

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

О. М. Артюх, О. В. Дударенко
В. В. Кузьмін, А. Ю. Сосик
А. В. Щербина

ОСНОВИ МЕХАТРОНІКИ

Навчальний посібник

Запоріжжя • НУ «Запорізька політехніка» • 2021

УДК 629.33-505(075.8)

О-75

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Національний університет «Запорізька політехніка»
(Протокол № 3 від 6.12.2021 р.)*

Рецензенти:

Сахно В. П. – д.т.н., професор, академік Транспортної академії України, Заслужений працівник освіти України, завідувач кафедри «Автомобілі» Національного транспортного університету (м. Київ).

Панченко А. І. – д.т.н., професор, завідувач кафедри «Мехатронні системи та транспортні технології» Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного.

Воронін С. В. – д.т.н., професор, завідувач кафедри «Машинобудування та технічний сервіс машин» Українського державного університету залізничного транспорту.

О-75 Основи мехатроніки : навч. посіб. / О. М. Артюх,
О. В. Дударенко, В. В. Кузьмін та ін. Запоріжжя : НУ
«Запорізька політехніка», 2021. – 372 с.

ISBN 978-617-529-347-8

Навчальний посібник призначений для формування знань, умінь і навичок науково-дослідницької роботи і здійснення інноваційної діяльності із застосуванням мехатронних і робототехнічних систем, та систем управління мехатронними і робототехнічними модулями та системами. Оскільки мехатроніка це напрямок сучасної науки, техніки і технології, який виключно динамічно розвивається, а отже і визначає вигляд техносфери нового століття. Головне завдання мехатроніки полягає в створенні інтелектуальних машин і рухомих систем, які мають якісно нові функції та властивості. Посібник призначений для студентів які навчаються за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування.

УДК 629.33-505(075.8)

ISBN 978-617-529-347-8

© Національний університет
«Запорізька політехніка», 2021
© Артюх О. М., Дударенко О. В.,
Кузьмін В. В., Сосик А. Ю.,
Щербина А. В., 2021

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Вступ до курсу.....	9
1.1 Поняття про мехатроніку	9
1.2 Мета і предмет мехатроніки як галузі науки і техніки.....	16
1.3 Поняття мехатронних технологій.....	17
1.4 Функціональні та технічні показники мехатронних модулів	21
2 Історія розвитку механічних, електронних і мехатронних систем	23
2.1 Механічні пристрої в доісторичні часи. Передісторія робототехніки	23
2.2 Поява і розвиток систем автоматичного керування зі зворотним зв'язком	29
2.3 Розвиток транспортних мехатронних систем.....	32
2.4 Поява нового науково-технічного напрямку – робототехніка	36
3 Сучасні мехатронні системи в різних сферах людської діяльності	50
3.1 Загальна класифікація роботів.....	50
3.2 Автономні роботи	51
3.3 Класифікація промислових роботів.....	53
3.4 Робототехнічні комплекси	57
3.5 Мехатроніка в медицині	64
3.6 Периферійні пристрої комп'ютерів як мехатронні об'єкти.....	75
3.7 Мехатронні системи в побуті.....	76
3.8 Транспортні мехатронні системи	77
3.9 Мехатронні системи на водному транспорті.....	83
4 Структура і принципи побудови мехатронних систем.....	87
4.1 Основи конструювання мехатронних систем.....	87
4.2 Суть мехатронного підходу в побудові системи.....	90
4.3 Місце інтерфейсу в структурі мехатронної системи.....	93
4.4 Метод виключення проміжних перетворювачів та інтерфейсів.....	99

4.5	Метод об'єднання елементів мехатронного модуля....	106
4.6	Метод переносу функціонального навантаження на інтелектуальні пристрої.....	109
5	Мехатронні модулі	114
5.1	Систематика мехатронних модулів	114
5.2	Перетворювачі руху	114
5.3	Хвильові зубчасті передачі	117
5.4	Напрявні	121
5.5	Гальмові пристрої й механізми для вибірки люфтів ...	125
5.6	Механічні гальмові пристрої	125
5.7	Електромагнітні гальмові пристрої	128
5.8	Механізми для вибірки люфтів.....	128
5.9	Електродвигуни мехатронних модулів	132
6	Мехатронні системи.....	138
6.1	Датчики положення	138
6.2	Датчики швидкості.....	142
6.3	Датчики технологічних параметрів.....	145
6.4	Постановки завдання керування мехатронними системами	148
6.5	Ієрархія керування в мехатронних системах	153
6.6	Системи керування виконавчого рівня	157
6.7	Системи керування тактичного рівня	159
6.8	Системи керування стратегічного рівня	162
6.9	Інтелектуальні методи керування.....	163
7	Інформаційні технології в мехатроніці	165
7.1	Дистанційне керування мехатронними системами з використанням Інтернету	165
7.2	Середовища розробки програм для керування.....	171
8	Автомобіль як складна мехатронна система.....	180
8.1	Історія появи і розвитку автомобільних мехатронних систем.....	180
8.2	Система керування роботою двигуна.....	182
8.3	Система керування коробкою передач.....	185
8.4	Система керування підвіскою	186
9	Системи керування автомобільними двигунами.....	194
9.1	Призначення систем керування двигунами (СКД)	194
9.2	Принципи керування.....	195
9.3	Критерії керування.....	198

9.4	Параметри керування двигунів автомобілів.....	200
9.5	Особливості систем керування бензинових двигунів.....	202
9.6	Системи впорскування із зовнішнім сумішоутворенням	204
9.7	Особливості систем керування дизельних двигунів....	207
9.8	Система впорскування з рядним ПНВТ.....	208
9.9	Система впорскування з розподільним ПНВТ	209
9.10	Система впорскування з індивідуальними ПНВТ	211
9.11	Система впорскування Common Rail	211
10	Системи керування трансмісією автомобілів	214
10.1	Системи керування зчепленням.....	214
10.2	Автоматичні коробки передач	216
10.3	Керування переключенням передач.....	218
10.4	Повноприводні автомобілі	221
10.5	Системи контролю тягового зусилля	222
11	Системи керування підвіскою автомобілів.....	225
11.1	Керовані системи підвісок	226
11.2	Цілком навантажені системи підвіски	228
11.3	Електронне керування жорсткістю підвіски, амортизаторами та регулювання висоти кузова.....	230
12	Системи керування гальмовими системами автомобілів	239
12.1	Антиблокувальні системи	239
12.2	Системи регулювання гальмівних зусиль	247
12.3	Повністю електронні системи.....	249
12.4	Керування гальмовою системою при круїз- контролі.....	252
13	Системи управління мікрокліматом в салоні та рульового керування автомобілів	255
13.1	Призначення та основні компоненти системи керування мікрокліматом в салоні автомобіля.....	255
13.2	Основні компоненти системи клімат-контролю	257
13.3	Особливості роботи електронного блока керування	265
13.4	Рульове керування	268
14	Допоміжні та контрольно-діагностичні системи автомобілів.....	275
14.1	Способи реалізації електронного захисту	

автомобіля від угону	275
14.2 Класифікація автомобільних охоронних систем.....	277
14.3 Датчики охоронних систем	280
14.4 Робота охоронної системи з дистанційним керуванням.....	285
14.5 Пристрої розкриття кодів сигналізації.....	287
14.6 Допоміжні пристрої охоронних систем	289
14.7 Системи контролю за переміщенням автотранспорту	291
14.8 Методи визначення місця знаходження автотранспортних засобів.....	295
14.9 Обладнання навігаційних систем	300
14.10 Економічна ефективність та окупність систем	304
14.11 Інформаційні контрольні-діагностичні системи автомобіля.....	307
14.12 Контрольно-вимірювальні прилади та засоби бортової діагностики.....	309
14.13 Бортові контролери і системи зв'язку.....	317
14.14 Система керування CARTRONIC.....	322
15 Безпілотні автомобілі	326
15.1 Технології в сучасних безпілотних автомобілях.....	338
15.2 Полігони для випробування робомобілів	343
15.3 Проблеми заміни водія-людини автопілотом.....	345
15.4 Комерційні проекти в даний час.....	350
15.5 Безпілотні вантажні перевезення.....	356
Література	364

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.

1 ВСТУП ДО КУРСУ

1.1 Поняття про мехатроніку

Коли Ви приступаєте до вивчення нової навчальної дисципліни й, тим більше, вперше знайомитеся із цілим науково-технічним напрямком, обов'язково виникають три ключові питання:

ЩО є предметом мехатроніки, де науково-технічна «ніша» мехатроніки і яким чином вона взаємодіє з іншими областями спеціальних знань?

ЧОМУ цей напрямок настільки швидко розвивається в сучасному світі, які його цілі і перспективи?

ЯК відбувається створення мехатронних систем або, інакше кажучи, в чому полягає суть методу мехатроніки і які процеси лежать в основі мехатронних технологій?

В цій лекції представлені тільки короткі відповіді на поставлені питання, щоб відразу ввести студента в коло обговорюваних проблем, і розглянуті лише деякі – але досить характерні, сучасні мехатронні рішення. У наступних лекціях введені базові поняття будуть розібрані більш докладно й проілюстровані на додаткових прикладах мехатронних модулів і систем з аналізом їх технічних характеристик і конструктивних рішень.

Отже, а що взагалі таке мехатроніка? Сам термін «мехатроніка» з'явився в 1969 р. у Японії, де активно проводилася розробка прецизійних електроприводів для верстатів із програмним керуванням та оброблювальних центрів. Автором терміна є Тецууро Моріа (Tetsuro Moria) – старший інженер компанії «YASKAWA ELECTRIC».

Цей термін був їм уведений для позначення робочих органів, що здійснювали надавання руху машин і агрегатів, електромеханічних пристроїв з електродвигунами, керованими електронними напівпровідниковими перетворювачами й представляв комбінацію слів «механіка» і «електроніка».

У СРСР, Німеччині й у деяких інших країнах пристрої перетворення електричної енергії в механічну, для надавання руху робочих органів (виконавчих механізмів), починаючи з 30-х

років минулого сторіччя одержали назву «електричний привод».

Цей термін у Японії й США не був розповсюджений, що обумовило введення для характеристики даного класу пристроїв нового визначення. Спочатку термін «мехатроніка» був зареєстрований як торговельний знак. Технічні успіхи Японії в області електроніки, верстатобудування й створенні роботів обумовили досить широке поширення цього терміна, у тому числі в США, і компанія згодом відмовилася від використання його як товарного знака. З іноземних джерел термін «мехатроніка» прийшов і затвердився в європейських країнах і СРСР.

З методичної точки зору доцільно усвідомити подібність і відмінності системи електропривода в традиційному розумінні й мехатронної системи. Із цією метою розглянемо функціональні схеми електропривода (рис. 1.1), й мехатронної системи.

Усвідомимо загальні ознаки й відмінності системи електропривода в традиційному розумінні й мехатронної системи, виходячи з їхніх функціональних схем.

На рис. 1.1 представлена схема електропривода, який по визначенню є електромеханічною системою, призначеною для перетворення електричної енергії в механічну й керування рухом відповідно до вимог технологічного процесу.

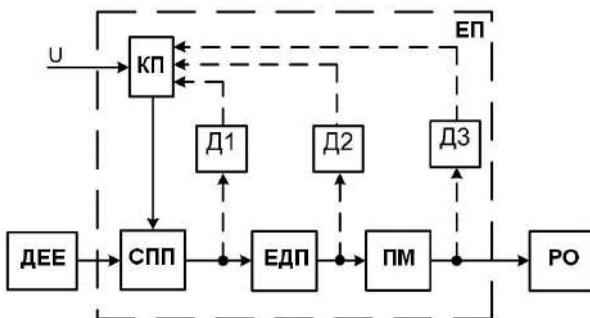


Рисунок 1.1 – Функціональна схема системи електроприводу

Електричний привод складається з наступних елементів:

- електродвигунного пристрою (ЕДП), призначеного для перетворення електричної енергії в механічну. Роль ЕДП

- звичайно виконують різного виду електродвигуни;
- силового перетворювального пристрою (СПП), призначеного для перетворення параметрів електричної енергії: напруги, струму, частоти, джерела електричної енергії (ДЕЕ) до значень, необхідних для живлення ЕДП. У сучасних електроприводах СПП виконують на базі напівпровідникових приладів – тиристорах і транзисторах різних типів;
 - передавального механізму (ПМ), що здійснює перетворення параметрів механічної енергії ЕДП до заданого виду (обертальний, поступальний) і необхідним значенням (крутного моменту, сили, частоти обертання, швидкості), необхідним для функціонування робочого органа (виконавчого механізму) машини або агрегату;
 - датчиків параметрів (координат) Д1-Д3, що характеризують поточний стан ЕП, інформація з яких використовується для формування зворотних зв'язків, необхідних для керування рухом відповідно до технологічних і технічних вимог. Координатами є струм й напруга СПП й ЕДП рухливі та пружні моменти, швидкість, кутове й лінійне переміщення та ін.;
 - керуючого пристрою (КП), який на підставі заданого сигналу U_3 і сигналів від датчиків зворотних зв'язків виробляє необхідний сигнал керування, що подається на силовий перетворювальний пристрій. Керуючі пристрої у своєму розвитку пройшли шлях від релейних, лампових, транзисторних схем посилення й логіки, регуляторів на операційних підсилювачах до сучасних комп'ютерних пристроїв – мікропроцесорів. Сигнал завдання надходить від оператора, програмного блоку або від комп'ютеризованої системи більш високого рівня ієрархії, й контролює хід технологічного процесу в цілому.

У ГОСТ СРСР електропривод визначався як «пристрій». Робочий орган РО (виконавчий механізм) і джерело електричної енергії до його складу не включалися.

Однак створення електропривода, дослідження динамічних

та сталих режимів, синтез системи ЕП, що забезпечує необхідні показники регулювання, неможливе без знання статичних і динамічних характеристик навантаження.

При живленні від джерела електричної енергії обмеженої потужності слід враховувати і його параметри. Тому на практиці система ЕП розглядалася як єдина електромеханічна система, що включає до свого складу вищевказані компоненти. Це знайшло відбиття в більш пізніх визначеннях ЕП як *електромеханічної системи*.

Розглянемо функціональну схему мехатронної системи, представлену на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Функціональна схема мехатронної системи

У даній схемі:

- *мікропроцесор* виконує роль керуючого пристрою, формуючи на виході в цифровій формі сигнал керування, виходячи із надходячих до нього сигналу завдання від «системи керування й індикації» і сигналів від датчиків інформації через вхідні перетворювачі;
- *датчики інформації* фіксують поточні значення координат руху виконавчого механізму у вигляді електричних сигналів;
- *вхідні перетворювачі* перетворюють значення електричних сигналів до виду, сприйманого мікропроцесором, тобто до цифрової форми;
- *вихідні перетворювачі* перетворюють цифрове значення вихідного сигналу мікропроцесора в електричний сигнал керування мехатронним модулем;

- **мехатронний модуль** забезпечує перетворення електричної енергії джерела живлення в механічну, зі значеннями крутного моменту й швидкості, необхідними для роботи виконавчого механізму.

У даній схемі відсутнє джерело електричної енергії, що може бути зрозуміло для автономних роботів, якщо вважати, що воно входить до складу мехатронного модуля. Однак для мехатронних систем промислових роботів і верстатів з ЧПУ, роль джерела виконує електрична мережа, тобто передбачається що, як і в електроприводі воно не входить до складу мехатронної системи.

Укажемо на **загальні ознаки й відмінності розглянутих систем електропривода й мехатронної системи.**

Головною загальною ознакою обох систем є те, що вони є електромеханічними системами і їх завданням є перетворення електричної енергії в механічну й керування рухом робочого органа (виконавчого механізму) відповідно до вимог технологічного процесу. Це значить, що й **мехатронні системи, і електропривод відносяться до одного класу – електромеханічних систем.**

Розглянута на рис. 1.2 мехатронна система може бути підсистемою більш **складної мехатронної системи**, що включає в себе кілька мехатронних модулів, що в теорії електроприводу відповідає **багатодвигунному взаємозалежному електроприводу.**

Перелічимо відмінності, що впливають із зіставлення обох функціональних схем.

У мехатронній системі роль керуючого пристрою виконує мікропроцесор, а в електроприводі це можуть бути й інші, у тому числі аналогові пристрої.

У функціональній схемі мехатронної системи відсутні блоки СПП – силового електронного пристрою, що живить електродвигун, ЕДП – електродвигунного пристрою, ПМ – передавального механізму. Це можливо лише в тому випадку, якщо виконуючі їхні функції блоки зосереджені в мехатронному модулі. Ця обставина обмежує межу потужності мехатронних систем, тому що створення мехатронних модулів потужністю в сотні й тисячі кВт досить складне.

Таким чином, системи електропривода, що випускаються в

діапазоні потужності від часток Ватт до десятків тисяч кВт є більш широким класом електромеханічних систем (ЕМС), до яких слід віднести й мехатронні системи (МС), які, однак, в силу своїх особливостей, переваг і сфер застосування слід розглядати як спеціальний клас ЕМС. Отже, системи електроприводу й мехатроніки відносяться до одного класу керованих електромеханічних систем.

Історично, вищевказані властивості МС були обумовлені тим, що в період, починаючи з 60-х років ХХ століття, ішов швидкий розвиток засобів електроніки, напівпровідникових перетворювальних пристроїв, комп'ютерної техніки, програмування й інтелектуальних методів керування.

Це, у свою чергу, забезпечило умови створення автоматичних систем керування із широкими функціональними можливостями. При цьому в напівпровідниковій техніці відбувалося збільшення перетворюваної одним елементом електричної потужності, поліпшувалися динамічні характеристики напівпровідникових приладів: швидкодія, керованість.

У комп'ютерній техніці можливості керування надзвичайно розширила поява мікропроцесорних пристроїв, скорочення їхньої ваги й габаритів при одночасному підвищенні швидкодії й об'ємів пам'яті.

Розвиток програмного забезпечення й удосконалення комп'ютерної техніки дозволив реалізувати інтелектуальні методи керування: нечітка логіка, нейронні мережі, а також генетичні алгоритми.

Розвиток техніки створив передумови для об'єднання (інтеграції) вищевказаних пристроїв (повністю або частково) у єдиному конструктивному виконанні мехатронного модуля.

Таке виконання забезпечує ряд переваг у порівнянні із традиційним роздільним компонуванням електричних приводів: зменшуються габарити, вага, довжина електричних і механічних зв'язків, виключаються проміжні інтерфейси, скорочуються виробничі площі, підвищується надійність роботи.

Важливою перевагою в ряді випадків є також підвищення твердості пружних кінетичних ланок внаслідок скорочення їх довжини, що, у свою чергу, сприяє зниженню динамічних

навантажень і підвищенню точності відпрацьовування координат руху.

Вищевказане дає підставу говорити про синергетичний ефект інтегрального виконання пристрою, при якому позитивний ефект множитья в порівнянні з роздільним виконанням тих же компонентів.

Синергія (грец.) – це спільна дія, спрямована на досягнення загальної мети. Наприклад, на футбольному полі гравці поєднуються в команду в ім'я загальної мети – забити максимальну кількість голів і перемогти суперника. У мехатроніці всі енергетичні й інформаційні потоки спрямовані на досягнення єдиної мети – виконати програмний рух із заданими показниками якості.

Важливо підкреслити, що при синергетичному об'єднанні досягається результат більший, ніж арифметична сума внесків окремих частин системи. У спортивній команді різняться як функції спортсменів (воротар, захисник, нападник), так і їхні фізичні кондиції. Елементи мехатронних модулів і машин мають різну фізичну природу, що визначає міждисциплінарну сутність предмета мехатроніки та її науково-технічну проблематику.

Найбільш яскраво синергетичний ефект виявився при створенні певних видів машин і механізмів, що визначили напрямки широкого використання мехатронних систем:

- роботи й робототехнічні комплекси;
- технологічні машини-гексаподи;
- транспортні мехатронні системи.

Далі в курсі лекцій більш докладно будуть розглянуті мехатронні системи різних видів. Відзначимо лише, що в процесі їх розвитку вони знайшли широке застосування в багатьох галузях промисловості: машинобудівній, електротехнічній, гірничодобувній, текстильній, будівництві, та ін., а також охорони здоров'я.

Слід зазначити що найбільш яскравим прикладом мехатронних пристроїв є роботи й маніпулятори, які завдяки гнучкості й пристосованості до технологічних процесів, знайшли широке застосування у зварювальному, лакофарбовому виробництві, у виконанні складальних операцій, пайці електронних плат, вибірці й комплектації виробів, прокладці

труб, укладанню текстилю, лазерної, ножової і водної порізки матеріалу, шліфуванні, складуванні, дослідженні морського дна, космічних дослідженнях, тощо.

У цей час активні широкомасштабні роботи з їхньої розробки здійснюються в основному в трьох країнах, на які доводиться 77 % усього світового випуску (Японія – 38 %, США – 26 %, Німеччина – 10 %). Поширеним графічним символом мехатроніки (рис. 1.3) стала діаграма з веб-сайту RPI (Rensselaer Polytechnic Institute, NY, USA).

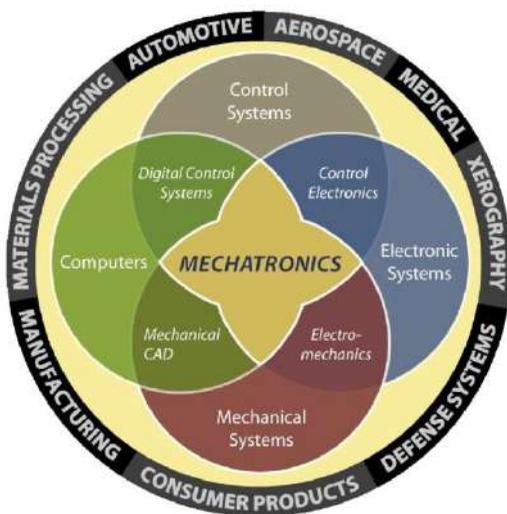


Рисунок 1.3 – Міжнародний графічний символ мехатроніки

1.2 Мета і предмет мехатроніки як галузі науки і техніки

Ціль мехатроніки як галузі науки й техніки полягає в створенні якісно нових модулів руху, а на їхній основі – інтелектуальних машин і систем що рухаються.

Предметом мехатроніки є процеси проектування й виробництва модулів, машин і систем для реалізації заданих функціональних рухів.

Функціональний рух мехатронної системи передбачає її

цілеспрямоване механічне переміщення, яке координується з паралельно керованими технологічними й інформаційними процесами. Таким чином, поняття «рух» трактується в даному визначенні мехатроніки широко.

Давньогрецькі філософи розуміли під рухом тіла всяку його зміну взагалі: від зміни розмірів, кольору й температури до виникнення й знищення. Але все-таки основою функціональних рухів у мехатроніці служить механічне переміщення системи в просторі й у часі. Вимоги до показників якості виконання функціональних рухів (по точності, швидкості) визначаються службовим призначенням машини.

Метод мехатроніки заснований на системній комбінації таких раніше відособлених природничо-наукових і інженерних напрямків, як точна механіка, мікроелектроніка, електротехніка, комп'ютерне керування й інформатика.

Основою методу мехатроніки є **синергетична інтеграція** структурних елементів, технологій, енергетичних та інформаційних процесів на всіх етапах життєвого циклу виробу, починаючи зі стадії його концептуального проектування й закінчуючи виробництвом і експлуатацією.

1.3 Поняття мехатронних технологій

Мехатронні технології містять у собі маркетингові, проектно-конструкторські, виробничі, технологічні й інформаційні процеси, які забезпечують повний життєвий цикл мехатронних виробів. Розкриття зв'язків і закономірностей, характерних для цих процесів, дозволяє створювати мехатронні модулі, машини й системи, які здатні найбільш ефективно виконувати задані вимоги.

Метод мехатроніки й мехатронні технології є досить універсальними. У цьому сенсі мехатроніку можна поставити в один ряд з такими фундаментальними підходами до розробки складних технічних систем, як автоматизоване проектування, кібернетичний і біонічний підходи до проектування, модульний принцип побудови машин і CALS-технології.

Сьогодні мехатронні модулі й системи знаходять широке застосування в наступних областях:

- верстатобудування й устаткування для автоматизації,

- технологічних процесів у машинобудуванні;
- промислова й спеціальна робототехніка;
 - авіаційна й космічна техніка;
 - військова техніка, машини для поліції й спецслужб;
 - електронне машинобудування й устаткування для швидкого прототипування;
 - автомобілебудування (приводні модулі «мотор-колесо», антиблокувальні пристрої гальм, автоматичні коробки передач, системи автоматичного паркування);
 - нетрадиційні транспортні засоби (електромобілі, електровелосипеди, інвалідні візки);
 - офісна техніка (наприклад, копіювальні апарати);
 - периферійні пристрої комп'ютерів (наприклад, принтери, плоттери, дисководи DVD-ROM);
 - медичне й спортивне устаткування (біоелектричні й екзоскелетні протези для інвалідів, тонусні тренажери, керовані діагностичні капсули, масажери й вібратори і т.д.);
 - побутова техніка (пральні, швейні, посудомийні машини, автономні пилососи);
 - мікромашини (для медицини, біотехнології, засобів зв'язку й телекомунікації);
 - контрольно-вимірювальні пристрої й машини;
 - ліфтове й складське устаткування, автоматичні двері в готелях і аеропортах;
 - фото- і відеотехніка (програвачі відеодисків, пристрої фокусування відеокамер);
 - тренажери для підготовки операторів складних технічних систем і пілотів;
 - залізничний транспорт (системи контролю й стабілізації руху поїздів);
 - інтелектуальні машини для харчової й м'ясомолочної промисловості;
 - поліграфічні машини;
 - інтелектуальні пристрої для шоу-індустрії, атракціони.

Цей список може бути розширений. Ринок мехатронних модулів і систем динамічно розбудовується й в індустріально розвинених країнах за останні п'ять років має стійку тенденцію

до зростання. При цьому на частку робототехніки доводиться приблизно десята частина обсягу продажів.

Стрімкий розвиток мехатроніки у світі є закономірним процесом, який викликаний принципово новими вимогами ринку до показників якості технологічних машин й систем що рухаються.

Хід розвитку мехатроніки цілком відповідає вченню про «великі цикли кон'юнктури», автор якого видатний російський економіст М.Д. Кондратьєв. У його працях визначені необхідні економічні й господарські умови, при яких відбувається перехід на принципово нові виробничі машини й технологічні процеси.

Індустріальному суспільству властиві циклічні кризи й пов'язані з ними періоди радикального відновлення технічного способу виробництва. У листі із суздальського політизолятора М.Д. Кондратьєв дав математичний опис залежності розміру доходу від рівня техніки виробництва як розв'язок диференціального рівняння.

Підкреслимо наступне ключове положення цього економічного навчання. «Було б, звичайно, помилкою заперечувати в науково-технічних відкриттях і винаходах елемент творчості. Але з наукового погляду було б ще більшою помилкою думати, що напрямки й інтенсивність цих відкриттів і винаходів зовсім випадкові.

Ймовірніше припустити, що напрямки й інтенсивність науково-технічних відкриттів і винаходів є функцією запитів практичної дійсності й попереднього розвитку науки й техніки».

Довгі хвили, які описують економічну динаміку господарства, одержали назву «кондратьєвських циклів». Кожний цикл характеризується новою технологічною, ресурсною й енергетичною базою, що приводить до створення принципово нової продукції. Тривалість життєвого циклу технічного способу виробництва становить приблизно 50-60 років.

В ХХ ст. було прийнято виділяти два основні цикли в розвитку промисловості європейських країн. У нашій країні промисловість групи А, що створює засоби виробництва, сформувалася після війни в 1950-х роках. Її наступний розвиток до кінця 80-х років у цілому відповідав другому «кондратьєвському циклу».

Характерним для цього циклу є розвиток механіки, електроніки й інформатики як окремих, практично автономних напрямків. Це стосується й системи фундаментальних і прикладних досліджень, і галузевої структури промисловості, і класифікаторів наукових і інженерних спеціальностей, і організаційної структури машинобудівних підприємств.

Технології машинобудування базувалися в основному на методах механообробки, де був накопичений великий теоретичний і експериментальний матеріал.

Однак у цей час переважають завдання, для розв'язку яких потрібні якісно нові технологічні процеси й засоби виробництва. Створення мехатронних машин і технологій, особливо починаючи з 1990-х років іде на стику декількох науково-технічних напрямків і є відповіддю виробників устаткування на поставлені ринком (часом) техніко-економічні й функціональні вимоги.

Фундаментальна відмінність нового покоління виробничих технологій і машин полягає в тому, що в їхній основі лежать **інтегровані знання** з таких раніше відособлених областей, як прецизійна механіка й комп'ютерне керування, інформаційні технології й мікроелектроніка. Враховуючи принципову відмінність нових машин і технологій, сучасну фазу розвитку машинобудування можна віднести до нового (третього) «кондратьєвського циклу».

Згідно з навчанням Н.Д. Кондратьєва, саме криза розчищає місце новим технологіям і засобам виробництва. Відзначимо наступне положення. «Депресивний стан господарського життя штовхає до пошуку шляхів здешевлення виробництва, до шукання нових технічних винаходів, що сприяють цьому здешевленню. Саме протягом довгостроково-знижувальної хвилі кон'юнктури технічні відкриття й винаходи особливо численні».

Дуже хочеться сподіватися, що справедливість даної теорії в нинішніх економічних реаліях стимулює науково-технічний прогрес і призведе до інновацій у вітчизняне машинобудування, зокрема – у розвиток мехатроніки.

Цільовим завданням мехатроніки є проектування й виробництво якісне нових модулів, й машин що рухаються. Фундаментальне поняття «якість машини» було введено в працях

основоположників вітчизняної школи технології машинобудування – проф. Б.С. Балакшина, Ю.М. Соломенцева, Є.А. Сателя й ряду інших видатних вчених.

Якість машини оцінюється сукупністю спеціально підібраних показників (або критеріїв), вибір яких визначається її службовим (функціональним) призначенням. Машини нового покоління повинні відповідати таким загальним критеріям, як відношення ціна/якість, висока надійність і безпека функціонування, гнучкість і швидка реконфігурація при переході на новий виріб.

1.4 Функціональні та технічні показники мехатронних модулів

До нових сучасних вимог до функціональним і технічним показникам модулів і машин у першу чергу слід віднести:

- виконання машинами й системами якісно нових службових і функціональних завдань;
- надвисокі швидкості руху кінцевої ланки машини – її робочого органа, що визначає новий рівень продуктивності технологічних комплексів;
- ультрапрецизійні рухи модулів з метою реалізації нових прецизійних технологій аж до мікро- і нанотехнологій;
- компактність модулів й систем що рухаються, мініатюризація конструкцій у мікромашинах;
- нові кінематичні структури й конструктивні компонування багатокоординатних машин;
- інтелектуальна поведінка систем, що функціонують у мінливих і невизначених зовнішніх середовищах;
- виконання просторових рухів по криволінійних траєкторіях і реалізація складних законів переміщення в часі.

Питання для самоперевірки

1. Коли вперше з'явився термін мехатроніка?
2. Хто є автором терміна мехатроніка?
3. Як у СРСР та країнах Європи називали пристрої перетворення електричної енергії в механічну до появи терміна мехатроніка?

4. Назвіть загальні ознаки й відмінність системи електропривода в традиційному розумінні й мехатронної системи, виходячи з їхніх функціональних схем.
5. Користуючись схемою назвіть функціональні елементи системи електроприводу.
6. Назвіть функціональні елементи мехатронної системи.
7. Яке призначення силового перетворювального пристрою?
8. Яке призначення датчиків в системі електроприводу?
9. Без знання яких характеристик неможливе створення електропривода?
10. Яка роль мікропроцесора в мехатронній системі?
11. Що таке мехатронний модуль?
12. Яка загальна ознака систем електропривода й мехатронної системи?
13. Що таке синергія?
14. Де найбільш яскраво проявляється синергетичний ефект?
15. Назвіть найбільш поширені приклади мехатронних пристроїв.
16. В яких областях знаходять широке застосування мехатронні модулі й системи?
17. На чому заснований метод мехатроніки?
18. Що таке мехатронні технології?
19. Що є предметом мехатроніки?
20. Яке цільове завдання мехатроніки?

2 ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ МЕХАНІЧНИХ, ЕЛЕКТРОННИХ І МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

2.1 Механічні пристрої в доісторичні часи. Передісторія робототехніки

З доісторичних часів люди в своїй уяві створювали різні «розумні» пристрої, які могли здійснювати недоступні, нездійсненні, з точки зору людини, дії. Спочатку з'явилися пристрої, що зображують птахів і тварин: дерев'яний голуб, який міг обертатися на кінці жердини, орел що злітає, плаваючий дельфін. Потім стали створювати статуї богів. Статуї богів з рухомими частинами тіла (руки, голова) з'явилися ще в Давньому Єгипті, Вавилоні, Китаї.

Герон Олександрійський у своєму «Трактаті про пневматику» писав про різні рухомі фігури та механічних птахів. Арістотель згадує про ляльок-маріонеток що приводяться в рух за допомогою ниток, з яких створювалися цілі механічні театри (рис. 2.1).

Ідея створення і використання двійника людини зародилася дуже давно. Спочатку це були цікаві дерев'яні і металеві ляльки танцюристів, музикантів, потім з'явилися більш складні пристрої рухомих механічних людиноподібних фігурок-андроїдів. У середні століття навіть існувала думка, що можна засобами алхімії створити гомункулуса – живого чоловічка, здатного творити дива.

Вперше людиноподібні позолочені жіночі фігури встановили на Олександрійському маяку, побудованому на острові Фарос (рис. 2.2.). Вночі їх яскраво висвітлювали і їх було добре видно на великих відстанях. Статуї, періодично повертаючись, показували руками на циферблатах напрямок і силу вітру, а вночі переривчасто гуділи, попереджаючи про близькість берега.

Альберт фон Больштедт створив першу повнорозмірну механічну людину-андроїда (з грецької - «людиноподібний»), який міг ходити, рухати руками, сідати, вставати, говорити, підходити до дверей, відкривати їх, запрошувати відвідувача увійти в приміщення. Його передали в монастир, одягли в металеві лати і він ніс службу воротаря (рис. 2.3).

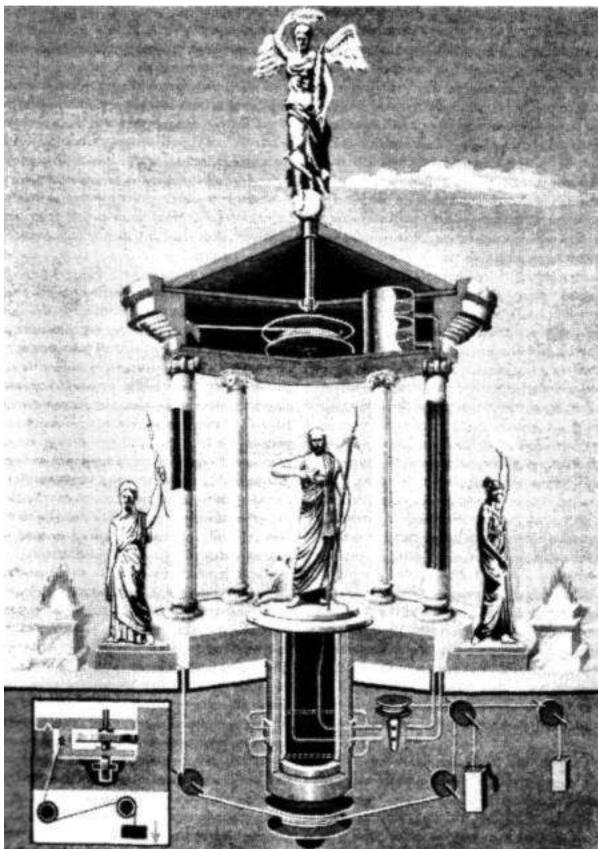


Рисунок 2.1 – Механічний театр
згадуваний Арістотелем

В історії техніки він відомий під ім'ям «залізного воротаря». Джуанело Турріано побудував дерев'яного механічного слугу для закупівлі товарів на ринку (рис. 2.4). Корпус і кінцівки андроїда поверталися за допомогою важелів, які приводилися в рух від кулачків, встановлених на барабані.

Барабан обертався з допомогою годинникового механізму, що мав потужний пружинний завод. Але андроїд не міг ходити. Він робив кілька кроків і падав, тобто він мав статичну стійкість, а динамічною стійкістю не володів.



Рисунок 2.2 – Позолочені жіночі фігури на Олександрійському маяку, побудованому на острові Фарос

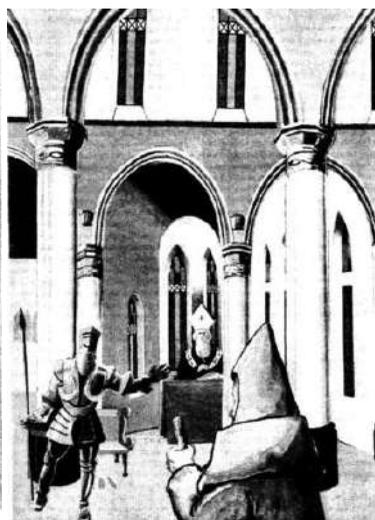


Рисунок 2.3 – «Залізний воратар» Альберта фон Больштедта



Рисунок 2.4 – Дерев'яний слуга



Рисунок 2.5 – Флейтист Вокансона

Мрію Турріано вдалося здійснити лише через 400 років японським ученим. Французький механік Жак Вокансон (1709-1782) розробив фігуру «флейтиста» в зріст людини, який за допомогою пальців за програмою виконував 11 мелодій (рис. 2.5). Швейцарські годинникарі П'єр-Жак Дро (1721-1796) і його син Анрі Дро (1752-1791) на виставці в Парижі продемонстрували трьох ляльок-автоматів (рис. 2.6): писар (рис. 2.7) вмів писати ряд слів, музикант (рис. 2.8) грав на клавесині, кланявся перед публікою, художник вмів малювати пейзажі.



Рисунок 2.6 – Ляльки-автомати швейцарських годинникарів Дро



Рисунок 2.7 – Механічний писар



Рисунок 2.8 – Механічний музикант

Припускають, що саме від імені Анрі Дро і було утворено слово «андроїд». Ці андроїди представляли собою складні керовані автомати, в яких програми їхнього руху задавалися за допомогою змінних кулачків, встановлених на барабані, що обертається. Приведення андроїдів в рух здійснювали від годинникового механізму.

У 1739 році Жак Вокансон, створив механічну-качку, що складалася з 400 елементів, яка могла ходити, крякати, плавати та їсти рибу.

Американський нейролог Пол Глімчер писав: «У 1738 році, 29-річний французький годинниковий майстер Жак де Вокансон (1709–1782), виставив у саду Тюльєрі, один з найвідоміших роботів усіх часів. Качка де Вокансона мала сотні рухомих частин і пір'я. Вона рухала головою, баламутила воду своїм дзьобом, хлопала крилами, крякала, хапала протягнуту їй їжу з руки людини та здійснювала ще багато реалістичних дій.

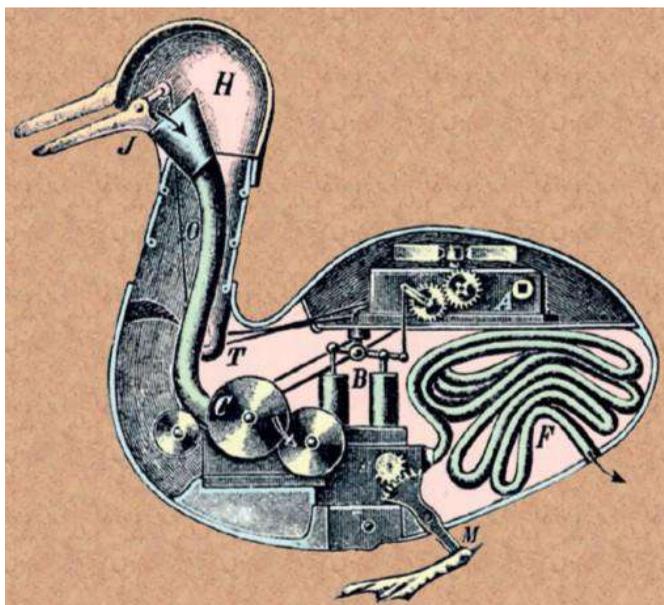


Рисунок 2.9 – Схема механічної-качки Вокансона наведена у журналі «Scientific American» (January 21, 1899)

Через кілька хвилин залишки перетравленої їжі були виведені знизу. Звичайно, качка насправді не перетравлювала їжу, а хвостовий кінець качки був таємно попередньо завантажений імітованими екскрементами.

Тим не менш, такий універсальний автомат викликав дискусії про межу між живим і суто механічним, а також про час, коли такі межі можуть бути розмитими, коли роботизовані сутності стануть ще більш універсальними».

У 1769 році з'явився шаховий автомат угорського механіка В. Кемпелена. Він представляв собою «шахіста», одягненого в турецький наряд і сидячого за шахівницею (рис. 2.10).

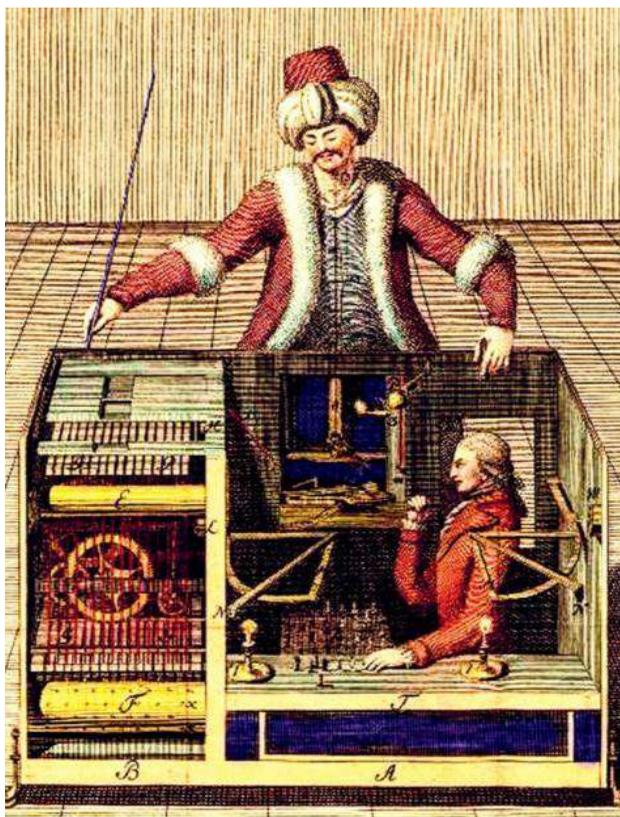


Рисунок 2.10 – Шаховий автомат угорського механіка В. Кемпелена

Ним було зіграно 300 партій, з яких він програв лише шість. Секрет автомата був розкритий тільки в 1834 році. В одному з виступів в Росії, російський пан після програшу автомату, нахилив голову турка назад і висипав з табакерки на його обличчя тютюн.

Почулося чхання і тихий голос з ящика під шахістом з проханням його випустити. Кемпелен відкрив дверцята і всі побачили людину без ніг і кисті правої руки. Ним виявився польський дворянин Вронський чудовий шахіст.

За весь час існування автомата всередині нього знаходився один з провідних шахістів Європи, який і давав вказівки турку здійснювати відповідні ходи.

З російських механіків слід відзначити І.П. Кулібіна (1735-1818) який розробив годинник «ячної» форми з фігурками, які розігрували різні театральні сценки; А.М. Гамулецького – відкрив в 1820 році в Петербурзі «Храм чарівності», який обслуговувався механічними слугами; Г.І. Мезгіна, який створив в 1866 році «астрономо-історичний» годинник, що показував час, а також чотири сценки з історії міста Томська.

2.2 Поява і розвиток систем автоматичного керування зі зворотним зв'язком

Сам термін «автоматичне» має на увазі, що управління здійснюється без втручання людини. Термін «зворотний зв'язок» мабуть вперше був використаний в 1920 р персоналом компанії Bell Telephone Laboratories.

Найперший з відомих пристроїв зі зворотним зв'язком відноситься до другого століття до нашої ери. Це так званий водяний годинник. Час вимірювався за допомогою крапель води, падаючих з постійною швидкістю через сопло з резервуара. Щоб забезпечити постійну швидкість витікання води, необхідно було підтримувати постійний рівень води в резервуарі, а для цього було потрібне автоматичне регулювання.

Цікаво, що завдання підтримки постійного рівня рідини в резервуарі до сих пір зберігає актуальність, а отже досі займаються проектуванням відповідних систем регулювання.

Одна з можливих конструкцій водяного годинника показана на рис. 2.11. Плаваючий клапан у верхньому резервуарі,

одночасно виконує роль датчика і виконавчого пристрою системи регулювання, служить для підтримки постійного рівня води в цьому резервуарі. Коли рівень води відповідає заданому значенню, клапан закриває живильну магістраль.



