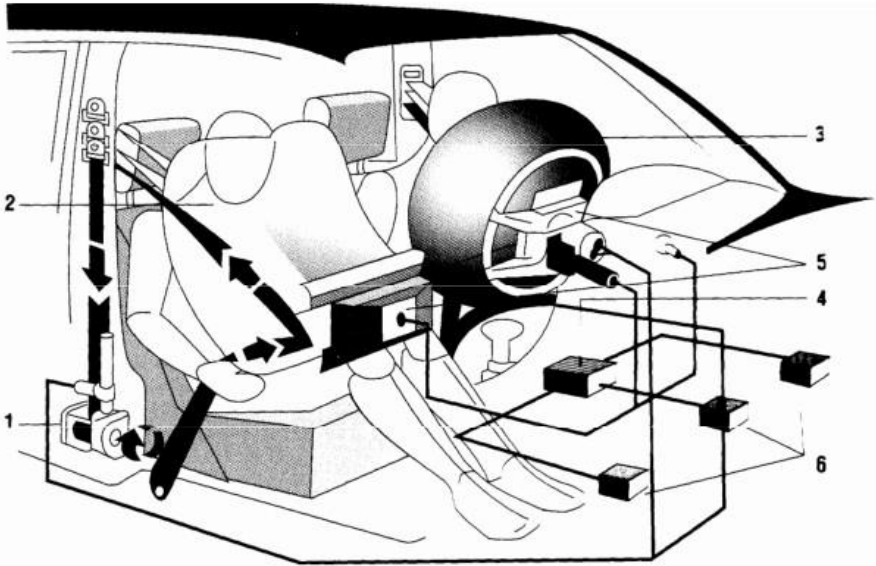
Однією з основних особливостей розвитку електронних систем керування коробками передач на сучасному етапі є використання як критерію оптимальності параметрів, що характеризують паливну економічність автомобіля. Плавне перемикавання передач, кероване мікропроцесором, дозволяє заощадити до 30% палива.

Система керування підвіскою забезпечує м'яку їзду при малих швидкостях руху по прямій і тверду їзду при русі з високою швидкістю. Малі динамічні коливання навантажень на колеса досягаються за допомогою сильного демпфірування коливань, малої маси осі коліс і м'яких покришок. Узгодження підпружинення й демпфірування коливань визначається компромісом між комфортом і безпекою руху.

Для реалізації змінного демпфірування численні датчики системи безупинно оцінюють величини, що характеризують умови руху: швидкість руху, кут повороту рульового керування й дросельного клапана, вертикальне й горизонтальне прискорення корпусу й осей,

переміщення пружин, навантаження на гальма. Усі дані від датчиків під час руху обробляються в електронному пристрої й порівнюються із граничними значеннями, що зберігаються в ЗП. Електроніка забезпечує також узгодження гідравлічного впливу демпферів з умовами руху, протягом мілісекунд відбувається налаштування характеристик демпфірування й керування телескопічними амортизаторами. Перемикання м'якого й твердого демпфірування відбувається протягом 20 мс. Система здійснює контроль перешкод і при виявленні помилок автоматично переводить амортизатори у тверде положення безпечного руху, одночасно сигнальна лампа вказує на перешкоди.

Однією зі складових частин системи безпеки автомобіля є подушка безпеки (airbag) (рис. 8.3), елементи якої розміщені в різних частинах автомобіля.



- 1 - натяжний пристрій ременя безпеки, 2 - надувна подушка безпеки, 3 - надувна подушка безпеки для водія; 4 - блок керування й центральний датчик, 5 - виконавчий модуль, 6 - інерційні датчики

Рисунок 8.3 - Автомобільна подушка безпеки

Інерційні датчики, що перебувають у бампері, у моторного щита, у стійках або в районі підлокітника (залежно від моделі автомобі-

ля), у випадку аварії посилають сигнал на електронний блок керування. У більшості сучасних систем фронтальні датчики розраховані на силу удару на швидкості від 50 км/год. Від електронного блоку керування сигнал прямує на основний модуль, який складається з компактно покладеної подушки, з'єднаної з газогенератором. Останній являє собою таблетку діаметром близько 10 см і товщиною близько 1 см із кристалічною азото-генеруючою речовиною.

Електричний імпульс підпалює в «таблетці» піропатрон або плавить дріт, і кристали зі швидкістю вибуху перетворюються в газ. «Середня» подушка наповнюється за 25 мс. Поверхня подушки європейського стандарту мчить назустріч грудній клітці й обличчю зі швидкістю близько 200 км/год, а американського - близько 300 км/год. Тому виробники машин настійно радять пристібатися й не сидіти впритул до керма, щоб запобігти травмуванню, і в першу чергу обличчя (уникнути переломів лицьових кісток).

У сучасному легковому автомобілі фірми «Мерседес Бенц» близько сорока керуючих блоків, завідуючих усіма системами автомобіля, об'єднані за допомогою цифрових шин передачі даних в одну велику мережу, по якій передається 850 різних типів даних і проводиться управління порядку 170 різними функціями бортових пристроїв.

Для забезпечення безперебійної роботи використовуються 14 антен, 11 з них служать для приймання телевізійних і радіопередач (процесор вибирає антену, що забезпечує найкращі в цей момент умови приймання), дві - для керування центральним замком і передпусковим підігрівником.

Інші антени обслуговують навігаційну систему, що враховує при виборі оптимального маршруту передану в RDS форматі інформацію про пробки, і мобільний зв'язок, у тому числі систему, яка самостійно викликає аварійні служби у випадку аварії, використовуючи для цього вбудований сотовий телефон. Сам «мобільник» має голосове керування.

Кліматична установка здатна не тільки автоматично перемикатися на рециркуляцію повітря в салоні, якщо сенсори фіксують підвищення концентрації вихлопних газів «за бортом», але й ураховує кількість пасажирів у салоні, відносну вологість повітря й навіть положення сонця (знижує температуру повітря, що подається в зони салону, які перебувають на пригріві).

У підвісках автомобіля (незалежні, багаторичажні) використо-

вують стійки з амортизаторами й оригінальними пневмоподушками замість пружин. Компресор і керуюча електроніка дозволяють подавати стиснене повітря в кожен пневмостійку індивідуально й тим самим підтримувати рівень кузова незалежно від завантаження, а також змінювати по ходу дорожній просвіт.

Перераховані вище вже створені елементи автоматизації, знімають технічні проблеми керування агрегатами автомобіля. Залишаються проблеми орієнтації й взаємодії із зовнішнім середовищем і забезпечення безпеки руху, запобігання дорожньо-транспортних подій (ДТП). Підсумком роботи в цій області стало створення системи комплексної безпеки автомобіля (СКБА).

Для цього треба щоб автомобіль «порозумнішав». Цьому служать Інтелектуальні Транспортні Системи (ITS - Intelligent Transportation Systems). Майже десять років видається міжнародний журнал Transactions on Intelligent Transportation Systems.

Подібні розробки руйнують складену уяву про те, що створення повноцінного автомобіля-робота теоретично неможливе, оскільки це завдання відноситься до класу AI-complete («досконалий штучний інтелект»), тобто може бути вирішене, тільки якщо робот буде мати інтелект людини у всій його повноті. У випадку, якщо інтелект робота уступає людському, завжди може виникнути якась позаштатна ситуація, у якій він виявиться неспроможний.

Із цією точкою зору можна було б погодитися, якби не реальний інтелектуальний рівень багатьох сучасних водіїв. Не викликає сумніву, що якби живі водії були настільки ж дисципліновані, як і роботи, і не вживали алкоголь і наркотики, а неминучі нещасні випадки були б тільки наслідком позаштатних ситуацій, що стали роботам не під силу, то жертв на дорогах стало б на порядки менше.

Ініціатива ITS стала можливою тому, що сучасний автомобіль активно роботизується зсередини й сьогодні оснащений цілим рядом систем автоматизації. Крім автоматичних коробок передач, що вже ввійшли в побут, систем автоматичного блокування гальмування й систем керування іншими агрегатами, плюс звичайного круїз-контролю, існують: система інформування про стан дорожнього покриття, особливо про заledenіння; система адаптивного круїз-контролю, що сприймає дані від систем виявлення сусідніх автомобілів; система взаємного інформування автомобілів, постачених системами GPS; засоби спостереження за дорожньою розміткою; системи

автоматизованого паркування; пристрої для перегляду мертвих зон; системи контролю швидкості на поворотах.

Але поки ITS, що одержала значне поширення в усьому світі, все-таки виходить із діючої парадигми «за кермом водій». Логічним продовженням цього напрямку стали системи Internet для автомобілів.

Яким би досконалим не був робот, він ефективніше працює у взаємодії із собі подібними. У системах можуть використовуватися спільно діючі об'єкти, що утворюють те, що тепер називають «розумним роєм».

За допомогою існуючої системи визначення дорожньої ситуації Floating Car Data (FCD), що переводиться як «дані з автомобіля, що рухається», автомобілі посилають свої дані про місцезнаходження в певний момент часу на центральний пульт руху, який зіставляє одержувані повідомлення з повідомленнями інших автомобілів, оснащених FCD, з метою розпізнавання дорожніх і позаштатних ситуацій. Паралельно система здатна через систему-комунікатор «Авто-Авто» попереджати інші автомобілі в зоні дії передавача.

Ключовою системою безпілотного автомобіля-робота й ITS є інтегрована система, яка є бортовим комп'ютером, датчиками параметрів руху й навігаційною системою одночасно, постійно пов'язаним із собі подібними.

Інтегрована навігаційна система вирішує наступні завдання:

- безперервне визначення координат у районах висотної міської забудови, у тунелях, під мостами й шляхопроводами;
- більш точне числення координат у порівнянні з GPS, за рахунок додаткового устаткування;
- обчислення координат і курсу транспортного засобу без запізнення.

Що ж таке згадане GPS? GPS - це абревіатура від англійської назви Global Positioning System, що означає «система глобального позиціонування» або «глобальна система визначення координат». Це 24 космічних супутника Navstar (запущені й належать США) і мільйони приймачів на поверхні Землі. Одержавши сигнал як мінімум від трьох супутників, ми можемо обчислити координати будь-якої точки поблизу поверхні Землі.

Щоб проводити якісні обчислення, необхідно користуватися дуже точним годинником, адже розбіжність у часі проходження сигналу всього в 1 тисячну частку секунди дасть помилку місця розташу-

вання близько 300 км. На борту супутників установлений атомний годинник. Кожний супутник має їх у кількості 4, щоб можна було гарантувати, що хоча б один працює обов'язково.

Хід бортових годин супутника відбувається з наносекундною точністю. А це 10^{-9} секунди! Така точність годин дозволяє визначати місце розташування автомобіля з точністю до 3-5 м. GPS-приймач на автомобілі дозволяє обчислювати географічні координати на основі отриманих даних. Для орієнтації в просторі можуть використовуватися й інші різноманітні пристрої, наприклад, інфрачервоні датчики, що діють на гранично близькій відстані. Ці пристрої добре відомі.

Менш відомий так званий «ладар», який іноді ще йменують «лідаром» від англійської назви Light-Imaging Detection and Ranging. Ладар став складовою частиною системи виміру дистанції (Laser Measurement Sensor, LMS). Ідея ладара не оригінальна: LMS випромінює кілька променів і сприймає відбиті дані.

Володіючи повною мірою властивостями інерціальної навігаційної системи з повним набором датчиків орієнтації й переміщення (рис. 8.4), інтегрована система здатна визначати всі параметри руху транспортного засобу: кутові швидкості, прискорення, ударні й вібраційні впливи, перевантаження.

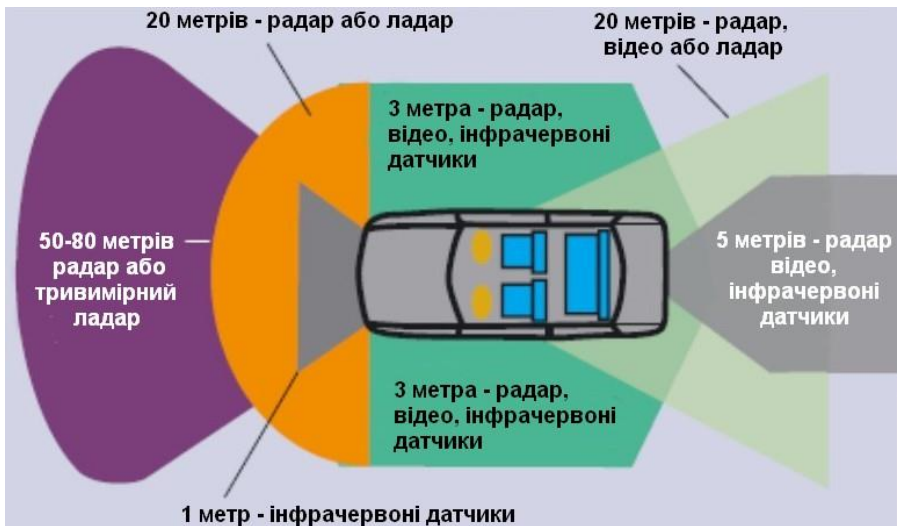


Рисунок 8.4 - Датчики орієнтації в просторі та дистанція їхньої дії

При цьому на відміну від традиційних блоків датчиків руху в інтегрованій системі реалізований складний математичний апарат перерахування впливів у різні системи координат. Тому споживач може використовувати вихідну інформацію системи безпосередньо для своїх додатків без попередньої обробки.

Майбутнє наступає. Сьогодні створення безпілотного автомобіля-робота стало цілком можливо. І він уже існує, уже проводяться змагання між подібними утворами (рис. 8.5).

Оптимістичний прогноз по розробці самостійно керованої машини дала компанія Tesla. Мрія мільйонів - мати автомобіль із автопілотом уже через 3 роки може стати реальністю. Правда, розроблювачі - компанія Tesla визнають, що повністю автопілотним він не буде, але 90 % функцій у керуванні брати на себе все-таки зможе. «Подолати інші 10 % буде дуже складно» - заявляють у керівництві Tesla Motors.

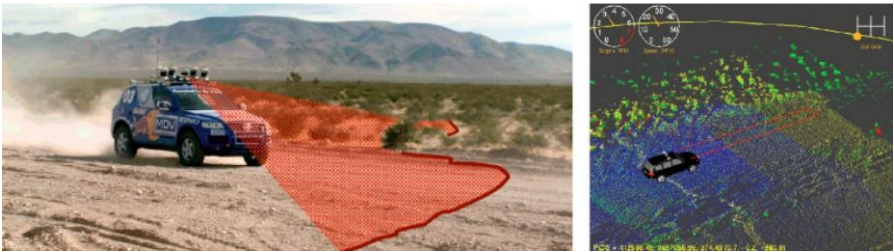


Рисунок 8.5 - Ілюстрація лазерного сенсора

Інші компанії, що займаються розробками в даній області, наприклад Nissan і Daimler, готові говорити про якийсь прорив не раніше 2022 року.