Рисунок 2.11 – Найпростіший водяний годинник

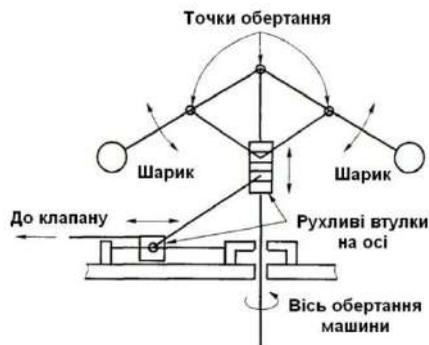


Рисунок 2.12 – Регулятор швидкості обертання парової машини

Якщо ж рівень менше заданого, то клапан відкриває магістраль, що призводить до підвищення рівня. Зверніть увагу, що дія цього механізму аналогічна роботі зливного бачка в туалеті. Вода через сопло капає в нижній резервуар, забезпечений проградуйованою шкалою. Рівень води в ньому точно вказує проміжок часу з того моменту, коли резервуар був порожній.

Фактично накопичення води в нижньому резервуарі є операцією інтегрування (підсумовування). Аналогічна процедура (підсумовування) використовується при чисельному інтегруванні в цифрових комп'ютерах. Ця процедура використовувалася 22 століття назад, і в наші дні цей принцип лежить в основі роботи сучасних комп'ютерів. Дійсно, тут важко винайти щось нове.

Голландський механік і хімік Корнеліус Дреббель (1572-1633) винайшов регулятор температури, який він використовував у своїх хімічних дослідах і в інкубаторах для виведення курчат.

Цей регулятор містив пристрій, що дозволяв випускати нагріте повітря з камери, коли температура в ній досягала бажаного значення. Його можна порівняти з уже відомою нам

системою автоматичного регулювання температури в житловому приміщенні; різниця лише в тому, що в цій системі нагріте повітря починало циркулювати, коли температура опускалася нижче заданого значення.

Американець Вільям Генрі (1729-1786) винайшов регулятор температури, в якому використовувалася заслінка, яка автоматично керувала згорянням палива і, отже, температурою.

Принцип дії датчика температури і виконавчого пристрою був заснований на тиску нагрітого повітря при його розширенні. Розширення повітря приводило до закриття заслінки і зменшення згоряння палива, а стиснення повітря прагнуло відкрити заслінку.

Багатьма винахідниками були внесені удосконалення в конструкцію поплавцевих регуляторів рівня рідини. Це зробили Джеймс Бріндлі в 1758 р., Саттон Томас Вуд в 1784 р. (обидва – в США) і І. Ползунов в 1763 р. в Росії. Удосконалення регуляторів тиску для парових котлів зробили Дені Папен (1647-1712), Роберт Делап в 1799 р. і Метью Мюррей в 1799 р.

Головним винаходом в області управління швидкістю вітряних млинів і парових машин був відцентровий регулятор Томаса Міда (1787р.). У 1788 р. Метью Болтон і Джеймс Уатт запропонували конструкцію відцентрового регулятора швидкості, зображену на рис. 2.12.

При збільшенні швидкості обертання машини кульки за рахунок відцентрової сили розходилися, що, в свою чергу, приводило до переміщення втулки вгору по осі машини. При цьому за допомогою клапана, керованого важільним механізмом, зменшувалася подача пари і, отже, швидкість обертання. Зменшення швидкості обертання приводило до зворотного ефекту.

Розглянуті вище пристрої працювали приблизно так, як було описано. Однак у багатьох випадках регулятор замість того, щоб підтримувати постійне значення вихідної змінної, дозволяв їй робити невеликі коливання щодо заданого значення. Цей ефект часто називали «рисканням».

Щоб усунути подібну нестійкість, треба було створення математичних моделей фізичних пристроїв, тобто рівнянь, рішення яких описувало б поведінку цих пристроїв. В результаті з'явилися сучасні математичні методи моделювання, аналізу та

синтезу систем управління.

У розробку цих методів внесли свій вклад дуже багато вчених. П'єр Симон Лаплас (1749-1827) винайшов перетворення (назване потім його ім'ям), що є основою більшості методів аналізу і синтезу систем управління.

З інших вчених відзначимо

- Ісаака Ньютона (1642-1727) – математичне моделювання та аналіз;
- Брука Тейлора – математичний аналіз (ряди Тейлора);
- Джеймса Клерка Максвелла (1831-1879) – математичне моделювання та аналіз;
- Едварда Джона Рауса (1831-1907) – критерій Рауса;
- Олівера Хевісайда (1850-1925) – математичний аналіз;
- Чарльза П. Стейнметца (1865-1923) – аналіз частотних характеристик за допомогою комплексних змінних;
- Гаррі Найквіста (1889-1976) – критерій Найквіста;
- Хендріка У. Бодє (1905-1982) – діаграма Бодє;
- Гарольда С. Блека (1898-1981) – підсилювачі з негативним зворотним зв'язком;
- У. Р. Еванса – кореневий годограф;
- Джона фон Неймана (1903-1957) – принцип дії цифрового комп'ютера.

Цей список ні в якій мірі не є вичерпним як в персональному плані, так і в плані досягнень в окремих областях. Він лише покликаний дати відомості про те, які ідеї і в який час розробляли перераховані вище вчені. Список сучасних вчених, які внесли вагомий вклад у розвиток теорії автоматичного управління, був би занадто довгим і, звичайно, далеко не безперечним.

2.3 Розвиток транспортних мехатронних систем

У другій половині XVIII століття парову машину одночасно спробували встановити на безрейковий візок, застосувати на рейковому і водному транспорті; деякий час парові автомобілі розвивалися паралельно з локомотивами, потім – з бензиновими автомобілями, конкуруючи і разом з тим допомагаючи один одному.

Першим практично діючим паровим автомобілем вважається «паровий візок» француза Нікола-Жозефа Кюньо (1715-1804).

Він хотів створити потужну тягову силу для артилерійських знарядь і перевезення снарядів. Але з управлінням його возом ледве справлялися дві людини.

Перевозячи до 3 т вантажу, віз пересувався зі швидкістю пішохода – 2-4 км/год. Кюньо побудував ще один віз, але він, як і перший, не знайшов практичного застосування. Однак усі побачили, що механічний візок – це вже не фантазія.

На початку XIX століття виникли і отримали розвиток залізні дороги. Але вони не могли проникнути всюди. Їм допомагав гужовий транспорт. Тому з'явилася безліч конструкцій безрейкових парових возів, найбільше в Англії, де парові машини, так само як і ткацькі верстати, були основою промислового перевороту.

Потужність екіпажних парових машин вже збільшили у 8-10 разів у порівнянні з машиною Кюньо, зменшили їхні розміри і витрати палива. Машину ставили, як правило, позаду воза. Шток, що передавав рух поршня храповикам на осі коліс, замінили хитким шатуном.

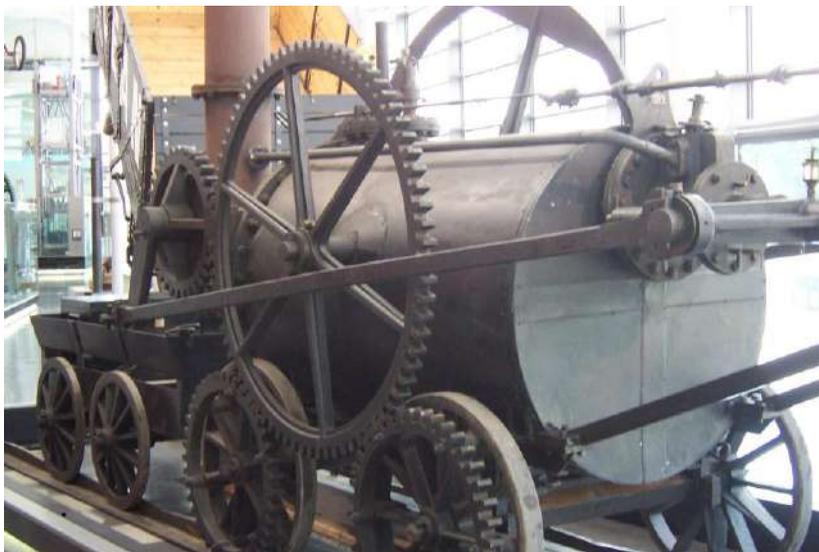


Рисунок 2.13 – Паровоз Річарда Тревітіка – прообраз сучасних локомотивів (Trevithick's 1802 locomotive – The full-scale reconstruction in the National Waterfront Museum, Swansea)

Склався так званий кривошипний механізм, який згодом майже повністю перейшов на автомобільний двигун. Однак розвиток безрейкового парового транспорту на відміну від залізничного йшов далеко не гладко.

То якийсь пастор запідозрив винахідника Вільяма Мердока в спілкуванні з нечистою силою, і Мердок залишив досліди з візком. То винахідник парової машини Джеймс Уатт звинуватив свого колишнього співробітника Ричарда Тревітіка в крадіжці ідей фірми «Болтон і Уатт» і намагався провести в парламенті закон про заборону «небезпечних» парових екіпажів...

На щастя, старання Уатта не увінчалися успіхом. Але Тревітік все ж змушений був припинити роботу над візком з іншої причини: дороги, на околиці Лондона, були такі, що доводилося розчищати трасу для воза – прибирати величезні камені, повалені дерева.

Витрати по роботах з візком розорили Тревітіка, і він помер у злиднях. Тільки в 20-30-х роках XIX століття, після деякого поліпшення доріг, парові вози знову з'явилися. Так чотири «паровика» Голсуорсі Гернея здійснювали регулярні рейси і наїздили в 1831 році 6 тис. км (нагадаємо, що це приблизно в 7 разів менше річного пробігу чотирьох кінних диліжансів).

Більш успішно організував рух парових диліжансів Уолтер Хенкок. Правда, рейс довжиною 120 км тривав близько 12 годин, з яких ходових було тільки 7-8 год. Решта часу йшла на заправку водою. Потім здогадалися причепити до диліжанса тендер з водою і коксом.

Хенкок використовував високий тиск пара в казані і застосував ланцюгову передачу від колінчастого вала машини до коліс. Дев'ять 15-місцевих возів Хенкока зробили близько 700 рейсів і наїздили 7 тис. км зі швидкістю до 30 км /год.

Після того як парові диліжанси почали потроху справлятися з дорогою, виникла нова перешкода. Їх власникам доводилось платити мита в 8-9 разів більші, ніж платили за кінний диліжанс: і за число місць в диліжансі, і за потужність машини, і за число коліс.

А коліс було багато через те, що тоді ще не знайшли гарного способу управління візком і постачали її «Гайдом» – поворотним двоколісним візком, висунутим вперед на довгому дишлі. Віз

ставав шестиколісним; до нього нерідко причіпляли два-три вагончика, і число коліс ще зростало.

У 1865 році, коли залізні дороги вже покрили всю Англію, і тому в Англії такий вид транспорту як парові диліжанси був знищений. А паровози безперешкодно, з вигодою для їх власників, котилися по рейках; до того ж і паровози, і вагони, і рейки належали одному власнику.

На якийсь час парові автомобілі відродилися у Франції. Їх двигуни вже були оснащені газовими пальниками замість вугільних топків, не потребували важкого запасу вугілля і часу на розігрів, стали більш легкими і потужними.

Леон Серполле (1858-1907) замінив котел довгою багаторазово вигнутою трубою – зміївиком. Запас води міг бути зменшений, змійовик швидко розігрівали, безупинно виникала необхідна для роботи машини кількість пари (без її скупчення, яке іноді призводило до вибухів котлів).

На парових візках почали застосовувати еластичні шини, рульову «трапецію», механізм для обертання коліс однієї осі з різними-ними оборотами – диференціал, ланцюговий і навіть карданний привод від парової машини до ведучих коліс. Карданний привод складався з валу з шарнірами на кінцях. Один кінець був з'єднаний з валом парової машини, інший – з шестернями головної передачі задньої осі.

Шарніри забезпечували передачу обертання від закріпленої на рамі парової машини, до осі що хитається на ресорах. Карданний шарнір, названий по імені його винахідника італійця Джероламо Кардано (XVI століття), був запозичений їм від пристрою для установки компасу на кораблях: корабель гойдається на хвилях, а компас залишається в одному – горизонтальному – положенні.

Тим не менш, незважаючи на удосконалення, парові автомобілі другої половини XIX століття залишалися дуже незручними для експлуатації. Машиністу потрібні були майже такі ж знання і вправність, як його колегам на залізниці.

Закінчуючи поїздку, не можна було просто поставити машину в гараж, заглушити двигун і піти додому. Машиніст задував головну горілку, випускав частину води з котла і знову заповнював його. Пусковий пальник залишали палаючим до

ранку, щоб не мучитися знову з запалюванням.

Парова машина була недостатньо надійна і практично недоступна для масового споживача, але все ж вона зіграла важливу роль у розвитку автомобільної техніки. Була доведена сама можливість механічного пересування, випробувані і вдосконалені механізми майбутнього автомобіля.

Від парових автомобілів залишилося і слово «шофер» (його раніше писали через два «ф»), що по-французьки означає «кочегар». І хоча давно немає на автомобілі котла і топки, водія і донині називають шофером.

До початку «автомобільного століття» процвітав залізничний транспорт, а механізований безрейковий був відсутній. І це в обстановці, коли в колах промисловців, комерсантів, великих землевласників, лікарів, адвокатів особистий транспорт набував все більшого значення.

Їм доводилося задовольнятися все тією ж легкою кінною коляскою, а людям професій «дрібніших» – велосипедом. Тим самим ще до винаходу практично придатного автомобіля визначилося поділ безрейкового транспорту на громадський і особистий; якщо для першого ще годився паровий автомобіль, то для другого не було гідної заміни кінного екіпажу, не існувало легкого, потужного, простого в обігу і завжди готового до дії двигуна.

2.4 Поява нового науково-технічного напрямку – робототехніка

Ідея створення «розумних» автоматів розбурхує уми і сучасної людини. Так у 1920 році чеський письменник Карел Чапек у своїй п'єсі «R.U.R.» («Россумські універсальні роботи») вперше написав слово «робот» (від чеського слова «robota» – панщина, каторжна праця). Воно увійшло в міжнародний лексикон і стало загальноживаним.

Американський інженер Венслі побудував керований на відстані за допомогою свистка автомат «Телевокс», який міг крім виконання деяких найпростіших операцій вимовляти за допомогою звуковідтворювальної апаратури кілька фраз.

Англієць Гаррі Меєм в 1932 році створив людиноподібний автомат «Альфа», який по командам, що подаються голосом,

сідав, вставав, рухав руками, говорив. Австрієць Август Губер створив кілька радіокерованих автоматів під загальною назвою «Собор», які могли ходити, говорити, виконувати різні рухи руками.

З'явилося багато науково-фантастичних творів, в яких автори намагалися передбачити майбутнє роботів.

Так у романі «Я – робот» американський письменник Айзек Азімов сформулював так звані три закони робототехніки:

1. Роботи не повинні завдавати шкоди здоров'ю і життю людини ні своїми діями, ні своєю присутністю.

2. Роботи зобов'язані підкорятися будь-яким наказам людини, за винятком тих, які вступили б у суперечність з першим законом.

3. Роботи повинні захищатися від будь-якої загрози своєму існуванню, якщо такий захист здійснюється за правилами, що не суперечить другому закону.

Отже в середині ХХ століття виник і сформувався новий науково-технічний напрям – робототехніка.

Перші роботи, з яких почалася сучасна робототехніка, з'явилися відразу після Другої світової війни. У США були розпочаті науково-дослідні роботи зі створення дистанційно керованих механічних маніпуляторів копіювального типу для роботи з радіоактивними матеріалами. Потім з'явилися більш складні системи, здатні виконувати багаторазово повторювані операції в автономному режимі, а також функціонування яких задавалося програмою.

У 1959 році Джорджем С. Деволом і Джозефом Ф. Енгельбергером був розроблений, і фірмою «Юнімейшн» випущений перший програмований робот. Він включав в себе маніпулятор і комп'ютер, що дозволяло навчати робот автоматичного виконання різних операцій і в разі необхідності здійснювати його перепрограмування на виконання інших операцій.

У 1961 році Ернст розробив керовану за допомогою комп'ютера механічну руку з тактильними датчиками, що отримала назву МН-1 або «рука Ернста» за прізвищем творця. Це був прообраз чутливого робота з адаптивним керуванням, здатного знаходити і брати довільно розташовані об'єкти.

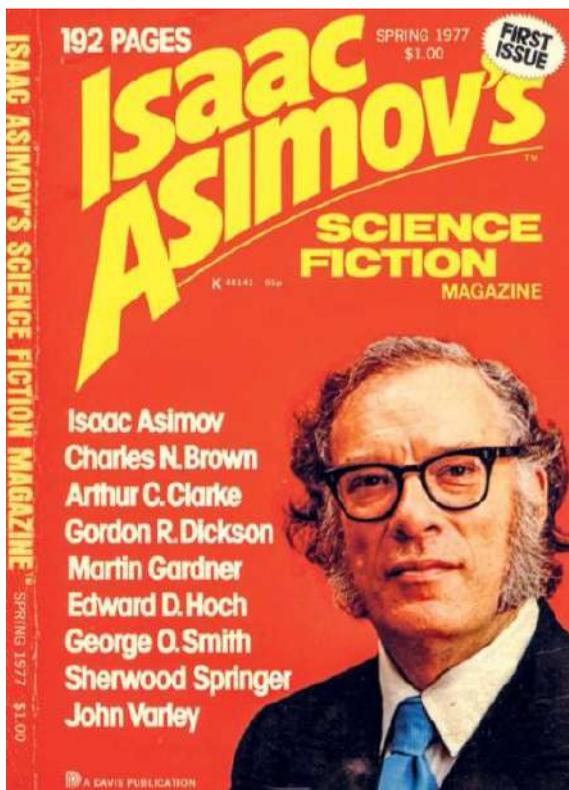


Рисунок 2.14 – Обкладинка науково-фантастичного журналу, в якому Айзек Азімов розвиває ідею штучного інтелекту згідно «Трьох законів робототехніки» (Three Laws of Robotics), 1977-й рік

У 1962-63 роках з'явилися перші роботи «Юнімейшн – 1900» (рис. 2.15) і «Версатран» (рис. 2.16), призначені для промислового застосування на заводах фірми «General Motors», «Ford» та «General Electric». Потім роботів стали випускати в Англії – 1967 р., в Швеції і Японії – 1968 р., у ФРН – 1971 р., у Франції – 1972р., в Італії – 1973 р.

У 1969 році, в США в Стенфордському науково-дослідному інституті був розроблений експериментальний макет рухомого

робота «Шейкі» з розвиненою системою сенсорного забезпечення, включаючи технічний зір, елементи штучного інтелекту – все це дозволяло йому цілеспрямовано пересуватися в невідомій обстановці, самостійно приймати необхідні для цього рішення (рис. 2.17).

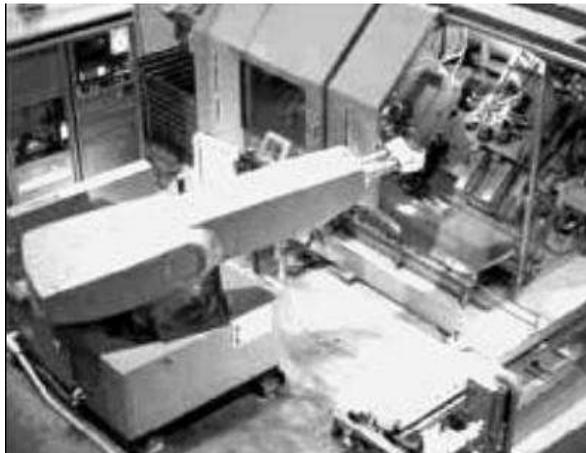


Рисунок 2.15 – Перші промислові роботи-маніпулятори Unimation на заводах автоконцерну General Motors в Нью-Джерсі



Рисунок 2.16 – Робот Versatran



Рисунок 2.17 – Робот Шейки (Shakey)

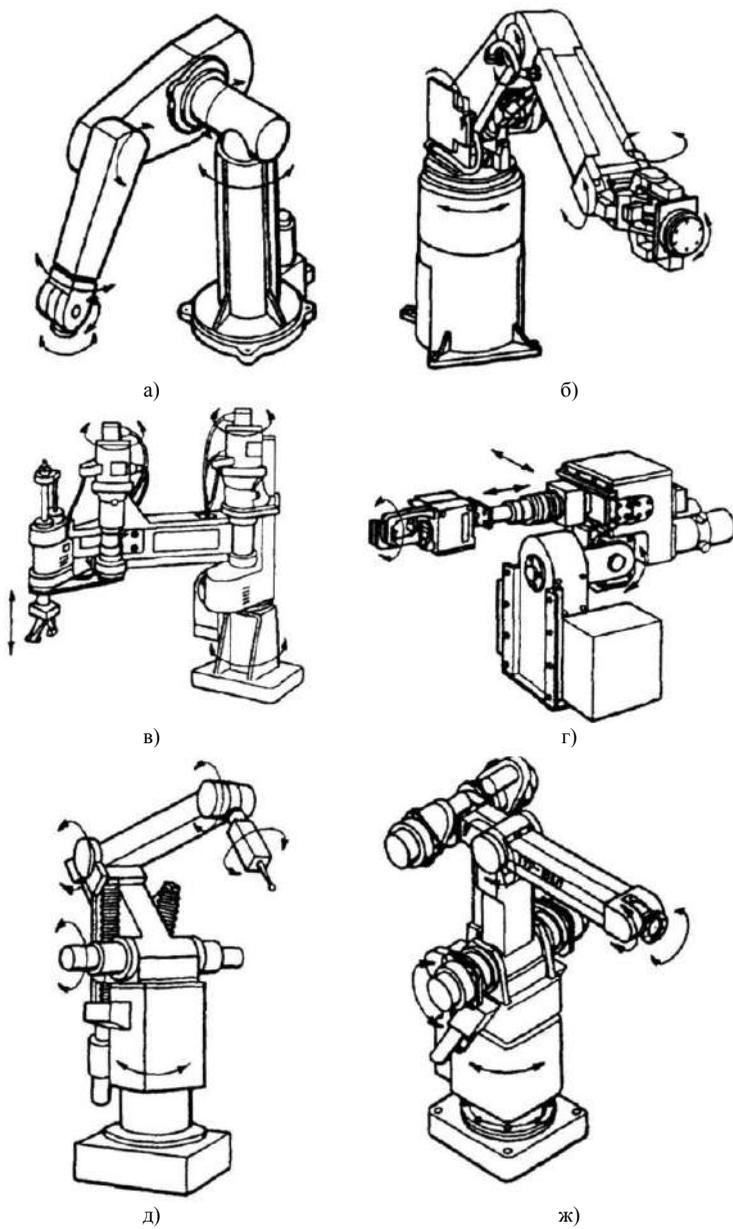


Рисунок 2.18 – Промислові роботи 80-х років ХХ століття

У 1971 році в Японії був створений експериментальний робот з технічним зором і елементами штучного інтелекту «Хівін», здатний самостійно здійснювати механічне складання простих об'єктів за наданими кресленнями.

У 80-і роки ХХ століття з'явилися промислові роботи з розвиненим відчуттям, включаючи технічний зір, і з мікропроцесорним управлінням. Це роботи «Пума-500» (рис. 2.18, а) і «Цинцинаті» (рис. 2.18, б) – США, SR-2 (рис. 2.18, в) і Fanuc-0 (рис. 2.18, г) – Японія, IRB-6 (рис. 2.18, д) – Швеція, ТУР-10КМ (рис. 2.18, ж) – СРСР та ін.

Знадобилося понад 40 років наполегливої праці вчених та інженерів, щоб створені пристрої стали розробляти і використовувати для полегшення фізичної і розумової праці людини, збільшення її продуктивності, заміни людини в побутовій сфері: прання білизни, прасування, миття посуду і т.п., а також для передачі інформації про стан і роботу різного технологічного устаткування, штучних супутників Землі і Місяця, підводних апаратів.

У статті з журналу «Machinery magazine», присвяченій появі роботів на заводах США, повідомлялося, що в американській металообробній промисловості з'явився новий тип робітника.

Він не перебуває в профспілці, не п'є кави в обідню перерву, працює 24 години на добу і не цікавиться пільгами або пенсійною оплатою. Він освоює нову роботу за кілька хвилин і завжди виконує її добре. Він ніколи не скаржиться на спеку, пил і запахи і ніколи не вимагає підвищення на роботі. Він – промисловий робот.

Спочатку основне застосування роботи знайшли в машинобудуванні. Але поступово сфера їхньої діяльності розширилася. В даний час їх застосовують в різних областях промислової сфери: будівництві, медицині, металургії, гірничій справі, в космосі, під водою, тощо. Вони виконують різні операції:

- основні – пов'язані безпосередньо з виконанням основних технологічних операцій (складання, зварювання, фарбування, механообробка і т.п.);
- допоміжні – не пов'язані безпосередньо з виконанням основних технологічних операцій, тобто виконують

підйомно-транспортні операції (установка заготовок на обробне обладнання та зняття готових деталей, завантаження і розвантаження складів і т.п.).

Залежно від призначення робота, середовища, в якому він працює, необхідного контакту з людиною, сучасні промислові роботи, в порівнянні з образом, створеним за останнім часом засобами масової інформації, здаються примітивними.

Так роботи, які використовуються в атомній промисловості схожі на танки, забезпечені свинцевим захистом, а роботи, призначені для роботи під водою, мають обтічну форму.

Основним напрямком застосування роботів є гнучкі автоматизовані виробництва, початок яким було покладено в 1955 році з появою верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПУ). Однак тільки в 1970 році з появою нового обладнання з ЧПУ, оснащеного процесором і керованого безпосередньо від ЕОМ, гнучкі автоматизовані виробництва стали застосовуватися в промисловості.

І тільки об'єднання технологічного обладнання з програмним управлінням, мікропроцесорів, як універсальних гнучких засобів для обробки інформації, і роботів, як універсальних гнучких засобів для маніпуляційних дій, необхідних для виконання основних технологічних операцій і різних допоміжних операцій з обслуговування основного технологічного устаткування, призвело до широкого поширення гнучких автоматизованих виробництв в світі.

Наступним етапом втілення в життя гнучких автоматизованих виробництв є включення їх до складу автоматизованої технологічної підготовки виробництва, коли вони об'єднані спільною системою управління і планування виробництва в цілому.

В СРСР перші результати по створенню і практичного застосування роботів відносяться до середини 60-х років. Одним з піонерів вітчизняної робототехніки є В.С. Кулешов.

Починаючи з 1962 року, вся його наукова і педагогічна діяльність пов'язана зі становленням і розвитком цього найважливішого напрямку сучасної науки і техніки. Дипломний проект В.С. Кулешова був присвячений створенню дистанційно керованих маніпуляторів для космічних кораблів «Восток».

Ця принципово нова задача була поставлена Головним Конструктором академіком С.П. Корольовим перед групою дипломників на початку 60-х років. В.С. Кулешовим вперше сформульовані і розроблені принципи побудови систем дистанційного і дистанційно-автоматичного керування маніпуляторами. Він є творцем наукових основ проектування систем двосторонньої дії, найбільш ефективних при виконанні маніпуляційних операцій в недетермінованих умовах екстремальних середовищ.

У 1966 році у Воронежі, в інституті ЕНІКмаш, був створений автоматичний маніпулятор з циклових управлінням, який міг переносити і укладати металеві листи. У 1968 році в інституті океанології Академії наук СРСР було створено перший підводний маніпулятор, керований від ЕОМ.

У 1971 році з'явилися перші промислові роботи з позиційним керуванням: УМ-1, створений під керівництвом П.М. Беяніна і Б.Ш. Родина, «Універсал-50» – під керівництвом Б.М. Сурніна, УПК-1 – під керівництвом В.І. Аксьонова.



Рисунок 2.19 – Робот на даху Чорнобильської АЕС, під час ліквідації наслідків аварії, 1986 рік

В цьому ж році в Ленінградському політехнічному інституті

був створений експериментальний зразок інтегрального робота, забезпеченого розвиненою системою відчуття.

Ряд великих науково-виробничих об'єднань і заводів стали випускати промислові роботи серійно:

- РМ-01 – Мінське НВО «Гранат»;
- ТУР-10км – Могильовський завод «Техноприбор»;
- Електроніка НЦТМ-01 – Зеленоградському НВО «Елеон»;
- М-10П – Московський завод «Червоний пролетар».

У ці й наступні роки проблемою робототехніки стали займатися наукові і конструкторські організації: МВТУ ім. Баумана, Інститут машинознавства, Інститут прикладної математики, Інститут проблем управління, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, Горьковський автомобільний завод, Московський завод «Хромотрон» та ін.

До 1990 року було освоєно виробництво близько 50 типів промислових роботів загальним обсягом понад 8 тисяч. У ряді галузей були створені роботизовані ділянки по металообробці, штампуванню, фарбуванню, складанню та ін.

З розпадом СРСР виробництво роботів в СНД практично припинилося. Поодинокі підприємства випускають роботів для своїх потреб, але серійного виробництва роботів немає.

Термін «мехатроніка» був введений японською фірмою Yaskawa Electric в 1969 році і зареєстрований як торгова марка в 1972 році. Цю назву отримано від комбінації слів «МЕХАніка» і «елекТРОНІКА».

У вітчизняній технічній літературі ще в 1950-х роках використовувався подібним же чином утворений термін «механотрони». Так називалися електронні лампи з рухомими електродами – які застосовувалися в якості датчиків малих переміщень, швидкостей і вібрації.

Починаючи з 80-х років у світовій технічній літературі починають застосовувати термін «мехатроніка» як назву класу машин з комп'ютерним управлінням руху. Спочатку мехатронними пристроями вважали тільки регульовані електроприводи. Потім сюди стали відносити автоматичні двері (рис. 2.20), торгові автомати (рис. 2.22), мобільні пристрої і фотокамери з автофокусуванням (рис. 2.21).



Рисунок 2.20 – Автоматичні двері



Рисунок 2.22 – Торговий автомат



Рисунок 2.21 – Цифровий фотоапарат



Рисунок 2.23 – Станок з ЧПУ



Рисунок 2.24 – Жорсткий диск

У 1980-х роках клас мехатронних пристроїв поповнився верстатами з числовим програмним управлінням (рис. 2.23), промисловими роботами.

В останнє десятиліття дуже велику увагу приділяють створенню мехатронних пристроїв для сучасних автомобілів, нового покоління технологічного обладнання (верстатів з паралельною структурою, роботів з інтелектуальним управлінням), мікромашин, жорстких дисків комп'ютерів (рис. 2.24) та офісної техніки (рис. 2.26).

Мехатроніка також знайшла активне застосування в сфері побутової електроніки. Мехатронними пристроями є програвачі дисків Blu-ray (рис. 2.25), установки для оформлення концертів і масових видовищ (рис. 2.27), швейні (рис. 2.28) і пральні машини (рис. 2.29).

У медичній техніці теж широко застосовують мехатронні пристрої. Так яскравим прикладом медичного мехатронного пристрою є комп'ютерний томограф (рис. 2.30).



Рисунок 2.25 – Програвач дисків Blu-ray



Рисунок 2.26 – Офісна техніка



Рисунок 2.27 – Проектор



Рисунок 2.28 – Швейна машина



Рисунок 2.29 – Пральна машина



Рисунок 2.30 – Комп'ютерний томограф

У ньому здійснюється переміщення столу з пацієнтом по двох координатах із заданою швидкістю і в залежності від обсягу обстежуваної ділянки тіла, обертання кільцевого рентгенівського випромінювача, сканування та обробка отриманих кольорових рентгенівських зображень.

Важливо підкреслити, що поштовхом для становлення мехатроніки стали не загальні теоретичні ідеї, а технічні досягнення інженерів-практиків в різних галузях. В кінці 1980-х років зацікавлені в розвитку мехатроніки організації стали об'єднуватися в науково-технічні співтовариства.

У Росії координацію науково-технічних робіт в області мехатроніки здійснює Асоціація інноваційного машинобудування і мехатроніки. Вона об'єднує понад 30 російських наукових і виробничих підприємств.

Основне завдання асоціації – організація та сприяння в реалізації науково-виробничих проєктів, в тому числі міжнародних, зі створення перспективного промислового обладнання і легких видів транспорту на базі мехатронних модулів. Аналогічні організації існують у багатьох країнах Європи. Найавторитетніша з них UK Mechatronics Forum (Великобританія).

У світі активно видають наукову і навчальну літературу в області мехатроніки. Перша монографія російською мовою японських фахівців Т. Ісії, І. Сімоєма, Х. Іноуе «Мехатроніка» була видана в 1988 році ще в Радянському Союзі.

Останніми роками вчені США, Європи та Азії щорічно випускають у світ по кілька книг з аналогічною назвою. Багато з цих книг витримали вже кілька видань, що говорить про великий інтерес читачів до мехатроніки. Невеличка бібліографія останніх наукових праць з цього напрямку наведена в кінці даного конспекту лекцій.

Окремо слід відзначити видавництво Springer. Адже його європейське відділення публікує щорічні звіти науково-практичних конференцій та збірки наукових праць вчених європейських університетів з напрямків мехатроніки та робототехніки.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть приклади перших «розумних» пристроїв.
2. Що вважається передісторією робототехніки?
3. Коли почали створювати перших людиноподібних роботів?
4. Чим знаменитий французький механік Жак Вокансон?
5. Як було утворено слово «андроїд»?
6. Що являли собою перші керовані автомати?
7. Назвіть видатних російських механіків 18-19 ст. та їхні розробки.
8. Що означає термін «автоматичне керування»?
9. Коли був вперше використаний термін «зворотний зв'язок»?
10. Назвіть найперший з відомих пристроїв зі зворотним зв'язком.
11. Поясніть принцип дії водяного годинника як системи з автоматичним регулюванням.
12. На чому був заснований принцип дії датчика температури американця Вільяма Генрі?
13. Що стало головним винаходом в області управління швидкістю вітряних млинів і парових машин?
14. Поясніть принцип дії регулятора швидкості обертання парової машини.
15. Чим була обумовлена необхідність створення математичних моделей фізичних пристроїв?
16. Назвіть вчених які внесли великий вклад у розвиток математичних методів моделювання, аналізу та синтезу систем управління.

17. Чим характеризується розвиток транспортних мехатронних систем у другій половині XVIII століття?
18. Назвіть технічні рішення які спочатку застосовували на парових візках а потім і на автомобільному транспорті.
19. Ким і коли був вперше запропонований термін «робот»?
20. Назвіть «три закони робототехніки».
21. Коли з'явилися перші роботи з яких почалася сучасна робототехніка?
22. Де і коли був вперше розроблений експериментальний макет рухомого робота з розвинутою системою сенсорного забезпечення?
23. В яких областях сьогодні вже застосовують роботів?
24. Кого вважають одним з піонерів робототехніки в СРСР?
25. Коли і ким був вперше введений термін «мехатроніка»?
26. Наведіть приклади побутових мехатронних систем.

3 СУЧАСНІ МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ В РІЗНИХ СФЕРАХ ЛЮДСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

3.1 Загальна класифікація робіт

Діючи по задалегідь закладеній програмі й одержуючи інформацію про зовнішній світ від датчиків (аналогів органів почуттів живих організмів), робот самостійно здійснює виробничі та інші операції, зазвичай виконувані людиною (або тваринами). При цьому робот може, як мати зв'язок з оператором (одержувати від нього команди) так і діяти автономно.

Зовнішній вигляд і конструкція сучасних роботів можуть бути досить різноманітними. У даний час у промисловому виробництві широко застосовуються різні роботи, зовнішній вигляд яких (із причин технічного й економічного характеру) далекий від «людського».

Роботи класифікуються по різних ознаках, в основному по ступеню участі людини в їхньому керуванні й по характеру виконуваних завдань.

1. По ступеню участі людини в керуванні роботом розрізняють два види:

- біотехнічні;
- автономні (або автоматичні).

Біотехнічні роботи.

Це всі дистанційно-керовані роботи, що копіюють рухи оператора; екзоскелети, роботи, керовані людиною з пульта керування, і напівавтоматичні роботи. Керування біотехнічними роботами базується на наступних принципах.

Копіювальні роботи мають наступну керуючу структуру:

- визначальний орган (звичайно маніпулятор), ідентичний виконавчому (з масштабом по розмірах і зусиллям);
- засоби передачі сигналів прямого і зворотного зв'язку;
- засоби відображення для оператора середовища функціонування робота.

Рух визначального органу задається оператором, копіюється з точністю до масштабного коефіцієнта виконавчим органом, за допомогою відстежуючих систем двосторонньої дії.

Екзоскелети – це антропоморфні конструкції, які звичайно

«одягаються» на руки, ноги або корпус людини й служать для відтворення (копіювання) її рухів з деяким масштабним коефіцієнтом по зусиллях. Екзоскелети найчастіше мають кілька десятків ступенів волі. Подібно до копіювальних роботів, вони управляються за допомогою відстежуючих систем двосторонньої дії.

Роботи, керовані з пульта керування. На пульті – система клавіш або рукояток і засоби відображення інформації. Рух роботів задається людиною з пульта керування через систему виконавчих приводів.

У **напіваавтоматичних роботах** ручне керування сполучається з автоматичним. Використовується, коли задалегідь жорстко запрограмувати всі потрібні операції неможливо, а оснащувати робота штучним інтелектом недоцільно або неможливо. До напіваавтоматичних також відносяться роботи із супервізорним керуванням: коли оператор втручається в дії робота шляхом повідомлення йому додаткової інформації (наприклад, за допомогою цілевказівки, вказівки необхідної послідовності дій і т.п.).

3.2 Автономні роботи

Інший важливий клас роботів – це роботи з **автономним, або автоматичним керуванням**. Такі роботи після їхнього створення й налаштування можуть, у принципі, функціонувати й без участі людини. Типовий приклад – роботи з елементами штучного інтелекту, андроїди.

По типу розв’язуваних роботом завдань також виділяють два класи роботів:

- виробничі роботи;
- дослідницькі роботи.

Виробничі роботи.

Призначені для виконання важкої, монотонної, шкідливої й небезпечної фізичної роботи. Для таких роботів характерна наявність автоматичних виконавчих пристроїв (маніпулятори які імітують рухи рук людини, самохідні візки з різними типами шасі, тощо).

Виробничі роботи діляться, у свою чергу на кілька різновидів:

- промислові;
- будівельні;
- сільськогосподарські;
- транспортні;
- побутові;
- бойові.

Промислові роботи призначені в основному для автоматизації всіх видів ручних і транспортних операцій у різних галузях промисловості. Найбільше застосування вони знайшли в машинобудуванні й приладобудуванні, у гірничодобувній, нафтохімічній, металургійній і атомній промисловості.

Будівельні роботи дозволять автоматизувати величезну кількість ручних операцій як допоміжних, так і основних у будівельній справі. Роботизація будівництва сьогодні досить актуальна.

Сільськогосподарські роботи призначені для автоматизації трудомістких і монотонних процесів у сільському господарстві. У цей час починається інтенсивне впровадження таких роботів, що знаменує початок роботизації сільськогосподарського виробництва.

Транспортні роботи призначені для автоматизації керування різними транспортними засобами. Це самохідні візки, крокуючі апарати, автопілоти й авторульові.

Побутові роботи служать для автоматизації операцій, пов'язаних з побутом людини та зі сферою його обслуговування. Найчастіше тут потрібні більш гнучкі й універсальні системи, ніж звичайні автомати. Ці роботи повинні мити посуд, прати, натирати підлоги, готувати їжу, тощо. До побутових роботів відносяться й роботи-іграшки, які здатні імітувати рухи (а іноді й деякі емоції) живої істоти, соціальні роботи.

Бойові (військові) роботи заміняють людину в бойових ситуаціях для збереження людського життя або для роботи в умовах несумісних з можливостями людини у військових цілях. У цей час існує кілька видів бойових роботів. Це безпілотні або з дистанційним керуванням авіаційні, підводні апарати й надводні кораблі, роботи-мінери, роботи-сапери, роботи-розвідники та робот-патрульні. Слід особливо зазначити, що сьогодні бойові роботи управляються людиною, однак є спроби створити й

повністю автономного бойового робота – все це викликає численні й палкі суперечки.

Дослідницькі роботи – служать для пошуку, збору, переробки й передачі інформації про досліджувані об'єкти. Об'єктами можуть бути космос, поверхні планет, підводний простір, підземні порожнини (шахти, печери й т.п.), Арктика й Антарктика, пустелі, заражена місцевість та інші важкодоступні для людини області.

Програми-роботи. Зовсім окремо стоять програми-роботи, які зазвичай називають *ботами*. Вони призначені для автоматизації рутинних завдань і найчастіше використовуються в Інтернеті: пошукові роботи, чат-боти, ісq-боти, тощо.

3.3 Класифікація промислових роботів

Промислові роботи класифікуються по способу керування, по призначенню, по ступеню спеціалізації, по характеру виконуваних операцій, по типу привода, по вантажопідйомності, по кількості маніпуляторів, по швидкодії й точності рухів, по числу ступенів рухливості, по способу розміщення.

По способу керування розрізняють:

- роботи із програмним керуванням, що працюють по заздалегідь заданій незмінній програмі (роботи першого покоління);
- роботи з адаптивним керуванням, які мають засоби відчуття й тому можуть працювати в заздалегідь не регламентованих і мінливих умовах, наприклад, брати довільно розташовані предмети, обходити перешкоди та інше (роботи другого покоління);
- роботи з інтелектуальним керуванням (зі штучним інтелектом), які поряд з відчуттям мають систему обробки зовнішньої інформації, що забезпечує їм можливість інтелектуальної поведінки, подібної до поведінки людини в аналогічних ситуаціях (роботи третього покоління).

Керування рухом по окремих ступенях рухливості може бути безперервним (контурним) і дискретним (позиційним). В останньому випадку керування рухом здійснюють, задаючи кінцеву послідовність точок і наступне переміщення по цих

кроках від точки до точки. Найпростішим варіантом дискретного керування є циклове, при якому кількість точок позиціонування по кожному ступеню рухливості мінімальна й найчастіше обмежена двома – початковою й кінцевою координатами.

По призначенню промислові роботи можуть бути розділені на кілька груп. Розрізняють роботи для автоматизації процесів машинобудування, гірничодобувної й нафтової промисловості (обслуговування бурильних установок, монтажні й ремонтні роботи), металургії, у будівництві (монтажні, оздоблювальні, транспортні роботи), у легкій, харчовій, рибній промисловості.

В останні роки роботи були впроваджені на транспорті (включаючи створення крокуючих транспортних машин), у сільське господарство, охорону здоров'я й у військовій галузі.

Найбільше поширення в промисловості промислові роботи одержали насамперед у **машинобудуванні**, де їх розрізняють по наступних групах:

- для обслуговування процесів ливарного виробництва (ливарні);
- для автоматизації штампувального виробництва (пресові);
- для обслуговування процесів механічної обробки;
- для обслуговування процесів зварювальних работ (зварювальні);
- для обслуговування процесів складального виробництва (складальні).

По ступеню спеціалізації всі промислові роботи незалежно від їхнього призначення діляться на три типи: універсальні, спеціалізовані й спеціальні.

- універсальні (багатоцільові) роботи призначені для виконання різних операцій і в тому числі для роботи разом з різними видами технологічного устаткування;
- спеціалізовані (цільові) роботи мають більш вузьке призначення й здійснюють одну певну операцію (наприклад, зварювання, фарбування, обслуговування устаткування певного виду);
- спеціальні роботи виконують тільки одну конкретну операцію (наприклад, обслуговують конкретну модель технологічного устаткування);

По характеру виконуваних операцій усі промислові роботи класифікуються на 3 групи:

- виробничі (технологічні), які виконують основні операції технологічного виробництва й безпосередньо в ньому приймають участь, у якості виробляючих або обробних машин (зварювальні, складальні і т.д.);
- підйомно-транспортні (допоміжні), які застосовуються для обслуговування основного технологічного устаткування для виконання допоміжних операцій, а також на транспортно-складських операціях;
- універсальні – виконують різні основні й допоміжні операції.

По типу привода. Приводи, використовувані в роботах, діляться на:

- електричний;
- гідравлічний;
- пневматичний;
- пневмо-гідравлічний.

Часто їх застосовують у комбінації, наприклад, у ланках маніпулятора великої вантажопідйомності використовують гідравлічний привод, а в його захватному пристрої – більш простий і малопотужний пневматичний.

По вантажопідйомності промислові роботи діляться на:

- надлегкі – до 1 кг;
- легкі – до 10 кг;
- середні – до 100 кг;
- важкі – до 1000 кг;
- і надважкі – понад 1000 кг.

Вантажопідйомність робота обумовлюється вантажопідйомністю його маніпуляторів, а при наявності декількох маніпуляторів – вантажопідйомністю найбільш потужного з них.

По кількості маніпуляторів промислові роботи бувають:

- одноманіпуляторні (однорукі);
- дворукі;
- трирукі;
- чотирирукі.

У більшості випадків кількість маніпуляторів у роботів

обмежено одним. Звичайно маніпулятори багаторукого робота виконують однаковими, але існують конструкції роботів з різними маніпуляторами.

Наприклад, промислові роботи для обслуговування пресів холодного штампування із двома різними маніпуляторами: один основний – для узяття заготовки й установки її на прес, та іншої спрощеної конструкції – для виконання більш простої операції зіштовхування готової деталі в бункер.

Класифікація роботів по швидкодії й точності рухів. Ці параметри взаємозалежні й характеризують динамічні властивості роботів. У робототехніці вони є головними.

Швидкодія маніпулятора визначається швидкістю його переміщення по окремих ступенях рухливості. Швидкодію роботів загального застосування можна розбити на три наступні групи:

- мала – при лінійних швидкостях по окремих ступенях рухливості до 0,5 м/с;
- середня – при лінійних швидкостях понад 0,5 до 1 м/с;
- висока – при лінійних швидкостях понад 1 м/с.

Більшість сучасних роботів мають середню швидкодію й тільки 20 % їх загального парку – високу швидкодію. Швидкодія сучасних роботів є поки недостатньою, її потрібно збільшити принаймні вдвічі. Основні труднощі тут пов'язані з відомим протиріччям між швидкодією й точністю.

Точність маніпулятора характеризується результируючою погрішністю позиціонування (при дискретному русі) або відпрацьовування заданої траєкторії (при безперервному русі). Найчастіше точність роботів характеризують абсолютною погрішністю.

Точність роботів загального застосування підрозділяють на три групи:

- мала – при лінійній погрішності від 1 мм і вище;
- середня – при лінійній погрішності від 0,1 до 1 мм;
- висока – при лінійній погрішності менше 0,1 мм.

По числу ступенів рухливості. Число ступенів рухливості – це сума можливих координатних переміщень об'єкта маніпулювання щодо опорної системи.

По способу розміщення промислові роботи бувають

стаціонарні й рухливі (пересувні). Підрозділяються на підлогові, підвісні (переміщаються по піднятому рейковому шляху), такі що вбудовуються в інше устаткування (наприклад, у верстат що обслуговується) і т.д. Рухливість робота визначається наявністю або відсутністю в нього пристрою пересування.

3.4 Робототехнічні комплекси

Термін «робототехнічні системи» (РТС) означає технічні системи будь-якого призначення, у яких основні функції виконують роботи. Це гнучкі виробничі системи, у яких автоматично діючі машини, пристрої, пристосування реалізують усю технологію виробництва, за винятком функції керування й контролю, здійснюваних людиною.

Незважаючи на безперервне розширення сфери застосування мехатронних систем (МС) основною областю їх застосування поки залишається промисловість і, насамперед, машинобудування й приладобудування. Тут з'явилися перші засоби автоматизації й зосереджено до 80 % усього світового парку робототехнічних засобів.

У машинобудуванні промислові роботи підрозділяються на технологічні, які виконують основні технологічні операції, і допоміжні, зайняті на допоміжних операціях по обслуговуванню основного технологічного устаткування. Технологічні комплекси з такими роботами називаються роботизованими технологічними комплексами (РТК).

У машинобудуванні до 80 % продукції відноситься до серійного й дрібносерійного виробництва. Для швидкого переходу з однієї моделі виробу на інший, відповідно до вимог ринку, створюються *гнучкі автоматизовані виробничі системи* (ГВС).

ГВС – це система верстатів і механізмів, призначених для обробки різних конструктивно й технологічно подібних деталей невеликими партіями або поштучно без особистої участі людини. Складовими частинами ГВС є підсистеми: технологічна, транспортно-накопичувальна, інструментального обслуговування й автоматизованого керування за допомогою ЕОМ.

Залежно від кількості верстатів у ГВС розрізняють: гнучкий виробничий модуль (ГВМ); гнучку виробничу лінію (ГВЛ);

гнучку виробнича ділянка (ГВД); гнучке виробництво цеху (ГВЦ) і заводу (ГВЗ).

Гнучкий виробничий модуль – це технологічна одиниця устаткування (один-два верстати зі ЧПУ), оснащених механізмами автоматичної зміни інструмента, автоматичної зміни заготовок і транспортування їх зі складу до зони обробки за допомогою різних транспортних засобів, наприклад самохідних роботизованих візків.

Цей комплекс пов'язаний з єдиним математичним забезпеченням, що сприяє роботі устаткування в автоматичному режимі з мінімальною участю людини. Головна особливість ГВМ – можливість роботи без участі людини й здатність вбудовуватися в систему більш високого рангу.

Гнучка лінія складається з декількох модулів, обладнаних транспортною й інструментальною системами й керованих мікро-ЕОМ. **Гнучка ділянка** – різновид ГВЛ; вона відрізняється складом і взаємозамінністю технологічного устаткування й видом транспорту.

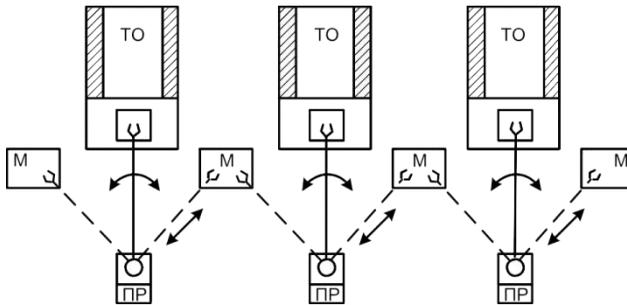
Гнучкі модуль, лінія, ділянка що представляють собою самостійні виробничі підрозділи, із взаємозалежним технологічним устаткуванням, є основними ланками для побудови гнучких виробництв більш високого порядку (цеху, заводу).

Таким чином, у ГВС функціонують два потоки ресурсів: матеріальний та інформаційний. Матеріальний потік забезпечує виконання всіх основних і допоміжних операцій процесу обробки предметів: подачу заготовок та інструмента, установку їх на верстатах; механічну обробку деталей; зняття готових деталей і переміщення їх на склад; заміну інструмента і його переміщення; контроль обробки й стану інструмента; збирання стружки й подачу мастильно-охолодної рідини.

Інформаційний потік забезпечує: черговість, строки й кількість оброблюваних предметів, передбачені планами роботи ГВС; передачу програм обробки безпосередньо виконавчим органам верстатів, програм роботи роботів, настановних і пересувних механізмів, програм забезпечення заготовками, інструментом, допоміжними матеріалами, програм керування всім комплексом і обліку його роботи, а також групове керування

верстатами, транспортно-накопичувальними механізмами, системою інструментального обслуговування.

На рис. 3.1 показаний приклад простого лінійного компонування однопотокової роботизованої технологічної лінії холодного штампування з безпосереднім зв'язком між гніздами що утворюють лінію.



ТО – основне технологічне обладнання;
ПР – промисловий робот;
М – магазин поштучної видачі заготовок

Рисунок 3.1 – Схема однопотокової роботизованої технологічної лінії холодного штампування з лінійним компонуванням

У ній відсутня межопераційна транспортна система, а предмети виробництва передаються від одного гнізда до іншого безпосередньо вхідними в них допоміжними ПР. Такі лінії з безпосереднім твердим зв'язком між гніздами прості, однак вимагають певного взаємного розташування основного технологічного устаткування.

Дане компонування характерне для технологічних процесів з малим циклом обробки предметів виробництва на технологічному устаткуванні (одиниці, десятки секунд), що властиво, зокрема, процесам холодно-листового штампування. Для технологічних процесів з більшою тривалістю обробки на технологічному устаткуванні часто застосовують інший тип побудови комплексів з обслуговуванням одним ПР декількох одиниць технологічного устаткування.

На рис. 3.2 показаний варіант такого комплексу із круговим

компонуванням, у якому один ПР обслуговує 3 металорізальних верстати, розташованих довкола нього.

У міру вдосконалювання МС відбувається стійкий ріст частки ПР, застосовуваних на основних технологічних операціях. Хоча впровадження ПР на основних промислових операціях вимагає значно більших (в 3-4 рази) витрат, ніж на допоміжних операціях, саме тут досягається найбільша ефективність застосування ПР при вивільненні робочих місць.

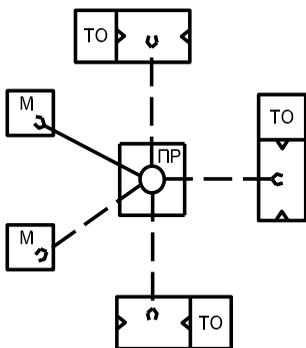


Рисунок 3.2 – Схема роботизованої технологічної ділянки механічної обробки із круговим компонованням

Великий і соціальний ефект у зв'язку зі шкідливістю для людини ряду таких операцій (наприклад фарбування, зварювання) або їх монотонністю (наприклад, складання на конвеєрі). У машинобудуванні основними типами технологічних комплексів у яких ПР одержали поширення на основних операціях, є комплекси складання, зварювання, нанесення покриттів, шліфування, зачищення, клепки.

Складальні робототехнічні комплекси. Цей тип робототехнічних комплексів за своїм значенням є, мабуть, найбільш важливим. Складальні операції в машинобудуванні становлять до 40 % собівартості виробів, а в приладобудуванні більше – до 50-60 %.

Разом із цим, ступінь автоматизації складальних робіт сьогодні досить низька у зв'язку з обмеженими можливостями,

які мають тут традиційні засоби автоматизації у вигляді спеціальних складальних автоматів. Тому створення гнучких складальних комплексів на ПР є одним з основних напрямків в автоматизації складальних операцій.

До складальних операцій у приладобудуванні відносяться механічне складання, електричний монтаж, мікроелектронне складання. Процес складання складається з наступних послідовних взаємозалежних операцій:

- завантаження деталей що збираються, у завантажувальній транспортній пристрої (звичайно з їхньою орієнтацією);
- переміщення деталей до місця складання;
- базування, тобто фіксація в строго певній позиції, з орієнтацією деталей на складальній позиції;
- операція складання, тобто сполучення деталей, включаючи закріплення;
- контрольні-вимірні операції в ході складання;
- видалення зібраного вузла зі складальної позиції для переміщення на наступну позицію, якщо складання не закінчене.

Для виконання механічної обробки, не пов'язаної з надвисокими силовими режимами різання, часто застосовують промислових роботів, що безпосередньо виконують процес обробки – тобто «ручна» робота, але у виконанні роботів (рис. 3.3).

Особливо роботи ефективні при роботі з великогабаритними заготовками, складними контурами та іншими завданнями, де антропоморфна кінематика доводить свої максимальні переваги.

Наприклад, обробка пластмасових деталей автомобільної промисловості вимагає ретельної деталізації при проектуванні комплексів, точного виготовлення й монтажу, а також певної гнучкості при введенні в експлуатацію.

Застосування 3D-системи offline-програмування, планування й моделювання, а також залучення провідних спеціалістів і виробників допоміжного робототехнічного устаткування дає можливість робити робототехнічні комплекси, орієнтовані на потреби й побажання замовників. Робототехнічні комплекси фрезерування відомі своєю еталонною якістю на ринку гнучких рішень процесів різання в робототехніці.

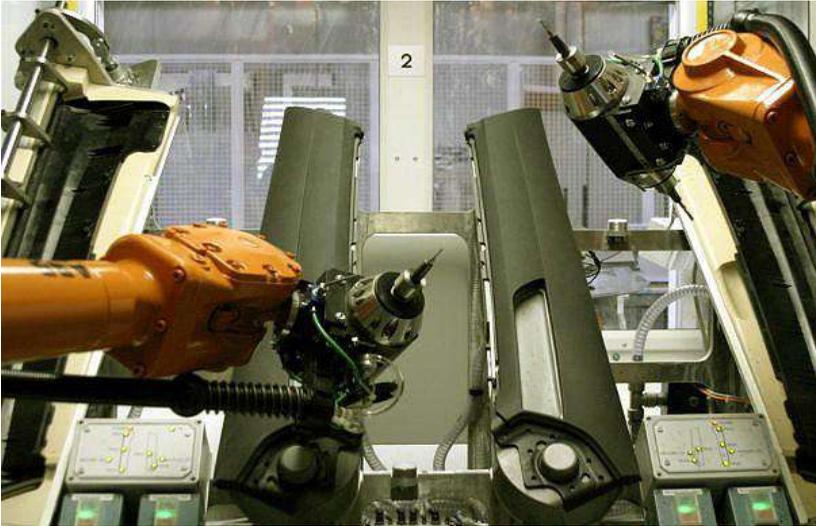


Рисунок 3.3 – Фрезерування лицевальних панелей у робототехнічному комплексі двома роботами



Рисунок 3.4 – Зварювальний цех по складанню автомобільних кузовів

У якості різального інструменту, як правило, застосовують осьовий інструмент, високооборотні фрези, лазерні, плазмові технології. Широко застосовуються робототехнічні комплекси на

операціях зварювання, особливо електроконтактного зварювання в автомобілебудуванні. На рис. 3.4 показаний цех зварювання кузова Hyundai Solaris на автоскладальному заводі в Санкт-Петербурзі.

У системі цивільного захисту гнучкі виробничі системи застосовуються для виконання робіт при ліквідації надзвичайних ситуацій в умовах, небезпечних для життя людей. Состав комплексів: шасі, маніпулятор, пересувний пульт керування, система телеспостереження, система підсвічування, система хімічної розвідки (МРК-27Х), система радіаційної розвідки (МРК-45, МРК-46), комплект змінного технологічного устаткування.

Призначення робототехнічних комплексів, застосовуваних у системі цивільного захисту:

- розвідка території й об'єктів з наявністю вибухонебезпечних предметів (ВНП), ідентифікація й огляд ВНП, визначення їх стану, виконання допоміжних операцій при знешкодженні ВНП та інших небезпечних предметів (радіаційні, хімічні й токсичні речовини);
- проведення піротехнічних робіт, включаючи пошук, знешкодження й транспортування вибухонебезпечних предметів і боєприпасів, ведення розвідки усередині приміщень і на місцевості;
- проведення аварійно-рятувальних і спеціальних робіт в умовах хімічного забруднення, візуальний огляд об'єкта, інструментальна приладова розвідка й визначення рівнів забруднення повітря, відбір проб, у т.ч. ґрунту й води, виконання технологічних операцій по локалізації джерела забруднення;
- ведення радіаційної розвідки, дозиметричного контролю місцевості;
- позначення зараженої зони;
- виявлення й ліквідація джерел підвищеної радіації;
- збір, роздрібнення, контейнування й транспортування небезпечних предметів;
- відбір проб ґрунту й рідини.

На рис. 3.5 показана операція зварювання роботом складального вузла легкового автомобіля на АвтоВАЗі.



Рисунок 3.5 – Виконання роботом операції зварювання

МРК-2 застосовується при дозиметричному контролі на об'єктах зберігання відпрацьованого ядерного палива. Його призначенням є проведення інспекційних перевірок й аварійно-рятувальних робіт. Він здатний виконувати візуальну розвідку; газову, хімічну, радіаційну розвідку місцевості, а також проводити аварійно-рятувальні роботи. На рис. 3.6 показаний робот-пожежник, що проводить рятувальну операцію під час антитерористичних навчань (працював як з макетами, так і справжніми людьми, що зображують жертв теракту).

3.5 Мехатроніка в медицині

У цей час бурхливо розвиваються високі медичні технології. У багатьох розвинених країнах активно ведуться розробки різних мехатронних пристроїв медичного призначення. Основні напрямки розвитку медичної мехатроніки – розробка систем для реабілітації інвалідів, виконання сервісних операцій, а також для клінічного застосування. Основні напрямки розвитку медичної мехатроніки представлені на рис. 3.7.



Рисунок 3.6 – Робот робить рятувальну операцію (м. Токіо)



Рисунок 3.7 – Основні напрямки розвитку медичної мехатроніки

Усе більшу роль відіграють мікророботи, здатні самостійно функціонувати усередині людського організму. Відзначимо, що медичні робототехнічні системи є медичними по своїй суті, поєднуючи в єдине ціле механічні й електронні компоненти, що функціонують у складі інтелектуальної робототехнічної системи.

Нижче розглянуті основні досягнення в області медичної мехатроніки й намічені перспективи її подальшого розвитку.

Роботи для реабілітації інвалідів.

Медичні роботи реабілітації призначені головним чином для вирішення двох завдань: відновлення функцій втрачених кінцівок і життєзабезпечення інвалідів, прикутих до ліжка (з порушеннями зору, опорно-рухового апарата та іншими тяжкими захворюваннями).

Історія протезування нараховує не одне сторіччя, але до мехатроніки безпосереднє відношення мають лише так звані протези з посиленням.

Сучасні автоматизовані протези не знайшли широкого застосування через конструктивні й експлуатаційні недосконалості й малу надійність в роботі. Але вже зараз робиться багато чого, щоб поліпшити їхні характеристики за рахунок впровадження в їхню конструкцію нових матеріалів і елементів, таких, як плівкові тензодатчики для керування силою стиску пальців руки-протеза, електронно-оптичні датчики, змонтовані в оправі окулярів для керування протезом руки за допомогою очей пацієнта й т.п.

У Японії розроблена механічна рука, виконавчий орган якої має шість ступенів волі й систему керування протезом. В Оксфорді (Великобританія) створена система керування для маніпуляторів, призначених для протезування, особливістю яких є здатність виконання завдань заздалегідь не запрограмованих. Вони забезпечують обробку сенсорної інформації, включаючи систему розпізнавання мови.

Однією із проблем є формування керуючих сигналів пацієнтом без допомоги кінцівок. Відомі пристрої для допомоги пацієнтам із двома або чотирма ампутуваними або паралізованими кінцівками, що приводяться в рух за допомогою електричного сигналу, що виникають у результаті скорочення м'язів голови або тулубу.

Розроблена конструкція механічної руки з телесистемою, керування якою здійснюється датчиками на голові хворого, що реагують на рух голови або брів, що й подають сигнали мікропроцесору, що управляє виконавчим органом маніпулятора.

Для вирішення завдань життєзабезпечення нерухоливих

хворих створені різні варіанти роботизованих систем. Якісно новим конструктивним рішенням є антропоморфна рука-маніпулятор, змонтована на інвалідній колясці й керована ЕОМ.

Важливою проблемою, пов'язаною з реабілітацією інвалідів, є створення для них робочих місць. У Великобританії розроблене автоматизоване робоче місце для інвалідів з порушеннями опорно-рухової системи.

Робот являє собою манипуляційну систему, яка управляє мовними командами оператора; він здатний за бажанням пацієнта вибирати музичні диски, книги, перевертати аркуші книги, що читається, перемикає периферійні пристрої комп'ютера, набирати номери телефонів. Такі заходи забезпечують пацієнтам можливість спілкування один з одним і сприяють їхньому усвідомленню себе як повноправного члена суспільства.

У США було розроблено автоматизоване робоче місце з антропоморфною рукою-маніпулятором для інвалідів, що страждають важкою формою порушення опорно-рухової системи. Пацієнт із мінімальним рівнем підготовки може управляти роботом, призначеним для приймання їжі, питва, догляду за волоссям, чищення зубів, читання, користування телефоном, а також для роботи на персональному комп'ютері.

Контролер, розміщений під підборіддям пацієнта, для керування автоматизованим робочим місцем може монтуватися на інвалідній колясці або на столі робочого місця. Це робить, зокрема, можливим використання великого числа автоматизованих робочих місць для одночасної годівлі групи пацієнтів.

Сервісні роботи.

Медичні роботи сервісного призначення покликані вирішувати транспортні завдання по переміщенню пацієнтів, різних предметів, пов'язаних з їхнім обслуговуванням і лікуванням, а також виконувати необхідні дії по догляду за хворими, прикутими до постелі.

Впровадження в систему охорони здоров'я роботів цієї групи дозволить звільнити медперсонал від рутинної допоміжної роботи, надавши йому можливість займатися своїми професійними справами.

Розроблений робот, що виконує функції, пов'язані з

додаванням великих зусиль – транспортування, укладення хворих і т.п. Робот являє собою електрогідравлічну систему з автономним джерелом живлення. Можливість управляти роботом надається як пацієнтові, так і медперсоналу. Він оснащений сенсорною системою.

У Великобританії розробляється роботизований пристрій, здатний виконувати операції по перекиданню лежачих важкохворих з метою усунення в них пролежнів. У результаті з'являється можливість усунути змушені втрати й звільнити медсестер від виконання цієї виснажливої роботи. Такі пристрої дозволяють, зокрема, одному медпрацівникові мити у ванні важкохворих, не прибігаючи до допомоги інших співробітників.

У Японії розроблений зразок мобільного робота – поводитира Meldog для сліпих, що представляє собою невеликий транспортний чотириколісний повнопривідний візок, система керування якого оснащена системою технічного зору та ЕОМ. В пам'ять ЕОМ записаний маршрут руху в межах даного населеного пункту. Одні датчики робота по місцю розташування стін будинків і обраних опорних точок ідентифікують вуличні перехрестя, інші виявляють дорожні перешкоди. По сигналах з датчиків бортова ЕОМ робота виробляє стратегію подолання перешкод. Робот – поводитир управляє рухом сліпого пацієнта за допомогою елементів зв'язку.

Впровадження транспортних мобільних роботів в інфраструктуру медичних установ значно полегшить вирішення питання про нестачу молодшого медичного персоналу.

Основними видами транспортувальних робіт, які передбачається доручати медичним мобільним роботам, є: централізована доставка медичних матеріалів і устаткування, лотків і піддонів з їжею для пацієнтів, лабораторних аналізів, готових медикаментів, пошти для хворих, а також утилізація й транспортування матеріалів і відходів зі службових приміщень.

У Канаді ведуться дослідження зі створення медичного мобільного робота автономного керування з високими тактико-технічними характеристиками. З метою забезпечення високої функціональної надійності система керування робота оснащена резервною системою керування, а також системою самодіагностики, здатної в автоматичному режимі визначати

відмови в системі керування та їх причини.

У Японії для транспортування лежачих хворих у межах госпіталю розробляється медична мобільна робототехнічна система, що представляє собою дистанційно керований транспортний візок. Робот оснащений пристроєм для перекидання хворого з лікарняного ліжка на транспортувальний засіб.

За останні роки підвищився інтерес до мобільних госпітальних роботів і в ряді європейських країн. У Франції та Італії ряд провідних робототехнічних і електронних компаній почали розробку роботизованих систем для транспортування продуктів, як у госпіталі, так і в офісі. Ведуться роботи зі створення роботів для евакуації поранених із зон природних і техногенних катастроф.

Клінічні роботи – призначено для вирішення трьох головних завдань: діагностики захворювань, терапевтичного й хірургічного лікування. Передбачається, що масова поява медичних приладів різного призначення, керованих ЕОМ, вплине на лікарську практику.

Ряд існуючих **діагностичних систем** із зображенням на екрані досліджуваної області (наприклад, томографічний прилад, керований від ЕОМ), уже використовує елементи мехатроніки й робототехніки.

Існує кілька різновидів **комп'ютерних томографів**, що відрізняються видом енергії, використовуваної для одержання зображення внутрішніх органів (тут розглянутий рентгенівський томограф).

Томограф створює цифрове зображення шляхом виміру інтенсивності рентгенівських променів, що пройшли через тіло під час обертання рентгенівської трубки навколо пацієнта.

Коефіцієнт поглинання віялового пучка рентгенівських променів в об'єкті вимірюється за допомогою набору з декількох сотень або декількох тисяч рентгенівських детекторів (звичайно твердокристалічних).

Детектори збирають інформацію в кожній із проєкцій, яка потім оцифровується й аналізується комп'ютером. На основі отриманих даних комп'ютер реконструює поперечне зображення органу. Це зображення має цілий ряд переваг перед звичайним рентгенівським знімком, включаючи можливість вибору

потрібної проекції, а також високу здатність до передачі об'єктів з низькою контрастністю, яка в комп'ютерних томографів значно вища, ніж в інших методах побудови рентгенівського зображення.

Рентгенівські томографи складаються з наступних основних частин: скануючого пристрою, рентгенівської системи, механізму повороту рентгенівської трубки, пульта керування й ЕОМ.

Скануючий пристрій являє собою кругову рамку, у яку вмонтована обертова рентгенівська трубка й велика кількість сприймаючих детекторів. При томографії нерухливого об'єкта, рентгенівська трубка за допомогою спеціального приводу робить круговий рух усередині рамки, при цьому випромінюється тонкий пульсуючий пучок рентгенівського випромінювання, що проходить через об'єкт під різними кутами.

Пройшовши через м'які тканини рентгенівське випромінювання реєструється сприймаючими датчиками, інформація з яких надходить для обробки в ЕОМ. При цьому розраховуються коефіцієнти поглинання рентгенівського випромінювання в кожній точці зрізу. Після складної математичної обробки прийнятої інформації одержують плоске зображення досліджуваного зрізу органа.

Рентгенівська система складається із трубки й генератора. Рентгенівська трубка працює в імпульсному режимі із частотою імпульсів 50 Гц при напрузі 100-130 кВ. Трубка має подвійне охолодження: сама трубка охолоджується маслом, масло у свою чергу охолоджується водою або вентилятором. Трубка живиться від високовольтного генератора, що працює в імпульсному режимі.

Пульт керування є важливою ланкою комп'ютерного томографа. Він безпосередньо зв'язаний зі скануючою системою та ЕОМ. До складу пульта входять два відеомонітори, один з яких текстовий, а інший призначений для зображення зрізів.

Програма сканування визначає товщини зрізів, їхню кількість, швидкість та крок сканування, кількість знімків, тощо. За допомогою світлового пера лікар може в цифровому виді одержати інформацію про оптичну щільність ділянки зрізу яка цікавить, виміряти відстані між заданими точками зображення зрізу для оцінки розміру органа або патологічного вогнища.

У Японії запатентований *мікроманіпулятор*, призначений для проведення медичних і біологічних досліджень на клітинному рівні, що дозволяє вимірювати електричний опір клітки, робити мікро-ін'єкції в клітку медичних препаратів і ферментів, міняти конструкцію клітки й витягати її вміст.

Іншою областю застосування роботів є *радіотерапія*, де вони використовуються при проведенні заміни декількох дорогих стаціонарних радіоактивних джерел у багатопромених установках з метою зниження рівня радіаційної небезпеки для медичного персоналу. Проводяться також роботи зі створення робота-масажера.

Існує ряд складних *хірургічних операцій*, виконання яких стримується відсутністю досвідчених хірургів, оскільки такі операції вимагають високої точності виконання. Наприклад, у мікрохірургії ока існує така операція, як радіальні розрізи рогової оболонки (*radial keratotomy*), за допомогою якої можна коректувати фокусну відстань ока при усуненні короткозорості.

Ідеальна глибина надрізу оболонки ока повинна не перевищувати 20 мкм. Досвідчений хірург при проведенні цієї операції може виконувати надрізи на глибину 100 мкм.

У Канаді розробляється медичний робототехнічний комплекс, здатний робити високоточні надрізи на очній роговиці й забезпечувати потрібну кривизну ока. Іншим прикладом виконання хірургічних операцій високої точності є мікронейрохірургія. У Великобританії вже розроблений медичний робот для мікрохірургії мозку.

Створений у США медичний робот з маніпулятором «Пума» продемонстрував можливість добування шматочка тканини головного мозку для проведення біопсії. За допомогою спеціального скануючого пристрою із тривимірною системою відображення інформації визначалися місце й швидкість введення двоміліметрового свердла для забору зразків мозкової тканини.

У Франції розробляється медичний робот-асистент для надання допомоги при проведенні хірургічних операцій на хребті, коли будь-яка помилка хірурга може привести до повної паралізації пацієнта. У Японії створений медичний робот продемонстрував можливість трансплантації роговиці ока, узятій

в мертвого донора.

До переваг медичних роботів відноситься їхня здатність відтворювати необхідну послідовність складних рухів виконавчих інструментів. У Великобританії продемонстрований медичний робот – тренажер для навчання лікарів і моделювання процесів хірургічних операцій на простаті, у ході яких проводиться серія складних надрізів у різних напрямках, послідовність виконання яких важка для запам'ятовування й виконання.

У США запатентована роботизована система для допомоги хірургові при виконанні операцій на кістках. Дана система застосовується в ортопедичних операціях, при яких найважливішим є точне позиціонування інструмента щодо колінного суглоба.

Усі зміни на кості відображаються на екрані монітора. В операційній цей екран покривається стерильною плівкою, що дозволяє хірургові безпосередньо управляти хірургічним операційним процесом. Програми операцій базуються на геометричних співвідношеннях між параметрами протеза, параметрами кісткових розрізів і осями свердлення отворів. Робот буде переміщати інструмент по певних позиціях у відповідних площинах.

В останні роки в області автоматизації хірургічних процесів з'явилися повідомлення про спроби створення роботизованих систем для дистанційної хірургії за допомогою телевізійних установок, коли хірург і пацієнт розділені великими відстанями.

До числа найбільш актуальних завдань відноситься **діагностика й хірургія судинних захворювань**. У Японії, Італії, Росії ведуться роботи зі створення мобільних мікророботів, призначених для руйнування атеросклеротичних відкладань у кровоносних судинах.

Передбачається, що мобільні мікророботи будуть працювати в автоматичному режимі, переміщаючись по анатомічному руслу кровоносної системи. Система включає артеріальний носій – мікроробот, здатний переміщатися по кровоносному руслу й оснащеному ультразвуковим мікродатчиком, а також необхідним робочим інструментом.

У Канаді проводяться експериментальні дослідження

телеоператора-робота для лапароскопічних операцій.

На рис. 3.8 показано, як хірурги за допомогою робота по імені Да Вінчі роблять операцію по видаленню грижі в університетській клініці в Женеві, Швейцарія. В 2008 році було відкрите відділення для роботизованої хірургії, де до 80 хірургів з різних країн миру мали можливість випробувати такий метод.



Рисунок 3.8 – Хірургічна операція за участю робота

Відзначимо, що клінічні робототехнічні системи є ергатичними, тобто функціонують при участі оператора. Такі робототехнічні системи дозволяють не тільки відмовитися в ряді випадків від традиційних медичних технологій, але й суттєво полегшити умови праці хірурга й лікаря-діагноста. На рис. 3.9 показаний доктор Кліффорд (уролог) за штурвалом робота Да Вінчі в лікарні міста Мілтон штату Массачусетс.

Система робота складається із трьох основних частин – панель керування для роботи оператора-лікаря, де зосереджене основне керування роботом, приладова дошка й основний модуль – операційна панель із 4-ма маніпуляторами.

Медична мехатроніка перебуває в стані швидкого підйому, темпи якого значно вищі, ніж у традиційних областях мехатроніки. Але є фактори, що стримують застосування мехатронних пристроїв у медичній практиці.



Рисунок 3.9 – Доктор-Уролог
за штурвалом робота

Найважливішим серед них є психологічний фактор, що викликає відторгнення ідеї застосування мехатроніки для настільки делікатної сфери, як організм людини. Його подолання вимагає відношення до мехатроніки, у першу чергу, як до засобу, інструмента медичної практики лікаря, хірурга. Необхідно звернути увагу на забезпечення надійності мехатронних систем та їх безпеку для пацієнта.

Іншим стримуючим фактором є роз'єднаність і неповне взаємне розуміння фахівців в області техніки й медицини. Ця обставина вимагає підготовки фахівців нового типу, що володіють не тільки інженерними знаннями, але й добре знайомими з особливостями медичних технологій.

Штучне серце. Сьогодні не вдається повністю задовольнити потребу в донорському серці, тому актуальним залишається завдання по створенню автономних портативних імплантованих пристроїв типу «штучне серце». Такі пристрої складаються із джерела живлення й рушія-перетворювача, до якого часто додається проміжний перетворювач рухів, що забезпечує передачу енергії на робочий або виконавчий орган, і комп'ютерної системи керування, що регулює роботу пристрою.

3.6 Периферійні пристрої комп'ютерів як мехатронні об'єкти

Периферійними пристроями комп'ютера (пристроями введення – виводу або зовнішніми пристроями) називаються пристрої, за допомогою яких в ЕОМ вводиться інформація для її наступної обробки, а також виводяться проміжні й остаточні результати, її обробка у формі, доступній для сприйняття людиною й використання для керування об'єктами. Такі пристрої являють собою блоки, зовнішні стосовно процесора.

Деякі периферійні пристрої комп'ютера містять тільки електронні вузли й компоненти (монітори, модеми, звукові карти, додаткові блоки оперативної пам'яті, інтерфейси для зв'язку з об'єктами керування).

Деякі з них крім електронних систем мають найпростіші механічні вузли (клавіатура, миша), а частина має складну механічну систему зі своїм мікропроцесорним керуванням (принтери, плоттери, дискові пристрої, накопичувачі інформації на оптичному диску).

Останні для забезпечення точності, і швидкодії роботи механічних вузлів постачені великою кількістю аналогових і цифрових датчиків і найчастіше інтелектуальними системами керування. Такі пристрої є типово мехатронними об'єктами.

Одним з найбільш складних мехатронних об'єктів серед периферійних пристроїв комп'ютерів є накопичувач інформації на оптичному диску. Типовий DVD-дисковод складається із плати електроніки, шпиндельного двигуна, механічної системи оптичної зчитувальної головки й механізму завантаження диска.

На платі електроніки розміщені всі керуючі схеми дисководу, інтерфейс із контролером, рознімання інтерфейсу й двоконтактне рознімання виходу звукового сигналу. Шпиндельний двигун служить для приведення диска в обертання з постійною або змінною лінійною швидкістю.

Збереження постійної лінійної швидкості вимагає зміна кутової швидкості диска залежно від положення оптичної головки. При пошуку фрагментів він може обертатися швидше, чим при зчитуванні даних, тому двигун має гарну динамічну характеристику.

На осі шпинделя закріплена феромагнітна підставка, поверхня якої звичайно покрита гумою або м'яким пластиком для запобігання проковзування компакт-диска. Після завантаження диск притискається до підставки за допомогою розташованої зверху шайби з постійним магнітом.

Система оптичної головки включає саму головку й механізм її переміщення. У головці розміщені: випромінювач, виконаний на основі інфрачервоного лазерного світлодіода, пристрій фокусування, фотоприймач і попередній підсилювач.

Пристрій фокусування являє собою рухливу лінзу, що приводиться в рух електромагнітною котушкою, яка аналогічна застосовуваній в гучномовці. Зі зміною напруженості магнітного поля лінза зрушується й відбувається перефокусування лазерного променя. Завдяки малій інерційності така система ефективно відслідковує вертикальні биття диска. Точність фокусування ± 1 мкм (при діаметрі світлової плями 0,9 мкм).

Механізм переміщення оптичної головки має власний двигун, що приводить у рух каретку з головкою за допомогою зубчастої або черв'ячної передачі. Для виключення люфту передбачене з'єднання з початковою напругою (для черв'ячної передачі це підпружинені половини веденої шестірні). Точність переміщення по координаті трекинга (по радіусу) – 0,1 мкм.

Пристрій завантаження диска може виконуватися з використанням висувного лотка й завантаження шляхом прямої вставки диска в прийомну щілину накопичувача. У всіх цих випадках накопичувач містить двигун для втягування-висування лотка, а також пристрій для переміщення рами, на якій закріплена вся механічна частина разом зі шпинделем і приводом оптичної головки, у робоче положення, коли диск лягає на підставку.

Система керування побудована на однокристальній мікро-ЕОМ, яка контролює й координує роботу всіх пристроїв накопичувача DVD-ROM, видаючи команду на виконання наступної операції тільки після успішного завершення попередньої.

3.7 Мехатронні системи в побуті

Побутові (домашні) роботи призначені для автоматизації різних операцій як безпосередньо в побуті людини, так і в сфері

обслуговування. Ці роботи покликані реалізувати найважливіше соціальне завдання суспільства – вивільнення часу людину для духовного життя.

Створення побутових роботів – досить складне наукове й інженерне завдання, тому що тут необхідні гнучкі універсальні системи, тобто чутливі роботи з елементами інтелекту, здатні самостійно виконувати різні, на перший погляд прості роботи – готування їжі, миття посуду, прибирання приміщень, шиття й ремонт одягу, догляд за дітьми, навчання різним навичкам, розвага людей та ін., але вони зовсім не піддаються твердій регламентації. Особливу роль відіграють робототехнічні й кібернетичні системи, що забезпечують безпеку й контроль стану житла (так званий «Розумний будинок»).

До добре розроблених, і таких що міцно ввійшли в наше домашнє життя мехатронних систем, можна віднести пральні машини з мікропроцесорним керуванням, які на основі аналізу забруднення білизни самостійно вибирають режими роботи, музичні центри з безліччю сервісних функцій, інтелектуальні кондиціонери, що вибирають режими роботи залежно від часу доби, кількості людей що перебувають у приміщенні, температури зовнішнього повітря й складу повітря усередині приміщення, фотоапарати й багато чого іншого.

3.8 Транспортні мехатронні системи

До мехатронних систем на рейковому транспорті відносяться: система ефективного управління рухом поїзда, гальмова система, дверні системи, системи кондиціонування повітря, системи діагностики поворотних візків, система розпізнавання сходу з рейок, системи подачі піску, і склоочисні системи та ін.

Система ефективного управління рухом поїзда, наприклад система LEADER® (Locomotive Engineer Assist / Display & Event Recorder) для пасажирських поїздів містить у собі встановлений на пульті керування машиніста дисплей, який управляється потужним комп'ютером.

За допомогою цього дисплея машиніст електропоїзда одержує рекомендації з руху, розраховані на основі різних даних. Вони, зокрема, надходять із передбаченої бази даних, у якій

утримується необхідна інформація про маршрут, склад поїзда, а також про відповідний розклад руху. GPS-приймач збирає інформацію про поточне положення й швидкість поїзда.

Дана система оптимізує профіль руху й тим самим мінімізує утворі непотрібної кінетичної енергії, а також її перетворення в теплову енергію при гальмуванні. Таким чином, за рахунок економії палива можна значно знизити рівень викидів CO₂.

Система забезпечує ефективне управління рухом поїзда. Максимально строге дотримання передбаченого розкладу руху значно підвищує точність руху поїздів. Залізничне сполучення строго за розкладом підвищує задоволеність клієнтів і не в останню чергу – пропускну здатність певних ділянок. Зменшується зношування гальмової системи, що значно скорочує експлуатаційні витрати.

Дуже відповідальною є гальмова система рейкового транспорту. Вона містить у собі (рис. 3.10) електронну систему керування, пневматичні системи регулювання, систему повітропостачання, гідравлічні гальмові системи й додаткові пристрої (наприклад, системи подачі піску).



Рисунок 3.10 – Гальмова система поїзда

Керування гальмом – це вкрай важлива частина системи поїзда, що впливає на безпеку, тому що вона повинна сприяти надійній зупинці поїзда в будь-яких умовах експлуатації.

Оптимальний процес гальмування досягається, коли на всіх осях або поворотних візках усього поїзда прикладається індивідуальна сила гальмування. І це все при приведенні в дію

машиністом локомотива одного єдиного гальмового важеля!

Із цієї причини в сучасних системах керування гальмом вбудовується набір додаткових інтелектуальних функцій:

- залежно від навантаження гальмування завантажених і ненавантажених вагонів;
- антиблокувальна гальмова система (запобігання від ковзання);
- контроль уважності машиніста локомотива (пристрій безпеки);
- примусове гальмування з дистанційним керуванням (локомотивна сигналізація, PenaltyBrake);
- екстрене гальмо для пасажирів;
- пристрій, що збільшує зчеплення колеса з дорогою при проковзуванні коліс (захист від буксування).

Не важливо, чи є на поїзді механічне гальмо, магніторельсове гальмо, електродинамічне гальмо-сповільнювач або гальмування генератором за рахунок повороту привода: система керування гальмом у кожному разі опікується про оптимальну погодженість різних систем.

В основі всіх рішень лежить безпека й економічність. Повітропостачання забезпечується компресорною системою, що охоплює виробництво стисненого повітря за допомогою компресорів, а також підготовку повітря. Результатом є постачання системи стисненим повітрям у певній кількості й потрібній якості.

Стиснене повітря – це носій енергії для елементарних функцій поїзда. Крім приведення в дію гальма, воно також застосовується для відкриття дверей, керування пневматичною підвіскою, устаткуванням подачі піску, а також для підйому пантографів (струмоприймачів) і для приведення в дію склоочисника.

Існує тенденція до більш компактних, більш легких транспортних засобів зі зростаючим рівнем безпеки й потужності, тому попитом користуються інноваційні концепції для надійного нагнітання стисненого повітря.

За рахунок скорочення інтерфейсів можна досягти коротких строків монтажу або демонтажу. За рахунок високої надійності вбудованої системи значно підвищується готовність усієї системи

поїзда.

Система розпізнавання сходу з рейок (рис. 3.11) теж має велике значення. Схід з рейок може стати причиною важких нещасних випадків, а при транспортуванні небезпечного вантажу – навіть катастрофи. Тому застосовуються детектори сходу з рейок для поліпшення безпеки рейкового транспорту.

На вибір є електронна й пневматична системи – обидві підходять для великої кількості типів транспортних засобів. Детектор сходу з рейок розпізнає вісь, що зісковзнула, захоплюючи й аналізуючи удари ходових коліс по шпалам. Машиніст локомотива одержує або попереджувальний сигнал, або поїзд сам автоматично зупиняється.



Рисунок 3.11 – Мехатронні системи поїзда

Ціль системи – обмеження непрямих збитків після сходу з рейок.

Система застосовується:

- у пасажирських вагонах;
- у метро й міській залізниці;
- у мотор-вагонних поїздах;
- під час перевезення небезпечних вантажів;
- у вантажних вагонах;
- у вагон-цистернах.

Переваги:

- підвищена безпека для людей і матеріалів;
- обмеження непрямих збитків після сходу з рейок;
- подача повідомлення діагностики або безпосереднє гальмування поїзда при сході осі з рейок;
- просте дообладнання на існуючому вагоні;
- низькі виробничі витрати.

Вхідні дверні системи. Посадка й висаджування пасажирів може привести до затримки. Тому якість і надійність вхідних систем має вирішальний вплив на економічність рейкового транспорту.

Розрахунки показують, що економічна користь від високоякісної системи керування дверима перевищує витрати на її придбання майже вдсятеро. Тому при розробці систем визначення й допомоги при посадці головна увага приділяється безпеці й комфорту пасажирів. Дверні системи знаходять своє застосування як у метро, трамваях, так і в пасажирських вагонах приміських поїздів, поїздів далекого прямування, швидкісних поїздах. У дверні системи входять:

- зовнішні двері, розсувні й відкидні двері (рис. 3.12);
- внутрішні двері, перехідні двері, протипожежні двері;
- двері кабіни машиніста, кришки завантажувальних люків;
- рампи, відкидні й розсувні підніжки (рис. 3.13);
- системи керування дверима, мікропроцесорні пристрої керування (рис. 3.14);
- системи захисту від заклинювання й системи виявлення защемлення для запобігання нанесення пасажирам травм дверима.

Дверні системи на перонах. Розсувні дверні системи на перонах (рис. 3.15) виявляють вирішальний внесок у безпеку, кліматизацію й чистоту на пероні. Вони поширюються на всю довжину перону. Поїзд зупиняється на позиції, у якій двері транспортного засобу й двері перону збігаються. Кожні двері перону складаються з автоматичних розсувних дверей із двома стулками. Ці двері вбудовані в скляний елемент стіни. Закритий корпус блоку керування дверима перешкоджає неправомочному доступу.



Рисунок 3.12 – Зовнішні двері вагона



Рисунок 3.13 – Рампи, відкидні й розсувні підніжки

Пороги перону дають дверям і елементам стіни додаткову опору. Дверні системи перонів, або в повну висоту, або в половину висоти, утворюють захист між пасажиром і поїздом, а також рейками. За рахунок цього значно підвищується безпека пасажирів. Використання дверей у всю висоту захищає пасажирів також від бруду, турбулентності повітря й шуму, що виникають через під'їзд і від'їзд поїздів. Дверні системи перонів дозволяють створити кондиціонування перону.



Рисунок 3.14 – Системи керування дверима, мікропроцесорні пристрої керування



Рисунок 3.15 – Дверна система перону

Кожна дверна система перону відкривається й закривається синхронно із дверима поїзда. Завдяки застосуванню дверних систем перонів експлуатуюче підприємство користується з поліпшеного дотримання графіка руху й оптимізованої ефективності експлуатації.

3.9 Мехатронні системи на водному транспорті

Мехатронні системи на морському транспорті знаходять усе більш широке застосування для інтенсифікації праці екіпажів морських і річкових судів, пов'язаних з автоматизацією й механізацією основних технічних засобів, до яких відносяться головна енергетична установка з обслуговуючими системами й

допоміжними механізмами, електроенергетична система, загально суднові системи, кермові пристрої й двигуни.

У морських умовах неможливе застосування звичайних методів попередньої розвідки (пошукова партія або детальне аерофотознімання), тому найбільш широкое поширення одержав сейсмічний метод геофізичних досліджень (рис. 3.16).

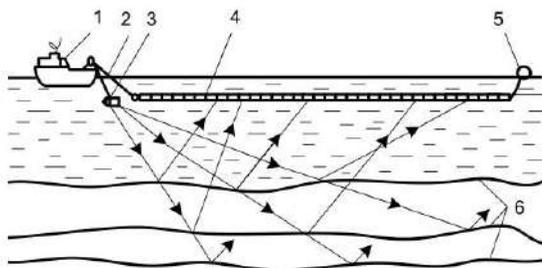


Рисунок 3.16 – Схема проведення геофізичних досліджень

Геофізичне судно 1 буксирує на кабель-тросі 2 пневматичну гармату 3, що є джерелом сейсмічних коливань, сейсмографну косу 4, на якій розміщені приймачі відбитих сейсмічних коливань, і кінцевий буй 5. Профілі дна визначають за допомогою реєстрації інтенсивності сейсмічних коливань, відбитих від прикордонних шарів 6 різних порід.