Питання для самоперевірки

1. Автомобіль, як мехатронна система - які основні мехатронні підсистеми і модулі містить в собі?
2. У чому відмінність і в чому подібність мехатронних систем автомобіля - антиблокувальної системи гальм, системи тягового контролю?
3. Регулювання яких параметрів забезпечує система управління роботою двигуна?
4. На показання яких датчиків орієнтується система управління роботою двигуна автомобіля?

5. Що забезпечує система управління підвіскою і показання яких датчиків необхідні для її функціонування?
6. Як відбувається спрацьовування подушки безпеки?
7. Які завдання вирішує інтегрована навігаційна система?
8. Що собою являє система GPS?
9. У чому полягає відмінність радара і ладара (лідара)?
10. Звідки черпає інформацію про навколишнє середовище безпілотний автомобіль-робот?
11. Скільки відсотків функцій у керуванні вже може брати на себе автопілот у сучасному автомобілі?
12. Які функції виконує електронний блок управління двигуном?
13. Як працює система передбачення дорожніх умов?
14. Яке призначення систем активної безпеки автомобіля?
15. Перерахуйте допоміжні системи активної безпеки автомобіля.
16. Як працює система виявлення пішоходів?
17. Які датчики і пристрої входять в систему автоматичного паркування?
18. Які конструктивні елементи складають систему допомоги при перестроюванні під час руху?
19. Як працює система допомоги руху автомобіля по смузі?

ЛЕКЦІЯ № 9. СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИМИ ДВИГУНАМИ

План лекції. Призначення, принципи роботи систем керування двигунами. Критерії керування. Параметри керування, що забезпечують потрібну потужність, паливну економічність та екологічність двигунів. Особливості систем керування бензинових двигунів. Особливості систем керування дизельних двигунів.

Література: [1]-[5], [10], [12]-[17], [39]-[65].

Призначення систем керування двигунами (СКД).

Двигун є пристроєм, який виконує: функцію керованого перетворення хімічної енергії палива в механічну роботу (енергію). Як об'єкт керування двигун характеризується:

- **вхідними параметрами** - параметрами, які впливають на перебіг робочого процесу в двигуні. Їх значення визначаються зовнішніми впливами на двигун зі сторони водія або СКД, тому їх також називають параметрами керування. До їх числа можна віднести:
 - кут відкриття дросельної заслінки;
 - кут випередження запалювання;
 - циклова подача палива;
 - циклове наповнення двигуна повітрям і т.д.;
- **вихідними (керованими) параметрами**, які характеризують стан двигуна в робочому режимі. До них відносяться:
 - частота обертання колінчатого вала двигуна;
 - вихідна потужність на валу;
 - крутний момент;
 - показник паливної економічності;
 - показники токсичності відпрацьованих газів (вміст CO, CH, NO_x) та ін.;
- **внутрішніми параметрами або параметрами стану**, які характеризують робочі процеси, стан систем забезпечення, конструктивні особливості двигуна.

Наприклад:

- температура двигуна;

- напруга в електричній мережі;
- ступінь стиснення робочої суміші та ін.;
- **зовнішніми впливами**, які носять випадковий характер і заважають керуванню. До них можуть бути віднесені:
- температура атмосферного повітря;
- атмосферний тиск;
- вологість повітря і т.п.

Призначення системи керування полягає в тому, щоб забезпечити оптимальний склад робочої суміші в циліндрах двигуна і запалити її в циліндрі двигуна в певний момент часу.

Склад робочої суміші характеризується двома основними показниками:

- відношенням кількості палива і повітря в складі суміші (показник - «лямбда» λ);
- гомогенністю (однорідністю) тобто якістю змішування складових частин суміші.

Момент запалювання суміші визначається кутом випередження запалювання.

Принципи керування.

Принцип керування дає загальну уяву про спосіб керування об'єктом керування. Він показує, як об'єкт керування повинен реагувати на збурення і сигнали керування. Охарактеризуємо принципи, покладені в основу побудови існуючих систем керування.

Автомобільний двигун (АД) являє собою систему, яка складається з окремих підсистем: впорскування палива, запалювання, охолодження, мащення і т.д. Всі системи пов'язані одна з одною і при функціонуванні вони утворюють єдине ціле.

Керування двигуном неможна розглядати у відриві від керування автомобілем. Швидкісні та навантажувальні режими роботи двигуна залежать від швидкісних режимів руху автомобіля в різних умовах експлуатації, які включають в себе прискорення і сповільнення, рух з відносно постійною швидкістю, зупинки.

Водій змінює швидкісний та навантажувальний режим двигуна, впливаючи на передаточне відношення трансмісії автомобіля і педаль акселератора (дросельну заслінку). Вихідні характеристики двигуна при цьому залежать від складу паливо-повітряної суміші та кута випередження запалення, керування якими здійснюється за допомогою

механічних, електронно-механічних чи електронних систем керування двигуном, автоматично (рис. 9.1).

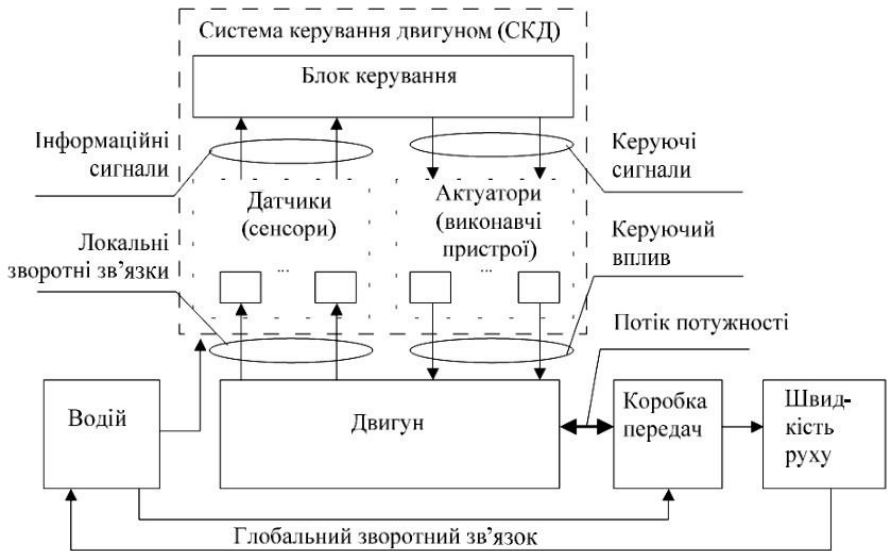


Рисунок 9.1 - Схема процесу керування автомобільним двигуном

Для двигуна внутрішнього згорання характерна періодична повторюваність робочих циклів. Тому важливим принципом керування двигуном є циклічність керування. Це обумовлює необхідність узгодження частотних параметрів керованих впливів з частотою робочих циклів двигуна.

Іншими словами, СКД повинна встигати сприймати інформацію про стан двигуна, обробляти її і передавати відповідні керовані впливи на двигун протягом обмежених у часі тактів робочого циклу (2-3 мс), що накладає жорсткі вимоги на швидкодію СКД.

Як об'єкт керування двигун є нелінійним, оскільки реакція на суму будь-яких зовнішніх впливів не дорівнює сумі реакцій на кожний з впливів окремо. Враховуючи, що двигун звичайно працює на нестационарних (змінних у часі) режимах, виникає проблема оптимального і адаптивного (такого, що автоматично настроюється) керування двигуном. Принципи оптимального і адаптивного керування стало можливим реалізувати завдяки розвитку електронних систем керуван-

ня. Слід відмітити, що для побудови оптимальних адаптивних систем керування потрібна наявність математичних моделей об'єкта керування. Через складність конструкції, наявність допусків на розміри деталей, двигуни однієї і тієї ж моделі мають різні характеристики.

Крім того, за конструктивними параметрами відрізняються і окремі циліндри багаточиліндрового двигуна. В зв'язку з цим загальні, достатньо точні і повні математичні моделі двигунів внутрішнього згоряння в традиційному аналітичному вигляді на даний час відсутні (це характерно для більшості складних технічних систем).

Вихід знаходять у побудові емпіричних залежностей між параметрами індивідуальних типів двигунів та поданні їх у формі таблиць. Ці таблиці містять великі об'єми даних і можуть бути використані в системах керування тільки при наявності засобів обчислювальної техніки, яка має достатній об'єм пам'яті та високу обчислювальну потужність. Автомобільний двигун являє собою багатовимірний об'єкт керування, оскільки число вхідних параметрів у нього більше одного і кожний вхідний параметр впливає на два і більше вихідних.

В такому випадку система керування повинна бути багатовимірною. Для багатовимірних об'єктів керування таблиці залежностей між параметрами повинні бути також багатовимірними. Такі таблиці та їх графічне подання називають характеристичними картами.

Широке розповсюдження автомобільних двигунів зумовило велике різноманіття їх конструкцій. Це приводить до багатоваріантності систем керування. Так, якщо в карбюраторних системах паливopодачі практично не використовується електроніка, то сучасні системи впорскування палива створюються лише на основі керування електронними системами. Це приводить, в свою чергу до взаємного впливу розвитку електронної техніки на конструктивну реалізацію проєктованих двигунів.

На основі вищевикладеного сформулюємо основні принципи керування двигуном:

- циклічність керованих впливів, синхронізація з тактами робочого циклу двигуна;
- поєднання програмного керування зі зворотними зв'язками;
- оптимальність і адаптивність керування.

Критерії керування.

Вибір критеріїв керування диктується цілями або цільовими за-

дачами, які вирішуються об'єктом керування.

Автомобільний двигун - складна система, цільові задачі якої відповідають потребам різних груп людей і суперечливі вже хоча б з цієї причини. Так, перед конструктором двигуна стоїть проблема зробити максимально надійний, максимально потужний двигун.

Споживач очікує появи на ринку максимально простого в експлуатації, дешевого і економічного автомобіля; відповідних якостей він очікує і від двигуна. Легкий, безшумний, екологічно чистий двигун - вимога борців за охорону навколишнього середовища.

Система керування двигуном як система, що забезпечує його оптимальне функціонування, підпорядкована цільовим задачам керуваної системи, тобто двигуна. Вважається, що основне призначення систем керування двигуном полягає в забезпеченні максимальної потужності двигуна при мінімальній витраті палива (енергії) та мінімальному вмісті шкідливих речовин у відпрацьованих газах.

Можна показати, що такої ідеальної системи керування (яка задовольняє одразу всі ці критерії) в природі не існує. Припустимо, що вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах залежить від якості робочої суміші, яка поступає в циліндри поршневого двигуна.

Спочатку якість суміші охарактеризуємо словесно: багата, бідна і нормальна, що відповідно означає надлишок, нестачу і відносно раціональний вміст палива в її складі.

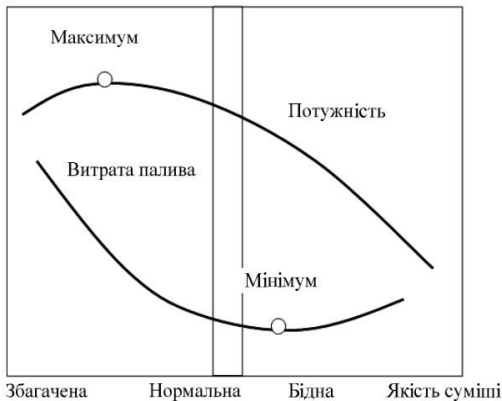


Рисунок 9.2 - Залежність потужності та економічності двигуна від якості суміші

Подані на рис. 9.2 залежності потужності і економічності двигуна від якості суміші говорять про те, що максимальну потужність можна отримати при багатій суміші, мінімуму витрати палива - при збідненій.

Принципово неможливо створити таку систему керування, яка одночасно задовольняла б критерії максимуму потужності і мінімуму витрати палива.

Принципово - тому, що суміш не може бути і бідною і багатою одночасно. Для збільшення потужності можна пожертвувати деякою кількістю палива, збагачуючи суміш, що, до речі, і роблять на окремих режимах роботи двигуна (наприклад, при запуску, на режимах максимальних навантажень) або на окремих класах автомобілів. Це призводить до інтенсивного утворення нагару, підвищених навантажень на механізми і вузли двигуна і автомобіля та, як наслідок, до різкого зниження надійності двигуна, його ресурсу.

В інтересах підвищення економічності АД деякі виробники спеціально збіднюють робочу суміш. При цьому виникають тенденції до детонації, двигун перегрівається через повільне згоряння палива.

У підсумку - той же ефект. Як знайти компроміс між цими вимогами, що взаємно виключають одна одну? Компроміс був знайдений. В його основі - останній з наведених критеріїв - екологічна безпека автомобільного транспорту.

Системи керування створюють насамперед для забезпечення стабільної та екологічно безпечної роботи двигуна.

Таким чином, правильніше було б визначити систему керування двигуном як таку, що намагається забезпечити максимально безпечну (з точки зору охорони навколишнього середовища) роботу двигуна, при прийнятних значеннях потужності та економічності двигуна.

Параметри керування, що забезпечують потрібну потужність, паливну економічність та екологічність двигунів.

В автомобілях як приводні двигуни використовуються переважно двигуни внутрішнього згоряння (теплові двигуни). При цьому хімічно зв'язана в паливі енергія перетворюється в теплову енергію і в результаті дії тиску газу - в механічну, кінетичну енергію.

Паливо для бензинових і дизельних двигунів складається з різних вуглеводневих сполук. При згорянні вуглеводні розчіпляються на вуглець і водень та обидва з'єднуються з киснем всмоктуваного повітря. Повітря при нормальних умовах вміщує 21 % об'єму кисню.

Повне згорання відбувається, коли з повітрям змішується саме стільки палива, скільки необхідно для окислення з даним киснем. При ідеальному повному згоранні виникають не шкідливі для здоров'я речовини, а двоокис вуглецю і вода.

У реальному процесі разом з нешкідливими вихлопними газами азотом (N), водяною парою (H₂O) і двоокисом вуглецю (CO₂) як про-

дукти неповного згорання з'являються окисли вуглецю (C), частково незгорілі вуглеводні (HC) і чадні гази (NO_x), а також двоокис сірки (SO_2) і сажа.

Шкідливі речовини істотно залежать від процесу згорання. У бензиновому двигуні всмоктується повітряно-паливна суміш і запалюється іскрою незадовго до кінця такту стискування (стороннє запалення). Температура стискування не така висока, щоб наступило самозаймання. Температура самозаймання палива повинна бути відносно високою, щоб суміш не запалала сама по собі при збільшенні температури в результаті стискування.

Ця властивість виражається також стійкістю проти детонації. Мірою для цього служить октанове число. Чим вище октанове число, тим вища детонаційна стійкість. Розрізняють октанове число за дослідницьким методом (research oktan number (RON)) і октанове число за моторним методом (motor oktan number (MON)), які визначаються різними методами.

Паливо повинне мати таке октанове число:

- звичайний бензин мінімум 91;
- супер (Eurosuper) мінімум 95;
- супер плюс мінімум 98.

Оцінка пропорції палива і повітря в суміші здійснюється за коефіцієнтом надлишку повітря або так званим коефіцієнтом «лямбда». Коефіцієнт надлишку повітря λ - це відношення всмоктуваної двигуном і потім витраченої кількості повітря L до кількості повітря,

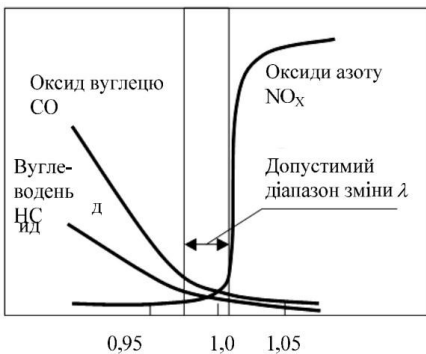


Рисунок 9.3 - Залежність вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах від складу горючої суміші

необхідної для повного згорання, тобто $\lambda = L/L_T$ (L_T - теоретична потреба в повітрі). Якщо у всмоктуване повітря додається більше палива, то виходить багата суміш і вуглеводні згорають лише частково. Вміст HC і C у вихлопному газі відповідно підвищується. При бідній суміші паливо повністю згорає і у вихлопному газі залишається кисень. В результаті поганого згорання знову підвищується частка HC при зростаючій лямбді.

Гази, що виникають головним чином при неповному згоранні, - отруйні і тому світова спільнота ухвалює закони, які обмежують шкоду, що заподіюється автомобільним транспортом атмосфері і людям. На рис. 9.3 наведені графіки вмісту небезпечних речовин у складі вихлопних газів двигуна внутрішнього згорання, які пояснюють доцільність підтримки значення коефіцієнта λ , рівним 1 (або близьким до 1).

Потужність, паливна економічність двигуна, його екологічні показники тісно пов'язані з характеристиками згорання робочої суміші в двигуні, які, у свою чергу, залежать від багатьох чинників, і перш за все від таких як:

- конструкція циліндро-поршневої групи;
- турбулентність робочого заряду в циліндрі;
- характеристики палива;
- наявність залишкових вихлопних газів в циліндрі;
- температура робочої суміші;
- енергія запалення суміші;
- встановлення моменту запалення;
- якість приготування робочої суміші.

Якщо перші три чинники залишаються відносно стабільними в процесі експлуатації АД і слабо керовані, то останні п'ять, і перш за все, момент запалення та якість приготування суміші є достатньо динамічними змінними. Ними можна керувати. Правильний підбір параметрів цих чинників може зробити істотний вплив на стабільність роботи АД на всіх його режимах.

Особливості систем керування бензинових двигунів.

На даний час системи керування двигунами автомобілів з іскровим запалюванням палива складаються як мінімум з двох підсистем:

- системи керування складом паливної суміші (рис. 9.4), тобто регулювання співвідношення повітря/паливо (системи впорскування);
- системи керування моментом запалювання.

Раніше ці дві системи розвивалися окремо одна від одної. Дослідження характеристик роботи двигуна спільно з вимогами до складу вихлопних газів показують, що ці системи не є незалежними. Наприклад, зміна складу паливної суміші повинна викликати зміну моменту запалювання для забезпечення максимальної ефективності двигуна (за обраним критерієм).

Для поліпшення якості керування двигуном логічно використувати один процесор (контролер), який може обробляти вхідні сигнали і виробляти сигнали керування для обох систем одночасно.

Сучасна концепція електронної СКД основана на застосуванні єдиного блока керування системою запалювання і впорскування палива, а також інших систем автомобіля: рульового керування, підресорювання, автоматичної коробки передач, включення і виключення зчеплення, бортової діагностики та ін.

Кожна з систем, керованих контролером, також забезпечується системою захисту від непередбачуваних наслідків у разі відмови контролера.



Рисунок 9.4 - Класифікація систем впорскування палива

Керування запалюванням засновано на визначенні кута випередження запалювання відповідно до інформації, що поступає від датчиків:

- швидкості і положення маховика двигуна;
- тиску і температури повітря у впускному колекторі;

- температури охолоджувальної рідини;
- положення дросельної заслінки;
- напруги в бортовій мережі.

В підсистемі запалювання використовуються карти, записані в постійну пам'ять мікропроцесора. У контролері на основі сигналів від датчиків і оптимізованих характеристичних карт подаються відповідні сигнали випередження запалювання на первинну обмотку котушки запалювання.

Системи впорскування бензинових двигунів відрізняються за місцем утворення паливно-повітряної суміші. Існують системи впорскування із зовнішнім і з внутрішнім сумішоутворенням. Розглянемо їх детальніше.

Системи впорскування із зовнішнім сумішоутворенням.

В цих системах робоча суміш утворюється за межами камери згоряння, у впускному колекторі. Ця група систем впорскування складається з двох підгруп:

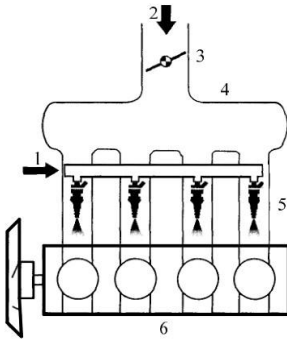
- системи багатоточкового впорскування палива (multi point injection system);
- система односточкового впорскування палива (single point injection system).

Система багатоточкового впорскування палива. В такій системі кожен циліндр має свою форсунку, паливо впорскується безпосередньо на впускний клапан кожного циліндра (рис. 9.5). Еволюція цієї системи впорскування пройшла такі етапи:

- механічна система впорскування палива K-Jetronic (mechanical injection system). В ній маса впорскуваного палива визначається дозуючим розподільним пристроєм, від якого паливо поступає у форсунку, що відкривається при певному тиску. Потім відбувається постійне впорскування палива;
- електронно-механічна система впорскування палива KE-Jetronic (electronic-mechanical injection system), це та ж система K-Jetronic, доповнена електронікою, що управляє роботою бензонасоса і дозатора-розподільника. Електроніка забезпечує точніше керування впорскуванням в різних режимах роботи двигуна;
- електронні системи впорскування палива (electronic injection system) L-Jetronic, LH-Jetronic (і пізніші розробки інтегровані системи управління двигуном M-Motronic, ME-Motronic). У

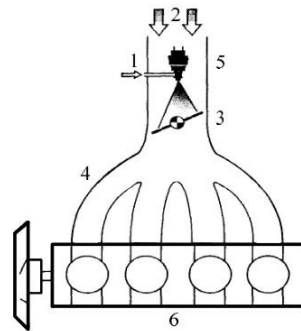
цих системах забезпечується переривисте (дискретне) впорскування палива через форсунки з електромагнітним керуванням. Кількість впорскуваного палива визначається тривалістю відкриття форсунки при заданому тиску палива.

Система одноточкового впорскування палива. В цій системі (у Bosch є дві конструкції такого впорскування - Mono-Jetronic і Mono-Motronic) (single point injection system Mono-Jetronic and Mono-Motronic) впорскування здійснюється однією форсункою з електромагнітним керуванням. Основний елемент системи блок центрального впорскування з електромагнітною форсункою, яка імпульсно впорскує паливо у простір над дроселем (рис. 9.6).



1 - паливна магістраль, 2 - повітря,
3 - дросельна заслінка,
4 - впускний колектор, 5 - форсунка
(форсунки), 6 - блок циліндрів

Рисунок 9.5 - Система багатоточкового впорскування палива

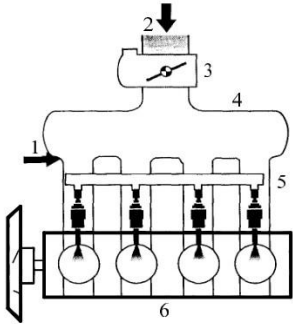


1 - паливна магістраль, 2 - повітря,
3 - дросельна заслінка,
4 - впускний колектор,
5 - форсунка, 6 - блок циліндрів

Рисунок 9.6 - Система одноточкового впорскування палива

Системи впорскування із внутрішнім сумішоутворюванням.

Це системи з так званим безпосереднім впорскуванням палива. В них паливо впорскується електромагнітними форсунками безпосередньо в камеру згоряння кожного циліндра (рис. 9.7). Такий спосіб впорскування палива дозволяє двигуну працювати на дуже збіднених сумішах, забезпечуючи високу економічність. Ранні реалізації цієї системи впорскування були чисто механічними, найвідоміша з них «Kugelfischer» для автомобілів BMW. Сучасні системи безпосереднього впорскування реалізуються виробниками в різних конструкціях.



- 1 - паливна магістраль,
2 - повітря, 3 - дросельна
заслінка, 4 - впускний колектор,
5 - форсунка (форсунки),
6 - блок циліндрів

Рисунок 9.7 - Система безпосереднього впорскування палива

Наприклад, у японського виробника Mitsubishi вона називається GDI і встановлюється на автомобілі приблизно з 1997 року. Конструктивно ця система схожа на систему розподіленого впорскування з електронним.

В іншого виробника, Toyota, в цій системі використовуються електромагнітні насос-форсунки і конструктивно вона схожа на систему впорскування дизельних двигунів з насос-форсунками.

Система «Bosch Motronic» (injection system Bosch Motronic) являє собою систему впорскування, в блок керування якої інтегровані функції двох систем - запалювання і впорскування палива.

ECU «Bosch Motronic» (рис. 9.8) за сигналами вхідних датчиків, які фіксують поточний стан і режим роботи двигуна, використовуючи тривимірну характеристику впорскування, що зберігається в пам'яті ECU, обчислює початок і тривалість відкриття форсунки впорскування. Ця система впорскування має підсистему нейтралізації вихлопних газів і підсистему утилізації парів бензину, керування роботою яких здійснюється за даними датчика кисню. Крім того, стандартна сервоприводна підсистема стабілізації обертів холостого ходу доповнена функцією керування за кутом випередження запалювання.

Важливою особливістю системи «Bosch Motronic» є її здатність адаптуватися до змін зовнішніх умов (температури, вологості, тиску), а також до експлуатаційного зносу деталей самого двигуна (зниження компресії, порушення герметичності впускної системи і т.п.).

Особливості систем керування дизельних двигунів.

Процеси згорання в дизельному двигуні залежать вирішальною мірою від того, як підготовлене паливо системою впорскування. Істотну роль при цьому відіграє паливний насос високого тиску (ПНВТ), що створює тиск палива, під яким воно нагнітається через магістралі високого тиску до форсунок і впорскується ними в камери згорання.



Рисунок 9.8 - Схема інформаційних потоків системи керування двигуном MED 9.1

Відмінність систем впорскування дизельних двигунів полягає в механізмі створення високого тиску. На даний час існують такі системи впорскування для дизельного двигуна:

- система з рядним ПНВТ;
- система з розподільним ПНВТ;
- система з індивідуальними ПНВТ;
- система Common Rail (injection system common rail).

Розглянемо більш детально кожен з цих систем впорскування.

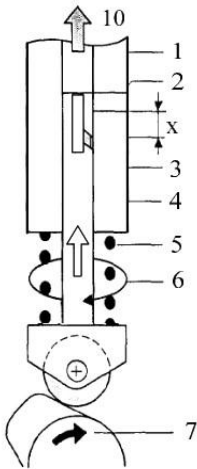
Система впорскування з рядним ПНВТ.

Конструкція цього типу має плунжерні пари 4-1 за числом циліндрів (рис. 9.9). Під час роботи плунжер 4 зміщується у напрямку подачі, який приводиться від двигуна кулачковим валом. Зворотна пружина приводить плунжер в початкове положення.

Окремі секції ПНВТ розташовані в ряд - звідси і назва «рядний». Надлишковий тиск створений всередині плунжерної пари відкриває

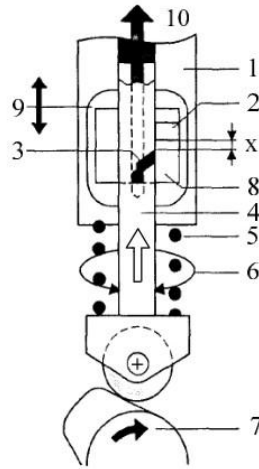
механічну форсунку і відбувається впорскування палива в камеру згоряння. Величина активного ходу плунжера змінюється його поворотом навколо власної осі за допомогою рейки ПНВТ, що дозволяє регулювати величину циклової подачі палива. Рейка керується механічним відцентровим регулятором, а в більш досконалих системах - електроприводом.

Різновидом ПНВТ цього типу є рядні ПНВТ з додатковими втулками 8 (рис. 9.10). Змінюючи її положення за допомогою виконавчого механізму, регулюють момент початку впорскування, незалежно від частоти обертання колінчатого вала.



- 1 - гільза плунжера,
- 2 - впускне вікно,
- 3 - регулювальна крайка плунжера,
- 4 - плунжер, 5 - зворотна пружина плунжера, 6 - поворот плунжера регулювальною рейкою,
- 7 - кулачковий вал,
- 10 - подача палива до форсунки,
- X - активний хід плунжера

Рисунок 9.9 - Система впорскування з рядним ПНВТ

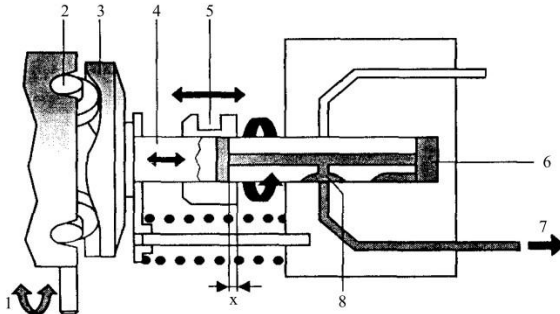


- 1 - гільза плунжера, 2 - впускне вікно,
- 3 - регулювальна крайка плунжера,
- 4 - плунжер, 5 - зворотна пружина плунжера, 6 - поворот плунжера регулювальною рейкою,
- 7 - кулачковий вал, 8 - додаткова втулка, 9 - зміна ходу плунжера за рахунок регулювальної втулки,
- 10 - подача палива до форсунки,
- X - активний хід плунжера

Рисунок 9.10 - Система впорскування з рядним ПНВТ з додатковою втулкою

Система впорскування з розподільним ПНВТ.