Для одержання достовірної геофізичної інформації судно повинне втримуватися на заданому положенні щодо дна (лінії профілю) з високою точністю, незважаючи на малу швидкість руху (3-5 вузлів) і наявність буксированих пристроїв значної довжини (до 3 км) з обмеженою механічною міцністю. За допомогою мехатронної системи можна автоматично вивести судно на запрограмовану траєкторію й утримувати на ній.

Питання для самоперевірки

1. Що розуміють під словом «робот»?
2. Як класифікуються роботи за ступенем участі людини в їхньому управлінні?
3. Як класифікуються роботи по типу вирішуваних завдань?
4. Як класифікуються промислові роботи?

5. Як класифікуються роботи по швидкодії і точності рухів?
6. Що розуміється під термінами «робототехнічні системи» і «роботизовані технологічні комплекси»?
7. Що являє собою гнучка автоматизована виробнича система в машинобудуванні?
8. Що являє собою гнучкий виробничий модуль в машинобудуванні?
9. Що являє собою однопоточна роботизована технологічна лінія?
10. На яких операціях в машинобудуванні набули поширення роботизовані технологічні комплекси?
11. Чи можливе створення складальних робототехнічних комплексів?
12. Чи можуть роботи виконувати безпосередньо основні технологічні операції, оперуючи інструментом?
13. На яких операціях найбільш широко використовуються робототехнічні комплекси на автоскладальних заводах?
14. Яке призначення робототехнічних комплексів, що застосовуються в системі цивільної захисту?
15. Які основні напрямки розвитку медичної мехатроніки?
16. Роботи для реабілітації інвалідів – для вирішення яких завдань вони призначені?
17. Для вирішення яких завдань призначені медичні роботи сервісного призначення?
18. Для вирішення яких завдань призначені клінічні роботи?
19. З яких основних частин складаються рентгенівські томографи?
20. Який принцип дії рентгенівського томографа?
21. Яка роль роботів при проведенні складних хірургічних операцій?
22. Які чинники стримують застосування мехатронних пристроїв в медичній практиці?
23. Які мехатронні пристрої є в комп'ютерах?
24. Які мехатронні системи знайшли застосування в побуті і як широко використовуються побутові роботи?
25. Які системи поїзда можна віднести до мехатронних?
26. Як досягається оптимальний процес гальмування поїзда?
27. Що входить в дверні системи поїзда?

28. Навіщо створюють дверні системи на перонах?
29. Що відноситься до легких транспортних засобів і чи можна їх віднести до мехатронних систем?
30. У чому полягає особливість електровелосипедів?
31. Що собою являють електроролери?
32. Які переваги створює комплексна автоматична система утримання судна на заданій траєкторії?
33. Як в загальних рисах функціонує система дистанційного управління польотом ДПЛА – НІМАТ?
34. Яку користь приносять мехатронні системи транспортування, палетування і складування?
35. Як проводиться ремонт підземних трубопроводів за допомогою мобільних роботів?
36. Якими можливостями володіє мобільний робот військового призначення BigDog?
37. Які вимоги висунуті до бойового варіанту робота BigDog?
38. Які функції виконують безекіпажні патрульні катери?
39. Які функції виконують незаселені підводні апарати?
40. Які функції виконують безпілотні літальні апарати?
41. Навіщо в Ізраїлі розробили мініатюрний літальний апарат у вигляді бабки?

4 СТРУКТУРА І ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

4.1 Основи конструювання мехатронних систем

Методологічною основою розробки мехатронних систем служать методи паралельного проектування (concurrent engineering methods). При традиційному проектуванні машин з комп'ютерним управлінням послідовно проводиться розробка механічної, електронної, сенсорної та комп'ютерної частин системи, а потім вибір інтерфейсних блоків. Парадигма паралельного проектування полягає в одночасному і взаємопов'язаному синтезі всіх компонент системи.

На рис. 4.1 представлена узагальнена структура машин з комп'ютерним управлінням (автоматичних роботів), які використовуються в машинобудуванні.



Рисунок 4.1 – Узагальнена схема машини з комп'ютерним управлінням рухом

Дана схема дозволяє показати принципи побудови мехатронних систем. Зовнішньою середою для машин даного класу є технологічне середовище, яке містить основне і допоміжне обладнання, технологічне оснащення та об'єкти робіт.

При виконанні мехатронної системою заданого функціонального руху, об'єкти робіт надають впливи на робочий орган. Прикладами таких впливів можуть служити сили різання для операцій механічної обробки, контактні сили і моменти сил при складанні, сила реакції струменя рідини при операції гідравлічного різання.

Зовнішні середовища ділять на два основні класи: детерміновані і недетерміновані. До детермінованих відносяться середовища, для яких параметри збурюючих впливів і характеристики об'єктів робіт можуть бути заздалегідь визначені з необхідною точністю для проектування мехатронних систем.

Деякі середовища є недетермінованими за своєю природою (наприклад, екстремальні середовища: підводні, підземні, тощо). Характеристики технологічних середовищ, як правило, можуть бути визначені за допомогою аналітико-експериментальних досліджень і методів комп'ютерного моделювання.

Наприклад, для визначення сил різання при механічній обробці проводяться експериментальні дослідження на спеціальних установках, параметри вібраційних впливів вимірюють на вібростендах з подальшим формуванням математичних і/або комп'ютерних моделей збурюючих впливів.

Однак для проведення таких досліджень, як правило, потрібні дуже складні і дорогі апаратура і вимірювальні технології. Так для попередньої оцінки силових впливів на робочий орган на операції роботизованого видалення об'єкта з виливків необхідно контролювати їх форму і розміри. У таких випадках доцільно застосовувати методи адаптивного управління, які дозволяють автоматично коректувати закон руху робочих органів мехатронних систем безпосередньо в ході виконання операції.

До складу традиційної машини входять наступні основні компоненти: механічний пристрій (кінцева ланка – робочий орган); блок приводів, що включає силові перетворювачі і виконавчі двигуни, устрій комп'ютерного управління, верхнім

рівнем для якого є людина-оператор, або інша ЕОМ, що входить в комп'ютерну мережу; сенсори, призначені для передачі в пристрій управління інформації про фактичний стан блоків машини і рух мехатронної системи.

Таким чином, наявність трьох обов'язкових частин – механічної (електромеханічної), електронної та комп'ютерної, пов'язаних енергетичними та інформаційними потоками, є первинною ознакою мехатронних систем.

Електромеханічна частина включає механічні ланки і передачі, робочий орган, електродвигуни, сенсори і додаткові електротехнічні елементи (гальма, муфти). Механічний пристрій призначений для перетворення рухів ланок в необхідний рух робочого органу. Електронна частина складається з мікроелектронних пристроїв, силових перетворювачів і електроніки вимірювальних ланцюгів.

Сенсори призначені для збору даних про фактичний стан зовнішнього середовища і об'єктів робіт, механічного пристрою і блоку приводів з подальшою первинною обробкою і передачею цієї інформації в пристрій комп'ютерного управління. До складу цього пристрою зазвичай входять комп'ютер верхнього рівня і контролери управління рухом.

Пристрій комп'ютерного управління виконує основні функції:

- управління процесом механічного руху мехатронного модуля або багатовимірної системи в реальному часі з обробкою сенсорної інформації;
- організація управління функціональними рухами мехатронної системи, яка передбачає координацію управління механічним рухом мехатронних системи і супутніми зовнішніми процесами;
- взаємодія з оператором через інтерфейс в режимах автономного програмування (off-line) і безпосередньо в процесі руху мехатронної системи (on-line);
- організація обміну даними з периферійними пристроями, сенсорами та іншими пристроями системи.

Завданням мехатронної системи є перетворення вхідної інформації, що надходить з верхнього рівня управління, в цілеспрямований механічний рух з керуванням на основі

принципу зворотного зв'язку.

Характерно, що електрична енергія (рідше гідравлічна або пневматична) використовується в сучасних системах як проміжна енергетична форма.

4.2 Суть мехатронного підходу в побудові системи

Особливість мехатронного підходу до проектування полягає в інтеграції в єдиний функціональний модуль двох або більше елементів можливо навіть різної фізичної природи. Відповідно на стадії проектування з традиційної структури машини виключається як мінімум один інтерфейс при збереженні фізичної сутності перетворення, виконуваного даним модулем.

В ідеальному для користувача варіанті мехатронний модуль, отримавши на вхід інформацію про мету управління, буде виконувати заданий функціональний рух з допустимою похибкою. Апаратне об'єднання елементів в єдині конструктивні модулі обов'язково супроводжують розробкою інтегрованого програмного забезпечення.

Програмні засоби забезпечують безпосередній перехід від задуму системи через її математичне моделювання до управління функціональним рухом в реальному часі.

Застосування мехатронного підходу при створенні машин з комп'ютерним управлінням визначає їх основні переваги в порівнянні з традиційними засобами автоматизації:

- відносно низьку вартість завдяки високому ступеню інтеграції, уніфікації та стандартизації елементів та інтерфейсів;
- високу точність складних рухів внаслідок застосування методів інтелектуального управління;
- високу надійність, довговічність і перешкодозахищеність;
- конструктивну компактність модулів (аж до мініатюризації в мікромашинах);
- поліпшені масогабаритні і динамічні характеристики машин внаслідок спрощення кінематичних ланцюгів;
- можливість об'єднання комплексних функціональних модулів в складні системи і комплекси під конкретні завдання замовника.

Основою методів конструювання мехатронних пристроїв є інтеграція складових частин, яка визначається на етапі проектування й реалізується при виробництві й експлуатації мехатронних модулів і систем. Інтеграція в межах мехатронного пристрою виконується за допомогою об'єднання компонентів і через інтеграцію обробки інформації. На рис. 4.2 представлені такі компоненти, які можуть бути об'єднані.



Рисунок 4.2 – Інтеграція складових частин мехатронного пристрою

На сучасному етапі розвитку мехатроніки актуальним є вирішення наступних інтеграційних завдань:

- функціональна, структурна й конструктивна інтеграція елементів;
- апаратно-програмна інтеграція виконавчих та інтелектуальних елементів у мехатронних модулях;
- розробка й впровадження гібридних технологій виробництва інтегрованих модулів і машин;

- створення інформаційних середовищ для підтримки рішень міждисциплінарних мехатронних завдань;
- побудова математичних і комп'ютерних моделей мехатронних модулів і систем, що відбивають їхню інтеграційну специфіку;
- застосування інтеграційних підходів в організаційно-економічній діяльності підприємств, що випускають мехатронні вироби;
- міждисциплінарна підготовка фахівців, здатних до системної інтеграції в області мехатроніки.

Розглянемо ієрархію рівнів інтеграції в мехатронних системах.

Перший рівень інтеграції утворюють мехатронні пристрої й складові їхні елементи.

Другий рівень включає інтегровані мехатронні модулі. Набір мехатронних пристроїв визначає тип мехатронного модуля (рис. 4.3).

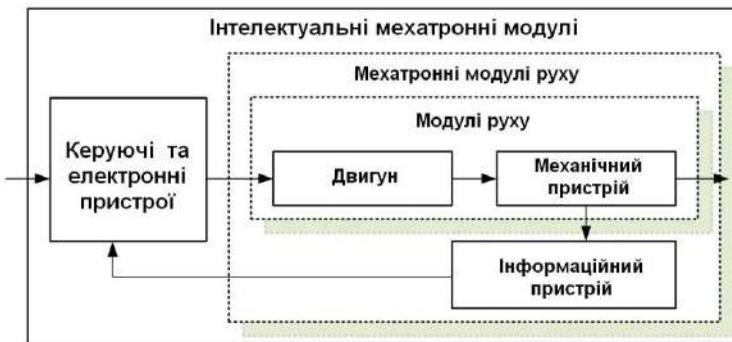


Рисунок 4.3 – Класифікація мехатронних модулів

У загальному випадку для інтелектуального модуля можна виділити дві основні групи пристроїв: у виконавчу групу входять механічні пристрої й двигуни, а група інтелектуальних пристроїв є сукупністю електронних, інформаційних і керуючих компонентів.

На третьому рівні інтеграції з мехатронних модулів komponуються багатокординатні мехатронні машини.

Вищий (четвертий) рівень припускає побудову на єдиній

інтеграційній платформі комплексів мехатронних машин для реконфігурованого виробництва.

У цілому проектування мехатронних систем є складною багатофакторною проблемою вибору й оптимізації прийнятих технічних і технологічних, організаційно-економічних та інформаційних рішень. Одним з важливих проектних завдань є інтеграція елементів у мехатронних модулях і машинах.

4.3 Місце інтерфейсу в структурі мехатронної системи

Вузким місцем мехатронних модулів і машин є інтерфейси між складовими пристроями й елементами.

Поняття «інтерфейс» є ключовим для пропонованого підходу до проектування мехатронних модулів і систем. У першу чергу відзначимо, що взаємодія основних пристроїв у мехатронній системі здійснюється не прямо, а через деякі сполучні блоки, позначені на малюнку стрілками.

З фізичної й технічної точки зору пристрої можуть різнитися, але мати однакове функціональне призначення. Їхня основна функція – це виконання енергетичного й інформаційного обміну між сполучними структурними елементами системи.

Місце інтерфейсу в структурі мехатронної системи задається зв'язками із вхідними й вихідними пристроями. Технічні характеристики інтерфейсу визначаються способом і процедурою передачі (при необхідності – перетворення, зберігання й синхронізації) впливів, сигналів та інформації, а також апаратно-програмною реалізацією використовуваних каналів зв'язку.

Численні інтерфейси в мехатронній машині зв'язують пристрої різної фізичної природи (механічні, електронні та інформаційні), що визначають їхню конструктивну й апаратно-програмну складність. При традиційному проектуванні інтерфейси являють собою самостійні пристрої й вузли.

Якщо блоки, як правило, випускаються спеціалізованими фірмами, то багато інтерфейсів розробляються й виготовляються самостійно користувачами. При проектуванні машин, з комп'ютерним керуванням по трьом координатах, побудованої на традиційних приводах, для зв'язку основних пристроїв необхідно з'єднати порядку 100 сигнальних і силових проводів.

Досвід експлуатації комплексних машин і систем показує, що до 70 % проблем їх функціонування пов'язані з надійністю зв'язків і з'єднань.

Суть мехатронного підходу полягає в об'єднанні елементів в інтегровані модулі вже на етапах проектування й виготовлення, звільняючи кінцевого споживача від проблем при експлуатації мехатронної машини.

Інтегровані мехатронні машини відрізняються підвищеною надійністю, стійкістю до несприятливих зовнішніх впливів, точністю виконання рухів, модульністю й компактністю конструкції. З погляду споживача – це цілісні вироби, зручні при настроюванні й програмуванні рухів. Інтегровані розв'язки економічно доцільні завдяки спрощенню сервісу машини й підвищенню її ремонтпридатності.

Системи із глибоким ступенем інтеграції елементів мають і зворотний бік – такі машини є менш гнучкими (мають обмежені можливості для модернізації й реконфігурації). Тому мехатронні модулі різного рівня інтеграції дозволяють виявляти раціональну структуру під конкретні завдання автоматизації.

Ідея інтеграції широко використовується в інженерній практиці при проектуванні пристроїв і систем вслякого призначення. Характерним прикладом реалізації цієї інженерної ідеї в побутовій техніці є MP3-Player – сучасний цифровий пристрій, у якому об'єднані аудіо-плеєр, радіоприймач, диктофон і магнітофон.

Очевидні переваги цього комбінованого пристрою – багатофункціональність, компактність, економічність, зручність (користувач звільнений від проблем з підключенням кабелів і рознімів). Але ця система негнучка, окремі її компоненти не можна замінити й модернізувати, усі вони можуть експлуатуватися й ремонтуватися тільки спільно.

Розв'язок «проблеми інтерфейсів» у мехатроніці можна трактувати як завдання мінімізації структурної складності мехатронної системи. Структурна складність комплексних систем у загальному випадку визначається кількістю елементів, що з'єднуються, числом і інтенсивністю їх взаємозв'язків.

В основі даного підходу лежать *три фундаментальні напрямки теорії системного проектування складних систем:*

- функціонально-структурний аналіз і еволюційний синтез технічних систем;
- методологія паралельного проектування систем;
- структурний синтез і оптимізація технічних систем по критеріям складності.

Ключові положення перерахованих напрямків.

Функціонально-структурний підхід базується на ідеї пріоритету функції системи над її структурною організацією. Завданням проектування є визначення такої структури, яка дозволить системі виконувати задані функціональні завдання з максимальною ефективністю за обраними критеріями якості. Основні положення цього методу розроблені стосовно до завдань проектування інформаційно-керуючих комплексів і обчислювальних пристроїв.

Метод еволюційного синтезу передбачає знаходження раціональних рішень шляхом багатоетапної процедури оптимізації. Пошук варіантів проводиться з бази перспективних структурних рішень, яка відкрита для редагування (удосконалювання) і має ієрархічну структуру. Такий метод проектування дозволяє підвищити якість проекту й знизити вимоги до досвіду розроблювача.

Методологічною основою для розробки мехатронних систем служать методи паралельного проектування. При традиційному проектуванні розробка механічної, електронної, інформаційної й комп'ютерної частин ведеться послідовно й незалежно одна від одної (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 – Традиційний алгоритм проектування

Завданнями системної інтеграції займається розроблювач системи керування. Його можливості обмежені, тому що основні

конструкторські рішення ухвалюються на попередніх етапах. Обрані двигуни й механічні пристрої відносяться до незмінної частини, склад і характеристики якої не коректуються при розробці електронної й керуючої частин.

Методологія паралельного проектування полягає в одночасному й взаємозалежному синтезі всіх пристроїв мехатронної системи (рис. 4.5). Одна з відомих процедур проектування інтегрованих мехатронних машин представлена на рис. 4.5.



Рисунок 4.5 – Алгоритм паралельного проектування мехатронних систем

Ця процедура (рис. 4.6) передбачає чотири взаємозалежні етапи:

- визначення функцій мехатронних модулів на основі аналізу вихідних вимог до мехатронної машини;
- функціонально-структурний аналіз із метою вибору й формування структури всіх мехатронних модулів системи;
- структурно-конструктивний аналіз, конструювання й формування моделі модулів системи;
- планування й оптимізація функціональних рухів, розробка програм руху машини та її модулів.

Вихідні вимоги до мехатронних машин що визначають основні проектні рішення, формуються шляхом аналізу виконуваних технологічних операцій. Рекомендації технологів,

як правило, обмежуються вибором номінальних режимів руху машини. При проектуванні мехатронної системи, як правило, задають вихідні дані, що включають інформацію про програмувальні рухи й комплекси обмежень.

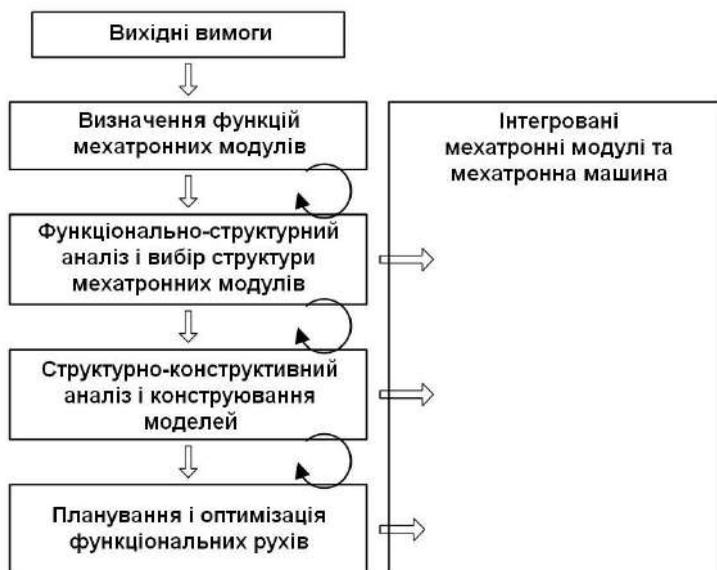


Рисунок 4.6 – Процедура проектування інтегрованих мехатронних машин

Вимоги до траєкторій руху містять опис програмувальних траєкторій робочого органа в просторі й припустиму погрішність їх відпрацювання. Траєкторії робочого органа визначаються геометрією контурів і поверхонь об'єктів робіт. Наприклад, формою лопатки газотурбінного двигуна. При цьому треба щоб погрішність відпрацювання траєкторії не перевищувала припустимі значення.

На наступному етапі проектування формується структура мехатронних модулів зі схемою енергетичних і інформаційних потоків. На третьому етапі проводиться конструювання модулів і мехатронної машини в цілому. Застосовуючи процедури функціонально-структурного й структурно-конструктивного аналізу оцінюються проектні варіанти для забезпечення високого

рівня інтеграції елементів. Завдання проектування, таким чином, полягає в знаходженні найкращої відповідності між заданою функцією й технічним виконанням.

Побудова функціональної, структурної й конструктивної моделей дозволяє застосовувати в мехатроніці методи й засоби автоматизованого аналізу, проектування й конструювання.

На заключному етапі даної процедури виконується планування й оптимізація функціональних рухів мехатронної машини. Результатом цього етапу є створення програм керування цими рухами.

Усі проектні етапи мають циклічний характер, що відзначене круговими стрілками на рис. 4.6. Наприклад, на другому етапі пряме завдання полягає у визначенні структури модулів по заданій функціональній моделі. Але можливе й зворотнє завдання, коли структурні модифікації приводять до зміни функціональних можливостей системи.

При проектуванні інтегрованих мехатронних модулів можуть використовуватися три методи інтеграції. Методи інтеграції можна класифікувати по характеру об'єднання складових пристроїв і способу вирішення «проблеми інтерфейсів» мехатронних систем. Кожний з методів може застосовуватися як самостійно, так і в комбінації з іншими методами, оскільки вони реалізуються на різних етапах проектування.

Перший метод полягає в побудові інтегрованих мехатронних машин шляхом виключення з їхньої структури проміжних перетворювачів і відповідних інтерфейсів. Це найбільш глибокий рівень інтеграції, виключення багатоступінчастого перетворення енергії й інформації в мехатронних системах створює фундаментальну основу для досягнення їх високої точності й швидкодії, компактності й надійності.

Другий метод припускає апаратно-конструктивне об'єднання пристроїв різної фізичної природи в єдиному корпусі багатофункціонального мехатронного модуля. У результаті такі модулі руху представляються єдиними виробами.

Третій метод інтеграції (найбільш сучасний) полягає в переносі функціонального навантаження від механічних вузлів до інтелектуальних (електронним, комп'ютерним і інформаційним).

Інтелектуальні пристрої, на відміну від механічних надають системі гнучкість, оскільки їх легко перепрограмувати під нове завдання. Даний метод дозволяє забезпечити постійне зниження собівартості пристроїв шляхом мінімізації механічної складності мехатронної системи, при розширенні функціональних можливостей.

4.4 Метод виключення проміжних перетворювачів та інтерфейсів

Застосування цього методу інтеграції забезпечує мінімізацію структурної складності мехатронних модулів шляхом виключення проміжних перетворювачів. При проектуванні з традиційної структури виключають проміжні блоки й відповідні інтерфейси, зберігаючи функціональне перетворення, виконуване мехатронним модулем у цілому, його вхідні й вихідні змінні.

Метод реалізується, як правило, на другому етапі проектування мехатронних систем при синтезі структури модулів. Структурні рішення для мехатронних систем виявляються за допомогою методики функціонально-структурного аналізу проектних рішень.

Відомі два основні підходи для побудови моделей складних технічних систем. Перший полягає у функціональному визначенні розглянутої системи через її поведінку стосовно зовнішніх об'єктів і зовнішнього середовища. Другий підхід заснований на структурному представленні системи й зв'язків між її елементами. Дослідження й оптимізація взаємозв'язків між функцією й структурою системи лежить в основі функціонально-структурного підходу, який застосовують до завдань мехатроніки. Для методично коректного проектування необхідно розглянути функціональну організацію мехатронної системи. Функціональне представлення з певними вхідними й вихідними змінними (модель типу «чорний ящик») показано на рис. 4.7.

Головне функціональне завдання мехатронної системи полягає в перетворенні інформації про програму руху в керований рух її кінцевої ланки. Програма руху задається комп'ютером або оператором. Керований рух здійснюється ланками механічного пристрою, причому кінцева ланка – робочий орган взаємодіє із зовнішнім середовищем.

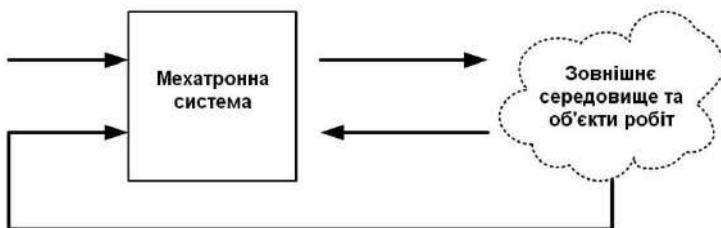


Рисунок 4.7 – Функціональне представлення мехатронної системи

У процесі руху на механічний пристрій діють зовнішні сили з боку об'єктів робіт (наприклад, сили різання при шліфувальних і фрезерних операціях, контактні сили й моменти при роботизованому складанні). Інформаційний зворотний зв'язок необхідний для оцінки в режимі реального часу поточного стану керуваної системи й зовнішнього середовища.

Виділена основна функція не обов'язково є єдиною для мехатронних систем. Деякі додаткові функції, такі як: реконфігурація системи, обмін сигналами й інформацією з іншим технологічним устаткуванням, самодіагностика, також повинні бути реалізовані для її ефективної й надійної роботи. Але саме виконання заданого функціонального руху є головною функцією, яка визначає поведінку мехатронної системи в зовнішньому середовищі.

Функціональне представлення мехатронного модуля у формі «чорного ящика» (рис. 4.7) містить два інформаційні входи (програма руху й інформаційний зворотний зв'язок), додатковий механічний вхід (сили реакції зовнішнього середовища) і один вихід – цілеспрямований механічний рух. Отже, у загальному випадку функціональна схема мехатронного модуля може бути побудована як інформаційно-механічний перетворювач.

Фізична реалізація мехатронного інформаційно-механічного перетворення здійснюється шляхом використання електричних джерел енергії. Відповідно функціональна модель для сучасних мехатронних систем представлена на рис. 4.8. Отримана функціональна модель у загальному випадку містить сім базових перетворювачів, зв'язаних енергетичними й інформаційними потоками.



Рисунок 4.8 – Функціональна модель мехатронного модуля

Електрична енергія є тільки проміжною енергетичною формою між вхідною інформацією й вихідним механічним рухом. Вибір фізичної природи проміжного перетворювача визначається можливостями технічної реалізації, вихідними вимогами й особливостями застосування. У мехатронних модулях широко застосовують:

- гідравлічні перетворювачі, які найбільш ефективні в машинах з високим навантаженням;
- пневматичні перетворювачі, які характеризуються простотою, надійністю й мають високу швидкодію;
- хімічні перетворювачі застосовуються в біоприводах, аналогічних за принципом дії мускулам живих організмів;
- теплові енергетичні процеси використовуються в мікромехатронних системах з використанням матеріалів з пам'яттю форми;
- комбіновані перетворювачі, засновані на енергетичних процесах різної фізичної природи.

У загальному випадку в мехатронному модулі (рис. 4.7) реалізується сім функціональних перетворень. Три моноенергетичні перетворювачі (інформаційний, електричний і механічний), у яких вхідні й вихідні змінні мають одну фізичну

природу. І чотири – дуальні (двоїсті), у них вхідні й вихідні змінні різних фізичних видів.

Структурна модель мехатронного модуля відбиває склад його елементів і зв'язки між ними. Структурні моделі можна графічно представити у вигляді блок-схем. У якості вихідної структури мехатронного модуля представлений традиційний електропривод з комп'ютерним керуванням (рис. 4.9).

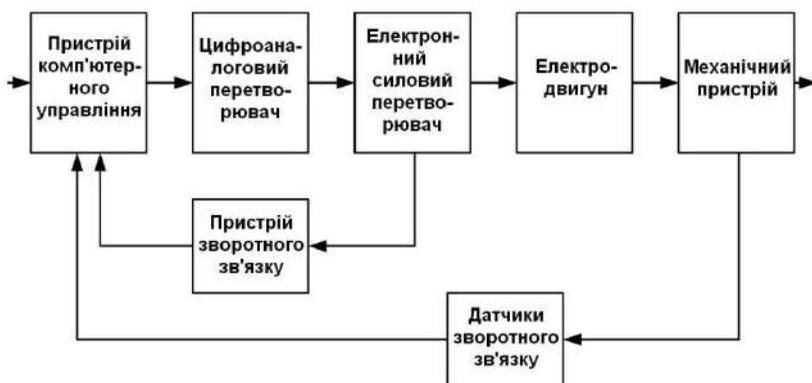


Рисунок 4.9 – Структура традиційного електроприводу з комп'ютерним керуванням

У представленій структурній схемі виділяють керуючу й електромеханічну підсистеми. Структурна модель електроприводу (рис. 4.9) містить у собі наступні елементи:

- пристрій комп'ютерного керування рухом (інформаційне перетворення: обробка цифрових сигналів, цифрове регулювання, розрахунки керуючих впливів, обмін даними з периферійними пристроями);
- цифроаналоговий перетворювач (функція інформаційно-електричного перетворення);
- силовий перетворювач, як правило, що складається з підсилювача потужності, широтно-імпульсного модулятора й трифазного інвертора (для асинхронних двигунів);
- керований електродвигун (електромеханічне перетворення);

- механічний пристрій (реалізує заданий керований рух, і робочий орган, взаємодіючий із зовнішніми об'єктами);
- пристрій зворотного зв'язку (подає інформацію про значення електричних напруг і струмів у силовому перетворювачі);
- датчики зворотного зв'язку (по положенню й швидкості руху ланок), що виконують функцію механіко-інформаційного перетворення;
- інтерфейсні пристрої.

Залежно від фізичної природи вхідних і вихідних змінних інтерфейсні блоки можуть бути як механічними, так і інтелектуальними перетворювачами. Прикладами механічних інтерфейсів є передачі й трансмісії, що зв'язують механічний пристрій із двигуном і датчиками зворотного зв'язку.

Інтелектуальні інтерфейси розташовані на входах і виходах пристрою комп'ютерного керування мехатронного модуля й призначені для його сполучення з наступними структурними елементами:

- комп'ютером верхнього рівня керування й іншими модулями мехатронної системи;
- цифроаналоговим перетворювачем і далі із силовим перетворювачем модуля;
- датчиками зворотного зв'язку, який у випадку застосування сенсорів з аналоговим вихідним сигналом будується на основі аналого-цифрового перетворювача;
- пристроями зворотного зв'язку для контролю рівня електричних струмів і напруг у силовому перетворювачі.

У традиційній приводній техніці інтерфейси є сепаратними пристроями. Тому їх проектування, виготовлення й налагодження стають проблемою, особливо при вимогах надійного з'єднання нестандартних і спеціалізованих елементів різних виробників.

Порівняння функціональної моделі мехатронного модуля (рис. 4.8) і структурної моделі традиційного електропривода (рис. 4.9), показує, що сумарна кількість основних і інтерфейсних блоків у структурі електропривода значно перевищує число виконуваних функціональних перетворень.

Ця обставина вказує на структурну надмірність традиційного

електроприводу. Наявність надлишкових блоків приводить до зниження надійності й точності технічної системи, погіршенню її масогабаритних і вартісних показників.

Завданням функціонально-структурного аналізу є пошук мехатронних структур, що реалізують задані функціональні перетворення за допомогою мінімальної кількості структурних блоків. Представлені рішення засновані на спільному аналізі функціональної моделі мехатронного модуля й структури традиційного електропривода (рис. 4.9).

Застосування вентильних високомоментних двигунів дозволяє замінити пари «двигун + механічний перетворювач руху» на один виконавчий елемент – двигун. Тут виключається механічний перетворювач із функціональної моделі (рис. 4.8) і, відповідно, механічний пристрій і інтерфейс із традиційної структури привода (рис. 4.9).

До основних переваг мехатронних модулів з вентильними високомоментними двигунами відносяться компактність і модульність конструкції, підвищені точнісні характеристики привода завдяки відсутності зазорів, кінематичних погіршень, пружних деформацій ланок, а також виключенню тертя в механічній трансмісії. У сучасних машинах використовуються такі двигуни – кутового й лінійного типів.

Для визначення положення полюсів на роторі двигуна в конструкцію такого двигуна вбудовують датчик положення (звичайно датчик Холу). У виконавчих приводах інформацію із цього датчика можна використовувати і як сигнал позиційного зворотного зв'язку. Отже, застосування їх із вбудованими датчиками дозволяє спростити не тільки виконавчу частину модуля, але й ланцюги зворотного зв'язку.

Побудова мехатронних модулів з так званим «безсенсорним» керуванням означає виключення датчиків зворотного зв'язку разом з відповідними інтерфейсами, які традиційно виконують функціональне механіко-інформаційне перетворення. При цьому інформація про швидкість і положення ротора двигуна визначається в пристрої комп'ютерного керування непрямыми методами.

Даний спосіб дозволяє суттєво знизити вартість виробу й підвищити надійність його роботи, радикально полегшити

механічну конструкцію модуля, поклавши завдання організації зворотного зв'язку на електронні й комп'ютерні пристрої.

Фактично в цьому випадку метод виключення проміжних перетворювачів сполучається з методом інтеграції, який спрямований на розширення функцій інтелектуальних пристроїв у мехатроніці.

Створення безсенсорних способів керування особливо актуально в цей час для мехатронних модулів на базі двигунів змінного струму, широке застосування яких стримувалося відсутністю ефективних систем керування.

Світовий ринок цих модулів оцінювався в 2003 р. в 12 млрд. дол. і прогнозується його подальший ріст (близько 12 % у рік). Тому що двигуни змінного струму мають високий показник ціна/якість у порівнянні з машинами постійного струму.

Тільки за останні десять років ціна одиниці потужності асинхронних машин знизилася приблизно в 10 раз, при цьому компактність конструкції покращилася в 15 раз.

Проблеми практичної реалізації методу безсенсорного керування пов'язані з побудовою адекватних комп'ютерних моделей для процесів, що протікають у двигунах. Характер цих процесів суттєво різниться для ділянок розгону й гальмування, руху з номінальною швидкістю й у зоні малих швидкостей, на холостому ході й при наявності зовнішніх моментів. Необхідною умовою працездатності такої системи є організація всіх обчислювальних процедур у реальному масштабі часу.

До складу сучасних мехатронних модулів входять інтелектуальні силові перетворювачі, що поєднують електричне й електроінформаційне перетворення. Особливість їх полягає в тому, що вони містять вбудовані блоки мікроелектроніки, призначені для виконання інтелектуальних функцій – керування рухом, захист в аварійних режимах і діагностику несправностей.

Інтелектуальні силові перетворювачі будують на базі напівпровідникових приладів нового покоління. Типовими представниками цих приладів є силові польові транзистори (MOSFET), біполярні транзистори з ізольованим затвором (IGBT), що й замкнуті тиристри з польовим керуванням (MCT).

Використання інтелектуальних силових перетворювачів у складі мехатронних модулів дозволяє суттєво знизити

масогабаритні показники, підвищити надійність при експлуатації, поліпшити техніко-економічні показники мехатронних систем.

Перспективні рішення на базі розглянутого методу інтеграції ґрунтуються на застосуванні гібридних виробничих технологій і нових конструкційних матеріалів, загальних для виконавчих і інтелектуальних компонентів.

4.5 Метод об'єднання елементів мехатронного модуля

Метою методу інтеграції є мінімізація конструктивної складності мехатронних модулів шляхом створення інтегрованих мехатронних модулів, що реалізують кілька функціональних і структурних перетворень. Ця мета може бути досягнута на третьому етапі проектування мехатронних систем – етапі структурно-конструктивного аналізу (рис. 4.9).

Структуру модуля, яка сформована на попередньому етапі, тепер вважаємо відомою. Завдання розробки полягає у виборі конструктивних рішень, реалізованих заданим набором елементів і зв'язків між ними. Розглянутий метод інтеграції полягає в апаратно-конструктивному об'єднанні обраних елементів та інтерфейсів у єдиному корпусі.

Технологічною базою для даного методу інтеграції є гібридне складання вузлів і елементів. Апаратне й конструктивне об'єднання елементів у єдині модулі повинно супроводжуватися розробкою інтегрованого програмного забезпечення.

Методичним підходом пошуку варіантів є розгляд інтерфейсних блоків (рис. 4.9) у якості локальних точок, де потенційно можлива інтеграція елементів. Для одержання високоінтегрованих модулів при проектуванні можна базуватися на кілька інтерфейсних точок одночасно. У корпусі модуля рухи об'єднані виконавчий двигун і механічний пристрій, причому вал двигуна є елементом механічного перетворювача руху. Модулі руху реалізують електромеханічне й механічне функціональні перетворення.

Прикладами модулів руху можуть служити: мотор-редуктор, мотор-колесо, шпіндель-мотор і мотор-барабан. До складу сучасних модулів руху крім двигунів і перетворювачів руху входять інші види механічних пристроїв – гальмові й люфто-вибираючі механізми, напрямні і перетворювачі руху.

Так, мехатронний модуль фірми Dunkermotoren на базі асинхронного двигуна містить додатково гальмовий пристрій. НТЦ «Редуктор» (Санкт-Петербург) робить мотор-редуктори із планетарно-фрикційними варіаторами швидкості. До модулів руху можна віднести також високооборотні шпіндель-мотори, які отримані об'єднанням ротора електродвигуна й вала установки.

Мехатронні модулі руху є багатофункціональними виробами, які виконують електромеханічне, механічне й механіко-інформаційне перетворення. У єдиному корпусі модуля перебувають: двигун, механічний пристрій і датчик зворотного зв'язку. Точками структурно-конструктивної інтеграції цих елементів є інтерфейси.

Головною особливістю сучасного етапу розвитку мехатроніки є створення принципово нового покоління модулів – інтелектуальних мехатронних модулів. У порівнянні з мехатронними модулями руху, в їхню конструкцію додатково вбудовуються комп'ютерні пристрої й силові електронні перетворювачі, що надає цим модулям інтелектуальні властивості та є їхньою головною відмінною ознакою.

Інтелектуальні мехатронні модулі реалізують усі сім функціональних перетворень, представлених на рис. 4.8. У цих модулях структурно-конструктивна інтеграція здійснюється по всім інтерфейсним точкам.

У загальному випадку *інтелектуальний мехатронний модуль складається з наступних основних елементів:*

- електро- (або, наприклад, гідро-) двигун;
- механічний пристрій;
- датчики й пристрої зворотного зв'язку;
- пристрій комп'ютерного керування;
- електронний силовий перетворювач;
- інтерфейс для зв'язку з комп'ютером верхнього рівня керування, а також внутрішні інтерфейси.
- Основними перевагами застосування інтелектуальних мехатронних модулів є:
- здатність виконувати складні рухи самостійно, без звертання до верхнього рівня керування, що підвищує автономність модулів, гнучкість і живучість мехатронних систем;

- спрощення комунікацій між модулями й центральним пристроєм керування (наприклад, з використанням бездротових комунікацій), що дозволяє домагатися підвищеної перешкодозахищеності мехатронної системи та її здатності до швидкої реконфігурації;
- підвищення надійності й безпеки мехатронних систем завдяки комп'ютерній діагностиці несправностей і автоматичному захисту в аварійних і позаштатних режимах роботи;
- створення розподілених систем керування із застосуванням комп'ютерних і мережних технологій;
- використання сучасних методів керування (програмних, адаптивних, інтелектуальних, оптимальних) безпосередньо на виконавчому рівні для підвищення якості процесів керування в конкретних реалізаціях;
- інтелектуалізація силових перетворювачів для захисту модуля в аварійних режимах і діагностики несправностей;
- інтелектуалізація сенсорів для мехатронних модулів дозволяє добитися більш високої точності виміру, програмним шляхом забезпечивши в самому сенсорному модулі фільтрацію шумів, калібрування, лінеаризацію характеристик вхід/вихід, компенсацію перехресних зв'язків, гістерезису й дрейфу нуля.

Вбудовування інтелектуальних пристроїв безпосередньо в мехатронний модуль породжує й ряд обмежень. До них слід віднести складність модернізації, збільшення масогабаритних показників модуля руху в порівнянні із приводами, де керуючі електронні пристрої розташовані окремо.

На рис. 4.10 представлений інтелектуальний мехатронний модуль, на прикладі модуля «Simodrive Posmo SI» фірми Siemens. Відмітною рисою цього модуля є те, що силовий перетворювач і керуючий пристрій конструктивно об'єднані із двигуном.

За допомогою штекерної техніки здійснюється підключення цифрових входів і діагностичних сигналів, а також електричний зв'язок між двигуном і силовим перетворювачем. Зв'язок із центральним пристроєм керування та іншими модулями іде через стандартну шину «PROFIBUS».



Рисунок 4.10 – Мехатронний модуль фірми Siemens

4.6 Метод переносу функціонального навантаження на інтелектуальні пристрої

На етапі проектування здійснюється розподіл функцій між структурними елементами мехатронної системи. Сучасна тенденція при побудові машин полягає в переносі функціонального навантаження від механічних вузлів до інтелектуальних (електронним, комп'ютерним і інформаційним) компонентам, відносно дешевим і легко перепрограмованим під нове завдання.

Використання даного методу інтеграції дозволяє мінімізувати механічну складність мехатронної системи. На рис. 4.11 наведено графік, що показує динаміку цього процесу у виробничих машинах за останні десятиліття.

Аналіз показує, що ще на початку 90-х років ХХ століття переважна більшість функцій машини (більш 70 %) реалізовувалася механічним шляхом. Однак сучасні механічні пристрої все частіше стають вузьким місцем у складних машинах. Це пояснюється їхньою недостатньою функціональною гнучкістю, наявністю тертя, люфтів і пружностей у передачах, відносно високою вартістю виготовлення. Тому в наступні десятиліття відбувалося поступове витиснення механічних вузлів спочатку електронними, а потім і комп'ютерними блоками.

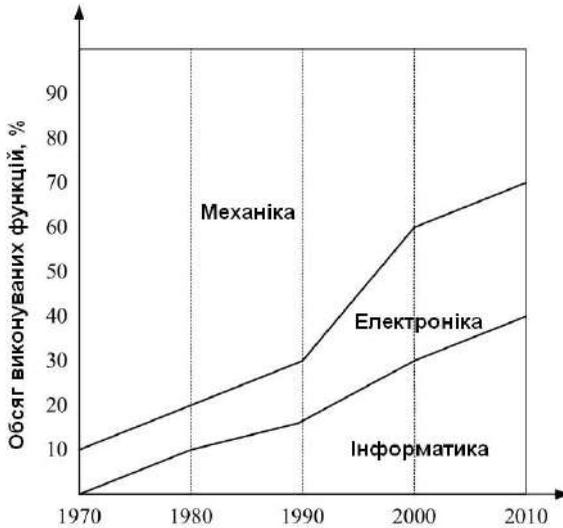


Рисунок 4.11 – Розподіл функціонального навантаження у виробничих машинах

У мехатронних системах спрощуються механічні рішення, але використовуються складні інтелектуальні системи керування. У цей час обсяг функцій (а відповідно й вартість) розподілена між механічними, електронними й комп'ютерними компонентами практично рівномірно. При цьому частка комп'ютерної частини зростає, і є всі підстави прогнозувати збереження цієї тенденції на майбутнє.

Мехатронний підхід припускає не доповнення, а заміщення функцій, традиційно виконуваних механічними елементами системи, електронними й комп'ютерними блоками. Якщо та сама функція може бути реалізована пристроями різної фізичної природи, то при розробці системи необхідно враховувати технологічні й організаційно-економічні критерії.

Метод електронної редукації, являє приклад, коли керований виконавчий механізм відслідковує рух задаючого пристрою (рис. 4.12). Цей метод є аналогом способу копіювального керування, широко використовуваного для дистанційно керованих роботів і маніпуляторів.

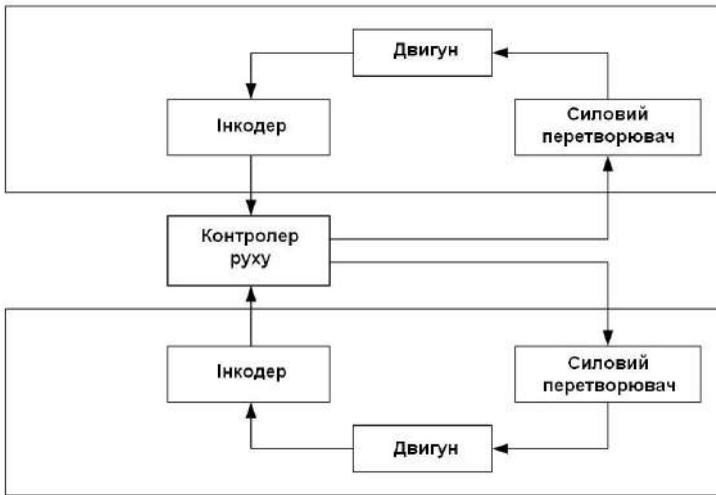


Рисунок 4.12 – Система керування рухом на основі методу електронної редукції

Для кількісного аналізу й оцінки мехатронних модулів і систем вводять спеціальний захід – показник розподілу функціонального навантаження. Цей показник дозволяє оцінити обсяг функціонального навантаження, яке несе кожний зі структурних елементів або блоків у досліджуваній системі. Чим вище значення даного показника, тем більший вплив виявляє даний елемент на якість системи в цілому, тобто її вартість, надійність та інші комплексні характеристики.