Насос в такій системі впорскування має єдиний нагнітальний елемент для всіх циліндрів. Паливopідкачувальний насос нагнітає паливо в камеру високого тиску 6 (рис. 9.10, 9.11).



- 1 - траєкторія повороту роликpового кільця, 2 - ролик, 3 - кулачкова шайба,
4 - аксіальний плунжер-розподільник, 5 - регулювальна втулка,
6 - камера високого тиску, 7 - подача палива до форсунки,
8 - розподільний паз, X - активний хід плунжера

Рисунок 9.11 - Система впорскування з розподільним аксіальним ПНВТ

Високий тиск створюється за допомогою аксіального плунжера 4 (рис. 9.10 - аксіальний ПНВТ) або декількох радіальних плунжерів 4 (рис. 9.11 радіальний ПНВТ). Обертальний центральний плунжер-розподільник напрямляє паливо через розподільний паз 8 до форсунок. В аксіальному ПНВТ величину циклової подачі визначає положення регулювальної втулки 5, момент початку впорскування встановлюється поворотом роликpового кільця на необхідний кут (рис. 9.11).

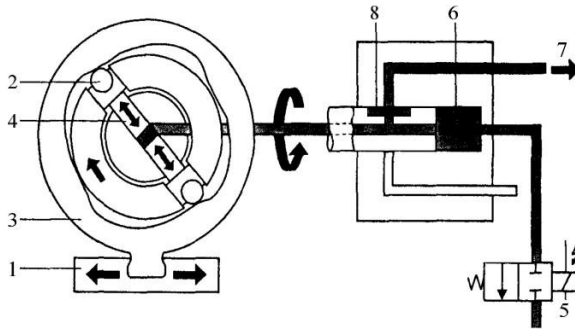
В радіальному ПНВТ регулювання моменту початку впорскування встановлюється поворотом кулачкової шайби на необхідний кут. Крім того, це регулювання і керування величиною циклової подачі палива здійснюється електромагнітним клапаном 5 (рис. 9.12).

Особливістю цієї системи є відсутність (або мінімальна довжина в системі UPS (unit pump system)) магістралі високого тиску, що дозволяє досягати тиску впорскування до 2050 бар і покращити процес впорскування. Є дві конструкції, побудовані за цією системою.

Система впорскування з індивідуальними ПНВТ.

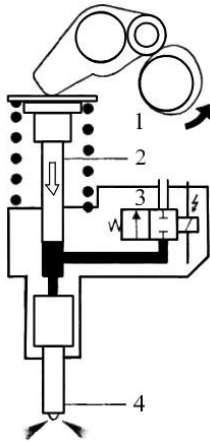
Система впорскування UIS (unit injector system). В ній насос і форсунка об'єднані в один агрегат (рис. 9.13). Привід насос-форсунки

здійснюється від кулачка розподільного вала. Регулювання параметрів впорскування відбувається за допомогою електромагнітного клапана високого тиску.



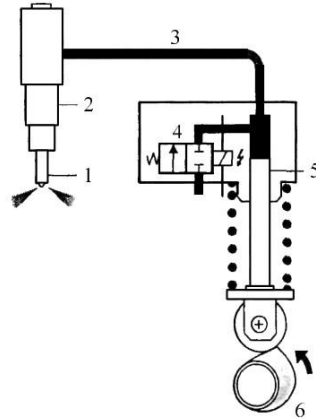
- 1 - регулювання моменту впорскування поворотом кулачкової шайби,
 2 - ролик, 3 - кулачкова шайба, 4 - радіальний плунжер,
 5 - електромагнітний клапан високого тиску, 6 - камера високого тиску,
 7 - подача палива до форсунки, 8 - розподільний паз

Рисунок 9.12 - Система впорскування з розподільним радіальним ПНВТ



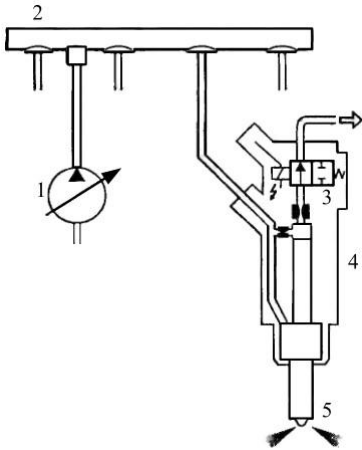
- 1 - кулачок приводу ПНВТ,
 2 - плунжер, 3 - електромагнітний клапан високого тиску,
 4 - розпилювач форсунки

Рисунок 9.13 - Система впорскування UIS



- 1 - розпилювач форсунки,
 2 - форсунка, 3 - магістраль високого тиску, 4 - електромагнітний клапан високого тиску, 5 - плунжер,
 6 - кулачок приводу ПНВТ

Рисунок 9.14 - Система впорскування UPS



- 1 - автономний ПНВТ,
 2 - акумулятор високого тиску,
 3 - електромагнітний клапан
 високого тиску, 4 - форсунка,
 5 - розпилювач форсунки

Рисунок 9.15 - Система
 впорскування Common Rail

Система впорскування UPS (unit pump system). Принципово вона не відрізняється від системи UIS, тільки насос і форсунка не об'єднані в один агрегат, їх з'єднує коротка магістраль (рис. 9.14). Така конструкція полегшує монтаж системи на двигун і, відповідно, спрощує обслуговування і ремонт системи.

Система впорскування Common Rail.

Особливістю конструкції цієї системи впорскування є розділення функцій створення високого тиску і регулювання впорскування.

Тиск впорскування створюється і регулюється в автономному ПНВТ 1 незалежно від частоти обертання двигуна і величини циклової подачі палива. Він зберігається в акумуляторі тиску 2 (рис. 9.15).

Кожний циліндр має електромагнітну форсунку впорскування з клапаном високого тиску. Регулювання впорскування здійснюється електронним блоком керування.

Питання для самоперевірки

1. Яку головну функцію виконує двигун внутрішнього згорання?
2. Яке призначення систем керування двигунами?
3. Що таке входні параметри?
4. Що характеризують вихідні параметри?
5. Перелічіть внутрішні параметри.
6. Що слід вважати зовнішніми впливами?
7. Чим характеризується склад робочої суміші?
8. Яке призначення кута випередження запалювання паливної суміші?
9. В чому полягає принцип керування?
10. З яких підсистем складається автомобільний двигун?
11. Від чого залежать швидкісні та навантажувальні режими роботи

двигуна автомобіля?

12. Чим обумовлена необхідність узгодження частотних параметрів двигуна?
13. В чому полягає проблема оптимального керування двигуном?
14. Із-за чого неможлива побудова повних математичних моделей двигунів внутрішнього згоряння в традиційному аналітичному вигляді?
15. Назвіть основні принципи керування двигуном внутрішнього згоряння.
16. Які задачі стоять перед конструктором двигунів внутрішнього згоряння?
17. Що показує залежність потужності та економічності двигуна внутрішнього згоряння від якості суміші?
18. Які є шляхи підвищення економічності двигунів внутрішнього згоряння?
19. Назвіть продукти згоряння автомобільного палива.
20. Від чого залежить вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигунів внутрішнього згоряння?
21. Що таке детонація паливної суміші?
22. Що показує коефіцієнт надлишку повітря λ ?
23. Як класифікуються системи впорскування палива двигунів внутрішнього згоряння?
24. Назвіть конструктивні елементи системи впорскування із внутрішнім сумішоутворюванням.
25. Які конструктивні особливості системи впорскування Common Rail?

ЛЕКЦІЯ № 10. СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТРАНСМІСІЄЮ АВТОМОБІЛІВ

План лекції. Типи трансмісій автомобілів. Системи керування зчепленням. Автоматичні коробки передач. Конструктивні схеми повного приводу. Системи контролю тягового зусилля.

Література: [1]-[5], [10], [12]-[17], [39]-[65].

Одна з найбільш актуальних проблем сучасного автомобілебудування - спрощення і полегшення керування автомобілем - не може бути вирішена без автоматизації керування трансмісією.

Як показує більш ніж 50-літній досвід створення автоматичних трансмісій, їхнє удосконалювання йде за двома напрямками: автоматизація керування механічними трансмісіями, що складаються зі ступінчатої коробки передач і фрикційного зчеплення (тобто такими трансмісіями, якими обладнується переважна більшість автомобілів, що випускаються), і оснащення автомобілів автоматичними спеціалізованими трансмісіями, які забезпечують найбільш зручне, просте і легке керування, високу комфортабельність автомобіля.

За рівнем автоматизації керування трансмісії можуть бути розділені на напівавтоматичні, котрі автоматизують керування не цілком усією трансмісією, а тільки окремими її вузлами (наприклад, зчепленням), і автоматичні, керовані без участі водія.

Чим вище рівень автоматизації, тим більш складні задачі повинна вирішувати система керування, що, природно, пов'язано з її ускладненням і подорожчанням. Тому автоматичні трансмісії застосовуються переважно в автомобілях більш високих класів, хоча і є конструкції, пропоновані для встановлення на автомобілях особливо малого класу. При цьому основне застосування як автоматичні трансмісії в даний час одержали гідромеханічні передачі. Підвищився інтерес до напівавтоматичних і автоматичних механічних трансмісій.

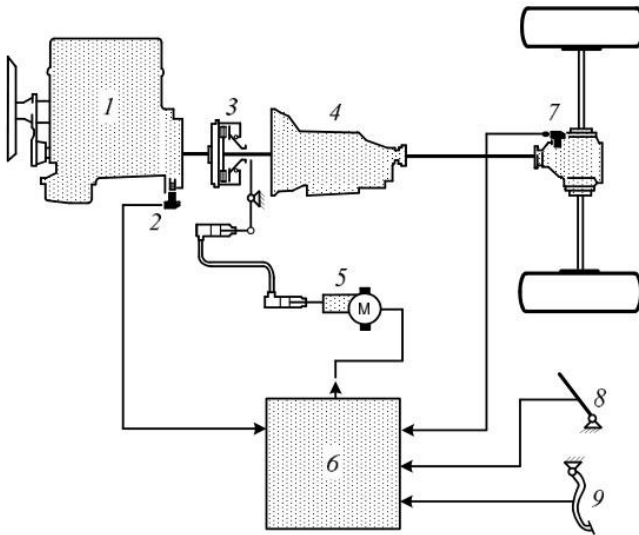
Системи керування зчепленням.

Зчеплення (clutch) призначене для короткочасного роз'єднання вала двигуна від трансмісії і наступного їх плавного з'єднання, що звичайно необхідно при рушанні автомобіля з місця та після переключення.

чення передач під час руху.

Застосування напівавтоматичних (зазвичай із сигналом на вимикання або включення від важеля переключення передач) або автоматичних (звичайно відцентрових) фрикційних зчеплень дозволяє істотно спростити керування автомобілем, усунувши педалі зчеплення і приблизно в два рази зменшивши роботу буксування при русанні автомобіля з місця.

До напівавтоматичних зчеплень можна віднести, наприклад, зчеплення із зусиллям включення, забезпечуваним електромагнітом. При подачі струму через щітки в кільцеву обмотку електромагніту, що знаходиться в маховику, до останнього притягається ведучий диск із натискним диском, притискаючи натискний диск (clutch pressure plate) до веденого.



- 1 - двигун, 2 - датчик частоти обертання колінчатого вала двигуна,
 3 - зчеплення, 4 - коробка передач, 5 - серводвигун, 6 - блок керування
 (electronic control unit), 7 - датчик (sensing element) швидкості,
 8 - педаль подачі палива, 9 - педаль зчеплення

Рисунок 10.1 - Автоматичне зчеплення

Якщо ланцюг електромагніту розімкнати, пружини відсунуть натискний диск від веденого диска (clutch driven plate). Плавність

включення забезпечується поступовим наростанням струму в електромагніті. До автоматичних зчеплень можна віднести відцентрові зчеплення, наприклад колодкові. При збільшенні кутової швидкості вала двигуна закріплені на маховику колодки під дією відцентрових сил притискаються до внутрішньої циліндричної поверхні веденого барабана. При зменшенні кутової швидкості вала двигуна поворотні пружини відводять колодки від барабана.

Автоматичне зчеплення (рис. 10.1) дозволяє здійснювати плавне рушення автомобіля з місця, а також може застосовуватися разом із сервомеханізмом включення з метою забезпечення цілком автоматичного переключення передач. До інших функцій автоматичного зчеплення можна віднести дії із керування стискальним зусиллям під час прискорення автомобіля і з переривання потоку потужності під час гальмування.

Автоматичні коробки передач.

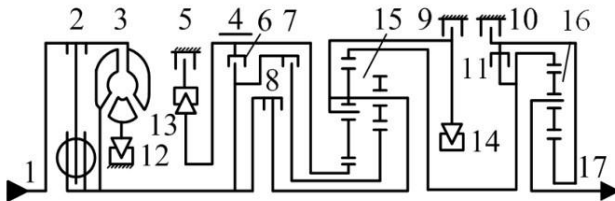
Коробка передач призначена для зміни передаточного числа трансмісії з метою одержання сил тяги на ведучих колесах і швидкостей руху автомобіля в більш широких межах, чим це може бути здійснено за рахунок зміни режимів роботи двигуна.

Крім того, коробка передач дозволяє здійснити рух автомобіля заднім ходом і роз'єднати вал (shaft) двигуна від ведучих коліс на тривалий час, що необхідно при роботі двигуна на стоянці або при русі накатом.

Автоматичні коробки передач (automatic transmission) виконують операції із перемикавання передач без участі водія. Втрати потужності в автоматичній коробці передач істотно більші, ніж у механічній. Однак це компенсується перевагами, пов'язаними з можливістю підтримки роботи двигуна в максимально економічному режимі. Автоматична коробка передач містить (рис. 10.2):

- гідротрансформатор (hydrotransformer) (завжди використовується в коробках передач легкових автомобілів; на вантажних автомобілях зазвичай застосовується конструкція типу Trilok з доцентровою турбіною): призначений для рушення з місця, збільшення крутного моменту і поглинання крутильних коливань;
- у коробках передач легкових автомобілів (як правило) і вантажних автомобілів (завжди) гідротрансформатор доповнюється блокувальною муфтою (joint box, clutch);

- кілька планетарних механізмів;
- багатодискові фрикціони з гідравлічним приводом, дискові чи стрічкові гальма (призначені для виконання переключень без розриву потоку потужності);
- механізми вільного ходу разом з елементами переключення для оптимального переключення передач;
- систему керування для вибору і плавного переключення передач відповідно до програми, установлюваної водієм автомобіля (табл. 10.1);
- гідронасос із приводом від двигуна: забезпечує тиск, необхідний для роботи елементів переключення, подає рідину до гідротрансформатора, забезпечує змащення й охолодження коробки передач.



1 - ведучий вал, 2 - блокувальна муфта, 3 - гідротрансформатор,
4 - стрічкове гальмо, 5-11 - багатодискові фрикціони і гальма,
12-14 - механізми вільного ходу, 15 і 16 - планетарні механізми,
17 - ведений вал

Рисунок 10.2 - Схема п'ятиступінчатої автоматичної
коробки передач (ZF S HP 18)

Таблиця 10.1 - Діаграма перемикання передач

Передача	Елемент передачі									Передаточне число
	2	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	○				●		○	●		3,67
2	○	●	●		●			●		2,00
3	○	●	●		●				●	1,41
4	○		●		●	●			●	1,00
5	○	●	●			●			●	0,74
Задній хід	○			●			●	●		4,10

● – включено; ○ – може бути включено

Автоматичні коробки передач, установлювані на легкових автомобілях, мають в основному 4, 5 чи 8 передач переднього ходу. Діапазон механічного перетворення знаходиться в межах від 3,0 до 6,0.

Автоматичні коробки передач для вантажних автомобілів можуть мати від 4 до 8 передач переднього ходу. Діапазон механічного перетворення змінюється в межах від 2 до 10. Ці коробки передач часто мають вбудовані гідродинамічні сповільнювачі, а також гідронасос, великий піддон для нагромадження рідини та охолоджувач рідини.

Системи керування автоматичних коробок передач, у яких застосовується тільки гідравліка, починають витіснятися системами, у яких поєднуються елементи електроніки і гідравліки (гідравлічний привід зберігається тільки для фрикціонів). До переваг застосування електроніки відносяться:

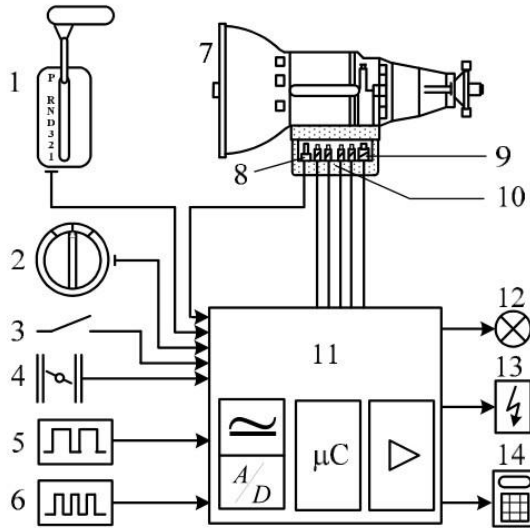
- можливість установлювати кілька різних програм перемикання передач;
- велика плавність включення передачі;
- гнучкість і пристосовуваність до різних типів автомобілів;
- застосування спрощених гідравлічних ланцюгів керування і механізмів вільного ходу.

Вимірювальні перетворювачі системи визначають навантаження, положення важеля переключення передач, положення перемикача програм і режиму "kick-down", а також частоту обертання вала двигуна і веденого валу коробки передач. Блок керування обробляє ці дані відповідно до встановленої програми і виробляє сигнали керування коробкою передач.

Електродинамічні перетворювачі утворюють зв'язок між електронними і гідравлічними ланцюгами, у той час як соленоїдні клапани пускають у хід фрикціони. При цьому використовуються аналогові чи цифрові регулятори тиску.

Керування переключенням передач. Під час вибору необхідної передачі системою (рис. 10.3) запитуються дані про частоту обертання веденого вала коробки передач і двигуна, перш ніж спрацює відповідний соленоїдний клапан.

Водій може вибрати необхідну програму переключення передач, наприклад, для забезпечення максимальної паливної економічності чи максимального швидкісного режиму. У процес переключення передач можна також у будь-який момент утрутитися за допомогою ручного переключення передач важелем.



- 1 - важіль переключення передач з позиційним переключенням, 2- перемикач програм, 3 - примусове включення пониженої передачі ("kick-down"), 4 - датчик кута повороту дросельної заслінки, 5 - крутний момент двигуна (сигнал t_i), 6 - частота обертання колінчатого вала двигуна (сигнал запалювання), 7 - коробка передач, 8 - датчик частоти обертання веденого вала (хв^{-1}), 9 - регулятор тиску, 10 - соленоїдні клапани, 11 - електронний блок керування (ECU), 12 - індикатор відмов, 13 - зменшення крутного моменту двигуна регулюванням запалювання, 14 - блок діагностики

Рисунок 10.3 - Схема електронного керування коробкою передач

Інтелектуальні програми переключення передач оптимізують керування автомобілем, поповнюючи стандартні дані керування коробкою передач допоміжними параметрами, такими, як поздовжнє і поперечне прискорення і швидкість переміщення педалей гальма і подачі палива.

Складна програма керування дозволяє вибрати відповідну передачу як для поточних умов руху автомобіля, так і для стилю керування. Наприклад: Porsche Tiptronic (рис. 10.4) забезпечується коробкою передач ZF 4 HP 22, що працює за програмою інтелектуального перемикачання передач. У даній системі поєднуються режими автоматичного та активного індивідуального керування автомобілем.

На додаток до стандартних положень переключень важіль переключення передач може переходити до другої (рівнобіжної) логічної схеми, при якій простого легкого переміщення важеля поштовхом досить для того, щоб негайно змінити передачу (якщо при цьому не буде перевищена частота обертання вала двигуна).

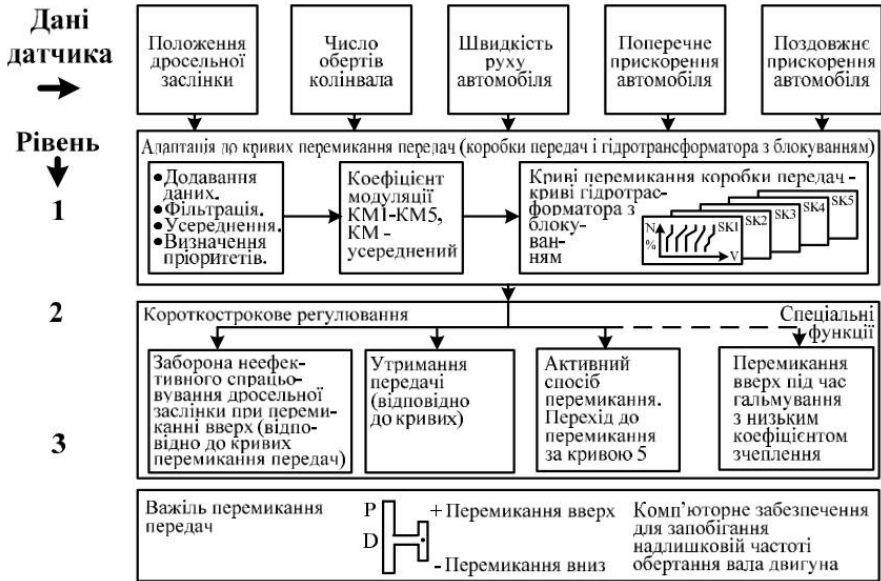


Рисунок 10.4 - Діаграма процесу переключення передач Tiptronic

Блокування гідротрансформатора. Механічна блокувальна муфта може використовуватися для підвищення ефективності роботи коробки передач за рахунок усунення проковзування в гідротрансформаторі. Змінними параметрами, використовуваними для визначення умов спрацьовування блокування гідротрансформатора, є навантаження на двигун і частота обертання веденого вала коробки передач.

Контроль якості перемикання. Точність, з якою тиск у фрикційних елементах регулюється в залежності від величини переданого крутного моменту впливає на якість перемикання; цей тиск установлюється за допомогою спеціального регулятора. Плавність переключення передач може підвищуватися за рахунок короткочасного зниження вихідної потужності двигуна на період переключення передач.

Захисні кола. Передбачені для виключення ушкоджень коробки передач, пов'язаних з помилкою водія, при цьому система на помилкові функції в електричній схемі спрацьовує за допомогою повернення до запасного режиму.

Кінцеві елементи керування. Елементи електрогідравлічного перетворення, такі як соленоїдні клапани і регулятори тиску, забезпечують зв'язок між електронними схемами і гідравлічними ланцюгами.

Повноприводні автомобілі.

Схема компонування з приводом на всі колеса покращує тягове зусилля легкових автомобілів, позашляховиків та вантажних автомобілів на мокрих та ковзних дорожніх покриттях та нерівній місцевості.

В автомобілях з постійним повним приводом та розподіленням крутного моменту порівну між ведучими осями використовується конічний диференціал або планетарний механізм. Розподіл крутного моменту змінюється за допомогою автоматичних або керованих диференціалів підвищеного тертя.

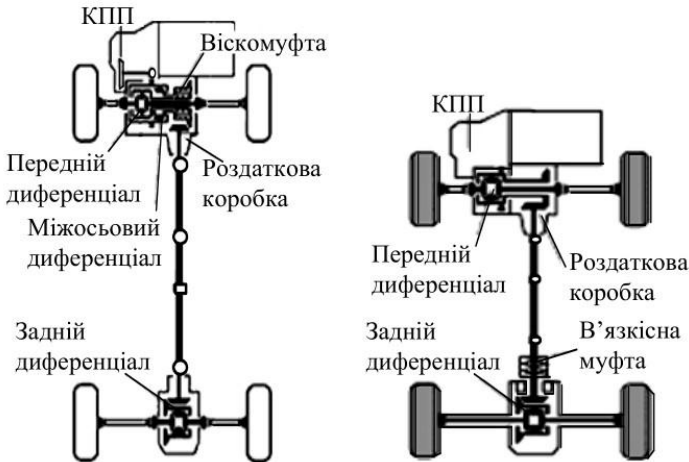


Рисунок 10.5 - Схеми повного приводу з в'язкісною муфтою

Керування повним приводом (з жорстким приводом на передній і задній мости, в'язкістною муфтою чи роздавальною коробкою) включає блокування диференціала в головній передачі і роздавальній коробці (яка має понижувальну передачу для руху на крутих уклонях,

при низьких швидкостях і для передачі високих крутних моментів).

В'язкісна муфта (герметизований багатодисковий механізм з високов'язкою кремнійорганічною рідиною) являє собою ще один засіб приведення в дію приводу на всі колеса. Як тільки граничне тягове зусилля на постійно підключеному мосту перевищується, муфта, реагуючи на збільшення проковзування, починає передавати крутний момент до другого ведучого моста.

На більш сучасних автомобілях почали застосовувати додаткове блокування диференціала в роздавальній коробці, яке здійснюється відповідно до інтелектуально контролюваного функціонування гальм.

Самоблокувальні диференціали, в яких автоматично діє пристрій, що перешкоджає відносному обертанню ведених ланок, поступово витісняються електронними системами, наприклад, системою контролю тягового зусилля (traction control system (TCS)).

Така система забезпечує сповільнення провертання колеса шляхом використання гальм - коли потужність продовжує передаватись від трансмісії до пригальмованого колеса.

Системи контролю тягового зусилля.

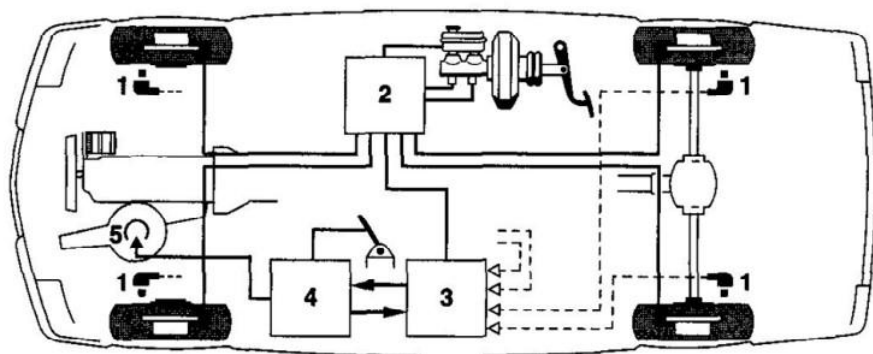
Під час прискорення автомобіля, коли надлишковий крутний момент призводить до швидкого підвищення частоти обертання одного чи двох ведучих коліс, система контролю тягового зусилля (рис. 10.6) підтримує проковзування ведучих коліс в межах допустимого рівня, виконуючи такі функції:

- підвищення сили тяги;
- підтримання курсової стійкості автомобіля.

Для оптимального керування крутним моментом на ведучих колесах механічний зв'язок між педаллю подачі палива і дросельною заслінкою (або важелем керування паливною форсункою на дизельних двигунах) замінений на електронне керування ETC (EGAS).

Блок керування ETC з'єднаний з блоком керування ABS/TCS для забезпечення короточасного спрацювання гальм та контролю крутного моменту на колесах. Реакція системи узгоджується регулюванням моменту запалювання паливної суміші.

Можливості TCS можуть бути розширені додатковим пристроєм, який включає систему керування гальмівним моментом двигуна (motor schleppmoment regelung (MSR)).



- 1 - датчик частоти обертів колеса, 2 - гідравлічний модулятор TCS,
 3 - блок керування TCS, 4 - блок керування ETC (EGAS),
 5 - дросельна заслінка

Рисунок 10.6 - Система ABS/TCS для легкових автомобілів

Питання для самоперевірки

1. Які є типи трансмісій автомобілів?
2. Для чого призначене зчеплення?
3. Назвіть системи керування зчепленням автомобілів.
4. Які конструктивні елементи входять до складу автоматичного зчеплення автомобіля?
5. Чим компенсуються втрати потужності в автоматичній коробці передач автомобіля?
6. Назвіть складові частини автоматичної коробки передач.
7. Які функції виконує гідронасос в автоматичній коробці передач?
8. Який діапазон механічного перетворення в автоматичних коробках передач для вантажних автомобілів?
9. Які переваги застосування електроніки в системі керування автоматичною коробкою передач?
10. Як здійснюють контроль якості перемикання передач?
11. Що являє собою в'язкісна муфта?
12. Яке призначення системи контролю тягового зусилля?
13. Для чого призначена антиблокувальна система гальм?
14. Розкажіть принцип роботи антиблокувальної системи гальм.
15. Які переваги і недоліки антиблокувальної системи гальм автомобіля?