Показник розподілу функціонального навантаження визначає важливість структурної одиниці (елемента, групи елементів, підсистеми) на основі наявності й числа її зв'язків з іншими елементами системи. Чим вище ранг даного вузла, тем більше функціональне навантаження він несе, і тим істотніше впливає на якість системи в цілому.

Цей показник розраховується по алгоритму обчислення рангів структурних елементів і аналізу розподілу функціонального навантаження усередині системи, розробленому на основі теорії графів і матриць. У роботах Ю.В. Подураєва методика розрахунків показника розподіленого функціонального навантаження розглядалася на прикладі трьох варіантів системи

керування робота «PUMA». Структура досліджуваної системи містила в собі як керуючу підсистему, так і електромеханічну частину (електродвигун і фотоімпульсні датчики зворотного зв'язку), незмінної при виконанні аналізу.

З результатів досліджень впливає що розглянутий показник для структури третього рівня інтеграції (з підсистемою керування на основі контролерів руху) майже в 3 рази вищий, ніж у випадку традиційного варіанта.

Таким чином, оцінка функціонально-структурної інтеграції й показник розподілу функціонального навантаження – у сукупності дозволяють на етапі проектування оцінювати рівень структурних рішень. Ці показники не враховують усіх особливостей мехатронної системи, але дають можливість аналізувати загальносистемні структурні характеристики.

Питання для самоперевірки

1. Які основні принципи покладені в основу побудови мехатронних систем?
2. Які пристрої можуть бути складовою частиною машин з комп'ютерним управлінням рухом?
3. Які функції виконує пристрій комп'ютерного управління в мехатронній системі або модулі?
4. Поясніть суть мехатронного підходу до проектування.
5. Які основні переваги мехатронного підходу при створенні машин з комп'ютерним управлінням в порівнянні з традиційними засобами автоматизації?
6. Перелічіть інтеграційні завдання, розв'язувані при конструюванні мехатронних пристроїв.
7. Опишіть особливості ієрархії рівнів інтеграції у мехатронних системах.
8. Дайте визначення поняття «інтерфейс».
9. Перелічіть основні інтерфейси, які присутні в узагальненій структурі мехатронних машин.
10. Приведіть основні напрямки теорії системного проектування мехатронних систем.
11. Опишіть суть функціонально-структурного підходу.
12. Опишіть суть структурного синтезу й оптимізації технічних систем за критеріями складності.

13. В чому полягає суть методології паралельного проектування?
14. Опишіть узагальнену процедуру проектування інтегрованих мехатронних модулів і машин.
15. Перелічіть й коротко опишіть методи інтеграції при проектуванні інтегрованих мехатронних модулів.
16. Які основні особливості має метод виключення проміжних перетворювачів та інтерфейсів?
17. Опишіть проміжні перетворювачі, застосовувані в мехатронних модулях.
18. Наведіть структурну модель мехатронного модуля.
19. Суть методу об'єднання елементів мехатронного модуля.
20. З яких елементів у загальному випадку складається інтелектуальний мехатронний модуль?
21. Які основні переваги створює застосування інтелектуальних мехатронних модулів?
22. Які основні особливості має метод переносу функціонального навантаження на інтелектуальні пристрої?
23. Яка сутність показника розподілу функціонального навантаження у виробничих машинах і тенденції його зміни в процесі розвитку мехатроніки?

5 МЕХАТРОННІ МОДУЛІ

5.1 Систематика мехатронних модулів

Метою будь-якої класифікації є систематизація інформації про деякий об'єкт у вигляді впорядкованої структури для виконання завдань об'єктивного (забезпечення повноти інформації) і порівняльного (забезпечення інформацією для порівняння) представлення об'єкта.

Використання ієрархічної структури дозволяє спростити пошук інформації про об'єкт. Це дозволяє створити ефективні інформаційно-пошукові системи на базі комп'ютерних баз даних.

Класифікація характеризується об'єктом, ознаками класифікації та їх послідовністю. Згідно із класифікацією створюються образи об'єкта. Тому для того самого об'єкта залежно від обраних ознак та їх послідовності, можна побудувати різні варіанти ієрархічного дерева, тобто кілька різних класифікацій. Вибір кращої класифікації здійснюється виходячи з вимог розв'язку певного завдання.

На рис. 5.1 представлена, одна з відомих, класифікацій мехатронних модулів по конструктивних ознаках. У даній класифікації виділено 3 ознаки мехатронних модулів, що досить повно характеризують конструкцію (рівень інтеграції, число ступенів рухливості й вид рухів), а також комплекс ознак (технічні характеристики), що визначає функціональні можливості модулів.

Класифікація мехатронних модулів передбачає за рівнем інтеграції: модулі руху, мехатронні модулі руху й інтелектуальні мехатронні модулі. По числу ступенів рухливості – 1, 2, 3, $i > 3$.

По виду рухів – поступальні й обертальні. Комплекс ознак технічних характеристик включає: силу й крутний момент що розвивається; величину, швидкодію й точність робочого ходу (лінійного й кутового).

5.2 Перетворювачі руху

Передача руху від двигуна до вихідної ланки мехатронного модуля може бути забезпечена за допомогою різних перетворювачів руху (передач), структура й конструктивні

особливості яких залежать від типу двигуна, виду переміщення вихідної ланки та їх розташування (компоунвання).

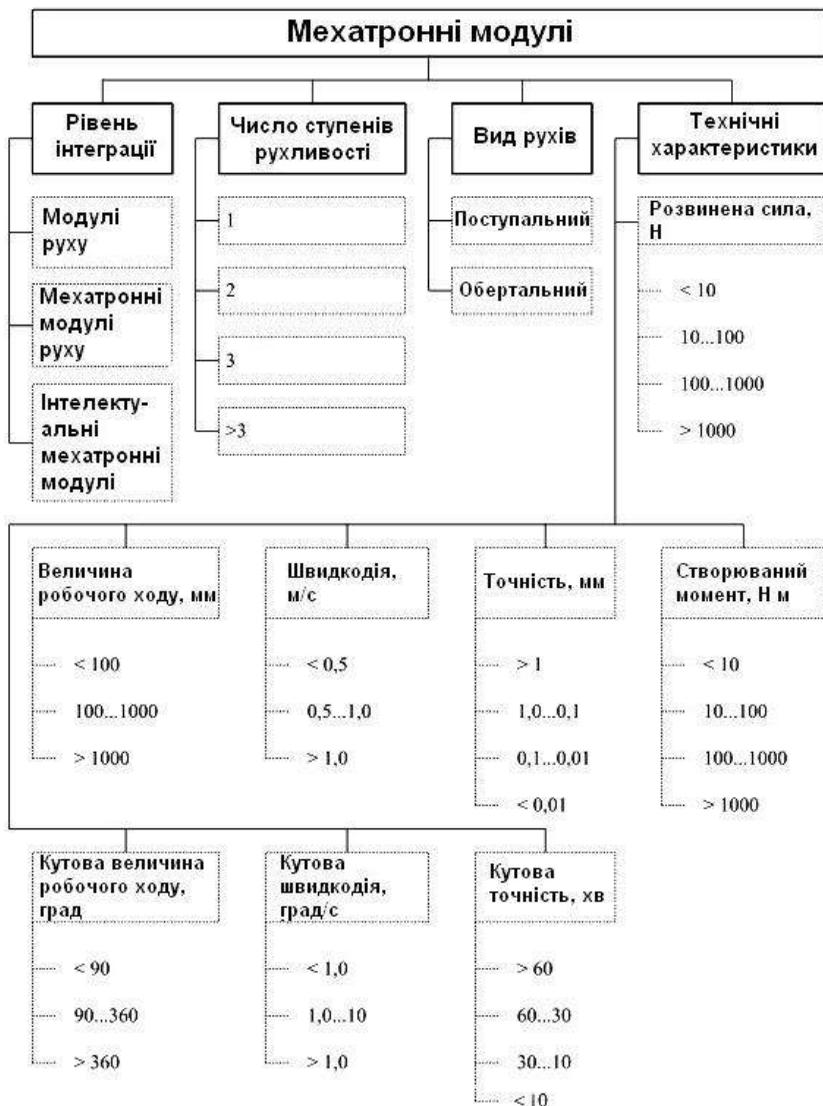


Рисунок 5.1 – Класифікація мехатронних модулів

Перетворювачі руху призначено для перетворення одного виду руху в інший, узгодження швидкостей і обертаючих моментів двигуна й вихідної ланки. Для перетворення руху використовують гвинтові, рейкові, ланцюгові, тросові передачі, а також передачі зубчастим ременем, мальтійські механізми та ін.

Тому що електродвигуни в основному високооборотні, а робочі швидкості вихідних ланок мехатронних модулів порівняно невеликі, то для узгодження швидкостей використовують понижувальні передачі (редуктори): зубчасті циліндричні й конічні, черв'ячні, планетарні й хвильові.

Тип перетворювача руху вибирають, виходячи зі складності його конструкції, коефіцієнта корисної дії, люфту в передачі, габаритних розмірів і маси, властивостей самогальмування, твердості, зручності компонування, технологічності, довговічності, вартості й т.п. Вибір перетворювача руху впливає на характеристики мехатронного модуля.

Рейкові передачі. Рейкова передача призначена для перетворення обертового руху шестірні в поступальний рух рейки й, навпаки, поступального руху рейки в обертовий рух шестірні. Основними ланками рейкової передачі є шестірня й зубчата рейка (рис. 5.2).

Планетарні передачі. Планетарними називають передачі, що містять зубчасті колеса, осі яких рухливі, як показано на рис. 5.3. Рух цих коліс подібний до руху планет і тому їх називають планетарними або сателітами.

Найпростіша планетарна передача складається із центрального сонячного зубчастого колеса із зовнішніми зубами, центрального корончатого зубчастого колеса із внутрішніми зубами, сателітів із зовнішніми зубами, які входять у зачеплення одночасно із сонячним і корончатим колесами, і водила, на якому розташовані осі сателітів (рис. 5.3).

У сучасних мехатронних модулях планетарні зубчасті передачі знаходять широке застосування завдяки їхній компактності й малої маси, реалізації великих передатних відношень, малого навантаження на опори, великого коефіцієнта корисної дії, високої кінематичної точності, твердості й надійності.



Рисунок 5.2 – Рейкова передача

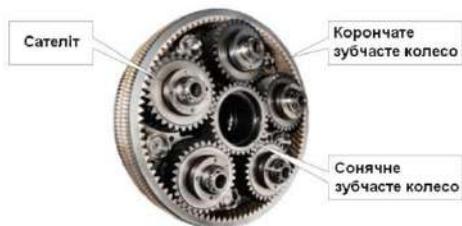


Рисунок 5.3 – Планетарна передача

При проектуванні планетарних зубчастих передач слід враховувати їх недоліки: конструктивну складність, підвищені вимоги до точності виготовлення й монтажу, зниження коефіцієнта корисної дії при збільшенні передатного відношення.

Залежно від порядку накладення зв'язків на ланки планетарної передачі можуть використовуватися як для підсумовування декількох обертових рухів, так і для їхнього поділу між декількома веденими валами.

5.3 Хвильові зубчасті передачі

Робота хвильової передачі заснована на принципі перетворення параметрів руху внаслідок хвильового деформування одної з ланок механізму. Цей принцип вперше був запропонований в 1944 році А.І. Москвітіним для фрикційної передачі з електромагнітним генератором хвиль, а потім в 1969 р. В. Массером для зубчастої передачі з механічному генераторі хвиль.

З погляду кінематики вона являє собою планетарну передачу, у якої одне з коліс виконане у вигляді гнучкого вінця. Хвильова зубчата передача складається із гнучкого зубчастого колеса із зовнішніми зубами, твердого зубчастого колеса із внутрішніми зубами й генератором хвиль (рис. 5.4). Недоліками хвильових передач є: обмеження по частотах обертання ведучого валу генератора хвиль при великих діаметрах коліс (щоб уникнути високої окружної швидкості генератора), дрібні модулі зубів

коліс, менша крутильна твердість гнучкого колеса порівняно зі звичайною зубчастою передачею.

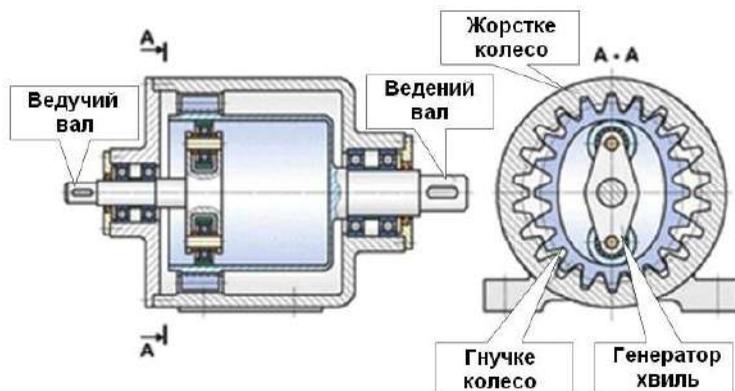


Рисунок 5.4 – Хвильова зубчаста передача

Хвильові передачі можуть працювати в якості редуктора (ККД 80...90 %) і мультиплікатора (ККД 60...70 %). У першому випадку провідною ланкою є генератор хвиль, у другому – вал гнучкого або твердого колеса.

Передача гвинт-гайка кочення (шарико-гвинтова передача) призначена для перетворення обертального в поступальний рух, і навпаки, поступального в обертаний рух (при забезпеченні відсутності самогальмування).

Вона характеризується високим ККД (0,9...0,95), малим коефіцієнтом тертя-кочення, невеликим зношуванням, високою точністю ходу, довговічністю, можливістю повного усунення зазорів, високою чутливістю до мікропереміщень, можливістю роботи без змащення. Недоліками передачі є: досить складна технологія виготовлення, висока вартість, знижене демпфірування й необхідність захисту від пилу.

У гвинтових кулькових парах між робочими гвинтовими поверхнями гвинта й гайки (іноді вкладиша) поміщені сталеві кульки, як показано на рис. 5.5.

Для забезпечення безперервної циркуляції кульок кінці робочої частини гвинтової поверхні з'єднані зворотним каналом. Зворотний канал може являти собою отвір, просвердлене в тілі

гайки й з'єднуючий початок першого витка з кінцем останнього витка різьблення (рис. 5.5), вигнуту трубку, кінці якої вставлені в отвори гайки, просвердлені по дотичній до поверхні різьблення, спеціальний вкладиш, який направляє кульки із западин одного витка через виступ різьблення гвинта в западину сусіднього витка.

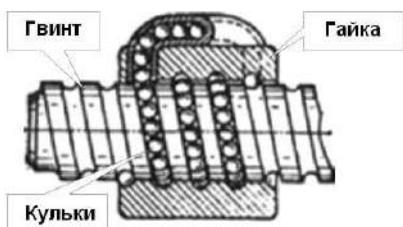


Рисунок 5.5 – Гвинтова кулькова пара



Рисунок 5.6 – Передача гвинт-гайка ковзання

Вкладиш вставляють у вікно гайки. У більшості випадків у гайці застосовують 3, 4 або 6 вікон, розташованих відповідно під кутом 120, 90 або 60 градусів.

Передача гвинт-гайка ковзання служить для перетворення обертального в поступальний рух, а іноді й для перетворення поступального в обертний рух (при використанні багатозаходної гвинтової пари). Передача складається із гвинта й гайки, як показано на рис. 5.6.

Передача має простоту конструкції й виготовлення, компактність при високій навантажувальній здатності, високу надійність, плавність й безшумність, можливість забезпечення переміщень із великою точністю й виграшем у силі.

Недоліками передачі є: обов'язкова наявність зазорів (люфтів), підвищене зношування різьблення й низький ККД через великий коефіцієнт тертя-ковзання.

Диференціальна й інтегральна передачі гвинт-гайка.

Диференціальна передача гвинт-гайка складається із гвинта, що має дві різьбові ділянки з різьбленнями, що мають різний хід ($P_{h1} \neq P_{h2}$) і одного напрямку гвинтової лінії (правого або лівого),

гайки та стійки, як показано на рис. 5.7 ($P_{h1} < P_{h2}$).

При обертанні гвинта гайка робить поступальний результуючий рух: переносний рух разом із гвинтом відносно стійки й рух щодо гвинта (рис. 5.7). Напрямок і величина переміщень гайки залежить від співвідношення ходів різьби P_{h1} , P_{h2} (в однозаходної різьби крок P і хід P_h однакові, а в багатозаходної $P_h = n \cdot P$, де n – число заходів різьби).

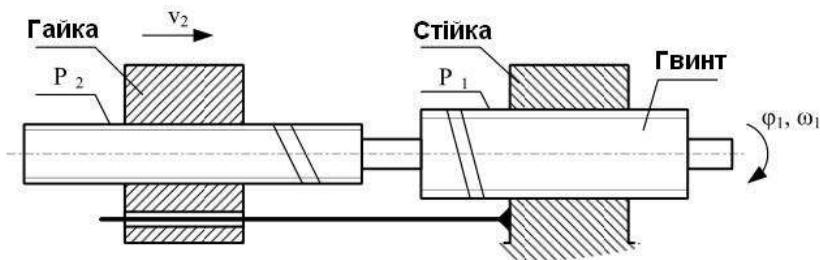


Рисунок 5.7 – Диференціальна передача гвинт-гайка

Диференціальна передача гвинт-гайка дозволяє одержати: при перетворенні обертового руху в поступальний – малі лінійні переміщення й швидкості гайки при великих кутових переміщеннях і швидкостях гвинта, при перетворенні поступального руху в обертальний – великі кутові переміщення й швидкості гвинта при малих переміщеннях і швидкостях гайки (має місце обмеження по куту самогальмування).

Крок P_{h2} різьблення гвинта й гайки та інші параметри передачі визначають аналогічно гвинтовим передачам ковзання й кочення. Інтегральна передача гвинт-гайка влаштована аналогічно диференціальній передачі, але має протилежні напрямки гвинтової лінії на двох різьбових ділянках гвинта.

Передачі із гнучким зв'язком призначені для передачі обертового руху й перетворення поступального в обертовий рух, і навпаки, обертального в поступальний рух.

До передач із гнучким зв'язком відносять ремінну, ланцюгову, тросову передачі й передачу сталеву стрічкою. Деякі приклади передач обертового руху представлені на рис. 5.8.

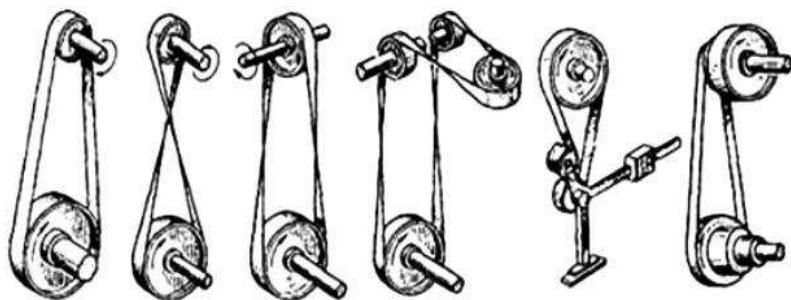


Рисунок 5.8 – Передачі із гнучким зв'язком

5.4 Напрявні

Напрявними називають конструктивні елементи пристрою, що забезпечують заданий відносний рух елементів механізму. У мехатронних модулях в основному застосовують напрямні для поступального руху. Їх використовують при необхідності здійснення переміщення однієї деталі щодо іншої із заданою точністю.

До напрямних висувають наступні вимоги: забезпечення плавності переміщення, малі сили тертя, великий ресурс роботи, зносостійкість, здатність до переміщення в широкому температурному діапазоні. Залежно від виду тертя розрізняють напрямні з тертям ковзання й кочення. Вибір типу напрямних і конструктивних схем залежить від їхнього призначення, а також від вимог до точності напрямку переміщення, допустимого навантаження, значень сил тертя, вартості виготовлення.

Напрявні з тертям ковзання й кочення по характеру (виду) сприйманого навантаження розрізняють відкриті й закриті. До відкритих відносять напрямні, у яких для замикання силового ланцюга використовують додаткові притискні зусилля (маса рухливої деталі, зусилля плоскої або спіральної пружини, мембрани). Закритими є напрямні, у яких рухливий вузол має один ступінь волі (замикання силового ланцюга забезпечується конструктивним виконанням).

Напрявні залежно від форми виконання робочих поверхонь ділять на циліндричні, призматичні (наприклад, типу «ласточкин хвіст»), Н-, П-, Т-образні.

Напрявні з тертям ковзання. По конструктивному виконанню напрямні з тертям ковзання простіше напрямних з тертям кочення й менші їх по габаритних розмірах. При відповідному виборі матеріалів вони зазнають впливу від незначних температурних перепадів.

Основний їхній недолік – відносно великі втрати на тертя. Приклад, конструктивної схеми призматичної відкритої напрямної з тертям ковзання наведений на рис. 5.9, б, де по циліндричних напрямних, закріплених на нерухливій основі, переміщається каретка із призматичними робочими поверхнями.

Схеми напрямних закритого типу наведені на рис. 5.9, а, в, г. На схемі (рис. 5.9, а) по циліндричних напрямних переміщається повзун із циліндричною й плоскою робочими поверхнями; по прямокутним призматичним напрямним (рис. 5.9, в) переміщається П-образна призма; по призматичних напрямних типу «ласточкин хвіст» з кутом профілю $\alpha = 45 \div 60^\circ$ переміщається призма.

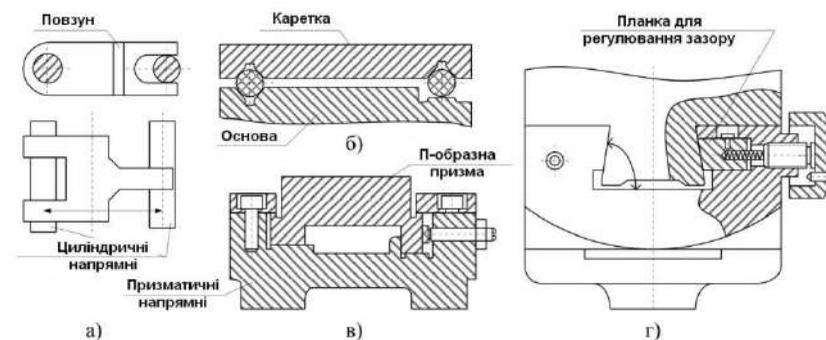


Рисунок 5.9 – Напрявні з тертям ковзання

Для призматичних напрямних типу «ласточкин хвіст» пред'являються підвищені вимоги до точності складання й регулювання для запобігання перекосу деталей і можливого заїдання напрямних. У призматичних напрямних застосовують призми трапецеїдального, прямокутного або трикутного перетину. Регулювання зазорів у напрямних роблять за допомогою планок або «сухариків» (рис. 5.9, г).

Напрявні з тертям кочення. Напрявні з тертям кочення

застосовують у тих випадках, коли потрібно забезпечити легкість і плавність руху. У порівнянні з напрямними тертя ковзання ці напрямні мають менші втрати на тертя, більш довговічні, малочутливі до перепадів температури.

Напрявні з тертям кочення за формою тіл кочення ділять на кулькові й роликіві (циліндричні й конічні). Для втримання кульок або роликів на певній відстані одне від одного застосовують сепаратори, виготовлені з латуні або текстоліту. Можливе застосування стандартних кулькових або роликівих підшипників.

Істотними факторами, що виявляють негативний вплив на роботу напрямних з тертям кочення, є зазори між сполученими з тілами кочення поверхнями каретки й основи. У відкритих напрямних зазори вибираються автоматично (саморегулюються), а в закритих потрібно їхнє регулювання.

На рис. 5.10 наведена конструктивна схема закритої кулькової напрямної із сепараторами, у якій регулювання зазору між кульками й кареткою проводять за допомогою переміщення однієї або двох планок з наступним їхнім закріпленням гвинтами. У роликівих напрямних (рис. 5.10, 5.11) основною деталлю є ролик, який перекочується по циліндричній або пласкій поверхні. У якості роликів іноді використовують стандартні радіальні підшипники. Для забезпечення контакту всіх роликів з напрямними повинно бути передбачене спеціальне регулювання, один з варіантів якої показаний на рис. 5.11,б. Ролик встановлюється на осі з ексцентриситетом.

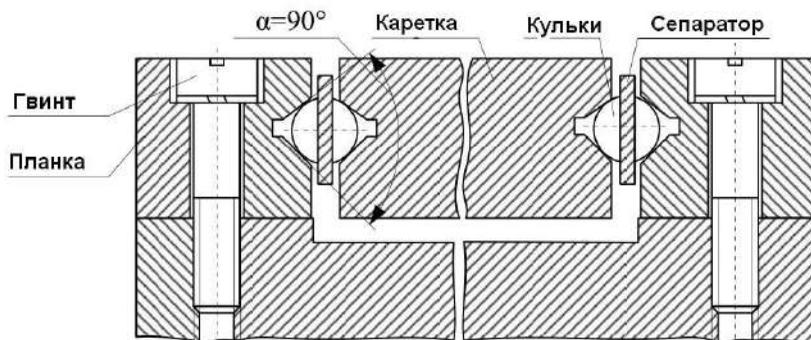


Рисунок 5.10 – Напрявні з тертям кочення закритого типу

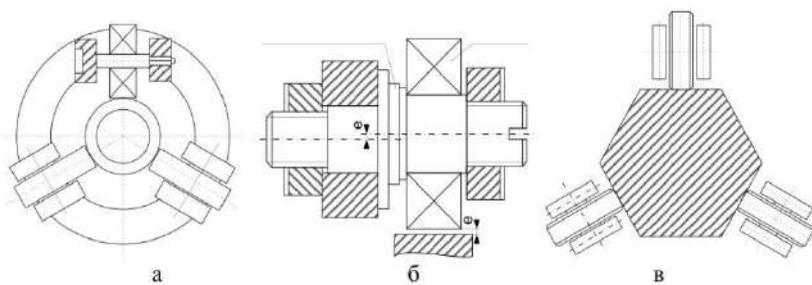


Рисунок 5.11 – Напрявні з тертям кочення відкритого типу

Для напрямних, представлених на рис. 5.11, в – ролики з ексцентричними осями необов'язкові, тому що кожний ролик закріплений в окремій державці. Регулювання здійснюють переміщенням державок.

На рис. 5.12 а, б, в, наведені конструктивні схеми роликових напрямних закритого типу. Останнім часом застосовують більш економічні кулькові напрямні лінійного переміщення, які зменшують габаритні розміри конструкції, масу й загальну вартість мехатронного модуля.

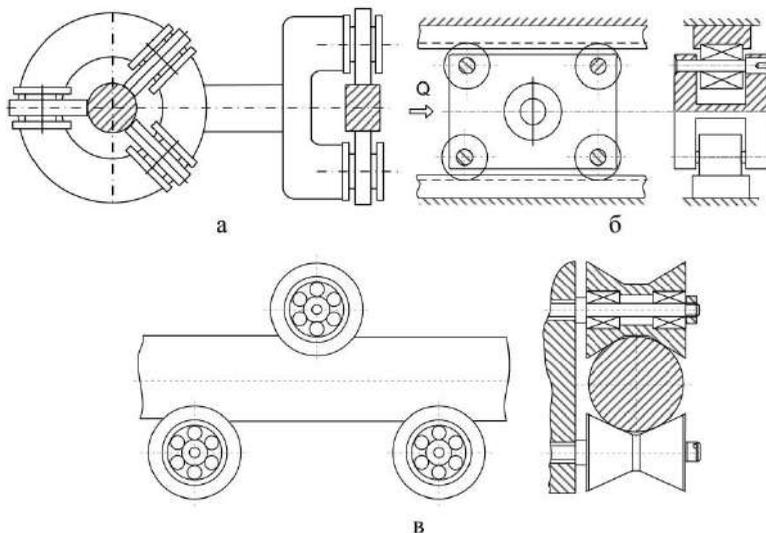


Рисунок 5.12 – Роликові напрямні закритого типу

5.5 Гальмові пристрої й механізми для вибірки люфтів

Гальмовими називають пристрої, якими постачають мехатронні модулі, для зменшення швидкості рухливої ланки, зупинки й фіксації її в певній позиції. Залежно від природи сил гальмування гальмові пристрої ділять на механічні, гідравлічні, пневматичні, електричні й комбіновані. Механічні гальмові пристрої – пружинні, гумові, еластомерні, інерційні та фрикційні.

Гідравлічні – пристрої дросельного регулювання.

Пневматичні – можуть бути напірними й вакуумними.

До електричних відносять електромагнітні, індукційні й гістерезисні, а також порошкові гальмові пристрої із сухим і рідким наповнювачем фрикційного й дросельного типів.

Комбіновані – містять у собі два або більше типів пристроїв (наприклад, пневмогідравлічні або пружинно-пневматичні).

До всіх типів гальмових пристроїв пред'являють наступні основні вимоги: забезпечення заданого закону гальмування; безударний останок і фіксація рухливих елементів у точках позиціонування; висока надійність і довговічність конструкції; висока швидкодія; простота й компактність конструкції; стабільність характеристик при зміні умов роботи; мала чутливість до зміни температури, вологості, маси що гальмується, швидкості; можливість налаштування й доступність регулювання; зручність огляду й обслуговування; низька вартість, мінімальні габарити й маса.

5.6 Механічні гальмові пристрої

У механічних гальмових пристроях силу опору руху рухливої ланки створюють деформацією робочих елементів (пружині) або тертям (фрикційні). У якості пружних елементів найбільш часто застосовують циліндричні пружини стиску, рідше – розтягання. Поширення одержали гумові й гумометалеві пружні елементи різної конфігурації, а також пінополіуретанові пружні елементи.

Основними робочими елементами фрикційних гальмових пристроїв є пари тертя обертового або поступального типів.

Прикладами найпростіших гальмових пристроїв можуть служити одна або кілька циліндричних пружин, які

встановлюють безпосередньо між функціональною ланкою й упорами паралельно осі його руху або оформляють у вигляді окремого конструктивного вузла.

Циліндричні пружини допускають більші деформації, зберігають свої характеристики під впливом тривалого статичного навантаження, витримують значні температурні впливи, мають мале демпфірування, але можуть виникати труднощі при регулюванні (настроюванні) силової характеристики, тому що початкове підтискання приводить до виникнення стрибка навантаження на маси що гальмуються.

Гумові гальмові пристрої складаються з послідовно встановлених гумових втулок, розділених металевими шайбами. По конструкції гумові втулки можуть працювати на стиск або зрушення. Втулки, що працюють на стиск, мають невелику піддатливість, але значною навантажувальною здатністю, втулки зрушення – навпаки великою піддатливістю й порівняно малою навантажувальною здатністю.

Гумометалеві гальмові пристрої мають високу надійність, просту конструкцію й технологію виготовлення, зручність обслуговування й велику енергоємність. Є недоліки – чутливість до зміни температури й вологості, наявність великої сили віддачі.

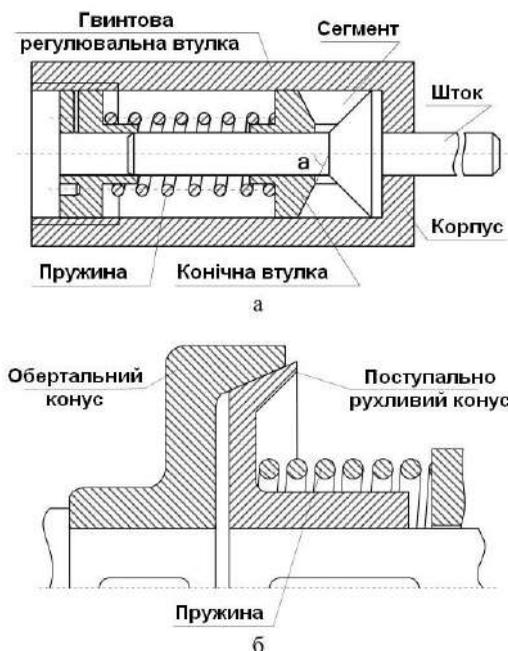
Фрикційні гальмові пристрої використовують для гальмування, позиціонування й утримання (фіксації) функціональних ланок. Вони дозволяють перетворити більшу частину кінетичної енергії в теплову, яка розсіюється в навколишньому середовищі.

По конструкції фрикційні гальмові пристрої діляться на автономні поступального й обертового руху, вбудовані в пневмота гідродвигун, керовані й некеровані, нормально замкнені й розімкнуті, одно- та двосторонньої дії.

Як правило, одна з ланок фрикційної пари кріпиться до корпусу або іншому вузлу, щодо якого здійснюється гальмування. На рис. 5.13 представлені приклади фрикційних гальмових пристроїв.

При переміщенні штока з конічним буртиком сегменти сковзають по внутрішній циліндричній поверхні корпусу притискаючись до неї пружиною, розташованою між конічною й гвинтовою регульовальною втулкою (рис. 5.13, а). Фрикційне

конусне гальмо (рис. 5.13, б) складається з обертового конуса з робочою ланкою конуса, що поступально рухається, і пружини.



а – пружно-фрикційний із циліндричною пружиною та розрізною конічною втулкою; б – фрикційне конусне гальмо

Рисунок 5.13 – Фрикційні гальмові пристрої

Фрикційні гальмові пристрої характеризуються нестабільністю сили тертя та її залежністю від якості й стану поверхонь ковзання (шорсткості, наявності масла, тощо) і швидкості переміщення рухливих елементів, що приводить до зміни умов роботи у порівнянні з номінальними, й відхиленню реального закону гальмування від заданого. Тому пристрої цього типу доцільно використовувати для гальмування механізмів з досить стабільними режимами роботи.

Для створення гальмових пристроїв із програмованими точками останову й регулювання швидкості руху вихідної ланки використовують вбудовані фрикційні пристрої.

5.7 Електромагнітні гальмові пристрої

У керованих електромагнітних гальмових пристроях джерелом створення гальмуючого моменту або зусилля є електромагнітне поле, що впливає безпосередньо на елементи що рухаються (електромагнітні, індукційні та гістерезисні гальма), або побічно через порошкоподібний сухий або рідкий наповнювач (електромагнітні порошкові або з феромагнітними рідинами гальма).

За принципом дії та устрою, електромагнітні гальмові пристрої індукційного й гістерезисного типів аналогічні електричним двигунам, у яких ротор або статор нерухливий. Взаємодія між рухливою і нерухливою частинами гальма здійснюється електромагнітним полем, створюваним обмоткою керування (збудження).

За принципом дії електромагнітні гальмові пристрої з порошковим і рідким наповнювачами аналогічні відповідно до фрикційних гальм і гідравлічним гальмовим пристроям дросельного регулювання. Дія електромагнітного порошкового гальма фрикційного типу заснована на властивості сухого або змоченого в маслі феромагнітного порошку збільшувати в магнітному полі свою в'язкість і міцно прилипати до поверхні магнітної системи.

5.8 Механізми для вибірки люфтів

Точність роботи мехатронних модулів визначається допусками на розміри деталей що сполучаються, і величиною мертвого ходу (холостого, тобто не переданого на відому ланку руху провідної ланки механізму, що виникає в момент реверсування руху).

Мертвий хід призводить до помилок переміщення, тому його прагнуть зменшити або усунути. Цього можна досягти за допомогою спеціальних регулювальних пристроїв-механізмів вибірки мертвого ходу (люфтоусуваючих механізмів).

У мехатронних модулях можуть використовувати механізми вибірки бічного зазору між зубами коліс зубчастих передач двох типів: автономні й з додатковим кінематичним ланцюгом (замкненим енергетичним потоком). В автономних механізмах

вибірки мертвого ходу використовують метод роздвоєння веденого колеса, де в якості силових елементів використовують пружини.

Крім вибірки мертвого ходу за допомогою пружин використовують тверду фіксацію, що полягає в попередньому відносному зсуві половинок роздвоєного зубчастого колеса та їхньому твердому закріпленні за допомогою гвинтів, болтів, клемових з'єднань, тощо. На рис. 5.14 представлена черв'ячна передача з роздвоєним черв'ячним колесом. Зуби половинок і черв'ячного колеса притискають поворотом ексцентрика до різних сторін зубів черв'яка і їх жорстко фіксують, затягуючи болт.

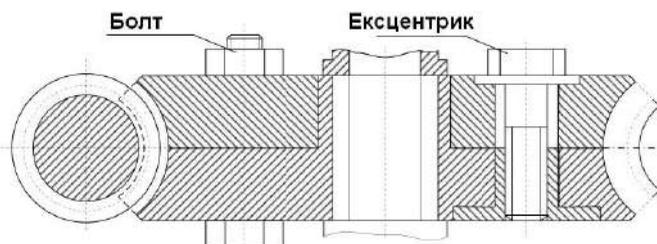


Рисунок 5.14 – Черв'ячна передача з роздвоєним черв'ячним колесом

Основними недоліками вибірки мертвого ходу методом роздвоєння колеса є: наявність великої кількості додаткових елементів (пружин, зубчастих коліс, гвинтів, тощо), збільшені втрати в зачепленні, обумовлені тим, що тертя виникає з двох сторін зуба.

Зазначені недоліки частково можуть бути усунуті в механізмах вибірки мертвого ходу з додатковим кінематичним ланцюгом (безлюфтові механізми із замкненим енергетичним потоком). Вони дозволяють здійснити повний вибір люфтів у всіх складових ланках шляхом примусового розвороту в протилежні сторони двох соосно розташованих елементів однієї з передач. Як правило, для утвору замкненого контуру до вихідного кінематичного ланцюга додають так само паралельно розташований кінематичний ланцюг.

Розрізняють два способи вибірки бічного зазору у гвинтових

механізмах – радіальний і осьовий зсув гайки щодо гвинта. При радіальному способі здійснюють стиск гайки в радіальному напрямку, а при осьовому – відносний зсув розрізної гайки в осьовому напрямку.

Радіальний спосіб усунення мертвого ходу доцільно застосовувати для метричних різьб, тобто для різьби із великим кутом профілю, а осьовий спосіб – для різьб із малим або нульовим кутом профілю (трапецеїдальні, упорні, прямокутні).

Пристрої, що забезпечують вибірку радіальної складової бічного зазору, являють собою розрізні гайки. У цих пристроях дві половинки гайки стягаються гвинтами й обжимають гвинт. При цьому створюється нерівномірне обтиснення гвинта, що викликає нерівномірне зношування різьблення гайки.

На рис. 5.15 а, в, г, наведені механізми для вибірки радіальної складової бічного зазору, які необхідно періодично регулювати, а в пристрої рис. 5.15 б, що має пружини, це не потрібно.

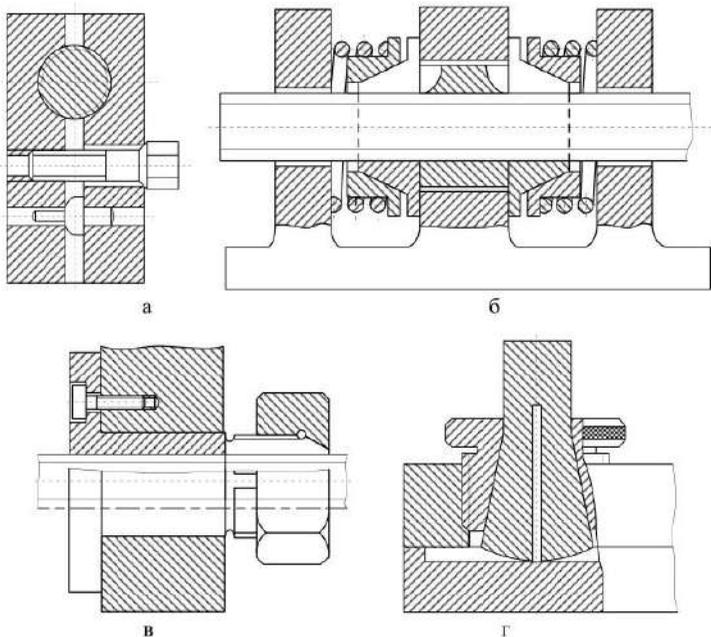


Рисунок 5.15 – Механізми вибірки радіальної складової бічного зазору гвинтової передачі

Пристрої з розрізною гайкою й цанговим затискачем забезпечують більш рівномірне обтиснення гвинта, що сприяє вирівнюванню зношування гвинтової пари. Вибірку осьової складової бічного зазору здійснюють шляхом відносного осьового зсуву частин складеної гайки.

На рис. 5.16 а показана схема люфтоусуваючого механізму на основі гайки із твердим регулюванням осьового зазору (загвинчуванням). Люфт вибирається одночасним контактом профілів різьблень гвинта й профілів обох гайок, як показано на рис. 5.16 в.

Люфтоусуваючий механізм на основі гайки із пружним регулюванням осьового зазору показаний на рис. 5.16, б. Вибірку осьової складової бічного зазору здійснює пружина, віджимаючи регулюючу гайку від базової гайки, забезпечуючи двопрофільний контакт різьблення гвинта з різьбленнями гайок, як показано на рис. 5.16 г.

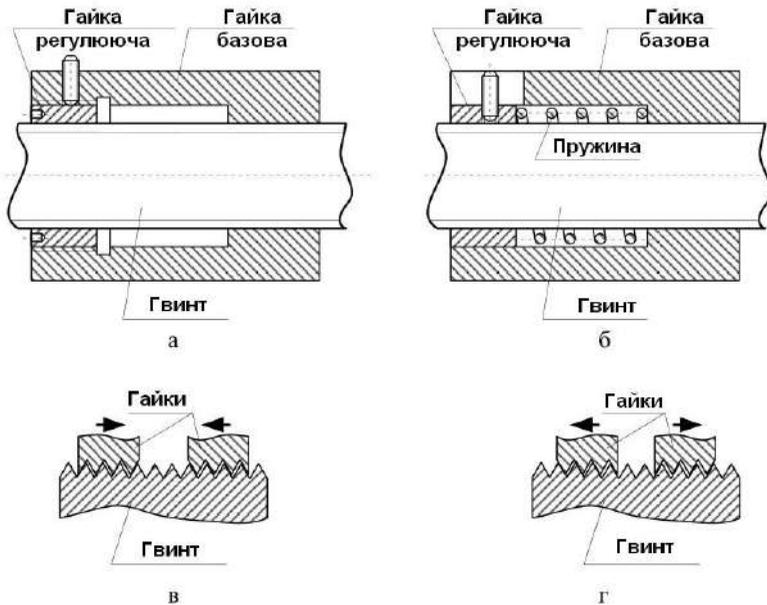


Рисунок 5.16 – Схема люфтоусуваючого механізму на основі гайки із твердим і пружним регулюванням осьового зазору

Механізми вибірки мертвого ходу на основі гайок із твердим і пружним регулюванням осьової складової бічного зазору забезпечують високу точність відносного переміщення гвинта й гайки при їхньому русі як у прямому, так і у зворотному напрямках.

5.9 Електродвигуни мехатронних модулів

Застосування в мехатронних системах електродвигунів постійного струму обумовлене такими їхніми перевагами як: лінійність характеристик, широкий діапазон регулювання швидкості, достатня перевантажувальна здатність, рівномірне обертання на низьких швидкостях.

У свою чергу двигуни постійного струму з постійними магнітами, які за принципом дії не відрізняються від двигунів з електромагнітним збудженням, дозволяють одержати більш високий ККД, менші масогабаритні показники (в області малих потужностей), мають полегшені умови охолодження. Постійний магніт виготовляють із магнітотвердих матеріалів, які мають широку петлю гістерезису.

Для одержання постійних магнітів використовують різні сплави на основі заліза, алюмінію, цинку, кобальту й деяких рідкісноземельних металів. Найкращі властивості має сплав самарію з кобальтом і празеодимом. Регулювання швидкості двигуна здійснюється шляхом зміни якірної напруги. Семейство механічних характеристик для різних значень якірної напруги наведено на рис. 5.17.

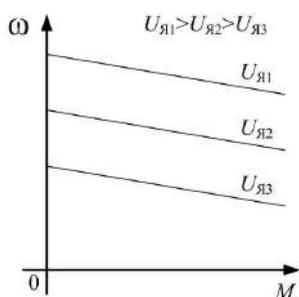


Рисунок 5.17 – Механічні характеристики

Наявність у двигунах постійного струму колекторно-щіткового вузла, що знижує надійність систем та збільшує витрати на обслуговування, призвели до розробки вентильних двигунів. Вентильний двигун (ВД) містить електронний комутатор (К), який за своїми функціями заміняє колектор і щітки двигуна. На статорі вентильного двигуна розташовується трифазна обмотка змінного струму, що живиться через комутатор.

Ротор забезпечує зрушення двигуна за допомогою постійного магніту (потужності до 30 кВт). Комутатор за принципом дії являє собою керований інвертор (КІ), який може живитися безпосередньо від джерела постійного струму (акумуляторна батарея, мережа постійного струму) або від керованого випрямляча (КВ), якщо двигун підключений до мережі змінного струму. У другому випадку комутатор являє собою перетворювач частоти з ланкою постійного струму.

Керування комутатором проводиться за допомогою датчика положення ротора (ДП), установлюваного на валу двигуна. ДП формує сигнали, що надходять на систему керування (СК). У результаті чого за допомогою статорних обмоток створюється обертове магнітне поле, яке взаємодіє з полем ротора й у результаті виникає синхронізуючий момент. Функціональна схема включення ВД показана на рис. 5.18.