ЛЕКЦІЯ № 11. СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПІДВІСКОЮ АВТОМОБІЛІВ

План лекції. Призначення та особливості будови електронних систем керування підвіскою. Керовані системи різних типів автомобільних підвісок. Електронне керування жорсткістю підвіски, амортизаторами та регулювання висоти кузова.

Література: [1]-[5], [10], [12]-[17], [39]-[65].

Підвіска забезпечує пружний зв'язок рами або кузова з колесами, пом'якшуючи поштовхи та удари, які виникають при наїзді коліс на нерівності, передаючи всі сили і моменти між колесами і рамою.

Електронні системи автоматичного керування підвіскою призначені для підвищення безпеки і комфортабельності автомобіля шляхом автоматичної зміни пружності ресор і опору амортизаторів.

Підвищення безпеки забезпечується шляхом збільшення жорсткості підвіски при русі з великою швидкістю по хороших дорогах, що зменшує крен автомобіля при виконанні поворотів та осідання при рушанні з місця, перемиканні передач і гальмуванні.

Підвищення комфортності досягається шляхом зменшення жорсткості підвіски при русі з невеликою швидкістю, особливо по поганих дорогах. Крім того, зменшення крену і осідання кузова також де-що підвищує комфортність автомобіля.

Електронний блок керування підвіскою працює на основі сигналів, що надходять від датчиків швидкості, положення рульового колеса, інтенсивності гальмування, кута відкриття дросельної заслінки, рівня кузова та тиску в системі (рис. 11.1).

Як виконавчі механізми використовуються електромагнітні клапани регуляторів положення кузова і жорсткості підвіски, а також електродвигуни або соленоїди, які регулюють силу опору амортизатора, шляхом зміни діаметра перепускного отвору.

Такі показники роботи підвіски як жорсткість пружних елементів, інтенсивність демпфірування та зміна положення кузова по висоті взаємозалежні. Вирішити проблему розділення показників дозволяє гідропневматична система підвіски, в якій керування гідравлічними та пневматичними елементами відбувається незалежно одне від одного.

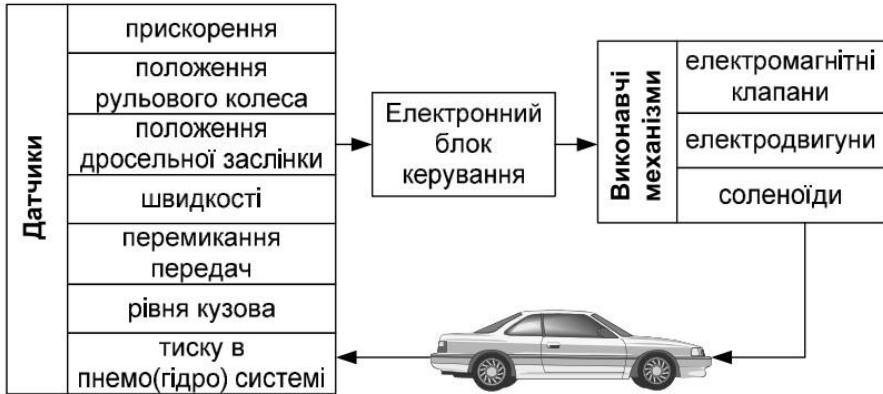


Рисунок 11.1 - Структурна схема електронного керування підвіскою

При цьому для роботи системи потрібна подача енергії для приводу гідронасоса біля 4 кВт. Керування датчиками, що фіксують стан окремих елементів системи підвіски, наприклад, положення коліс відносно кузова і виконавчими механізмами, наприклад, клапанами з електромагнітним керуванням, відбувається за допомогою бортової ЕОМ (мікропроцесора) відповідно до програми, а також з врахуванням команди водія.

Керовані системи підвісок.

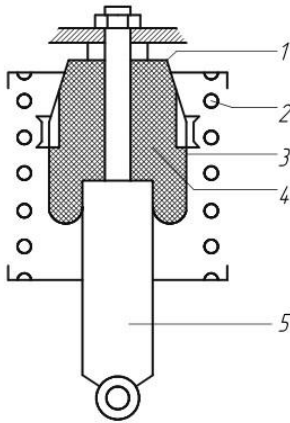
Регулювання підвіски полягає в зміні її характеристик і параметрів при зміні ваги перевезеного вантажу чи дорожніх умов (системи вирівнювання навантаження).

Воно здійснюється в пневматичних і гідропневматичних підвісках, де застосовують автоматичні регулятори положення кузова і регулятори жорсткості підвіски.

Системи, що частково навантажуються (рис. 11.2, 11.3).

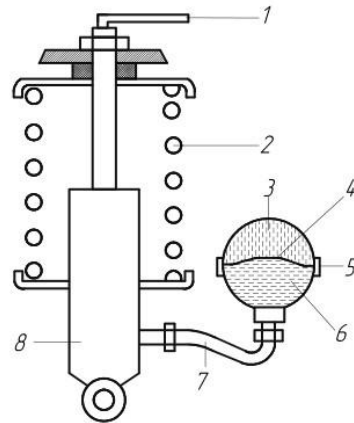
Використання нежорстких пружин приводить до збільшення стиску підвіски автомобіля під навантаженням. Для того, щоб зберегти висоту кузова автомобіля на прийнятному рівні, використовуються допоміжні пневматичні чи гідропневматичні пружини.

Система також може містити в собі електронні блоки керування вирівнювання навантаження, що діють на соленоїдні клапани.



1 - повітряний штуцер, 2 - сталеві пружини, 3 - додаткова пневмопружина, 4 - газова камера, 5 - амортизатор

Рисунок 11.2 - Пневмопідвіска з вирівнюванням навантаження (частково навантажена система)



1 - подача рідини, 2 - сталеві пружини, 3 - акумулятор, 4 - газова камера, 5 - гумова діафрагма, 6 - рідина, 7 - шланг, 8 - амортизатор

Рисунок 11.3 - Гідропневматична система вирівнювання навантаження (частково навантажена система)

Переваги електронного керування:

- зменшена витрата енергії через усунення проміжних циклів під час гальмування, прискорення і при русі на поворотах;
- реагування системи на збільшення швидкості руху автомобіля зменшення висоти підвіски для економії палива;
- підвищення висоти підвіски під час руху на незадовільних дорожніх покриттях; підвищена стійкість руху на поворотах, що досягається шляхом поперечного блокування елементів підвіски на одній осі.

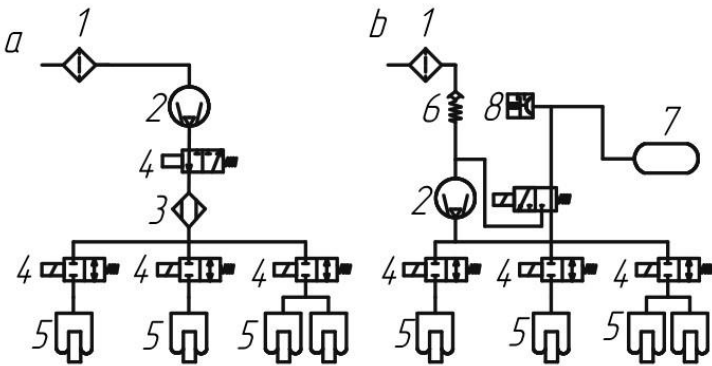
Додаткові переваги для вантажних автомобілів великої вантажопідйомності:

- зміна висоти підвіски для заміни кузовів і контейнерів;
- висота транспортного засобу може регулюватися, наприклад, для вирівнювання вантажонесучої поверхні з навантажувальною платформою;

- керування піднімальною віссю: піднімальна вісь автоматично опускається, коли перевищується максимальне навантаження на вісь; піднімальна вісь піднімається на короткий час (2...3 хвилини) з метою підвищення навантаження на ведучу вісь (збільшення стискального зусилля).

Цілком навантажені системи підвіски.

Пружна дія забезпечується за допомогою газового елемента підвіски, у якій відсутні спіральні пружини (рис. 11.4). Керованими можуть бути одна чи обидві осі автомобіля.



- а - розімкнута система, б - замкнута система,
 1 - фільтр, 2 - компресор, 3 - осушувач, 4 - солонідний клапан,
 5 - пневмоамортизатор, 6 - зворотний клапан,
 7 - пневмобалон, 8 - датчик тиску

Рисунок 11.4 - Система вирівнювання навантаження
 (цілком навантажена система)

Якщо необхідно керувати всіма осями, система повинна містити електронний блок керування зі спеціальною програмою керування, що враховує такі фактори, як зміна навантаження на вісь, щоб запобігти нахилу автомобіля чи його перекидання, і в той же час розпізнавати системні помилки.

Розімкнута система.

Переваги: порівняно прості конструкція і керування. Недоліки: висока вихідна потужність компресора, необхідна для коротких періо-

дів часу активного керування; необхідність забезпечення осушення повітря; шум під час періодів всмоктування і випуску.

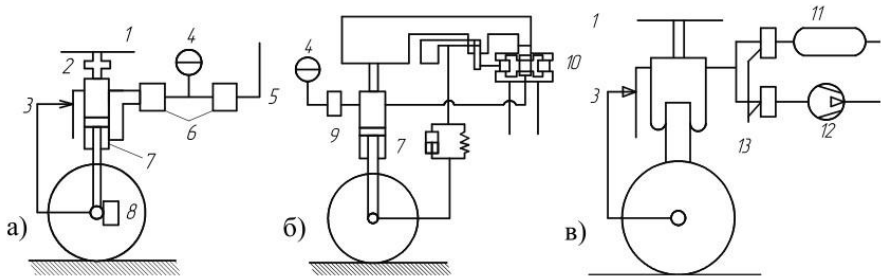
Замкнута система.

Переваги: низька вихідна потужність компресора (мінімальний перепад тиску між акумулятором і елементом підвіски), відсутність осушувача. Недоліки: відносно складна конструкція.

Пневмоамортизатори по масі значно менші, ніж гідропневмоамортизатори.

Активна підвіска.

В активній підвісці (рис. 11.5) контролюються параметри як пружності, так і демпфірування.



- а - гідравлічна підвіска, б - гідропневматична підвіска,
в - пневматична підвіска, 1 - кузов автомобіля, 2 - датчик колісного навантаження, 3 - датчик переміщення, 4 - акумулятор,
5 - лінія від насоса, 6 - сервоклапан, 7 - гідравлічний циліндр,
8 - датчик прискорення, 9 - демпфер, 10 - розподільний клапан,
11 - ресивер, 12 - компресор, 13 - соленоїдний клапан

Рисунок 11.5 - Активна підвіска

Конструкції, що містять гідравлічний циліндр.

За допомогою зовнішнього джерела генерується енергія для прискорених регулювань роботи гідравлічного циліндра, датчиками забезпечується зв'язок між циліндром і кузовом автомобіля. Датчики колісного навантаження, переміщення і прискорення передають сигнали електронному блоку керування (ECU) у межах декількох мілісекунд.

Система керування дозволяє досягти постійного навантаження на колесо з підтримкою незмінної середньої висоти автомобіля. Сталеві пружини чи гідропневматичні елементи підвіски використовув-

ються для підтримки статичного навантаження на колесо.

Конструкції гідروпневматичних підвісок.

Структурні коливання регулюються за допомогою розподілу потоків гідравлічної рідини в гідропневматичному контурі підвіски. З метою зменшення потреб в енергії дія системи обмежується згладжуванням нерегулярних низьких частот коливань; газовий акумулятор з'єднаний з гідроциліндром і гасить коливання більш високих частот.

Конструкції пневматичних підвісок.

Рух кузова контролюється регулюванням подачі повітря до пневматичних амортизаторів. Замкнуті системи амортизаторів обмежуються керуванням низькочастотних коливань і коливань від рульового керування. Оскільки системою врівноважуються поперечні сили, вона допускає застосування пружин.

Електронне керування жорсткістю підвіски, амортизаторами та регулювання висоти кузова.

Для швидкого погашення коливань в підвісці крім пружних елементів передбачені гідравлічні демпфери (амортизатори).

Демпфери коливань існують в різних виконаннях, але їх функції та основні принципи дії однакові. В автомобілебудуванні переважно використовуються гідромеханічні демпфери, виконані у вигляді телескопічного амортизатора, оскільки його встановлення завдяки невеликим розмірам, малому взаємному тертю рухомих деталей, точному демпфіруванню і простій конструкції є оптимальним.

Телескопічні амортизатори перетворюють коливання кузова і підвіски в тепло. Вони прикріплюються до кузова й осі за допомогою еластичних елементів для зменшення шуму.

Автоматичне керування амортизатором полягає в зміні опору перетіканню рідини в амортизаторах шляхом зміни діаметрів жиклерів або в'язкості рідини. Найбільш типовими функціями амортизатора є протидія осіданню автомобіля при різних прискореннях і перемиканнях передач, «пірнанню» при різкому гальмуванні, крену при різних поворотах та ін.

Зміна розмірів пропускного отвору виконується частіше за допомогою електродвигуна або соленоїда, а в деяких випадках - електродвигуном соленоїда.

Звичайно передбачаються три режими регулювання опору амортизатора: малий, середній й великий. Для зміни опору амортизатора

при поворотах автомобіля необхідно знати положення рульового колеса. Тому на валу рульового колеса встановлюється датчик, що реагує не тільки на кут повороту, але й на напрямок повороту.

Електронний блок керування (ЕБК) силою опору амортизаторів виконується на цифрових схемах (рис. 11.6). Всі вхідні сигнали є цифровими й надходять у мікроЕОМ через схеми вхідної обробки, що формують сигнали. Вихідні сигнали ЕБК подаються на виконавчі механізми керування режимами роботи амортизаторів і на індикатори, що показують рівень сили опору. Ці сигнали надходять через схеми вихідної обробки від мікроЕОМ.