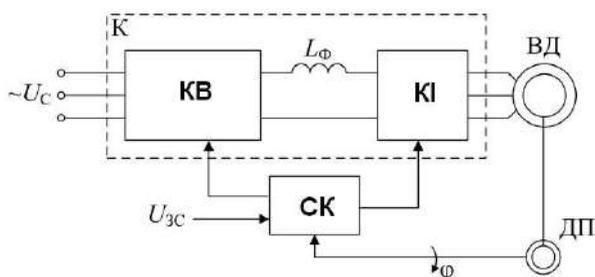


Рисунок 5.18 – Функціональна схема вентильного двигуна

Регулювання швидкості вентильного двигуна проводиться шляхом зміни задаючого сигналу U_{zc} , внаслідок чого змінюється вихідна напруга і частота струму КІ. Вентильні двигуни в порівнянні з колекторними мають ряд переваг: більш висока надійність і термін служби; поліпшення теплової характеристики через відсутність теплоелементів у роторі; більш висока швидкодія за рахунок меншого моменту інерції ротора, більша перевантажувальна здатність. Така електрична машина з п-фазною обмоткою на статорі й ротором у вигляді постійного магніту являє собою по суті синхронний двигун.

Відомо, що різновидом синхронного двигуна є кроковий двигун, у якого живлення статорних обмоток здійснюється шляхом подачі імпульсів напруги від джерела постійного струму за допомогою електронного комутатора. При цьому ротор, виконаний у вигляді постійного магніту, під впливом кожного імпульсу робить певне кутове переміщення, називане кроком.

Крокові двигуни застосовується в тому випадку, якщо керуючий сигнал заданий у вигляді послідовності імпульсів. Це має місце в приводах роботів, маніпуляторів, верстатів ЧПУ. Найпростіша двофазна модель, що пояснює принцип роботи крокового двигуна показана на рис. 5.19.

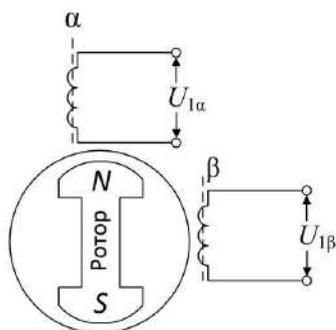


Рисунок 5.19 – Двофазна модель крокового двигуна

Якщо обмотка статора по осі α підключена до джерела з напругою $U_{1\alpha}$ і в ній протікає постійний струм, а обмотка по осі β відключена, то створюване обмоткою α поле статора буде взаємодіяти з полем ротора, внаслідок чого виникає синхронізуючий момент.

Ротор двигуна фіксується в положенні, обумовленому вектором поля статора з точністю, що залежить від навантаження й твердості електромагнітної кутової характеристики.

Перемикання обмоток викликає поворот ротора на один крок, якому відповідає кут $\Delta\varphi_{ш}$. Середня кутова швидкість ротора визначається як:

$$\omega_{ср} = \frac{\Delta\varphi_{ш}}{\Delta t_{ш}} = f\Delta\varphi_{ш}, \quad (5.1)$$

де f – частота проходження імпульсів напруги, що надходять на статорні обмотки.

У мехатронних модулях лінійного руху, які застосовуються в багатоцільових верстатах, комплексах лазерного різання, деяких видах транспорту, використовується лінійний двигун. Основними

перевагами лінійного двигуна в порівнянні із традиційним двигуном і передачею типу зубчастої рейки або гвинтової передачі, є в кілька разів більша швидкість руху й прискорення, висока точність руху, сталість характеристик.

Лінійні двигуни можуть бути асинхронними, синхронними й постійного струму. Найбільше поширення одержали асинхронні двигуни.

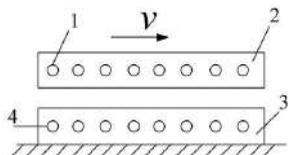


Рисунок 5.20 – До принципу дії ЛАД

Уяву про устрій лінійного асинхронного двигуна (ЛАД) можна одержати, якщо подумки розрізати уздовж по утворюючій статор і ротор асинхронного двигуна обертового руху й розгорнути їх у площині, як показано на рис. 5.20.

Принцип дії ЛАД аналогічний обертовому асинхронному двигуну. При підключенні обмотки 4 статора 3 до мережі змінного струму вона створює магнітне поле, що рухається, з лінійною швидкістю

$$v = 2\tau f_1, \quad (5.2)$$

де f_1 – частота живлячої напруги;
 τ – довжина полюсного розподілу статора.

Магнітне поле що лінійно переміщається, наводить в обмотці 1 ротора 2 ЕРС, під дією якої в ній протікає струм. Взаємодія цього струму з магнітним полем створює на роторі (його називають вторинним елементом) тягове зусилля, під дією якого й буде відбуватися рух. ЛАД можуть працювати й у зверненому режимі, коли вторинний елемент нерухливий, а переміщається статор. Такі ЛАД звичайно застосовуються на транспортних засобах, коли в якості вторинного елемента використовується рейка або спеціальна смуга, статор розташований на рухливому засобі. Для ЛАД, як і звичайного обертового асинхронного двигуна, регулювання швидкості здійснюється шляхом зміни частоти живлячої напруги, а гальмування – динамічне або противмиканням.

Питання для самоперевірки

1. Перелічіть класифікаційні ознаки мехатронних модулів по конструктивних ознаках.
2. Наведіть приклади перетворювачів руху.
3. Яка область застосування рейкових передач?
4. Назвіть особливості застосування планетарних передач.
5. Які є особливості застосування хвильових зубчастих передач?
6. Наведіть порівняльні відмінності передач гвинт-гайка кочення від гвинт-гайка ковзання.
7. Які області застосування диференціальних і інтегральних передач гвинт-гайка?
8. Яке призначення напрямних, та які є їхні різновиди?
9. Який принцип дії гальмових пристроїв?
10. Які є механізми для вибірки люфтів у мехатронних пристроях?
11. Перелічіть переваги двигуна постійного струму з постійними магнітами.
12. З яких матеріалів виготовляються постійні магніти для двигунів?
13. Поясніть призначення електронного комутатора у вентильному двигуні.
14. Назвіть спосіб регулювання швидкості крокового двигуна.
15. У яких механізмах застосовуються лінійний двигун?
16. Як забезпечується регулювання вихідної напруги в схемі Ларіонова?
17. Чому дорівнює середнє значення напруги на навантаженні в широтно-імпульсному перетворювачі?
18. Які функції виконує інвертор у ПЧ із ланкою постійного струму?
19. Запишіть закон регулювання напруги при зміні частоти ПЧ виходячи з незмінної перевантажувальної здатності двигуна.
20. Укажіть переваги ПЧ із безпосереднім зв'язком з живильною мережею.
21. Назвіть переваги мікропроцесорних систем керування.
22. Дайте класифікацію мікропроцесорів відповідно до використовуваного набору команд.
23. Дайте класифікацію мікропроцесорів відповідно до методів

роботи з пам'яттю.

24. Приведіть структуру мікропроцесорного ядра.
25. Що являють собою мікроконтролери?
26. Що являють собою цифрові сигнальні процесори?
27. Класифікація мехатронних модулів.
28. Сформулюйте визначення «модуль руху», «мехатронний модуль руху» і відмінності між ними.
29. Поясніть принцип дії модулів руху.
30. Склад мехатронного модуля руху.
31. Структурна й функціональна схема мехатронних модулів руху.
32. Що таке контролери руху?
33. Що таке інтелектуальні силові модулі?
34. Що таке інтелектуальні сенсори?
35. Що таке інтелектуальні мехатронні модулі?
36. Визначення, структура й класифікація мікромехатронних пристроїв.
37. Області застосування мікромехатронних пристроїв.
38. Принципи функціонування розповсюджених мікромехатронних пристроїв.
39. Оцінка рівня інтеграції мікромехатронних систем.

6 МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ

6.1 Датчики положення

Усі датчики, у тому числі й датчики положення, перетворюють контрольовану величину у вихідний електричний сигнал для подальшого виміру й перетворення. Перетворення, як правило, містить у собі: нормування вихідного сигналу, усунення перешкод, компенсацію коливань нульової точки.

По виду вихідної величини розрізняють параметричні й генераторні датчики. У параметричних датчиках контрольована величина перетворюється в зміни таких параметрів як активний опір, індуктивність або ємність.

Параметричні датчики вимагають джерела живлення для виявлення зміни контрольованої величини. У генераторних датчиках зміни контрольованої величини перетворюються в зміни ЕРС на виході датчика, а це не вимагає окремого джерела живлення.

Одним з найпоширеніших методів виміру переміщення й кута повороту, який використовується в різних системах автоматики, є потенціометричний метод. Зміна опору досягається зміною рухливої щітки. Деякі варіанти схем потенціометричних датчиків наведені на рис. 6.1. Регульований резистор R_p виконується із дроту, шару напівпровідника, металевої плівки.

Характеристики датчиків залежно від того як вони включені реостатом або потенціометром виражаються залежностями $R(x)$ або $U(x)$, де R – вихідний опір, U – вихідна напруга, X – зміна щітки.

Потенціометри залежно від типу руху можуть бути лінійними або кутовими. При індуктивному методі виміру переміщення використовується явище зміни магнітного поля індуктивності L у результаті руху феромагнітного сердечника.

Найчастіше індуктивні датчики включаються в мостові диференціальні схеми, які забезпечують велика відносну зміну вихідного сигналу й розширення лінійної зони характеристики, ніж інші схеми включення. Схеми включення індуктивних датчиків приводяться на рис. 6.2.

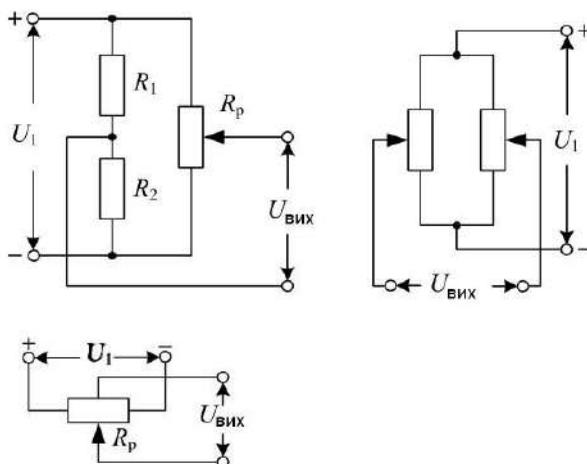


Рисунок 6.1 – Схеми потенціометричних датчиків

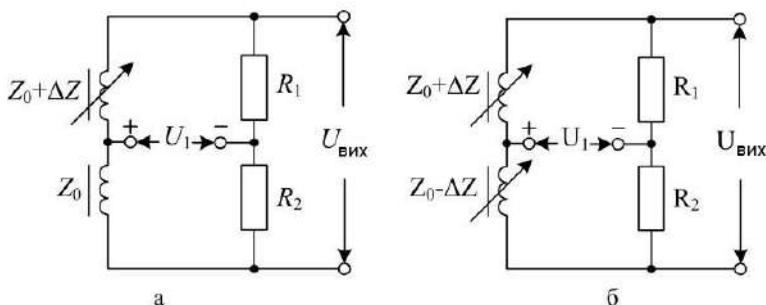


Рисунок 6.2 – Мостова схема з одним регульованим плечем (а), диференціальна схема (б)

У цих схемах Z_0 – повний опір обмотки датчика в рівноважному стані мосту, ΔZ – зміна опору обмотки датчика в результаті переміщення X , U_1 – напруга джерела живлення.

Вихідна напруга $U_{вих}$ залежно від переміщення визначається характеристикою, показаною на рис. 6.3. Індуктивні датчики можуть бути використані для виміру кутових і лінійних (до 2 м) переміщень. Погрішність цих датчиків обумовлена в основному температурою й звичайно становить 0,1-1,5 %.

Зазначені датчики досить різноманітні по конструкції й

широко використовуються в приводах металорізальних верстатів, а також у приводах регулювальних органів ядерних реакторів.

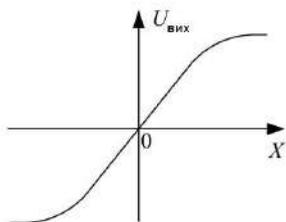


Рисунок 6.3 – Вихідна характеристика

У ємнісних датчиках зміна переміщення перетворюється в зміну ємності конденсатора.

При цьому може змінитися площа пластин, відстань між ними, може відбуватися заміна одного діелектрика іншим, як показано на рис. 6.4.

Для випрямлення характеристики $C(x)$ застосовуються диференціальні датчики (рис. 6.4 в, г).

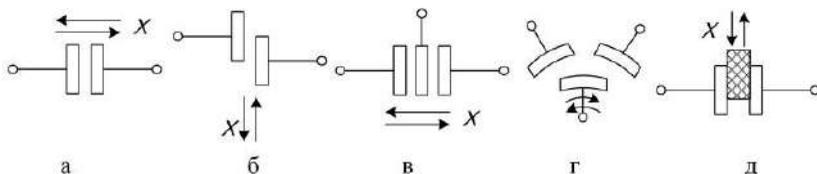


Рисунок 6.4 – Ємнісні датчики

У різних системах автоматизації сигнал зворотного зв'язку по куту або керуючий сигнал у задаючих пристроях формується за допомогою сельсина або обертового трансформатора.

Сельсин являє собою мікромашину змінного струму, який має дві обмотки: однофазну (обмотку збудження) і трифазну (обмотку синхронізації). Схема включення сельсина показана на рис. 6.5.

Кут повороту ротора Θ перетворюється в амплітуду або фазу вихідного переміщення. Залежно від використання тієї або іншої координати розрізняють амплітудний режим, коли $\varphi = \text{const}$, а $U_{\text{вих}} = f(\Theta)$, і режим фазообертача, коли $U_{\text{вих}} = \text{const}$, $\varphi = f(\Theta)$.

В амплітудному режимі обмотки збудження одержує живлення від мережі змінного струму й магнітний потік, що діє по осьовій лінії обмотки збудження, наводить відповідні ЕРС у фазах обмотки сельсина. Характеристика управління сельсина в амплітудному режимі здобуває синусоїдальну залежність як показано на рис. 6.6.

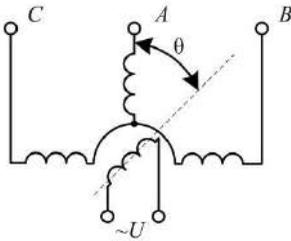


Рисунок 6.5 – Схема включення сельсина

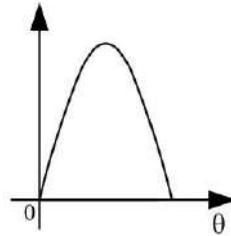


Рисунок 6.6 – Характеристика управління сельсина

Позитивні значення ЕРС відповідають $\varphi = 0$, а негативні $\varphi = \pi$. У режимі фазообертача обмотки статора одержують живлення від джерела трифазної напруги з незмінною амплітудою.

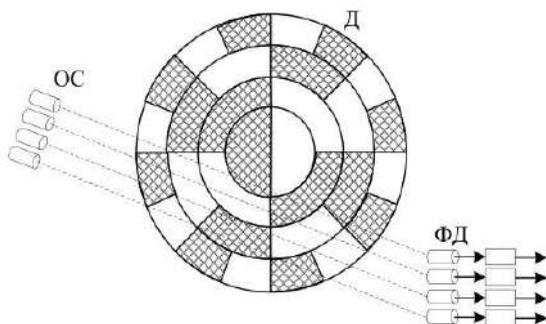
В обмотці ротора, вісь якої зрушена на кут Θ відносно початку відліку, наводиться ЕРС, що має зрушення по фазі, рівної φ . В системах, у яких потрібний більш точний вимір кутової координати, замість сельсинів застосовуються синусно-косинусні обертові трансформатори (резольвери).

За своїм устроєм синусно-косинусні обертові трансформатори (СКОТ) – це двофазні мікромашини змінного струму. Неявнополюсний статор і ротор мають по дві взаємно перпендикулярні обмотки. СКОТ, як і сельсин, може працювати у двох режимах: амплітудному й фазообертальному.

Для виміру кутів у більших діапазонах і з високою точністю використовується дискретний датчик, вихідний сигнал яких може бути представлений у вигляді двійкового коду (енкодери). До таких датчиків відноситься фотоелектричний датчик. Його схема показана на рис. 6.7.

Основним елементом фотоелектричного датчика є диск, вал якого з'єднаний з валом механічного пристрою. Диск розділений на кілька полів, кількість яких відповідає кількості двійкових розрядів числа й визначає точність датчика.

На малюнку число розрядів дорівнює 4. На практиці використовують 10 розрядів і більше. У свою чергу кожне кільце розділене на ряд прозорих і непрозорих частин. Внутрішнє кільце відповідає старшому розряду й розділене на дві частини.



Д – диск; ОС – освітлювачі;
ФД – фотодіоди; РЕ – релейний елемент

Рисунок 6.7 – Енкодер

Зовнішнє кільце розділене на вісім частин і відповідає молодшому розряду. Освітлювачі, які можуть бути будь-якого типу, у тому числі й світлодіоди, дають вузькі паралельні пучки світла, спрямовані на фотодіоди. Напряга з фотодіодів надходить на релейні елементи й на їхньому виході формується напряга логічної 1 або 0. Таким чином, кожному куту повороту диска відповідає свій код.

6.2 Датчики швидкості

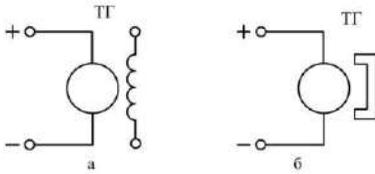
Для виміру швидкості можна використовувати методи й датчики, що дозволяють визначати кутове або лінійне переміщення описані вище. При цьому для підвищення перешкодозахищеності в ряді випадків здійснюється чисельне диференціювання сигналу пройденого шляху, засноване на вимірі збільшення шляху на деякому тимчасовому інтервалі.

У той же час, використання закону електромагнітної індукції дозволяє за допомогою тахогенераторів вимірювати кутову швидкість безпосередньо, без додаткових перетворень. Тахогенератор – це електрична машина малої потужності, що виробляє електричний сигнал пропорційний кутовій швидкості ротора.

До всіх типів тахогенераторів пред'являються наступні вимоги:

- лінійність залежності ЕРС тахогенератора від швидкості;
- мінімальність пульсацій вихідної напруги;
- малий момент інерції й момент тертя.

Тахогенератори постійного струму можуть бути з незалежним збудженням або зі збудженням від постійних магнітів (рис. 6.8).



а – з незалежним збудженням;
б – з постійними магнітами

Рисунок 6.8 – Схеми включення тахогенератора

Тахогенератори постійного струму розрізняють не тільки величину, а й напрямок швидкості, і тому знаходять застосування в реверсивних і нереверсивних системах.

Тахогенератори змінного струму виконані на базі асинхронної двофазної машини.

На статорі машини є дві взаємно перпендикулярні обмотки: обмотка збудження, розташована по осі α (фаза α) і вихідна обмотка, розташована по осі β (фаза β), включена на опір навантаження Z_H , як показано на рис. 6.9. Для зменшення моменту інерції ротор виконують тонкостінним у вигляді порожнього стакану з немагнітного матеріалу (зазвичай з алюмінієвого сплаву).

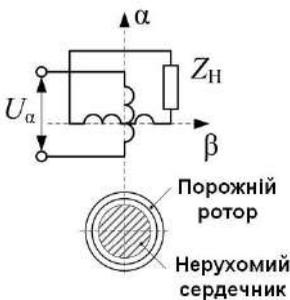


Рисунок 6.9 – Тахогенератор змінного струму

Усередині ротора розміщується нерухливий сталевий шихтований сердечник, по якому замикається магнітний потік. Амплітудна характеристика асинхронного тахогенератора наведена на рис. 6.10. Викривлення даної характеристики обумовлене опором навантаження. Тому на практиці використовують режим близький до холостого ходу. Для реалізації такого режиму тахогенератор з'єднують із навантаженням через емітерний

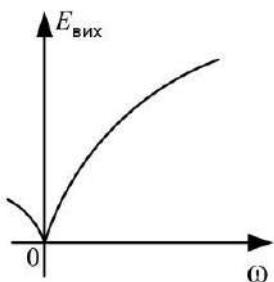


Рисунок 6.10 – Амплітудна характеристика

повторювач, що має високий вхідний опір. Смуга пропускання асинхронного тахогенератора обмежена частотою напруги мережі живлення. Тому для швидкодіючих систем застосовують підвищену частоту (400 Гц і вище).

У сучасних системах з великим діапазоном регулювання швидкості й високими вимогами стабілізації й точності, використовують цифрові датчики швидкості (ЦДШ).

Функціонально ЦДШ містить датчик імпульсів, який перетворює кутову швидкість в імпульси із частотою пропорційною швидкості, й лічильник імпульсів, що формує на інтервалі виміру цифровий код, який є вихідною величиною.

Датчик імпульсів може бути виконаний на основі фотоелектричного кодового диска. У кожному разі датчик імпульсів виробляє дві серії імпульсів, зрушених по фазі на $\pi/2$, які використовуються для визначення, як величини швидкості, так і її знака. Частота проходження імпульсів f знаходиться як:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} N, \quad (6.1)$$

де ω – кутова швидкість,

N – число імпульсів (роздільна здатність датчика).

Формування цифрового коду на виході датчика швидкості за допомогою лічильника може виконуватися двоюко. У першому випадку на заданому періоді виміру лічильник рахує число імпульсів, які характеризують середнє значення швидкості.

У другому випадку формування індуктивного коду полягає у визначенні інтервалу часу між двома імпульсами, шляхом підрахунку числа високочастотних опорних імпульсів, що вміщуються на вимірюваному інтервалі. Розглянуті варіанти забезпечують високу точність виміру швидкості, і тим більшу, ніж тривалий період виміру.

6.3 Датчики технологічних параметрів

Датчики технологічних параметрів дозволяють одержати інформацію про змінні мехатронної системи, яка бере участь у тому або іншому технологічному процесі. До цих датчиків можна віднести датчик сили, моменту, температури, маси та інші.

Вимір сили полягає в зрівноважуванні її протидіючої силою таким чином, що тіло, до якого воно прикладене, залишається в спокої, й тоді сила що є результуючою, дорівнює нулю.

Датчик сили містить чутливий елемент, що зазнає дії невідомої сили. У цьому елементі виникає деформація, яка породжує протидіючу силу. У зоні пружності деформація, відповідно до закону Гука, пропорційна силі.

У робототехніці, біомеханіці за допомогою датчиків сили вимірюється вага тіла. Ці виміри дають можливість визначити масу тіла (об'єкта), що має найважливіше значення, оскільки в ряді випадків дозволяє виключити датчики витрати матеріалу.

Деформація, а, отже, сила може бути обмірювана побічно, якщо яка-небудь із електричних властивостей матеріалу залежить від деформації (наприклад, п'єзоэффект). Явище п'єзоэффекту полягає у виникненні (або в зміні) електричної поляризації в деяких діелектриках таких як: кварц, турмалін, сульфат літію, спеціально оброблена кераміка, тощо.

Якщо розташувати пару обкладок на протилежних сторонах п'єзоелектричної пластини й прикласти до неї силу, то на обкладках з'являться заряди протилежних знаків, тобто різниця потенціалів, яка буде пропорційна прикладеній силі. Такий конденсаторний пристрій дозволяє виміряти силу, тиск, прискорення. За винятком кварцу, відомого своєю стабільністю й твердістю, у датчиках зазвичай використовується кераміка як більш дешева, більш зручна в обробці, що має досить високу чутливість. Схема формування сигналу з електричним зарядом на вході від п'єзодатчика й пропорційною йому напругою на виході показана на рис. 6.11.

Наявність конденсатора забезпечує повний розряд п'єзодатчика при будь-якому вхідному опорі підсилювача. Часто на практиці для виміру деформації використовуються досить прості тензодатчики.

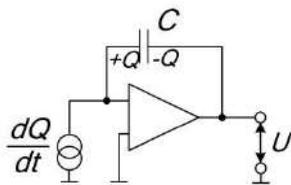
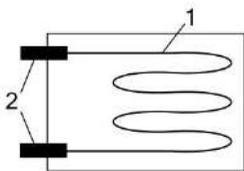


Рисунок 6.11 – Схема формування сигналу з електричним зарядом на вході від п'єзодатчика

Конструкція розповсюдженого тензодатчика спірального типу показана на рис. 6.12. Такі датчики разом з тензопідсилювачами дозволяють вимірювати малі механічні деформації які складають декілька мікрон.



1 – дротова спіраль,
2 – контакти підведення

Рисунок 6.12 –
Конструкція
тензодатчика

Робота тензодатчика заснована на ефекті, при якому електричний провідник з високим питомим опором і малим температурним коефіцієнтом при зміні довжини змінює свій електричний опір.

Тензодатчики наклеюються на деформовану поверхню так, щоб прямолінійні ділянки провідника розтягувалися або звужувалися відповідно до деформації деталі.

При вимірі моменту, що виникає внаслідок додавання сили до важеля, існує проблема передачі інформації з датчика, що рухається, у стаціонарний вимірювальний ланцюг. Цей зв'язок може здійснюватися контактним або безконтактним шляхом. При контактному зв'язку застосовуються ковзні контакти, або занурені в ртуть обертові контакти. Очевидно, що робочий ресурс таких датчиків обмежений ресурсом контактів.

Тому в сучасних системах одержав поширення безконтактний зв'язок. У цьому випадку для передачі електричного сигналу використовується ємнісний (обертовий конденсатор) або індуктивний (обертовий трансформатор) зв'язок. Такий датчик складається з передавальної і приймаючої частин. У передавальній частині, для виміру моменту, може бути використаний магнітострикційний вимірник.

Його робота заснована на явищі зміни магнітної проникності μ феромагнітного матеріалу у випадку додавання до нього зусилля. Так, наприклад, μ росте в області розтягання матеріалу й убуває в області стиску.

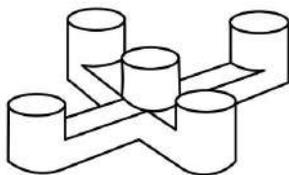


Рисунок 6.13 –
Хрестоподібний
сердечник

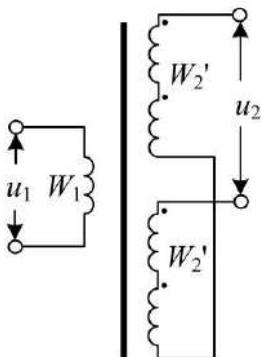


Рисунок 6.14 – Схема
обмоток

Якщо на феромагнітний циліндричний стрижень діє момент, вісь якого збігається з віссю стрижня, то виникаючі напруги визначають на його поверхні два взаємно перпендикулярні напрямки до осі циліндра, уздовж яких зміна магнітних проникностей μ_1 і μ_2 максимальна й протилежна за знаком.

Для виявлення цих змін можна використовувати сердечник хрестоподібної форми, показаний на рис. 6.13. На сердечнику розташована первинна обмотка й дві пари з'єднаних послідовно вторинних обмоток, включених диференційно, як показано на рис. 6.14.

Якщо момент відсутній, то $\mu_1 = \mu_2$, $U_2 = 0$. З появою моменту ці умови не виконуються, тобто $\mu_1 \neq \mu_2$ і $U_2 \neq 0$.

Більш високу точність виміру моменту має датчик, що використовує п'єзо ефект, або датчики індуктивного типу з виміром кута крутіння.

Впровадження мікропроцесорної техніки дозволяє перейти від процедури виміру до процедури обчислення моменту. Якщо рушійний момент створюється двигуном постійного струму, у якого магнітний потік – величина постійна, то в цьому випадку момент пропорційний току, який легко визначити за допомогою датчика струму (у найпростішому випадку шунта).

Вимір потоку двигуна можливий за допомогою датчиків Холу, які виготовляють із германія, сурм'янистого індію та інших напівпровідникових матеріалів.

Крім того, необхідно відзначити, що момент асинхронного двигуна пропорційний квадрату статорної напруги, тому використовуються датчики напруги (у найпростішому випадку дільник напруги).

Розвиток робототехніки викликав появу тактильних датчиків, що відтворюють дотикальні властивості людської шкіри.

Тактильні датчики матричного типу дають цілісну уяву про форму предмета, оскільки кожне гніздо матриці, є не що інше, як мікроелектронний датчик сили або деформації, що виробляє електричний сигнал й дозволяє розпізнавати образ.

Тактильні датчики на інтегральних схемах із застосуванням кремня, кварцу й полікристалічної кераміки можуть забезпечити досить високий діапазон вимірів при відносно невеликій вартості. Найбільше часто вимірюваною фізичною величиною різних технологічних процесів є температура.

Температура являє собою найважливішу характеристику стану речовини. Працездатність будь-якої системи обмежена деяким діапазоном температур. Для виміру температури використовують термодатчики. Їхня робота заснована на здатності провідників і напівпровідників змінювати питомий опір під дією температури.

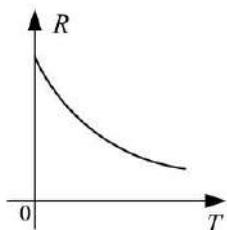


Рисунок 6.15 – Температурна характеристика $R(T)$ терморезистора

У термодатчиках використовують терморезистори, що представляють собою резистори, з явно вираженою залежністю $R(T)$.

Звичайно терморезистори виконуються у вигляді циліндрів, таблеток, бусинок, на кінцях яких зміцнюються електроди.

У якості напівпровідників використовують оксиди, сульфідів й нітриди металів. Температурна характеристика $R(T)$ терморезистора має вигляд, показаний на рис. 6.15.

Терморезистори можуть використовуватися в якості датчиків вакууму, швидкості й напрямку потоку рідини або газу, оскільки залежно від цих параметрів змінюється коефіцієнт тепловіддачі.

6.4 Постановки завдання керування мехатронними системами

Розглянемо завдання керування стосовно до мехатронних систем, які використовуються у виробничих машинах і комплексах автоматизованого машинобудування й виконують основні технологічні функції. До таких систем керування

пред'являються, як правило, досить жорсткі вимоги, тому що режими керування визначають хід технологічного процесу а, отже, якість одержуваного виробу.

Завдання комп'ютерного керування технологічними машинами, які не могли бути вирішені на базі традиційних підходів, стимулювали розробку й впровадження в практику принципово нових методів керування. У мехатроніці ставиться завдання керування координованим функціональними (механічними) рухами машин.

Розглянемо функціональну схему пристрою з комп'ютерним керуванням (рис. 6.16).

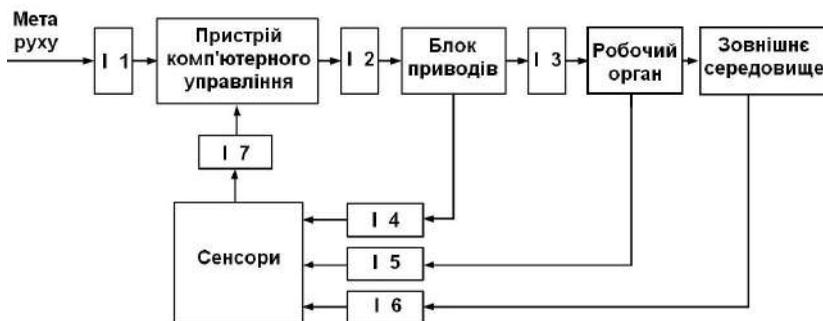


Рисунок 6.16 – Функціональна схема пристрою з комп'ютерним керуванням

Завдання керування полягає у виконанні бажаного руху робочого органу, який цілеспрямовано впливає на об'єкт робіт. При цьому з боку зовнішнього середовища об'єкт отримує збуджуючий вплив. Отже, у загальному випадку об'єктом керування в мехатроніці є складна багатозв'язна система (за допомогою інтерфейсів І1-І7), до складу якої входять:

- блок виконавчих приводів;
- механічний пристрій з робочим органом;
- блок сенсорів (датчиків);
- об'єкт робіт, на який впливає робочий орган.

Окремі блоки й пристрої системи можуть бути інтегровані в мехатронні модулі. Процес взаємодії робочого органу й зовнішніх об'єктів (наприклад, при виконанні операцій

складання, механообробки і т.д.) дозволяє організувати технологічно орієнтований процес керування, враховуючий характер і специфіку даної взаємодії в конкретно поставленому завданні.

Наведена структура об'єкта керування визначає вимоги й постановку завдання керування мехатронними системами розглянутого класу. Відтворення заданих рухів мехатронними модулями ґрунтується на виконанні класичних вимог теорії автоматичного керування: стійкості, точності і якості процесу керування.

Крім того, необхідно додатково враховувати наступні специфічні особливості мехатронних систем:

- рух робочого органа, як правило, забезпечується взаємозалежними переміщеннями декількох виконавчих приводів і ланок механічного пристрою;
- завдання керування мехатронною системою повинне бути вирішене в просторі (знайдені оптимізовані траєкторії руху всіх ланок, включаючи робочий орган) і в часі (визначені й реалізовані бажані швидкості, прискорення, зусилля що й розвиваються для всіх приводів системи);
- параметри збурюючих впливів, прикладених до робочого органу й окремих мехатронних модулів, для багатьох технологічних завдань заздалегідь не визначені;
- складність побудови адекватних математичних моделей мехатронних систем (особливо багатозв'язних систем, що включають динамічну модель технологічного процесу).

Розмірність завдання керування в мехатроніці визначається кількістю незалежно керованих приводів системи. Мехатронні системи металорізальних верстатів з ЧПУ, промислових роботів і багатьох інших об'єктів структурно є багатомірними й багатозв'язними системами. Для цих об'єктів задається бажаний рух робочого органу, а реалізується воно сукупними переміщеннями всіх ланок. Звідси виникають спеціальні математичні, алгоритмічні й технічні завдання керування.

Для планування заданого руху мехатронної системи

необхідно розв'язати зворотне завдання про положення механізму. Суть даного завдання полягає у визначенні необхідних переміщень ланок системи по заданому рухові робочого органа.

Наприклад, для маніпулятора промислового робота із шістьма ступенями рухливості постановка зворотного завдання про положення робочого органа зводиться до наступного (рис. 6.17). По заданій траєкторії руху робочого органа Р необхідно розрахувати узагальнені координати ступенів рухливості q_1 - q_6 маніпулятора.

При розв'язку зворотного завдання слід ураховувати, що для визначення узагальнених координат ступенів рухливості необхідно вирішувати систему з m алгебраїчних рівнянь (m – число ступенів волі робочого органа) з n невідомими (n – число керованих ступенів рухливості механізму).

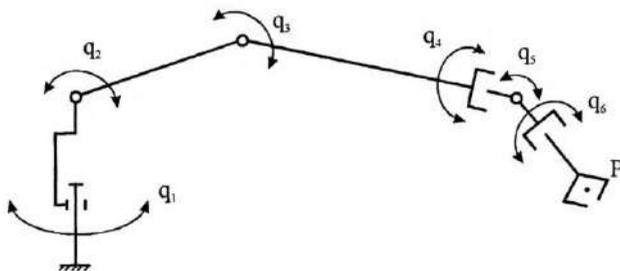


Рисунок 6.17 – Узагальнені координати маніпулятора

Для маніпуляційних механізмів з послідовним розташуванням кінематичних пар розв'язок зворотного завдання про положення є проблемним, у той час як пряме завдання вирішується відносно нескладно. Для машин з паралельною кінематичною структурою (наприклад, станків гексаподів) ситуація зворотна.

Необхідно відзначити, що вихідна система рівнянь є нелінійною. Це утрудняє розв'язок зворотного завдання в масштабі реального часу для багатоланкових механізмів. Тому перспективними є методи автоматизованого виводу й розв'язку нелінійних рівнянь або способи лінеаризації вихідних нелінійних

систем. Ефективним способом, що дозволяють «природнім» шляхом одержати лінійні рівняння, є перехід від керування положенням робочого органа до керування по швидкості його руху. Після диференціювання вихідної системи одержуємо систему лінійних рівнянь зі змінними коефіцієнтами.

При розв'язку системи рівнянь необхідно враховувати обмеження на узагальнені координати й відповідно на розміри робочої зони й кути сервісу механізму.

Багатозв'язність системи означає, що рух кожної ланки впливає на рух інших ланок. Зазначений взаємовплив відбувається через механічний пристрій як загальне навантаження, через загальне джерело енергії, а також внаслідок природніх і штучних динамічних зв'язків між каналами керування в блоці приводів. Отже, необхідно формувати керування рухом мехатронної системи (особливо на високих швидкостях, де вплив динамічних факторів суттєвий) з урахуванням перехресних зв'язків між ланками.

Проблемним є також питання організації зворотних зв'язків при керуванні багатоланковими мехатронними системами. Технічно найбільш просто встановлювати датчики положення й швидкості в приводних модулях. Однак потім необхідно обчислити в реальному часі фактичне переміщення робочого органа. Причому ці комп'ютерні розрахунки вимагають побудови адекватної динамічної моделі системи з обліком досить складних для аналітичної оцінки факторів:

- усіх діючих сил (керуючих моментів приводів, сил тертя, зовнішніх сил і моментів, відцентрових і коріолісових сил);
- первинних погрішностей системи (пружних деформацій ланок, люфтів у механічних передачах, погрішностей виготовлення й складання, вузлів), які визначають її інтегральні точностні характеристики;
- змінних параметрів об'єкта керування (наведених моментів інерції й мас механізму й навантаження).

Тому найкращим варіантом з погляду вірогідності одержуваної інформації про фактичний рух є установка датчиків безпосередньо на робочий орган. Прикладами такого підходу можуть служити:

- застосування систем технічного зору для визначення положення робочого органа й об'єктів у робочій зоні (наприклад, при складанні);
- установка силомоментних датчиків у зап'ястя маніпулятора для виміру діючих сил на операціях механообробки;
- використання блоків акселерометрів для визначення лінійних прискорень робочого органа при швидких транспортних переміщеннях.

Перспективним представляється також комбінація розглянутих підходів при виборі зворотних зв'язків у складних мехатронних системах. Характерною рисою мехатронних систем для автоматизованого машинобудування є можливість поділу завдань програмного керування рухом на просторову й тимчасову.

Це означає, що траєкторія переміщення робочого органа в просторі, і його контурна швидкість можуть плануватися роздільно з використанням різних критеріїв оптимізації.

Оптимізацію закону руху технологічної машини в часі звичайно проводять за критеріями продуктивності, точності обробки, а також по економічних і комбінованих показниках.

6.5 Ієрархія керування в мехатронних системах

Ієрархічна структура – це багаторівневий набір взаємодіючих підсистем, кожна з яких відповідальна за розв'язок певного завдання й має доступ до сенсорної інформації, необхідної для розв'язку завдань керування даного рівня. У сучасних мехатронних системах, як правило, використовується ієрархія «зверху – вниз», коли нижній рівень повністю підлеглий вищим рівням.

Така структура забезпечує необхідну гнучкість і багатоплановість керування на кожному рівні ієрархії й мехатронної системи в цілому. При такій організації керування зміна окремих характеристик мехатронної системи приведе до зміни тільки деякої частини алгоритмів керування певного рівня.

При цьому алгоритмічне забезпечення інших рівнів залишається без змін. Розглянемо ієрархію керування, характерну для мехатронних (зокрема, робототехнічних) систем (рис. 6.18).



Рисунок 6.18 – Ієрархія керування в мехатронних системах

Функції інтелектуального рівня в сучасних мехатронних системах звичайно виконує людина-оператор або потужний комп'ютер верхнього рівня керування.

ЕОМ на інтелектуальному рівні аналізує складну мінливу зовнішню обстановку, ухвалює рішення щодо дій, формує послідовність виконання елементарних завдань і передає їх на стратегічний рівень керування. Таким чином, ЕОМ сама планує свої дії на основі аналізу зовнішньої обстановки.

Система керування на інтелектуальному рівні вирішує завдання сприйняття й розпізнавання обстановки, автоматичного прийняття рішень в умовах мінливої обстановки, а також нагромадження досвіду роботи й самонавчання (рис. 6.19).

Стратегічний рівень керування призначений для планування рухів мехатронної системи. Планування рухів припускає розбивку завдання руху, поставленої інтелектуальним рівнем, на послідовність погоджених у часі елементарних дій і формалізацію цілей керування для кожної із цих дій.

Прикладами елементарних дій мобільного робота може служити:

- вивід робочого органа в задану позицію;

У даній структурі виділяються чотири рівні керування: інтелектуальний, стратегічний, тактичний і виконавчий. Інтелектуальний рівень – вищий рівень керування.

Призначення цього рівня – прийняття рішень про рух механічної системи в умовах неповної інформації про зовнішнє середовище й об'єкти.

Ціль керування задається у великому плані (наприклад, узяти заготовку зі складу, передати її на верстат, обробити й перевірити якість, передати на інший верстат).

- захват предмета;
- тестовий рух для визначення сил реакції з боку об'єкта;
- переміщення об'єкта й повернення робота у вихідну позицію.

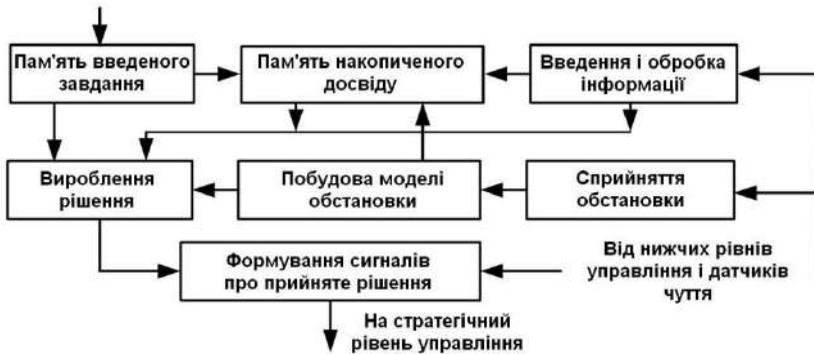


Рисунок 6.19 – Структура системи керування інтелектуального рівня

Формалізація цілей керування означає, що для кожної з елементарних дій повинні бути записані математичні співвідношення, виконання яких забезпечує успішне виконання дії. Для технологічних роботів на стратегічному рівні вирішується завдання геометричного планування руху робочого органа.

При формалізації цілей керування для мехатронних систем необхідно враховувати:

- ціль керування може бути формалізована неоднозначно;
- форма моделі може бути різною (алгебраїчні й диференціальні векторні рівняння, система нерівностей);
- вибір способу формалізації суб'єктивний і залежить від досвіду розроблювача і його бачення постановки завдання.

Сенсори інтелектуального й стратегічного рівнів (система чуття) повинні відповідати органам почуттів людини (для інтелектуальних роботів це технічний зір, тактильне й силомоментне чуття, пристрої аналізу звукових і ультразвукових сигналів).

Стратегічний рівень видає інформацію про план руху й мету

керування у формі команд керування рухом. Важливо підкреслити, що структура й синтаксис проблемно-орієнтованих мов керування рухом суттєво відрізняються від універсальних мов програмування, хоча деякі оператори можуть збігатися.

Тактичний рівень виконує перетворення команд керування рухом, що надходять зі стратегічного рівня керування, у програму керування, яка визначає закони погодженого руху в часі всіх ланок механічного пристрою з урахуванням технічних характеристик блоку приводів (у першу чергу обмежень на узагальнені швидкості, прискорення й сили).

Наприклад, для виконання команди позиційного керування рухом маніпулятора на тактичному рівні необхідно визначити узагальнені координати маніпулятора, які відповідають бажаним декартовим координатам характеристичної точки схвата. Для цього повинне бути вирішене зворотне завдання про положення маніпулятора в заданій точці траєкторії руху.

Відповідно, для керування швидкістю руху програма керування будується як результат розв'язку зворотного завдання про швидкість робочого органа. Для реалізації даних алгоритмів пристрій комп'ютерного керування повинен виконувати в реальному часі наступні основні функції:

- приймання інформації від стратегічного рівня у формі команд керування рухом;
- приймання й обробку інформації від датчиків положення маніпулятора про поточну конфігурацію;
- розрахунки значень узагальнених координат та їх похідних;
- видача керуючої програми на виконавчий рівень.

На розв'язок зворотного завдання витрачається значна частина машинного часу, тому звичайно воно вирішується тільки в опорних точках траєкторії руху. При цьому на тактичний рівень лягає завдання інтерполяції траєкторії руху між опорними точками.

Виконавчий рівень керування призначений для розрахунків і видачі керуючих сигналів на блок приводів мехатронної системи відповідно до програми керування й з урахуванням технічних характеристик силових перетворювачів.

Для ієрархічних систем керування в мехатроніці слушний

наступний принцип: у міру просування від вищих рівнів керування до більш низьких знижується інтелектуальність системи, але підвищується її точність. При цьому під «інтелектуальністю» розуміється здатність системи здобувати спеціальні знання, що дозволяють уточнити поставлене завдання й визначити шляхи його розв'язку.

6.6 Системи керування виконавчого рівня

Контролери руху, архітектура яких вже була розглянута, згідно із прийнятою ієрархією керування рухом мехатронних систем є пристроями керування виконавчого рівня (рис. 6.18). Призначення пристрою керування полягає в забезпеченні заданих вимог по стійкості, точності і якості перехідних процесів у системі при досягненні мети керування рухом, яка надходить із тактичного рівня керування.

При цьому необхідно враховувати специфіку мехатронних об'єктів керування. Структурна схема системи керування рухом, реалізована типовим контролером, представлена на рис. 6.20.

До складу системи входять п'ять основних регуляторів: регулятор положення (РП), регулятор швидкості (РШ), регулятор моменту або сили (РМ), регулятор прямого зв'язку по швидкості зміни керуючого впливу (РПЗШ) і регулятор коригувального зв'язку по збурюючому впливу f (РЗЗВ).

Вхідними впливами для системи залежно від поставленої мети керування можуть бути керуючі сигнали по положенню q_3 , швидкості, або по розвиненому зусиллю. У системі реалізується принцип замкнутого керування, що передбачає наявність відповідних зворотних зв'язків по фазових координатах системи.

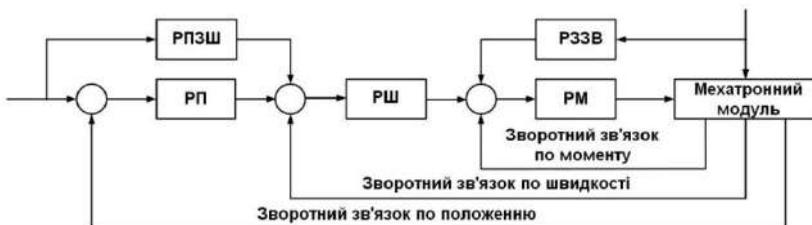


Рисунок 6.20 – Функціональна схема системи керування на виконавчому рівні

Для забезпечення заданих вимог необхідно виконати структурний і параметричний синтез регуляторів виконавчих приводів. Традиційний підхід передбачає, що структура й коефіцієнти підсилення всіх регуляторів і коригувальних пристроїв визначаються при проектуванні системи й далі залишаються фіксованими в процесі її експлуатації.

У сучасних системах керування вид і параметри регуляторів автоматично модифікуються залежно від мети конкретного руху й умов, у яких воно фактично здійснюється. Це дозволяє адаптувати (приспосувати) рух мехатронної системи до початкової невизначеності й мінливим умовам роботи. Адаптація по суті є оптимізація в умовах недостатньої апріорної інформації.

Адаптивне настроювання регуляторів необхідне, якщо введені негативні зворотні зв'язки у виконавчих приводах не здатні компенсувати вплив збурюючих впливів і зміни параметрів (і, можливо, структури) об'єкта керування, які викликають неприпустиме зниження показників якості керованого руху.

Адаптивні системи керування в порівнянні із традиційними мають суттєво більш складну структуру й технічну реалізацію. Тому їх проектування вимагає розв'язку цілого ряду теоретичних проблем керування й рішення про застосування адаптивного регулятора повинне бути технічно й технологічно обґрунтованим.

Завдання побудови адаптивного керування мехатронною системою містить у собі три основні розділи: створення сенсорних пристроїв, обробка інформації сенсорів і синтез адаптивних законів керування.

Сенсорні пристрої виконують роль технічних органів почуттів і необхідні для розв'язку двох основних завдань:

- підвищення точності роботи мехатронної системи;
- забезпечення автономності функціонування в мінливих умовах роботи.

Для розв'язку зазначених завдань мехатронна система оснащується датчиками двох типів:

- датчики виміру положення, швидкості й прискорення самої мехатронної системи;
- датчики виміру стану навколишнього середовища.

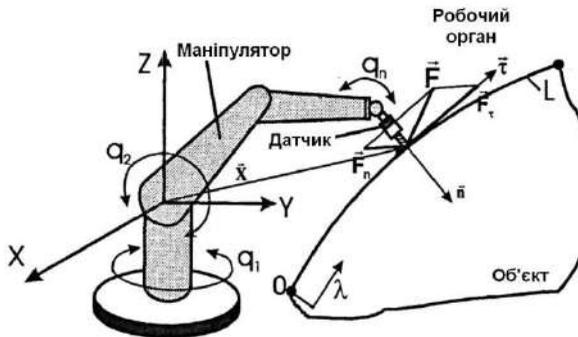
З позицій адаптивного керування найбільший інтерес

представляють датчики другого типу. Вони діляться на три великі групи:

- сенсори геометричних властивостей, що виконують функції обмеження руху (тактильні датчики) і визначення відстані до навколишніх предметів і їх розмірів (системи технічного зору, локаційні системи);
- сенсори фізичних властивостей, що виконують функції виміру зусиль і моментів, щільності й тиску, температури, кольору й запаху;
- сенсори хімічних властивостей.

6.7 Системи керування тактичного рівня

Розглянемо побудову системи керування тактичного рівня для технологічного робота, що виконує операції механообробки. Параметричний підхід при постановці завдання для технологічного робота припускає одночасне керування переміщенням робочого органа по заданій траєкторії (крива L), силою що розвивається в процесі руху (вектор P), яка впливає на об'єкт робіт (рис. 6.21). Таким чином, у системі повинні сполучатися методи контурного й силового керування рухом робота.



Робот при цьому діє аналогічно людській руці. Розвиваючи певні зусилля в суглобах руки, людина може переміщати в просторі предмети, виконувати механічну роботу. У той же час за

допомогою нервово-м'язової системи вона сприймає й зворотні силові впливи з боку об'єкта, що дозволяє виконувати людині багато складних операцій, (наприклад, складальні) навіть наосліп.

Застосування принципу двосторонньої дії для технологічних робіт вимагає обліку їх специфіки як об'єкта автоматичного керування, а також особливостей роботизованих технологічних операцій. Контурну швидкість робота для операції механообробки доцільно регулювати залежно від величини зовнішнього силового впливу. Це дозволяє забезпечувати високу продуктивність при зміні сили в широкому діапазоні через змінні розміри й форми задирок, а також попереджати силові перевантаження виконавчої системи робота.

Наприклад, при зачищенні обля на шасі відеомагнітофона за допомогою промислового робота РМ-01 внаслідок коливань розмірів задирок амплітуда сили різання коливалася в діапазоні (10-300%) від номінального значення.

На рис. 6.22 наведена блок-схема системи контурного силового керування, яка забезпечує адаптацію руху робота до силового збурюючого впливу.

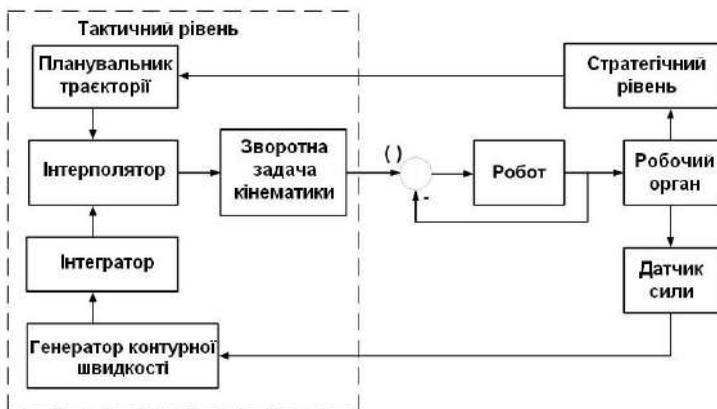


Рисунок 6.22 – Блок-схема контурного силового керування

Силомоментний датчик, встановлений у зап'ястя маніпулятора, подає інформацію про сили, що діють

безпосередньо на робочий орган. Силовий зворотний зв'язок замикає систему керування на тактичному рівні, що в комбінації зі зворотними зв'язками у виконавчих приводах забезпечує необхідну точність руху. Обчислювач контурної швидкості служить для завдання технологічно раціонального швидкісного режиму руху робота по заданій траєкторії.

Завдання інтерполяції траєкторії руху й розв'язку зворотного завдання про положення виконуються керуючою ЕОМ у реальному масштабі часу. Результатом роботи цих програм є формування вектора узагальнених координат $q_{pr}(t)$, який визначає бажані переміщення ступенів рухливості маніпулятора.

Програмна траєкторія (L) робочого органу визначається геометричними характеристиками оброблюваної поверхні й задається як параметрична функція, аргументом якої є не час t , як у традиційних системах автоматичного керування, а шлях (геометрична змінна).

Таким чином, особливість параметричного підходу полягає в незалежному завданні траєкторії робочого органу в просторі й в адаптивному керуванні його контурною швидкістю в часі.

Роздільне формування законів керування рухом мехатронної системи в просторі й у часі дозволяє використовувати різні критерії при їхній оптимізації, що відповідає постановці завдань керування мехатронними системами.

При цьому рух робочого органу як кінцевої керованої ланки забезпечується погодженими переміщеннями всіх виконавчих приводів і ланок маніпулятора.

Пропонований параметричний підхід дозволяє також урахувати вплив робочого процесу на рух робота при виконанні ним технологічної операції. При механообробці розрізняють два види технологічних збурювань:

- погрішності, які мають систематичний характер для конкретного виробу;
- випадкові зміни технологічних параметрів.

Систематичні погрішності в розглянутій системі враховуються на етапі програмування траєкторії L . Використання адаптивного регулятора дозволяє компенсувати вплив відхилень технологічних параметрів, які носять випадковий характер.

Таким чином, здійснюється комбінація корекції траєкторії

робочого органа в просторі (у режимі автономного програмування off-line) з адаптивним керуванням контурною швидкістю робота в часі (безпосередньо в процесі руху мехатронної системи в режимі on-line).

Використання параметричного підходу дозволяє звести завдання адаптивного керування багатомірною нелінійною системою «технологічний робот-робочий процес» до синтезу адаптивного керування скалярним параметром – контурною швидкістю. Це завдання може бути вирішене в масштабі реального часу з використанням мікропроцесорних пристроїв керування що серійно випускаються.,

6.8 Системи керування стратегічного рівня

Стратегічний рівень керування призначений для планування рухів мехатронної системи. Планування рухів полягає в розбивці вхідної інформації (завдання руху) на послідовність погоджених у часі елементарних дій (рис. 6.23).



Рисунок 6.23 – Структура системи керування стратегічного рівня

На стратегічному рівні керування здійснюється попередня обробка інформації від чутливих сенсорних пристроїв і синтез функціонально закінчених дій.

Алгоритми стратегічного рівня керування забезпечують діалог з оператором і виконання заданих інструкцій. Інформація від чутливих пристроїв використовується для корекції плану виконання операції при зміні умов функціонування мехатронної системи.

Система керування стратегічного рівня видає інформацію про план руху й мету керування у формі команд керування рухом, які надходять на тактичний і (або) виконавчий рівні.

6.9 Інтелектуальні методи керування

В інтелектуальних мехатронних системах широко використовуються інтелектуальні методи керування. Під інтелектуальними розуміють методи, засновані на використанні аналогії з функціонуванням людського мозку. До них ставляться метод нечіткої логіки й метод нейронних мереж. Ці методи реалізуються комп'ютерними пристроями – контролерами й досить добре програмно забезпечені, наприклад, відомими пакетами Fuzzy Logic Toolbox, Neural Network Toolbox із програмного пакета MATLAB.

Метод нечіткої логіки або фаззі-логіки ґрунтується на асоціативному сприйнятті мозком людини сукупності деяких кількісно обумовлених явищ і виробітку рішень, виходячи із цих сприйнятиїв. Наприклад, якщо людині навіть не вказати значення температури повітря, але сказати «дуже холодно», «тепло», «жарко», у нього виникне асоціативна уява про неї. У результаті він ухвалить рішення, у якому одязі вийти з будинку.

Метод керування на основі нейронних мереж використовує способи приймання й обробки інформації мозком людини. При цьому незрівнянно більш висока швидкодія комп'ютера й здатність нелінійного перетворення сигналів забезпечують комп'ютеру велику перевагу при вирішенні завдань керування технічними системами.

Питання для самоперевірки

1. Які відмінності між параметричними й генераторними типами датчиків?
2. Назвіть особливості режиму роботи сельсина.
3. Що собою представляє резольвер?
4. Чим визначається роздільна здатність цифрового датчика швидкості або кута повороту?
5. Перелічіть основні типи датчиків технологічних параметрів.
6. У чому полягає сенс завдання управління мехатронної системою?

7. Яка ієрархічна схема мехатронної системи управління?
8. Які завдання управління вирішуються на виконавчому рівні?
9. Які завдання вирішуються на тактичному рівні управління?
10. Що таке зворотна задача?
11. Які завдання вирішуються на стратегічному рівні управління?
12. Які переваги фаззи-систем управління?
13. У якому вигляді надходить інформація для логічної обробки після дефазифікації?
14. Що таке «терм»?
15. Які методи дефазифікації найбільш часто використовуються?
16. Наведіть приклади правил логічної обробки.
17. Коли використовується оператор minimum і коли maximum ?
18. Які технічні переваги комп'ютерного нейрона перед нейроном людського мозку?
19. Що таке «активаційна функція»?
20. У чому полягає синтез нейронної мережі.
21. У чому полягає сутність методу генетичних алгоритмів?
22. Які переваги методу генетичних алгоритмів при синтезі нейронних мереж?
23. Які переваги гібридних нейронних мереж?

7 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МЕХАТРОНІЦІ

7.1 Дистанційне керування мехатронними системами з використанням Інтернету

Використання Інтернет-технологій в мехатроніці і робототехніці відкриває нові перспективи в розвитку розподілених систем управління та збору даних. Завдання дистанційного моніторингу експериментів і контролю віддалених технічних систем за допомогою Інтернету можуть бути виконані з мінімальними витратами практично в будь-якій точці світу за рахунок широкого поширення і доступності глобальної мережі.

Дистанційне керування мехатронними об'єктами з використанням Інтернету має на увазі не тільки збір даних за допомогою інформаційно-вимірювальної апаратури, а й подачу керуючих впливів на виконавчі елементи різних типів.

Це завдання є, мабуть, найбільш перспективним, але разом з тим складним для практичної реалізації. Аналіз сучасних тенденцій, а також ряду реально здійснених проєктів показує, що Інтернет є досить ефективним і зручним засобом організації дистанційного керування технічними об'єктами, перевагами якого є:

- можливість організувати дистанційне керування реальними об'єктами і експериментами практично з будь-якої точки світу;
- зниження витрат на створення спеціалізованих каналів зв'язку;
- можливість організації доступу широкого кола фахівців-експертів, територіально віддалених один від одного, до унікального обладнання в режимі реального часу.

Перспективні сфери застосування Інтернет-робототехніки:

- дистанційне керування в умовах агресивного навколишнього середовища (мобільні роботи);
- астрономія (створення роботизованих автономних телескопів);
- дистанційна освіта (створення віртуальних лабораторій віддаленого доступу);

- віддалене управління роботизованими осередками і системами;
- індустрія розваг (віртуальні візити в музеї, змагання з управління Інтернет-роботами і т.п.).

Застосування роботів для проведення операцій у важкодоступних і небезпечних середовищах висуває вимоги до створення систем дистанційного керування мобільними роботами, які використовують переваги мережі Інтернет в якості каналу зв'язку.

При використанні Інтернету для цілей дистанційного керування виникає цілий ряд науково-технічних проблем. Вони пов'язані з оптимізацією взаємодії web-сервера і системи управління роботом, необхідністю передачі великих обсягів даних, нестабільністю віддаленого з'єднання з оператором.

Таким чином, для ефективного використання перспектив, які відкриває застосування глобальної мережі в області управління технікою, необхідно розробити такий підхід до її використання, який враховував би проблеми, зумовлені специфікою Інтернету, як каналу зв'язку в системі дистанційного керування технічним об'єктом, а також специфіку керованого об'єкта.

При використанні глобальної мережі як каналу зв'язку слід враховувати наступні важливі фактори:

- обмеження по пропускній здатності мережі, адже додаток може зажадати передачі таких обсягів даних і з такою швидкістю, що неможливо забезпечити за допомогою Інтернету;
- тимчасові затримки, верхня межа яких непередбачувана і залежить від якості віддаленого з'єднання;
- флуктуація часу затримки в широких межах, пов'язаної зі зміною завантаження мережі в часі;
- можливість втрати окремих пакетів даних для передачі при переповненні вхідних буферів проміжних серверів, через які проходять дані.

Проведений аналіз показує, що для правильного підходу до вирішення проблем використання Інтернету для управління необхідно знати параметри тимчасової затримки і ймовірність втрати пакетів даних, тобто необхідно сформулювати модель сегмента Інтернету. Залежно від місцезнаходження оператора

може змінюватися трасування маршруту до сервера робота, яке містить різну кількість проміжних серверів з невизначеними часом переходів і різним ступенем завантаження цих серверів.

Представивши Інтернет як «чорний ящик», характеристики моделі якого невідомі, за допомогою програмних засобів були проведені експерименти з вимірювання протягом тривалого часу передачі тестових пакетів даних до віддаленого сервера керованого робота і назад в окремо взятому сегменті мережі Інтернет.

За допомогою модифікованої ring-процедури, яка посилає ICMP-пакети (Internet Control Message Protocol) по 32 байта з частотою 100 Гц і записуючої час передачі в log-файл, були отримані дані, які показали варіації часової затримки протягом певного часу.

Використовуючи отримані в результаті експерименту дані, можна визначити пропускну здатність мережі і верхню межу смуги переданого сигналу. Підвищення частоти сигналу збільшує продуктивність системи, однак при цьому через високу завантаженість мережі зростають тимчасові затримки і підвищується ймовірність втрати пакетів даних.

Робототехнічна система з керуванням по глобальній мережі повинна задовольняти ряду основних практичних вимог:

- робот не повинен бути пошкоджений або введений у несправний стан в результаті варіацій часової затримки, що виникає при передачі даних по Інтернету;
- вплив зміни завантаженості мережі на роботу оператора і якість його взаємодії з роботом має бути зведено до мінімуму;
- для ефективного використання робота при інспекції об'єктів частота оновлення переданого зображення з телевізійної камери, встановленої на роботі, повинна бути максимально можливою;
- для поліпшення взаємодії оператора з роботом web-сервер повинен забезпечувати «доброзичливий» людино-машинний інтерфейс.

Для того щоб відповідати перший вимозі, система управління повинна мати високий ступінь інтелектуальності, що дозволяє здійснювати:

- самонастроїку системи на параметри Інтернет-з'єднання (середня швидкість передачі даних, ймовірність втрати даних і т.д.);
- прогноз виникнення критичних ситуацій, на які оператор не зможе адекватно відреагувати через тимчасові обмеження на передачу керуючих впливів;
- автоматичне відключення або перехід в режим очікування при втраті керуючих впливів від оператора.

Для зменшення впливу завантаженості мережі на роботу оператора необхідно приділити достатню увагу оптимізації обсягу переданої по мережі інформації. Додатково поліпшити взаємодію оператора з роботом можна за рахунок розробки людино-машинного інтерфейсу, проте при цьому необхідно враховувати, що його створення ускладнене специфікою і форматами, використовуваними в мережі Інтернет.

Узагальнена схема системи управління мобільним роботом по глобальній мережі представлена на рис. 7.1.

За цією схемою можна організувати ефективне управління мобільними роботами в різних умовах зовнішнього середовища з використанням комунікаційного ресурсу Інтернету і зручним призначенням для користувача web-інтерфейсом.

Розглянемо більш докладно дві основні частини системи: мобільний робот з бортовою системою управління і web-інтерфейс.

Перетворювач інформації виконує функцію перетворення уніфікованих команд верхнього рівня управління, що надходять від людино-машинного інтерфейсу системи, в команди для тактичного рівня управління.

Інформаційна система навігації мобільного робота виконує функцію збору і обробки даних з датчиків пройденого шляху, швидкості і прискорення, датчиків наявності перешкод і т.п. Обробка цих даних дозволяє видавати інформацію про поточний стан і швидкості руху робота, наявності перешкод, відстані до них і т.п.

Значення цих навігаційних змінних використовуються системою управління тактичного рівня, а також дозволяють сформулювати модель робота і навколишнього середовища для відображення параметрів системи на моніторі оператора.

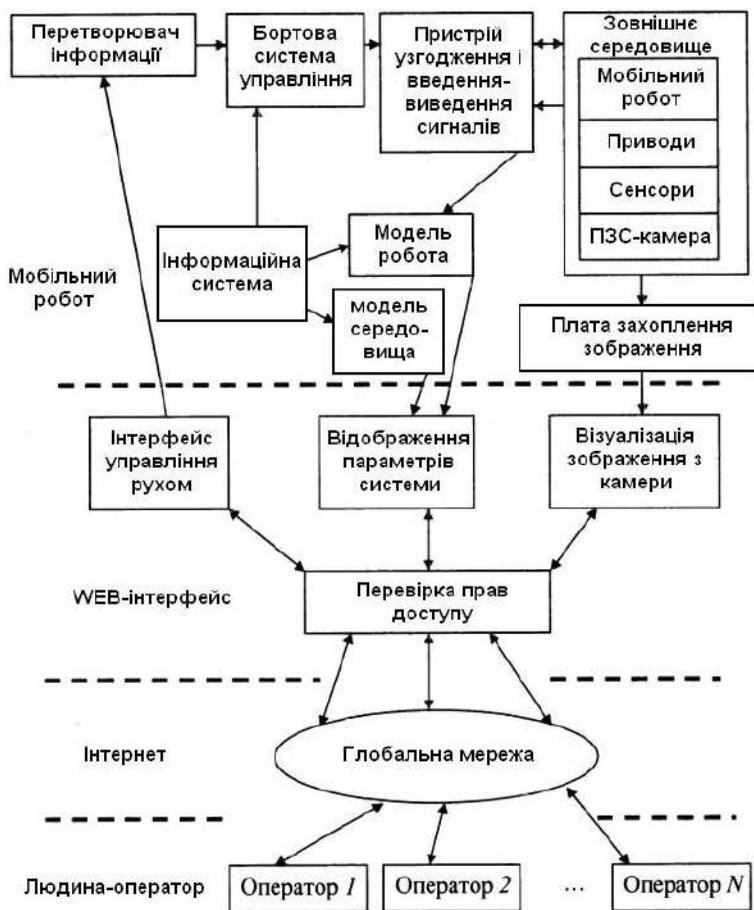


Рисунок 7.1 – Узагальнена схема системи дистанційного керування мобільним роботом по мережі Інтернет

Бортова система управління рівня повинна мати високий ступінь інтелектуальності на тактичному рівні. В її завдання входить:

- формування команд для виконавчих приводів робота;
- коригування команд з урахуванням поточних параметрів інтернет-з'єднання і прогнозу виникнення критичних

ситуацій;

- автоматична зупинка руху і перехід в режим очікування при втраті керуючих впливів від оператора.

Пристрої узгодження і введення-виведення сигналів забезпечують роботу системи на виконавчому рівні управління. Вони здійснюють посилення сигналів, збір даних, видачу керуючих впливів на приводи робота. Плата захоплення зображень необхідна для введення зображення з ПЗС-камери в бортовий комп'ютер, в разі використання декількох камер здійснюється також синхронізація їх роботи.

Основними функціональними блоками web-інтерфейсу є інтерфейси управління рухом, відображення параметрів системи і передачі відео зображення.

Інтерфейс управління рухом надає оператору можливість подавати такі уніфіковані команди верхнього рівня за допомогою натискання кнопки на екрані монітора, як дозвіл на початок руху, зупинку, поворот, зміна швидкості.

При дистанційному управлінні через Інтернет виникає технічне протиріччя. З одного боку, оператор для правильного і своєчасного прийняття рішення повинен мати максимально повну інформацію про стан робота і навколишнього його середовища; з іншого – при збільшенні обсягу переданої оператору інформації збільшуються тимчасові затримки, і оператор може не встигнути зреагувати на зміну зовнішніх умов або стану робота.

Методика взаємодії оператора з роботом за допомогою мережі Інтернет передбачає:

- уніфікацію команд верхнього рівня управління (команд оператора);
- максимально можливе спрощення введення керуючих впливів оператором;
- реалізацію управління у вигляді команд, які задають відносно або абсолютне прирощення до поточного значення параметра;
- відображення параметрів системи на моніторі оператора з обов'язковим підтвердженням прийняття команд до виконання і наявністю індикаторів небезпечних ситуацій.

Для зменшення завантаження каналу зв'язку при взаємодії оператора з роботом пропонується зменшити обсяг переданих керуючих впливів за рахунок використання CGI-інтерфейсу. Алгоритм роботи системи з використанням інтерфейсу CGI включає наступні основні етапи:

- клієнт встановлює з'єднання з web-сервером через стандартний браузер (наприклад, Microsoft Internet Explorer);
- браузер клієнта передає серверу HTTP-запит;
- Web-сервер аналізує запит щодо розширення і з'ясовує, що це звернення не статичної сторінки, а запит до CGI-скрипту;
- при виявленні вказаного в запиті CGI-додатку і наявності прав на запуск web-сервер запускає додаток;
- CGI-скрипт виконує необхідні дії і в результаті взаємодії з додатком формує відповідні дані, виводить їх в стандартний потік вводу-виводу. Web-сервер передає ці дані клієнта. Причому CGI-скрипт може передавати не тільки HTML-дані, але і бінарні дані, таким чином повністю формується HTTP-відповідь;
- Web-сервер розриває з'єднання, завершуючи тим самим обмін.

7.2 Середовища розробки програм для керування

На основі аналізу ефективності різних мов програмування при розробці CGI-додатків в якості основного середовища розробки зазвичай обирають мову графічного програмування LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench – робоче місце проектування лабораторних віртуальних приладів).

LabVIEW – це потужна, повнофункціональна мова програмування, що працює на платформах: PC під управлінням Microsoft Windows, комп'ютерів Apple Macintosh, робочих станцій Sun SPARCstations, Concurrent PowerMax і HP-UX. LabVIEW відступає від послідовної природи традиційних мов програмування і відрізняється графічним програмним середовищем і інструментарієм, необхідним для збору даних, аналізу та представлення результатів.

За допомогою базису LabVIEW – графічної мови

програмування, іменованої «G,» можна створювати програми у вигляді блок-діаграм, які дозволяють більш адекватно сприймати «текст» програми, полегшують її налагодження, модернізацію, пошук і коригування помилок. Після написання програми у вигляді блок-діаграми LabVIEW перетворює її в машинний код.

LabVIEW об'єднує збір, аналіз і представлення інформації в єдиний комплекс («наскрізна» технологія програмування).

Для отримання даних і управління приладами LabVIEW підтримує протоколи RS-232/422, IEEE 488 (GPIB) і VXI, включаючи функції Virtual Instrument Software Architecture (VISA), а також вбудовані плати збору даних.

До складу пакету входить інструментальна бібліотека з драйверами для сотень приладів, що значно спрощує програми управління приладами. Велика бібліотека для аналізу даних містить функції: генерації сигналів, їх обробки, фільтрації, статистичної оцінки, лінійної алгебри та операцій з масивами.

Пакет LabVIEW є графічним за своєю природою і забезпечує такі засоби візуалізації, як створення таблиць, приладових індикаторів, двомірних графіків і тривимірних зображень.

У числі інших переваг LabVIEW можна відзначити можливість вбудовування в блок діаграми підпрограм користувача, написаних на традиційних «текстових» мовах програмування (C, C ++, Java, Visual Basic), компілювати у вигляді динамічно підключених бібліотек, а також скриптів, написаних в широко поширеному середовищі MatLab. Це дозволяє забезпечити спадкоємність програмного забезпечення і виключає необхідність повторної розробки раніше створених підпрограм.

Вирішальними аргументами на користь LabVIEW при виборі засобу розробки є такі наступні переваги.

1. Можливість розробки CGI-додатків, що дозволяє реалізувати концепцію інтеграції програмного забезпечення web-сервера з керуючою роботою програмою.

2. Підтримка операційної системи жорсткого реального часу LabVIEW RT, що дозволяє здійснювати розробку коду, а також моніторинг та налагодження програми в середовищі LabVIEW під управлінням операційної системи Microsoft Windows, а потім завантажити створений код на комп'ютер (бортовий контролер),

що працює під управлінням операційної системи жорсткого реального часу.

3. Наявність додаткової бібліотеки «Internet Developers for G Toolkit» вбудованого G web-сервера – базисного компонента, що дозволяє на його основі розробляти інтернет-додатки.

Програми на мові G прийнято називати віртуальними приладами -VI (virtual instrument – англ.). Програма складається з діаграми і лицьової панелі віртуального приладу. Оператор має можливість змінювати значення змінних, що визначають швидкість роботи, напрямку руху і т.д., натискаючи на кнопки і перемикачі, повертаючи регулятори на лицьовій панелі віртуального приладу (рис. 7.2).

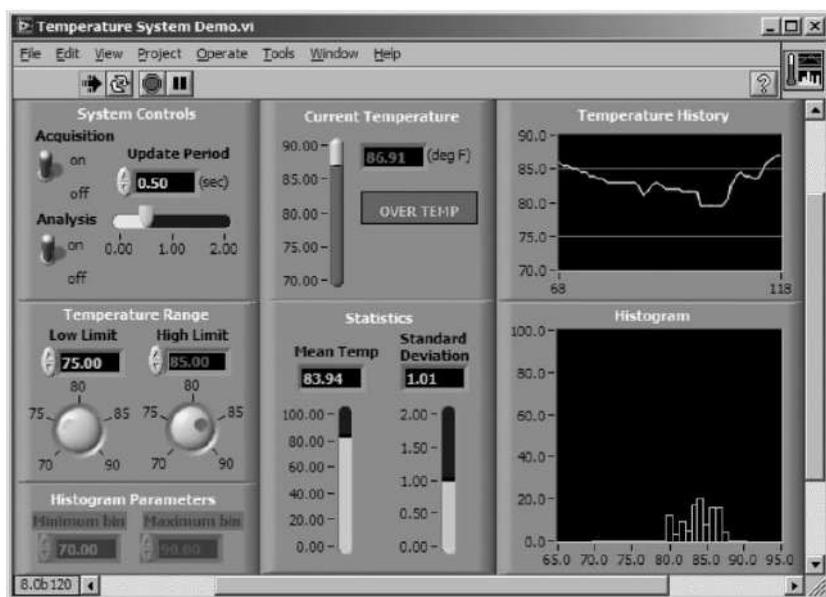


Рисунок 7.2 – Приклад віртуальної панелі управління в системі LabVIEW

Програма написана на графічній мові програмування, а тому являє собою блок-діаграму. На рис. 7.3 представлений фрагмент діаграми програми, що управляє рухом робота. Дана програма має високу ступінь вкладеності – велике число підпрограм –

віртуальних підприладів. Кожен з них виконує певний набір функцій і для кожного строго визначені вхідні та вихідні параметри. З'єднання між функціональними блоками відображають потоки даних при роботі програми, а об'єднання декількох функціональних блоків в «рамки» – відображає використання таких структур, як цикли, послідовності, case-структури.

Використання середовища LabVIEW при розробці керуючої програми дозволило за рахунок підключення зовнішніх бібліотек забезпечити роботу з багатofункціональною платою введення-виведення Lcard-650.

Таким чином, змінні визначають зміну сигналу на виході ЦАП плати і управляють перемиканням цифрових ліній. Оператору також надається можливість змінювати параметри АЦП (частоту дискретизації, номера опитуваних каналів і т.п.) і спостерігати показники датчиків у вигляді графіків, стрілочних і світлових індикаторів на лицьовій панелі.

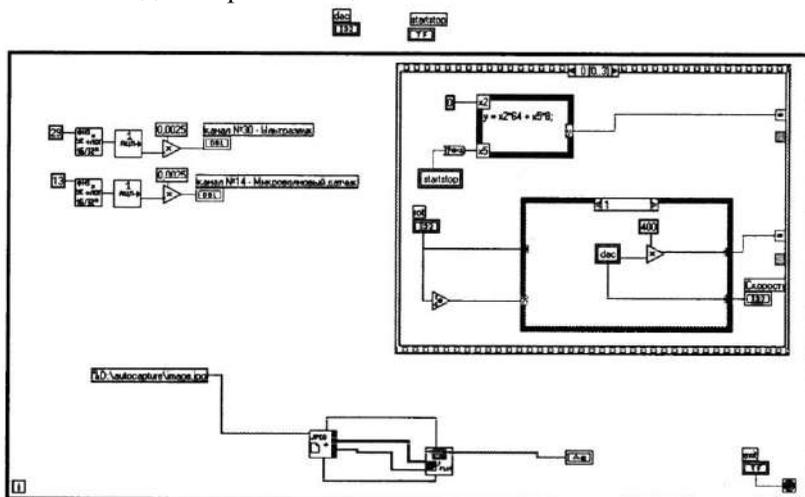


Рисунок 7.3 – Фрагмент програми управління мобільним роботом в середовищі графічного програмування LabVIEW

Серверна частина складається з виконуваного модуля, що вирішує основні завдання обробки даних, що надходять від

оператора, звернення до керуючої роботою програми і формування відповіді у форматі HTML. Як було зазначено вище, такий модуль називається CGI-модулем і реалізується на базі технології загального інтерфейсу маршрутизації.

Для реалізації взаємодії клієнт-сервер важливо, який метод HTTP-запиту використовує клієнтська частина при зверненні до web-серверу. У загальному випадку запит – це повідомлення, що посилається клієнтом серверу.

Перший рядок HTTP-запиту включає в себе: метод, який повинен бути застосований до запитуваного ресурсу, ідентифікатор ресурсу (URI-Uniform Resource Identifier) і використовувану версію HTTP-протоколу. В даному випадку клієнтська частина застосовує методи запиту POST і GET.

Метод POST використовується для запиту серверу, щоб той прийняв інформацію, включену в запит, як і ставиться до ресурсу, зазначеному ідентифікатором ресурсу.

Метод GET використовується для отримання будь-якої інформації, ідентифікованої ідентифікатором ресурсу в HTTP-запиті. CGI визначає 4 інформаційних потоки: змінні оточення, стандартний вхідний потік, стандартний вихідний потік.

На рис. 7.4-7.7 показані модулі, призначені для обробки і перетворення сенсорної інформації, що надходить від системи технічного зору, ультразвукових і мікрохвильових датчиків, а також кутових датчиків коліс мобільного робота.

Для створення людино-машинного інтерфейсу – клієнтської частини системи управління – необхідно створити HTML-документ, в якому реалізований інтерфейс з оператором. У мові HTML це можливо за допомогою форм. При їх розробці використана вбудована можливість LabVIEW по опублікуванню у вигляді HTML лицьової панелі віртуального інструменту.

Далі здійснюють підключення апаратної частини, а також розробленого програмного забезпечення системи дистанційного керування мобільним роботом з використанням мережі Інтернет. Загальний вигляд системи представлений на рис. 7.8.

Основними частинами розробленого програмного комплексу є керуюча роботою програма і CGI-модуль. Розроблені методи дозволяють здійснити інтеграцію цих двох частин таким чином, що за допомогою CGI-модуля оператор має можливість

запускати і зупиняти керуючу програму, а також змінювати значення її змінних.

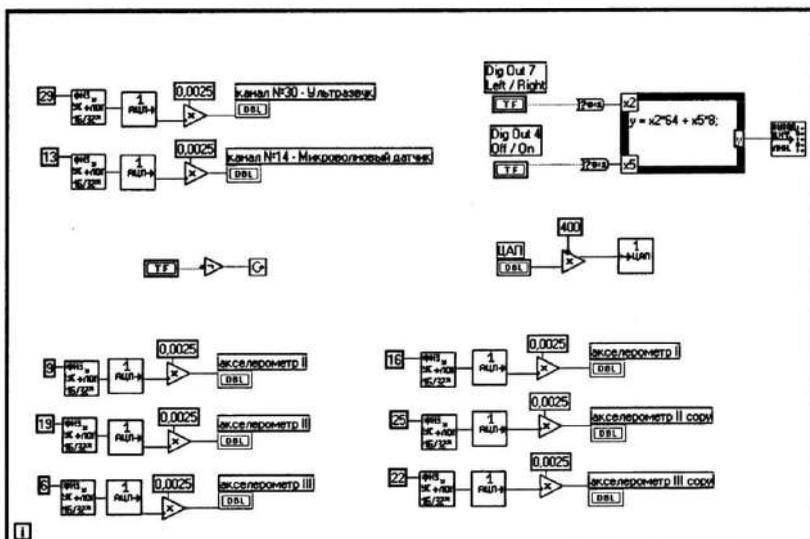


Рисунок 7.4 – Діаграма блоку обробки сигналів з ультразвукових і мікрохвильових датчиків

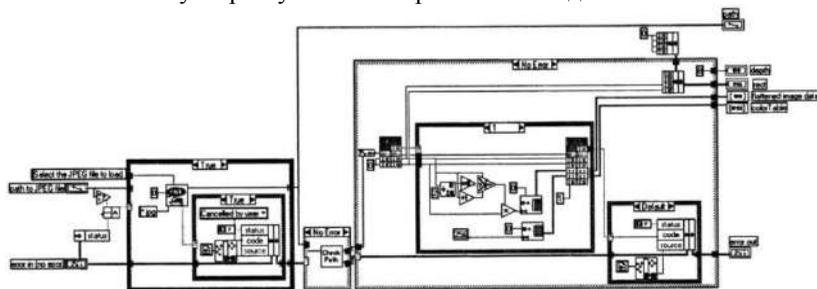


Рисунок 7.5 – Діаграма блоку читання зображення з камери мобільного робота

За рахунок такої інтеграції вдалося значно підвищити швидкість обробки команд оператора, а отже, і надійність системи дистанційного керування, що працює в умовах нестабільності каналу зв'язку – мережі Інтернет і можливих непередбачуваних змін у середовищі навколо мобільного робота.

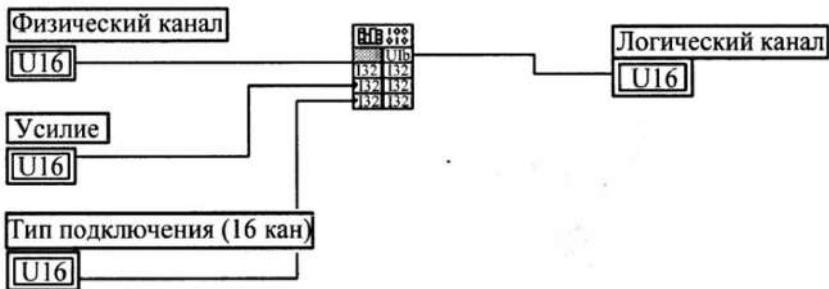


Рисунок 7.6 – Диаграмма блока перетворення даних з датчиків

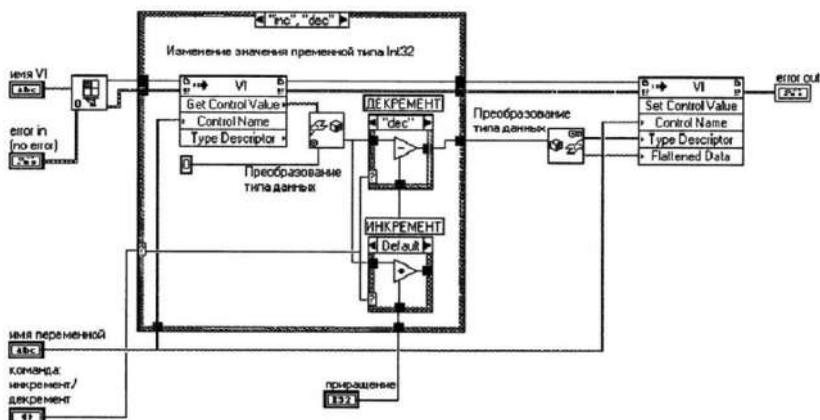


Рисунок 7.7 – Диаграмма блока обработки сигналов з кутових датчиків коліс мобільного робота

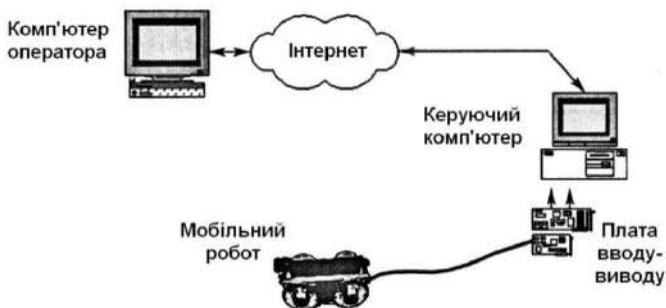


Рисунок 7.8 – Управління мобільним роботом через мережу Інтернет

Оператору надається можливість давати команду «старт/стоп», змінювати швидкість і напрямок руху робота. Поточні значення сигналів з датчиків відображаються у вигляді графіків, стрілочних і цифрових індикаторів на динамічно оновлюваній web-сторінці на моніторі оператора. Реалізована також передача відео зображення з камери.

При цьому обробка навігаційних змінних, а також параметрів поточного стану робота здійснюється на керуючому комп'ютері в рамках роботи керуючої програми незалежно від оператора і часу затримки мережі Інтернет. Таким чином, в разі виникнення критичного режиму роботи аварійна зупинка робота станеться автоматично по сигналу керуючої програми.

Питання для самоперевірки

1. Які перспективи відкривають Інтернет-технології в мехатроніці та робототехніці?
2. Які переваги Інтернету як засобу організації дистанційного управління технічними об'єктами?
3. Які перспективні сфери застосування Інтернет-робототехніки?
4. Які умови використання роботів для проведення операцій у важкодоступних та небезпечних середовищах?
5. Які фактори слід враховувати при використанні мережі Інтернет як каналу зв'язку?
6. Що таке ICMP-пакет?
7. Як визначити пропускну здатність мережі і верхню межу смуги переданого сигналу?
8. Яким вимогам повинна відповідати робототехнічна система з керуванням по глобальній мережі?
9. Що треба зробити для зменшення впливу завантаженості мережі на роботу оператора?
10. Поясніть що слід розуміти під терміном «людино-машинний інтерфейс»?
11. В чому полягає самоналаштування системи на параметри Інтернет-з'єднання?
12. Як повинна вести себе робототехнічна система при втраті керуючих впливів від оператора?
13. Які задачі стоять перед бортовою системою управління

робототехнічною системою?

14. Яке призначення пристроїв узгодження і вводу-виводу сигналів?
15. Для чого призначена плата захвату зображення?
16. В чому полягає методика взаємодії оператора з роботом?
17. За рахунок чого досягається зменшення завантаження каналу зв'язку при взаємодії оператора з роботом?
18. Розкажіть алгоритм роботи системи з використанням інтерфейсу CGI.
19. Що таке LabVIEW?
20. Які мови програмування використовуються у LabVIEW?

8 АВТОМОБІЛЬ ЯК СКЛАДНА МЕХАТРОННА СИСТЕМА

8.1 Історія появи і розвитку автомобільних мехатронних систем

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).

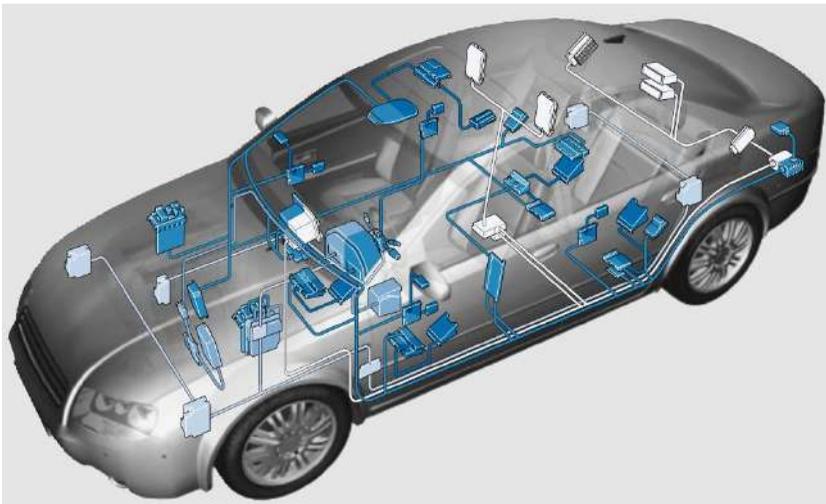


Рисунок 8.1 – Сучасний автомобіль як складна мехатронна система

Сучасна автомобільна МС включає, як правило, цілий ряд підсистем, 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 аббревіатурою АБС (антиблокувальна система гальм) зробила переворот в активній безпеці. Антиблокувальна система не тільки забезпечила керованість 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 сковзати 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

стійкості (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.

8.2 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 упорскування 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.

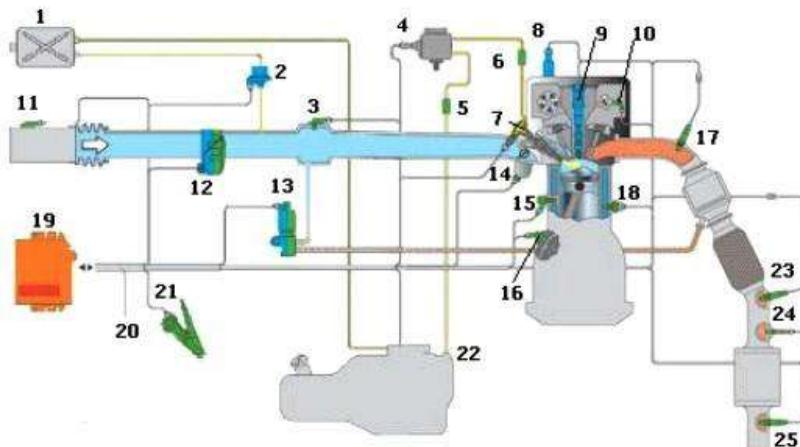
Терміном «система управління двигуном» зазвичай називають систему управління двигуном внутрішнього згорання. У дизельному двигуні аналогічна система називається система управління дизелем.