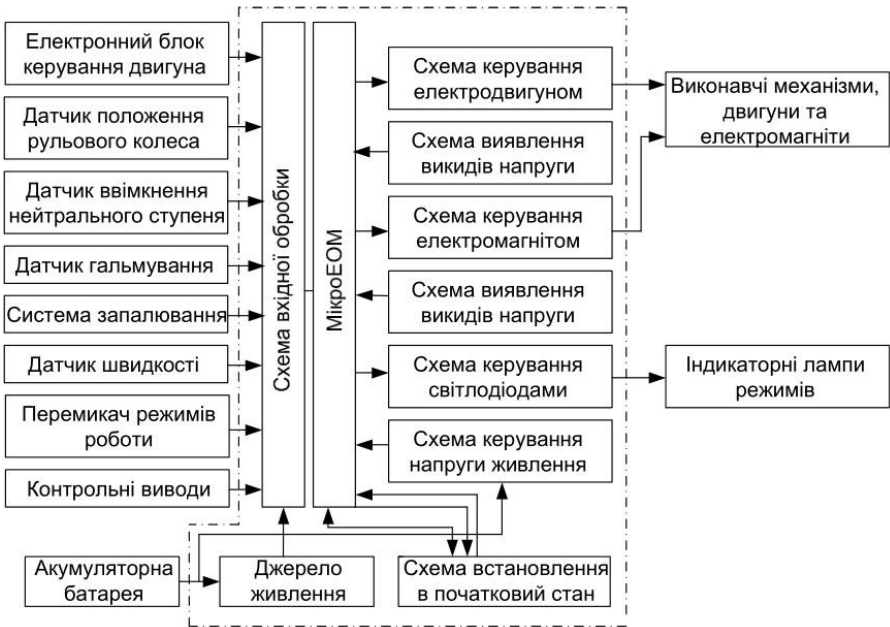


Рисунок 11.6 - Структурна схема ЕБК амортизатором

У схемах керування виконавчими механізмами передбачаються засоби забезпечення роботоздатності з появою помилок від викидів напруги й захист від перевантаження по струму.

Джерела живлення перетворюють напругу бортової мережі в напругу 5 В, необхідну для роботи інтегральних схем.

На виконання основної програми витрачається 4 мс. За цей час

ЕОМ обробляє вхідні сигнали від датчиків і подає вихідні на виконавчі механізми. Чим коротше час виконання основної програми, тим вища швидкість ЕБК. Такий принцип керування амортизатором використовується в активній гідропневматичній підвісці Hydractive.

При використанні пневматичних пружних елементів регулювання жорсткості амортизатора здійснюється за допомогою клапана PDC (pneumatic damping control clapper) - пневматичне регулювання демпфірування). Клапан PDC (рис. 11.7) змінює гідравлічний опір між робочими камерами 1 і 2.

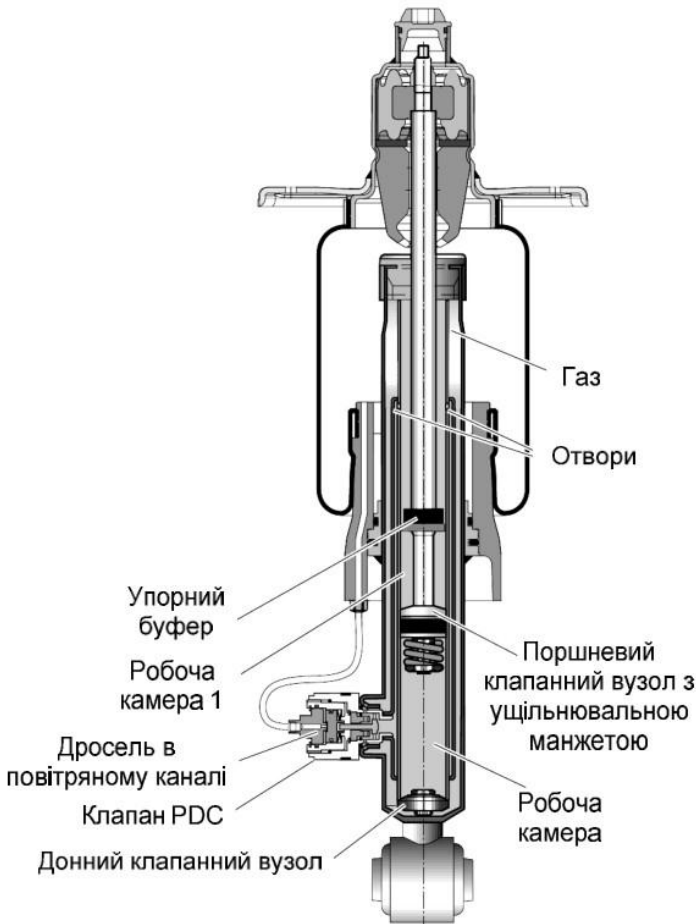


Рисунок 11.7 - Будова клапана PDC

Робоча камера 1 за допомогою отворів з'єднана з клапаном PDC. При низькому тиску в пневматичному пружному елементі (умови навантаження - споряджений автомобіль або з невеликим частковим навантаженням) клапан PDC має малий гідравлічний опір, завдяки чому частина мастила спрямовується в обхід відповідного клапана демпфірування. Тим самим зменшується зусилля демпфірування. Гідравлічний опір клапана PDC знаходиться в певній залежності від тиску в пневматичному пружному елементі.

Зусилля демпфірування залежить від гідравлічного опору відповідного клапана демпфірування (стиснення/відбій), а також клапана PDC. Керування висотою кузова забезпечується зазвичай за допомогою пневматичних пружних елементів, установлюваних на всіх чотирьох (рис. 11.8) або тільки двох задніх колесах.

Подана на рис. 11.8 пневмопідвіска є повністю несучою підвіскою з регулюванням рівня, звичайними амортизаторами на передній осі та регульованими в залежності від навантаження амортизаторами задньої осі. Дорожній просвіт в області кожного колеса автомобіля визначається за допомогою 4-х датчиків регулювання дорожнього просвіта. Пневматичний пружний елемент кожної стійки має власний запірний клапан, таким чином, підвіска кожного колеса регулюється індивідуально.

Система дозволяє встановлювати 4-ри фіксованих рівні дорожнього просвіту автомобіля в діапазоні 142-208 мм. їх встановлення може здійснюватись автоматично або вручну. Крім того, в пневмопідвісці використовується ресивер, застосування якого підвищує готовність системи до роботи, зменшує шум і знижує затрати на електроживлення.

Регулювання висоти кузова автомобіля здійснює ЕБК, структурна схема якого подана на рис. 11.9. Сигнал від датчиків висоти надходить в ЕБК. Якщо поточна висота відрізняється від номінальної, ЕБК регулює тиск у пружних елементах, включаючи електродвигун компресора (для збільшення тиску) або соленоїд випускного клапана (для зменшення тиску). У такий спосіб забезпечується постійна незалежна від навантаження на підвіску висота кузова.

Як датчик висоти можуть використатися фотоелементи, геркони або інші перетворювачі неелектричного показника (шляху) в електричний. Для цих цілей доцільно використовувати такі датчики, які б виробляли П- подібні імпульси, а не аналогові сигнали (наприклад, рези-

стори), тому що в останньому випадку їх все одно необхідно перетворювати в цифрові.

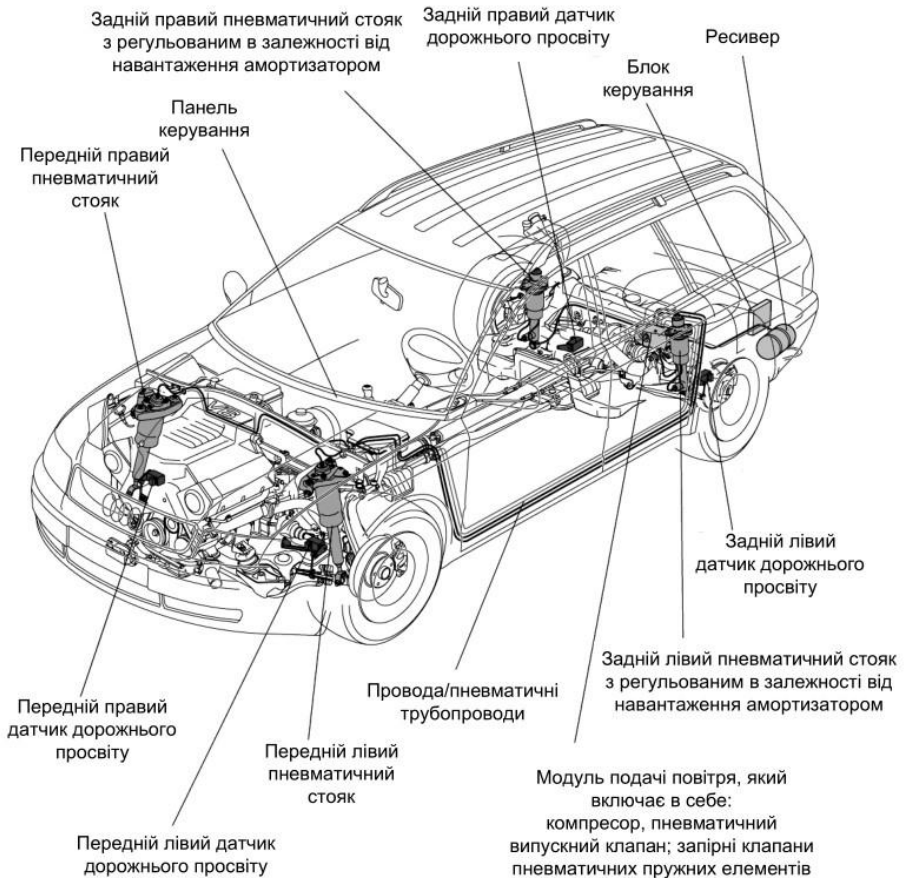


Рисунок 11.8 - Складові пневмопідвіски з електронним регулюванням

Якби кузов просто опускався або піднімався, то сигнал датчика, що надходить в ЕБК, був би просто перетворений у керуючий імпульс. Але під час руху автомобіля кузов коливається, тобто то опускається, то піднімається.

У зв'язку із цим сигнал датчика вводиться в ЕБК через кожні декілька мілісекунд. Електронний блок підраховує число тих або інших станів висоти і за частотою стану (їх процентним співвідношенням)

робить висновок про поточне значення висоти.

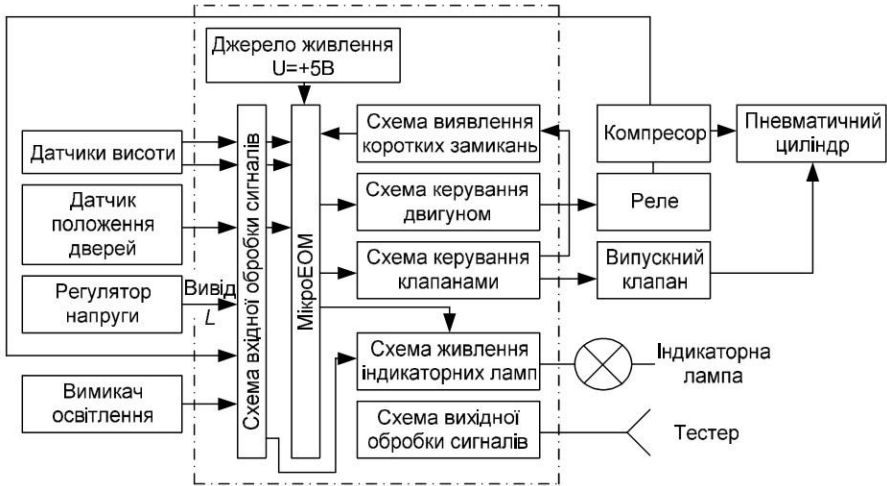


Рисунок 11.9 - Структурна схема ЕБК висоти кузова

Залежно від положення дверей (закриті або відкриті) ЕБК визначає - відбувається посадка або рух. При посадці висота визначається протягом короткого інтервалу часу (2,5 с), а при русі - за більш тривалий час (20 с). Наприклад, якщо під час руху сигнал висоти протягом 20 с перебуває в області «дуже високе положення кузова» в 80 % випадків і більше, то приводиться в дію випускний клапан.

Якщо ж протягом 20 с сигнал висоти виявляється в області «дуже низьке» або «низьке положення кузова» більш ніж в 10 % випадків, то зниження припиняється. Підйом й опускання при посадці забезпечуються аналогічно.

Керування жорсткістю підвіски необхідне для підвищення безпеки та комфортабельності автомобіля і може бути забезпечене на пневматичних або гідропневматичних підвісках.

На легкових автомобілях як пружні елементи використовуються пневмобалони рукавного типу (рис. 11.10, 11.11). При малих габаритах така конструкція забезпечує велику деформацію пружного елемента. Як видно з рис. 11.10, пневматичний пружний елемент складається з верхньої кришки корпусу, гумокордного рукавного елемента, поршня (нижньої кришки корпусу) та затискного кільця. Зовнішній та

внутрішній шар виготовляють з високоякісного еластомера.

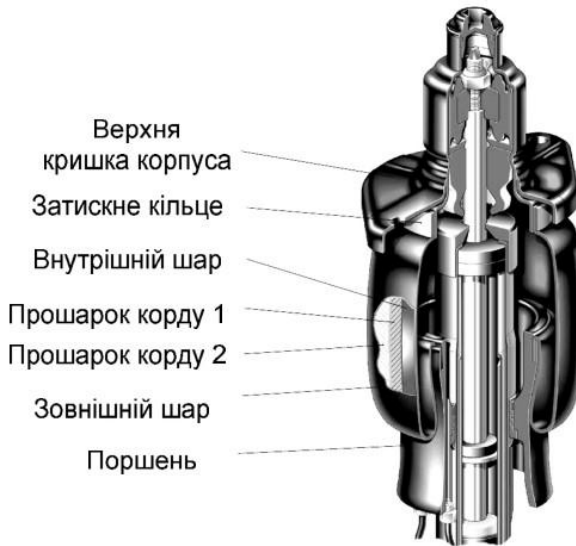


Рисунок 11.10 - Схема пневматичного пружного елемента, виконаного співвісно з амортизатором

Матеріал стійкий до будь-яких атмосферних впливів і є мастилотійким. Внутрішній шар повітронепроникний. Каркас сприймає зусилля, які виникають завдяки внутрішньому тиску в пневмобалоні.

Пневмобалони не повинні стискатись або розтискатись, коли в них немає тиску, оскільки при цьому манжета не може правильно розкочуватися по поршню (можливі її пошкодження).

На автомобілі з пневмобалонами, в яких відсутній тиск, перед тим, як піднімати чи опускати його (наприклад, за допомогою підійомника чи домкратів), необхідно створити тиск в пневмобалонах з використанням діагностичного тестера.

Чим менша жорсткість підвіски, тим менші коливання кузова й тим вища комфортабельність автомобіля. Жорсткість пневматичної або гідروпневматичної підвіски можна зробити досить малою, однак це чревате появою поздовжніх коливань. Із цієї причини керування жорсткістю підвіски в більшості випадків комбінують із керуванням висотою кузова та силою опору амортизаторів. Структурна схема ке-

рування жорсткістю підвіски автомобіля подана на рис. 11.12.

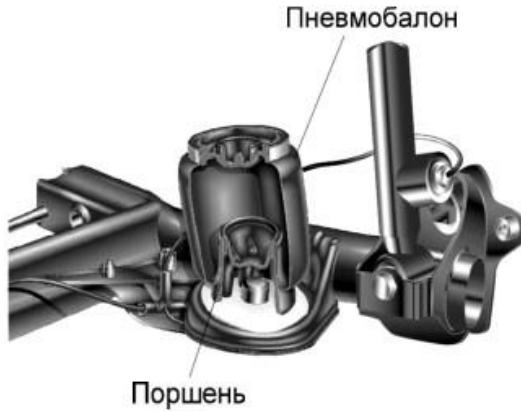


Рисунок 11.11 - Схема рознесеного розташування пневмобалона і амортизатора

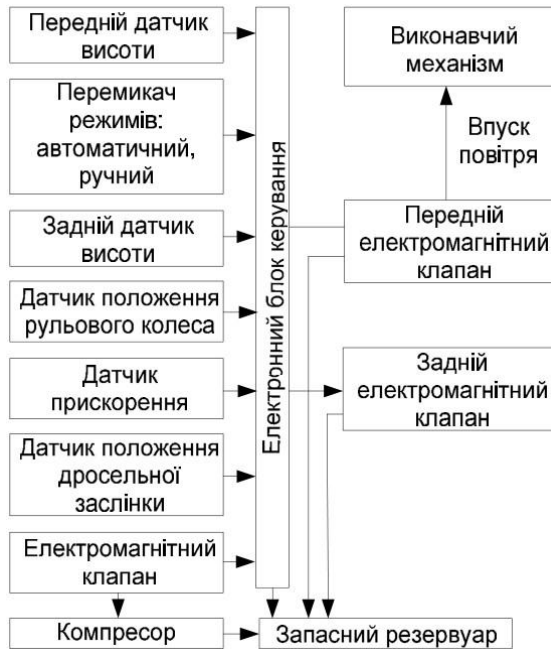


Рисунок 11.12 - Структурна схема керування жорсткістю підвіски автомобіля Toyota

Питання для самоперевірки

1. Що розуміється під терміном «активна» підвіска автомобіля?
2. Що таке адаптивна підвіска?
3. Що використовують в якості пружного елемента в активній підвісці автомобіля?
4. Що складає основу пневматичної підвіски?
5. В чому суть активної стабілізації підвіски автомобіля?
6. На основі якої інформації працює електронний блок керування підвіскою?
7. Назвіть параметри які характеризують роботу підвіски автомобіля.
8. Для чого збільшується жорсткість підвіски під час руху автомобіля?
9. За рахунок чого досягається більша комфортність від роботи підвіски автомобіля?
10. Назвіть основні елементи гідропневматичної системи вирівнювання навантаження підвіски автомобіля.
11. Які переваги електронного керування роботою підвіски?
12. Для чого в підвісці використовують сталеві пружини або гідропневматичні елементи?
13. Яке призначення гідравлічних демпферів?
14. Які є режими регулювання опору амортизатора?
15. Яке значення напруги бортової мережі живлення необхідне для роботи інтегральних схем?
16. Від чого залежить зусилля демпфірування?
17. Яке призначення датчиків висоти?
18. Від чого залежить величина жорсткості пневматичної або гідропневматичної підвіски?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Базова

1. Грабченко А. И., Клепиков В. Б., Доброскок В. Л. Введение в мехатронику. Харьков : НТУ «ХПИ», 2014. 264 с.
1. Кашканов А. А. Інформаційні комп'ютерні системи автомобільного транспорту. Вінниця : ВНТУ, 2010. 230 с.
2. Konrad Reif. Automotive mechatronics. Automotive networking, driving stability systems, electronics. Wiesbaden : Springer Fachmedien, 2015. 549 p.
3. Levent Güvenc, Bilin Aksun Güvenc, Burak Demirel. Control of mechatronic systems. London : The Institution of Engineering and Technology, 2017. 217 p.
4. Patrick Kaltjob. Mechatronic Systems and Process Automation. Boca Raton : CRC Press, 2018. 468 p.

Допоміжна

5. Andrew J. Kurdila. Dynamics and control of robotic systems. Hoboken : John Wiley & Sons Ltd, 2020. 517 p.
6. Mohammad H. Abedin-Nasab. Handbook of robotic and image-guided surgery. Cambridge : Elsevier, 2020. 724 p.
7. Ambarish Goswami. Humanoid robotics: a reference. Dordrecht : Springer Nature B.V., 2019. 2676 p.
8. Clifford A. Pickover. Artificial intelligence. An illustrated history. New York : Sterling Publishing Co., Inc., 2019. 268 p.
9. Сторожев В. В. Системотехника и мехатроника технологических машин и оборудования. М. : Дашков и К°, 2016. 412 с.
10. Юревич Е. И. Основы робототехники. Спб. : БХВ-Петербург, 2017. 284 с.
11. Карташевич А. Н. Тракторы и автомобили. Тормозные системы автомобилей. Пневматические тормозные приводы. Горки : БГСХА, 2014. 52 с.
12. Кусяк В. А., Руктешель О. С. Проектирование автоматизированных мехатронных систем управления силовым агрегатом грузовых автомобилей и автопоездов. Минск : БИТУ, 2015. 295 с.
13. Сергеев Н. Н., Хонелидзе Д. М. Электрооборудование и электрон-

- ные системы автомобиля. Тула : ТулГУ, 2015. 156 с.
14. Болштянский А. П. Электронные системы автомобилей. Омск : ОГТУ, 2010. 125 с.
 15. Коваленко О. Л. Электронные системы автомобилей. Архангельск : ИПЦ САФУ, 2013. 80 с.
 16. Котельников А. П. Мехатронные системы тормозного управления автомобилем. Екатеринбург : УрГУПС, 2011. 80 с.
 17. Горбенко Т. И., Горбенко М. В. Основы мехатроники и робототехники. Томск : Томский государственный ун-т, 2012. 126 с.
 18. Виноградов В. М. Проектирование технологических машин и комплексов. Введение в специальность. М. : МАМИ, 2014. 188 с.
 19. Ревин А. А. Автоматика и автоматизация рабочих и производственных процессов. Волгоград : ВолгГТУ, 2015. 388 с.
 20. Черепанов Л. А. Автоматические системы автомобиля. Тольятти : Тольяттинский государственный ун-т, 2006. 132 с.
 21. Подураев Ю. В. Основы мехатроники. М. : МГТУ, 2000. 80 с.
 22. Подураев Ю. В. Мехатроника основы, методы, применение. М. : МГТУ, 2006. 256 с.
 23. Егоров О. Д., Подураев Ю. В. Расчет и конструирование мехатронных модулей. М. : МГТУ, 2012. 422 с.
 24. Егоров О. Д., Подураев Ю. В., Бубнов М. А. Робототехнические мехатронные системы. М. : МГТУ, 2015. 326 с.
 25. Лукинов А. П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств. Спб. : Лань, 2012. 608 с.
 26. Готлиб Б. М. Введение в мехатронику. Екатеринбург : Изд-во Уральского государственного ун-та путей сообщения, 2007. 782 с.
 27. Пупков К. А. Мехатроника. М. : РУДН, 2008. 132 с.
 28. Хомченко В. Г., Соломин В. Ю. Мехатронные и робототехнические системы. Омск : ОмГТУ, 2008. 160 с.
 29. Свербилов В. Я. Основы мехатроники. Самара : Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева, 2011. 58 с.
 30. Храменко С. А. Основы мехатроники. Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2013. 782 с.
 31. Сырямкин В. И. Информационные устройства и системы в робототехнике и мехатронике. Томск : Томский гос. ун-т, 2016. 524 с.
 32. Сырямкин В. И. Интеллектуальные робототехнические и мехатронные системы. Томск : Томский гос. ун-т, 2017. 256 с.
 33. Бектайл Дж. Конструируем роботов. Дроны. Руководство для на-

- чинающих. М. : Лаборатория знаний, 2018. 226 с.
34. Гололобов В. Н., Ульянов В. И. Беспилотники для любознательных. СПб. : Наука и техника, 2018. 256 с.
 35. Петров М. А., Шейпак А. А., Петров П. А. Мехатронные системы в машиностроении и их моделирование. М. : МАМИ, 2015. 115 с.
 36. Экзоскелеты : анализ конструкций, принципы создания, основы моделирования. Курск : Юго-Зап. гос. ун-т., 2015. 179 с.
 37. Рассадкин Ю. И., Синицын А. В. Компьютерное управление в мехатронных системах. М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. 61 с.
 38. Robert H. Bishop. Mechatronics. An Introduction. Boca Raton : CRC Press, 2006. 285 p.
 39. Robert H. Bishop. Mechatronic System Control, Logic, and Data Acquisition. Boca Raton : CRC Press, 2008. 755 p.
 40. Robert H. Bishop. Mechatronic Systems, Sensors, And Actuators. Boca Raton : CRC Press, 2007. 656 p.
 41. William Bolton. Mechatronics : electronic control systems in mechanical and electrical engineering. Harlow : Pearson, 2015. 663 p.
 42. David G. Alciatore. Introduction to mechatronics and measurement systems. New York : McGraw-Hill Education, 2018. 609 p.
 43. Erika Ottaviano. Mechatronics for cultural heritage and civil engineering. Cham : Springer International Publishing, 2018. 372 p.
 44. Fijalkowski B.T. Automotive mechatronics: operational and practical issues. Heidelberg : Springer, 2011. Volume I. 612 p.
 45. Fijalkowski B.T. Automotive mechatronics: operational and practical issues. Heidelberg : Springer, 2011. Volume II. 538 p.
 46. Edwin Kiel. Drive Solutions. Mechatronics for production and logistics. Berlin : Springer-Verlag, 2008. 545 p.
 47. Uwe Kiencke, Lars Nielsen. Automotive control systems for engine, driveline, and vehicle. Berlin : Springer-Verlag, 2005. 521 p.
 48. John Billingsley. Essentials of mechatronics. Hoboken : John Wiley & Sons, Inc., 2006. 267 p.
 49. Frank Lamb. Industrial Automation. Hands On. New York : McGraw-Hill Education, 2013. 369 p.
 50. Günter Ullrich. Automated guided vehicle systems a primer with practical applications. Berlin : Springer-Verlag, 2015. 237 p.
 51. Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations. Washington, DC : The national academies press, 2005. 257 p.
 52. Driver Reactions to Automated Vehicles. A Practical Guide for Design

- and Evaluation. Boca Raton : CRC Press, 2018. 177 p.
53. Road Vehicle Automation. Lecture notes in mobility / Gereon Meyer, Sven Beiker (editors). Switzerland : Springer, 2014. 257 p.
 54. Road Vehicle Automation 2. Lecture notes in mobility / Gereon Meyer, Sven Beiker (editors). Switzerland : Springer, 2015. 226 p.
 55. Road Vehicle Automation 3. Lecture notes in mobility / Gereon Meyer, Sven Beiker (editors). Switzerland : Springer, 2016. 292 p.
 56. Road Vehicle Automation 4. Lecture notes in mobility / Gereon Meyer, Sven Beiker (editors). Switzerland : Springer, 2018. 255 p.
 57. Road Vehicle Automation 5. Lecture notes in mobility / Gereon Meyer, Sven Beiker (editors). Switzerland : Springer, 2019. 246 p.
 58. Road Vehicle Automation 6. Lecture notes in mobility / Gereon Meyer, Sven Beiker (editors). Switzerland : Springer, 2019. 146 p.
 59. Hans-Leo Ross. Functional safety for road vehicles. New challenges and solutions for E-mobility and automated driving. Switzerland : Springer International Publishing, 2016. 276 p.
 60. Huaqun Guo. Automotive informatics and communicative systems: principles in vehicular networks and data exchange. New York : Information Science Reference, 2009. 364 p.
 61. Jan Fischer-Wolfarth. Advanced microsystems for automotive applications 2014. Smart systems for safe, clean and automated vehicles. Switzerland : Springer International Publishing, 2014. 305 p.
 62. Kimon P. Valavanis. Advances in Unmanned Aerial Vehicles. State of the Art and the Road to Autonomy. Dordrecht : Springer, 2007. 551 p.
 63. Hassan Rashidi, Edward Tsang. Vehicle Scheduling in Port Automation. Advanced Algorithms for Minimum Cost Flow Problems. Boca Raton : CRC Press, 2016. 260 p.
 64. Steffen Heinrich. Planning universal on-road driving strategies for automated vehicles. Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2018. 141 p.

Інформаційні ресурси

65. The IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS (TMECH) is a bimonthly periodical source. <http://www.ieee-asme-mechatronics.org> (дата звернення: 27.12.2019).
66. Mechatronics - an international journal. <https://www.journals.elsevier.com/mechatronics> (дата звернення: 27.12.2019).

67. Mechatronics, Informatics and Control Group (MICG) - incorporates the Mechatronics Forum, which has been actively promoting mechatronics internationally for the past 20 years.
<https://www.imeche.org/get-involved/special-interest-groups/mechatronics-informatics-and-control-group> (дата звернення: 27.12.2019).
68. Robotics. <https://curlie.org/Computers/Robotics> (дата звернення: 27.12.2019).
69. IEEE Robotics and Automation Society. <http://www.ieee-ras.org> (дата звернення: 27.12.2019).
70. Investigation of social robots – Robots that mimic human behaviors and gestures. <http://www.ai.mit.edu/projects/humanoid-robotics-group/index.html> (дата звернення: 27.12.2019).
71. Wired's guide to the '50 best robots ever', a mix of robots in fiction (Hal, R2D2, K9) to real robots (Roomba, Mobot, Aibo).
<https://www.wired.com/wired/archive/14.01/robots.html> (дата звернення: 27.12.2019).
72. Automotive Electronic Systems Clemson Vehicular Electronics Laboratory Website <http://www.cvel.clemson.edu/auto/systems/auto-systems.html> (дата звернення: 27.12.2019).
73. Seattle Robotics "What is a Servo?". <http://www.seattlerobotics.org/guide/servos.html> (дата звернення: 27.12.2019).
74. Different types of servo motors. <http://www.servotronics.com/servomotors.html> (дата звернення: 27.12.2019).
75. Automotive Manufacturing Engineering Overview.
<http://www.automotiveengineeringhq.com/automotive-manufacturing-engineering/> (дата звернення: 27.12.2019).
76. Engineering Synergy. <http://myengineeringsystems.co.uk/> (дата звернення: 27.12.2019).
77. The Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE), formerly the Institute of Industrial Engineers, is a professional society dedicated solely to the support of the industrial engineering profession and individuals involved with improving quality and productivity.
<http://www.iise.org/> (дата звернення: 27.12.2019).
78. SME (previously the Society of Manufacturing Engineers) is a non-profit student and professional association for educating and advancing the manufacturing industry in North America. <http://sme.org/> (дата звернення: 27.12.2019).