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 системи 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 впускній 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.

8.3 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 перемикання 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 перемикання 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.

8.4 Система керування підвіскою

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 покриттів. Узгодження підпружинення й демпфірування коливань визначається компромісом між комфортом і безпекою руху.

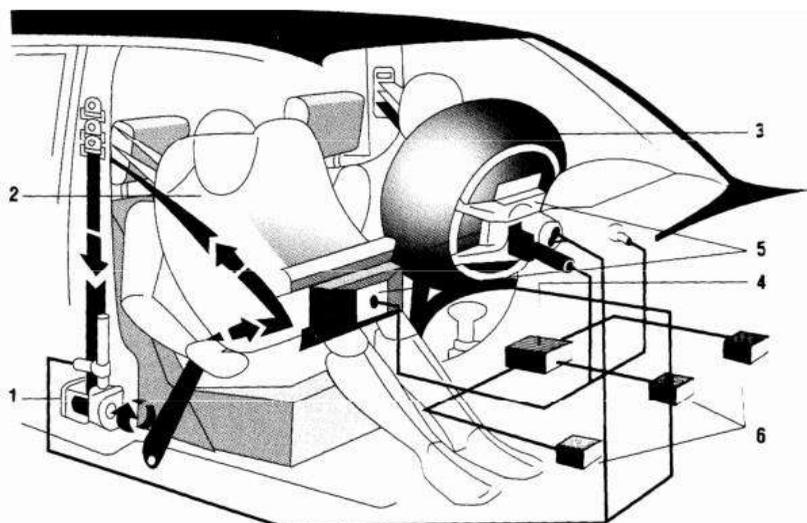
Для реалізації змінного демпфірування численні датчики системи безупинно оцінюють величини, що характеризують умови руху: швидкість руху, кут повороту рульового керування й дросельного клапана, вертикальне й горизонтальне прискорення корпусу й осей, переміщення пружин, навантаження на гальма.

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.

Перемикавання 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 автомобіля), 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-генерируючою 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 перемикається 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) використовують 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 заледеніння; 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 безпілотної 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 запізнювання.

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 розташування 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.

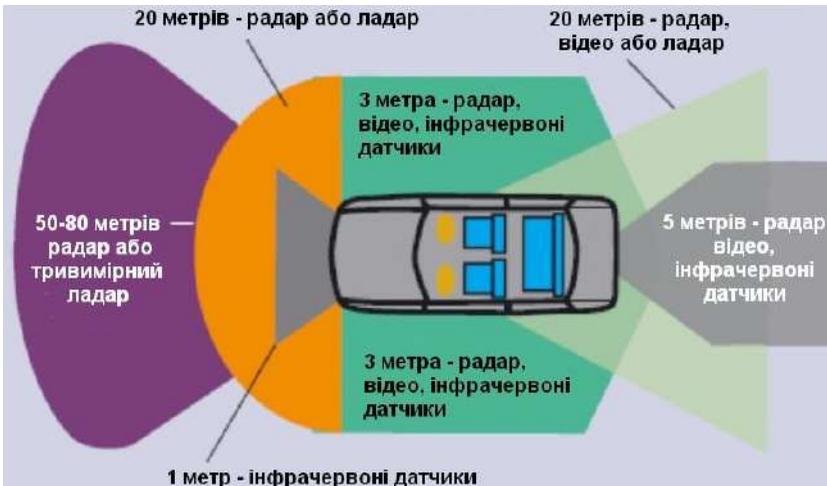


Рисунок 8.4 – Датчики орієнтації в просторі та дистанція їхньої дії

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.

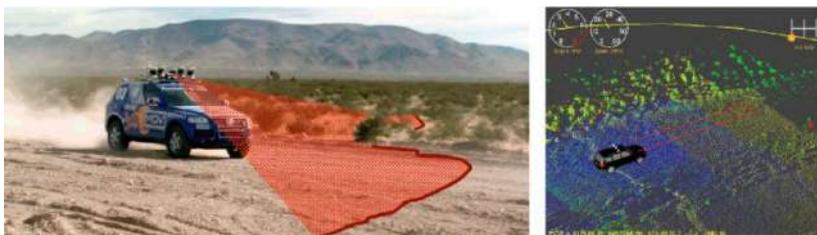


Рисунок 8.5 – Ілюстрація роботи лазерного сенсора

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?

9 СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИМИ ДВИГУНАМИ

9.1 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 економичності;
 - 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.

9.2 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).

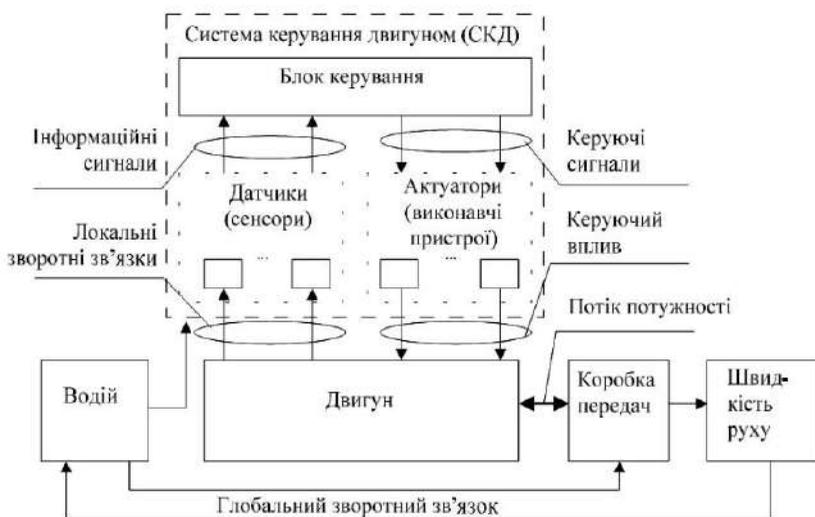


Рисунок 9.1 – Схема процесу керування автомобільним двигуном

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 налаштовується) керування двигуном.

Принципи оптимального і адаптивного керування стало можливим реалізувати завдяки розвитку електронних систем

керування. 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 багатциліндрового 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 входних параметрів у нього більше одного і кожний входний 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 керування впливів, синхронізація з тактами робочого циклу двигуна;

- поєднання програмного керування зі зворотними зв'язками;
- оптимальність і адаптивність керування.

9.3 Критерії керування

Вибір критеріїв керування диктується цілями або цільовими задачами, 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 керованої системи, тобто двигуна. Вважається, що основне призначення систем керування двигуном полягає в забезпеченні максимальної потужності двигуна при мінімальній витраті палива (енергії) та мініимальному 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.

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.

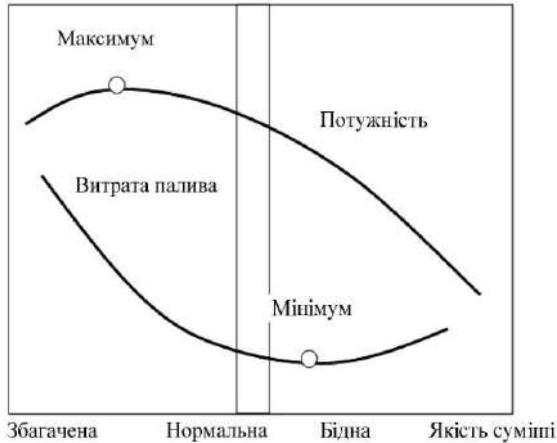


Рисунок 9.2 – Залежність потужності та економічності двигуна від якості суміші

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.

9.4 Параметри керування двигунів автомобілів

В автомобілях як приводні двигуни використовуються переважно двигуни внутрішнього згорання (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 нешкідливі 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 продукти неповного згорання з'являються окисли вуглецю (C), частково незгорілі вуглеводні (HC) і чадні гази (NO_x), а також двоокис сірки (SO₂) 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, необхідної для повного згорання, тобто $\lambda = L/L_T$ (L_T – теоретична потреба в повітрі).

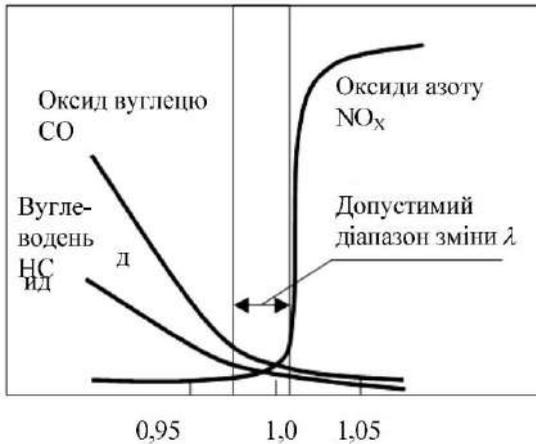


Рисунок 9.3 – Залежність вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах від складу горючої суміші

Якщо у всмоктуване повітря додасться більше палива, то виходить багата суміш і вуглеводні згорають лише частково. Вміст НС і С у вихлопному газі відповідно підвищується. При бідній суміші паливо повністю згорає і у вихлопному газі залишається кисень. В результаті поганого згорання знову підвищується частка НС 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.

9.5 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

використовувати 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.

9.6 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:

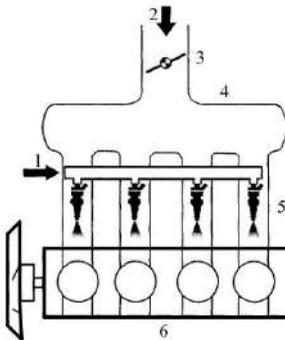
- механічна система впорскування палива К-Jetronic (mechanical injection system). В ній маса впорскуваного палива визначається дозуючим розподільним пристроєм, від якого паливо поступає у форсунку, що відкривається при певному тиску. Потім відбувається постійне впорскування палива;
- електронно-механічна система впорскування палива KE-Jetronic (electronic-mechanical injection system), це та ж система К-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.

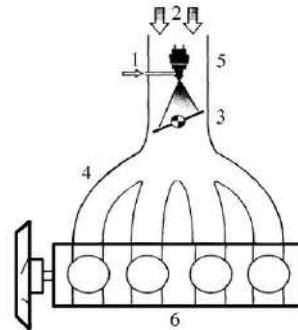
Система одноточкового впорскування палива. В цій системі (у Bosch є дві конструкції такого впорскування – Mono-Jetronic і Mono-Motronic) (single point injection system Mono-Jetronic and Mono-Motronic) впорскування здійснюється однією форсункою з електромагнітним керуванням.

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

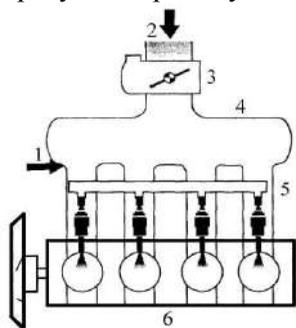


- 1 – паливна магістраль,
2 – повітря, 3 – дросельна заслінка,
4 – впускний колектор, 5 – форсунка,
6 – блок циліндрів

Рисунок 9.6 – Система одноточкового впорскування палива

Системи впорскування із внутрішнім сумішоутворенням.

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.).

9.7 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

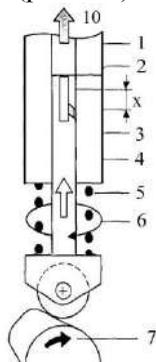
Відмінність систем впорскування дизельних двигунів полягає в механізмі створення високого тиску. На даний час існують такі системи впорскування для дизельного двигуна:

- 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.

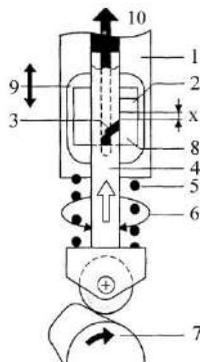
9.8 Система впорскування з рядним ПНВТ

Конструкція цього типу має плунжерні пари 4-1 за числом циліндрів (рис. 9.9).



- 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

Під час роботи плунжер 4 зміщується у напрямку подачі, який приводиться від двигуна кулачковим валом. Зворотна пружина приводить плунжер в початкове положення.

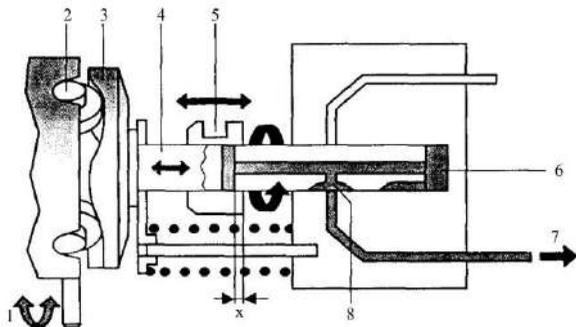
Окремі секції ПНВТ розташовані в ряд – звідси і назва «рядний». Надлишковий тиск створений всередині плунжерної пари відкриває механічну форсунку і відбувається впорскування палива в камеру згоряння.

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.

9.9 Система впорскування з розподільним ПНВТ

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



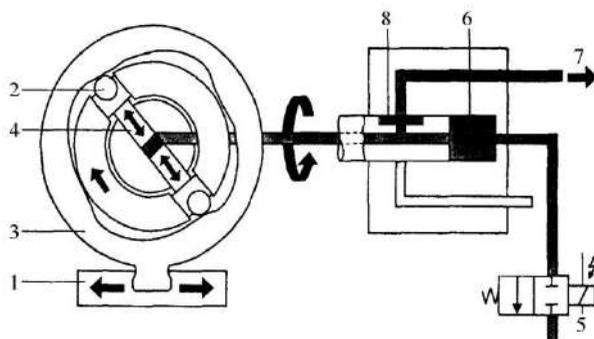
- 1 – траєкторія повороту роликів, 2 – ролик,
- 3 – кулачкова шайба, 4 – аксіальний плунжер-розподільник,
- 5 – регулювальна втулка, 6 – камера високого тиску,
- 7 – подача палива до форсунок,
- 8 – розподільний паз, X – активний хід плунжера

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 роликів 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).



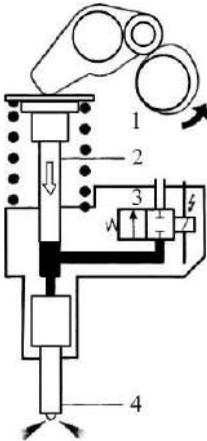
- 1 – регулювання моменту впорскування поворотом кулачкової шайби, 2 – ролик, 3 – кулачкова шайба,
- 4 – радіальний плунжер, 5 – електромагнітний клапан високого тиску, 6 – камера високого тиску,
- 7 – подача палива до форсунки, 8 – розподільний паз

Рисунок 9.12 – Система впорскування з розподільним радіальним ПНВТ

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.

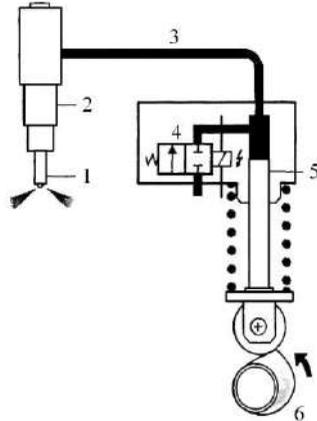
9.10 Система впорскування з індивідуальними ПНВТ

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 3.



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

Рисунок 9.13 – Система впорскування UIS



- 1 – розпилювач форсунки,
- 2 – форсунка, 3 – магистраль високого тиску,
- 4 – електромагнітний клапан високого тиску, 5 – плунжер,
- 6 – кулачок привода ПНВТ

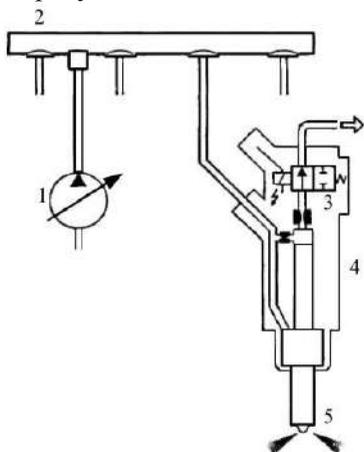
Рисунок 9.14 – Система впорскування UPS

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 магистраль (рис. 9.14). Така конструкція полегшує монтаж системи на двигун і, відповідно, спрощує обслуговування і ремонт системи.

9.11 Система впорскування Common Rail

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

впорскування.



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

Рисунок 9.15 – Система впорскування Common Rail

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

10 СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТРАНСМІСІЄЮ АВТОМОБІЛІВ

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, пропонувані 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.

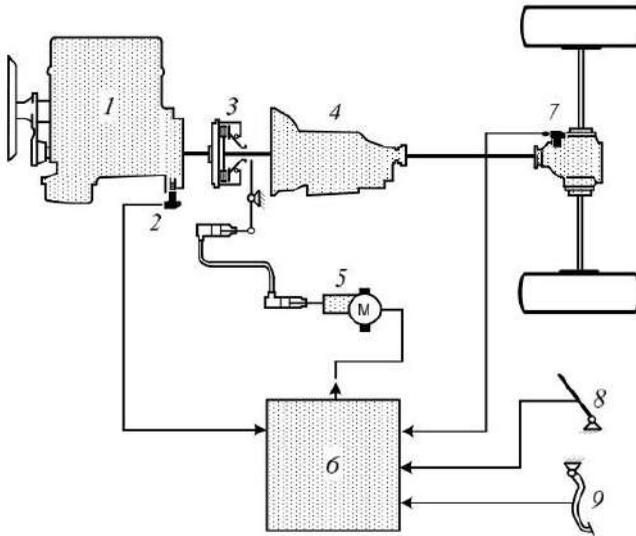
10.1 Системи керування зчепленням

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 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 рушанні 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 розімкнута, 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 колодки.

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.

10.2 Автоматичні коробки передач

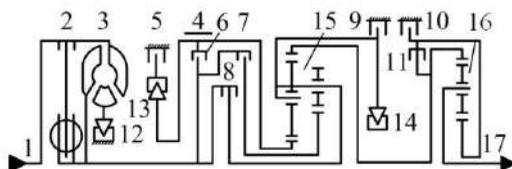
Коробка передач призначена для зміни передаточного числа трансмісії з метою одержання сил тяги на ведучих колесах і швидкостей руху автомобіля в більш широких межах, чим це може бути здійснено за рахунок зміни режимів роботи двигуна.

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 перемикання 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)

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.

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

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.

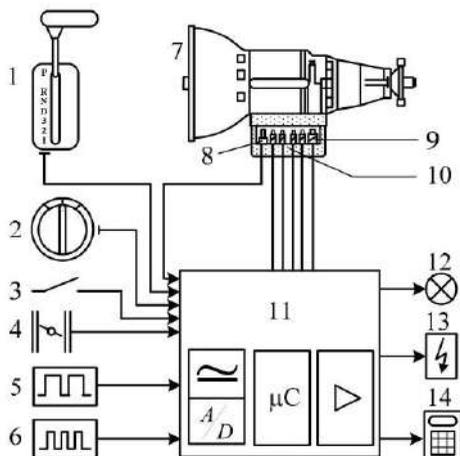
Вимірювальні перетворювачі системи визначають навантаження, положення важеля переключення передач, положення перемикача програм і режиму «kick-down», а також частоту обертання вала двигуна і веденого валу коробки передач. Блок керування обробляє ці дані відповідно до встановленої програми і виробляє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

10.3 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 перемикання 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 устанавлюється за допомогою спеціального регулятора. Плавність переключення передач може підвищуватися за рахунок короточасного зниження вихідної потужності двигуна на період переключення передачі.

Захисні кола. Передбачені для виключення ушкоджень коробки передач, пов'язаних з помилкою водія, при цьому система на помилковій 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.

10.4 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.

Керування повним приводом (з жорстким приводом на передній і задній мості, в'язкістною муфтою чи роздавальною коробкою) включає блокування диференціала в головній передачі і роздавальній коробці (яка має понижувальну передачу для руху на крутих уклонах, при низьких швидкостях і для передач 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.

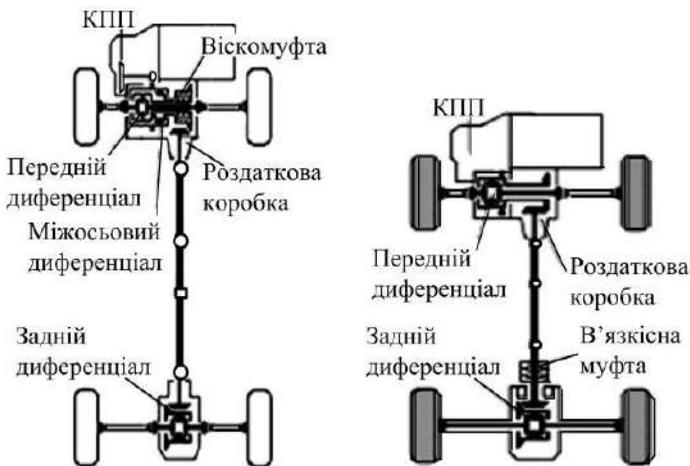


Рисунок 10.5 – Схеми повного приводу з в'язкісною муфтою

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.

10.5 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:

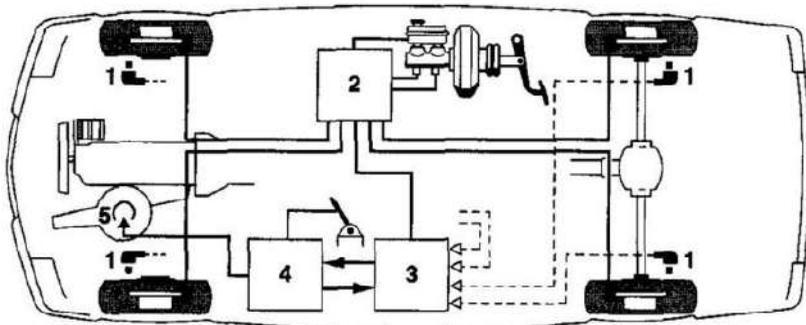
- підвищення сили тяги;

- 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 спрацьовування 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 трансмісії 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?

11 СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПІДВІСКОЮ АВТОМОБІЛІВ

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 дещо 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).

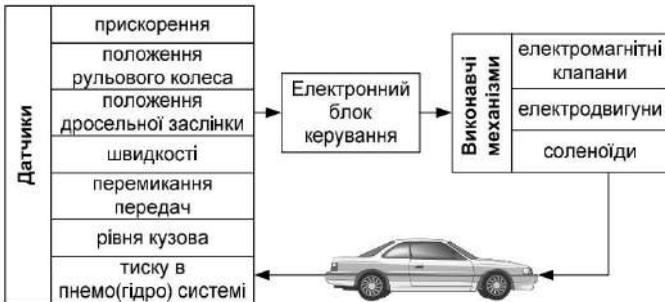


Рисунок 11.1 – Структурна схема електронного керування підвіскою

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.

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.

11.1 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.

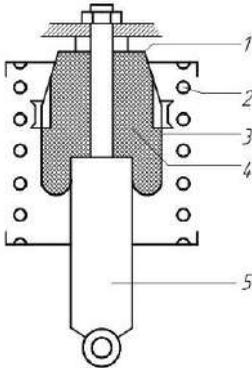
Системи, що частково навантажуються (рис. 11.2, 11.3).

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.

Переваги електронного керування:

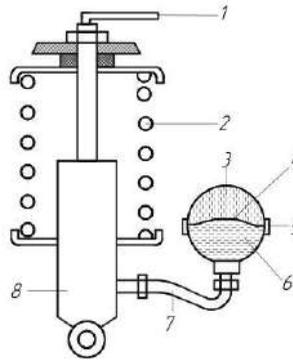
- зменшена витрата енергії через усунення проміжних циклів під час гальмування, прискорення і при русі на поворотах;
- реагування системи на збільшення швидкості руху автомобіля зменшенням висоти підвіски для економії палива;

- 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.



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

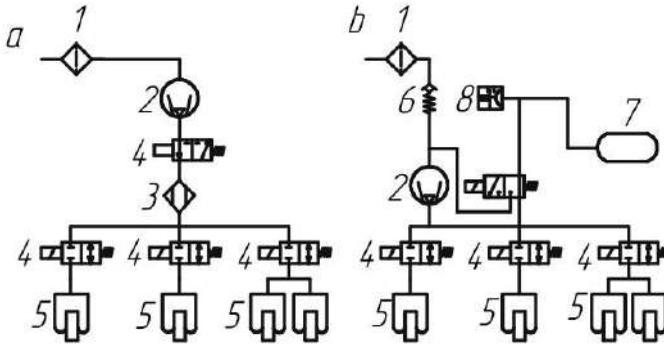
Рисунок 11.3 – Гідропневматична система вирівнювання навантаження (частково навантажена система)

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).

11.2 Цілком навантажені системи підвіски

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



- a – розімкнута система, b – замкнута система,
1 – фільтр, 2 – компресор, 3 – осушувач, 4 – соленоїдний 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 періодів часу активного керування; необхідність забезпечення осушення повітря; шум під час періодів всмоктування і випуску.

Замкнута система.

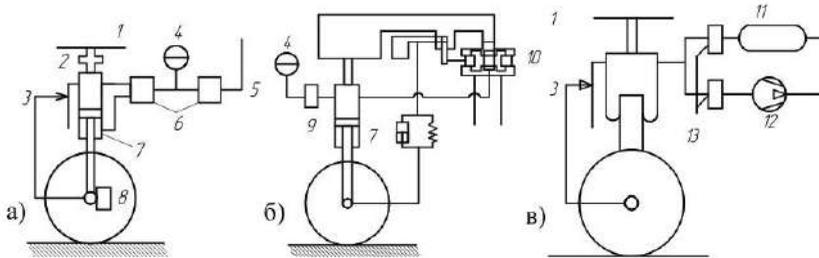
Переваги: низька вихідна потужність компресора (мінімальний перепад тиску між акумулятором і елементом

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 використовуються для підтримки статичного навантаження на колесо.

Конструкції гідропневматичних 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.

11.3 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 різких прискореннях і перемиканням передач, «пирнанню» при різкому гальмуванні, крену при різких поворотах та ін.

Зміна розмірів пропускнуго 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.

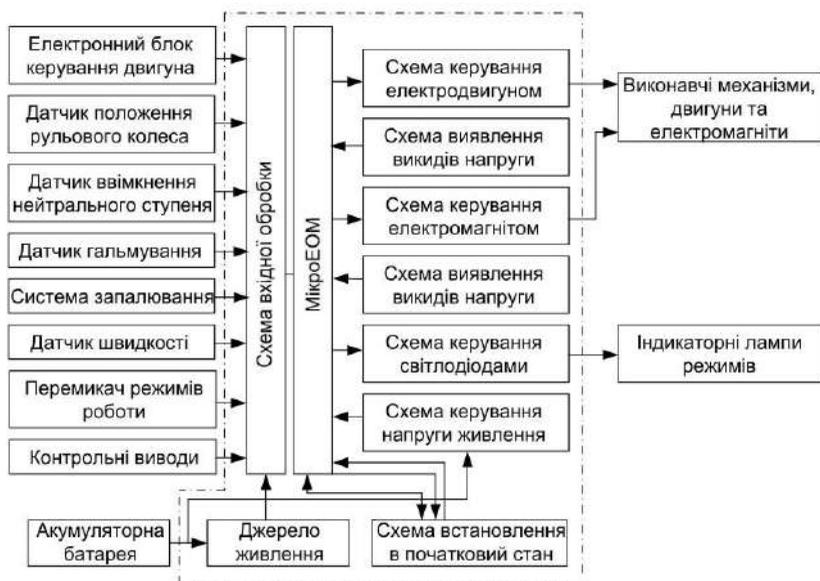


Рисунок 11.6 – Структурна схема ЕБК амортизатором

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 швидкодія ЕБК. Такий принцип керування амортизатором використовується в активній гідропневматичній підвісці Hydreactive.

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.

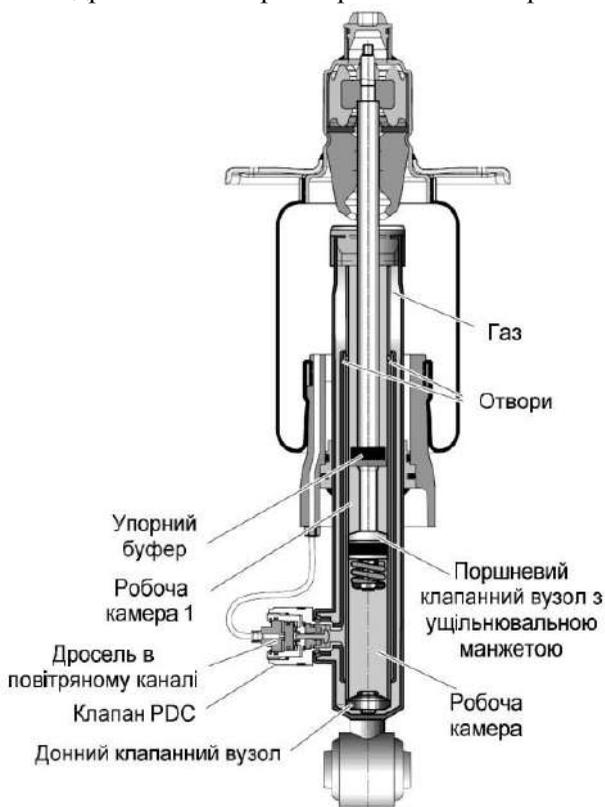


Рисунок 11.7 – Будова клапана PDC

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

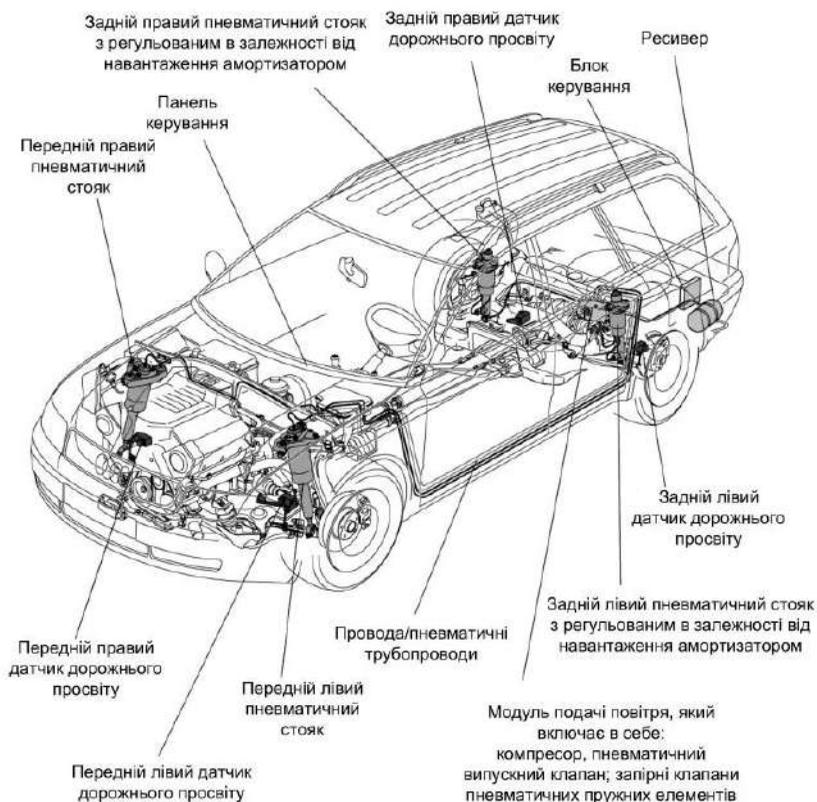


Рисунок 11.8 – Складові пневмопідвіски з електронним регулюванням

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.

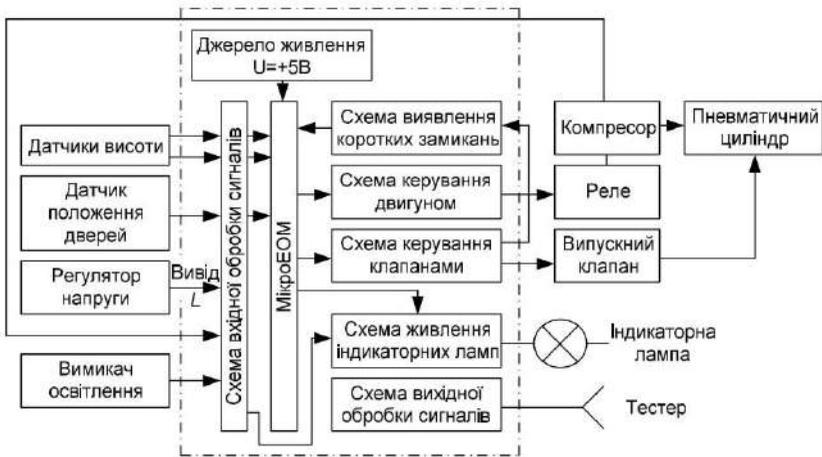


Рисунок 11.9 – Структурна схема ЕБК висоти кузова

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 корпуса, гумокордного рукавного елемента, поршня (нижньої кришки корпуса) 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 мастилостійким. 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 розкочуватись по поршню (можливі її пошкодження).

На автомобілі з пневмобалонами, в яких відсутній тиск, перед тим, як піднімати чи опускати його (наприклад, за допомогою підйомника 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 керування жорсткістю підвіски автомобіля подана на рис. 11.12.

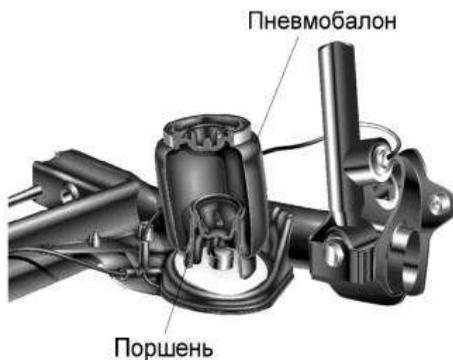


Рисунок 11.11 – Схема рознесеного розташування пневмобалона і амортизатора



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?

12 СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГАЛЬМОВИМИ СИСТЕМАМИ АВТОМОБІЛІВ

Гальма призначені для ефективного сповільнення автомобіля аж до зупинки і для утримання його в нерухомому стані. Електронні системи, які забезпечують керування гальмами з метою підвищення ефективності їх роботи, за функціональним призначенням, можуть бути класифікованими на антиблокувальні, регулювання гальмових сил та повністю електронні. В залежності від виду енергії, що використовується для керування гальмовими системами (рис. 12.1), останні поділяються на мускульні, енергопостачальні, безмускульні та інерційні.

Різноманітні гальмівні системи можуть встановлюватись у різних сполученнях. В енергопостачальних гальмівних системах в деякій мірі використовують силу натиснення на педаль. Енергопостачальні та безмускульні системи розрізняються не тільки за видом енергії, а і за фізичним середовищем, яке використовується для передачі енергії. Найчастіше використовують пневматичний і гідравлічний види енергії, в перспективі знайде широке застосування електричний.

12.1 Антиблокувальні системи

Антиблокувальні системи автомобілів являють собою системи, оснащені пристроями керування зі зворотним зв'язком, що запобігають блокуванню коліс під час гальмування і зберігають керованість і курсову стійкість автомобіля. Основними компонентами АБС є: гідромодулятор, датчики швидкості обертання коліс, електронний блок керування.

При розробці системи АБС беруть до уваги:

- варіанти зчеплення між шиною і дорогою;
- нерівності дорожнього покриття, що викликають коливання коліс і осей;
- гальмівний гістерезис;
- зміни тиску в головному гальмовому циліндрі при впливі водія на педаль гальма;
- зміни радіуса колеса (при встановленні запасного колеса).

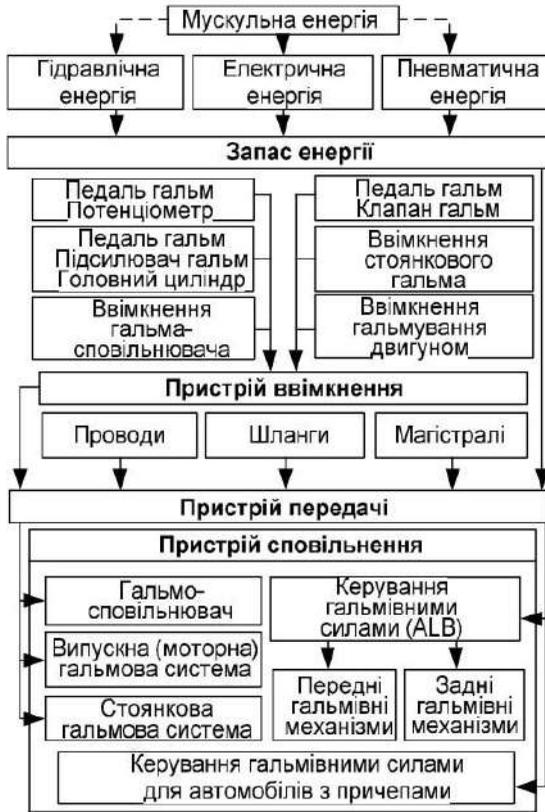


Рисунок 12.1 – Схема гальмової системи (вантажний автомобіль-тягач)

Критерії якості керування:

- підтримка курсової стійкості під час керування автомобілем шляхом забезпечення достатньої величини поперечної сили зчеплення на задніх колесах;
- підтримка керованості автомобіля шляхом забезпечення достатньої поперечної сили зчеплення на передніх колесах;
- зменшення гальмівного шляху в порівнянні з гальмуванням із заблокованими колесами;
- швидка зміна гальмівних моментів для різних

коефіцієнтів зчеплення, наприклад, коли автомобіль рухається через невеликі ділянки льоду на дорожнім покритті;

- контроль низьких амплітуд зміни гальмівного моменту з метою попередження вібрацій у зубчастих передачах;
- високий рівень комфорту руху в результаті незначного впливу зворотного зв'язку на педаль гальма і застосування безшумних виконавчих механізмів.

Незалежно від конструкції, АБС має складатися з таких елементів:

- датчики, функцією яких є видача інформації, в залежності від прийнятої системи регулювання, про кутову швидкість колеса, тиск робочого тіла гальмівному приводі, сповільнення автомобіля та ін.;
- блок керування, зазвичай електронний, куди поступає інформація від датчиків, який після логічної обробки отриманої інформації дає команду виконуючим механізмам;
- виконуючі механізми, (модулятори тиску), які в залежності від отриманої з блока керування команди, знижують, підвищують чи підтримують на постійному рівні тиск в гальмівному приводі коліс.

Процес регулювання гальмування колеса за допомогою ABS -циклічний. Пов'язано це з інерційністю самого колеса, приводу, а також елементів ABS. Якість регулювання оцінюється за тим, наскільки АБС забезпечує проковзування загальмованого колеса в заданих межах.

При великому діапазоні циклічних коливань тиску порушується комфортабельність при гальмуванні («смикання»), а елементи автомобіля сприймають додаткові навантаження. Якість роботи АБС залежить від прийнятого принципу регулювання («алгоритму функціонування»), а також від швидкодії системи в цілому. Швидкодія визначає циклічну частоту зміни гальмівного моменту. Важливою властивістю АБС повинна бути здатність пристосовуватися до зміни умов гальмування (адаптивність) і до зміни коефіцієнта зчеплення в процесі гальмування.

Розроблено велику кількість принципів, згідно з якими працюють АБС (алгоритмів функціонування). Вони

відрізняються за складністю, вартістю реалізацією і за ступенем задоволення поставлених вимог.

Розглянемо процес роботи АБС з алгоритмом функціонування за сповільненням загальмованого колеса.

Рівняння руху загальмованого колеса має вигляд:

$$J_k \varepsilon_{зк} = M_z - M_\varphi, \quad (12.1)$$

де J_k – момент інерції колеса;

$\varepsilon_{зк}$ – кутове сповільнення колеса;

M_Γ – момент, що створюється гальмівним механізмом;

M_φ – момент, можливий при зчепленні колеса з опорною поверхнею.

Використовуючи рівняння (12.1), можна побудувати графік процесу роботи АБС за сповільненням (рис. 12.2). На рисунку нанесено такі залежності: залежність моменту на загальмованому колесі, що реалізується за зчепленням від відносного проковзування $M_\varphi = f(s)$; залежність моменту, що створюється гальмівним механізмом на загальмованому колесі, від відносного проковзування в процесі автоматичного регулювання $M_\Gamma = f(s)$.

Натискання на педаль гальма викликає зростання гальмівного моменту (ділянка 0-1-2). На всій ділянці, що викликає сповільнення колеса зі збільшенням відносного проковзування. Особливо швидко сповільнення зростає на ділянці 1-2, де різниця $M_\Gamma - M_\varphi$ раптово зростає в результаті зниження M_φ , а сповільнення прямо пропорційно цій різниці:

$$\varepsilon_{зк} = (M_\Gamma - M_\varphi) / J_k, \quad (12.2)$$

Різде зростання сповільнення свідчить про те, що відносне проковзування стало дещо більшим $S_{кр}$. Це стає підставою для подачі блоком керування в точці 2 команди модулятору на зниження тиску в гальмівному приводі. Точка 2 відповідає першій команді («вставка»). За поданою командою гальмівний момент M_Γ знижується і в точці 3 стає рівним моменту за зчепленням: $M_\Gamma = M_\varphi$, а сповільнення $\varepsilon_{зк} = 0$.

Нульове значення сповільнення служить другою «вставкою»,

за якою блок керування дає команду модулятору на підтримання в гальмівному приводі постійного тиску, а, отже, сталого гальмівного моменту M_r . В даній фазі $M_\phi > M_r$ і $\epsilon_{TK} = (M_\phi - M_r) / J_k$, тобто ϵ_{TK} змінює знак і колесо починає прискорюватись.

Максимальне значення прискорення відповідає максимальній різниці $M_\phi - M_r$, що має місце в точці 4, яка є третьою «вставкою». В точці 4 блок керування дає команду модулятору на збільшення тиску в гальмівному приводі, і описаний цикл повторюється, дозволяючи підтримувати відносно проковзування в інтервалі, що забезпечує високі значення поздовжнього і поперечного коефіцієнтів зчеплення.

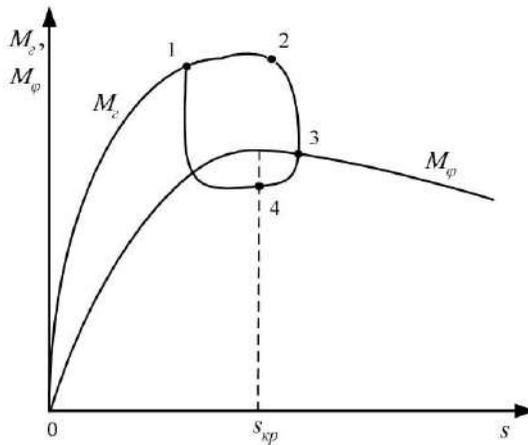


Рисунок 12.2 – Графік процесу роботи АБС за сповільненням

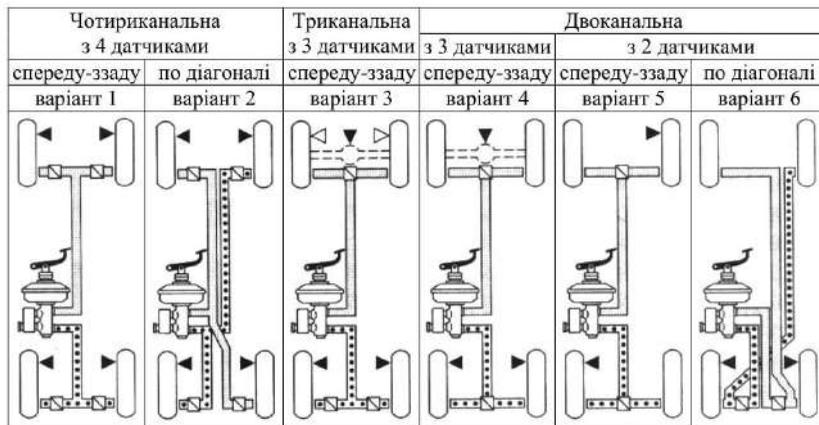
Процес роботи АБС може реалізовуватися за дво- чи трифазними циклами. При двофазовому циклі: перша фаза зростання тиску; друга фаза – скидання тиску. При трифазовому циклі: перша фаза – зростання тиску; друга – зниження тиску; третя фаза – підтримання тиску на постійному рівні.

Розглянемо деякі варіанти систем АБС (табл. 12.1), що є найбільш поширеними.

Чотириканальна система (варіанти 1, 2). Допускає окремий контроль тиску в двоконтурних системах зі з'єднанням по мостах (схема ||) та з діагональним з'єднанням (схема х). При

гальмуванні на дорожньому покритті з різними коефіцієнтами зчеплення зліва і справа («мікст») повинні застосовуватися заходи для забезпечення відсутності моменту відносно вертикальної осі, який може призвести до втрати курсової стійкості автомобіля.

Таблиця 12.1 – Варіанти систем АБС



- ▶ – датчик;
- ▷ – датчик, альтернативний відносно датчика диференціала;
- ◻ – канал керування

Триканальна система (варіант 3). Момент розвороту під час гальмування на дорожніх покриттях типу «мікст» зменшений так, що легкові автомобілі з довгою базою і великим моментом інерції відносно вертикальної осі не втрачають курсової стійкості і керованості.

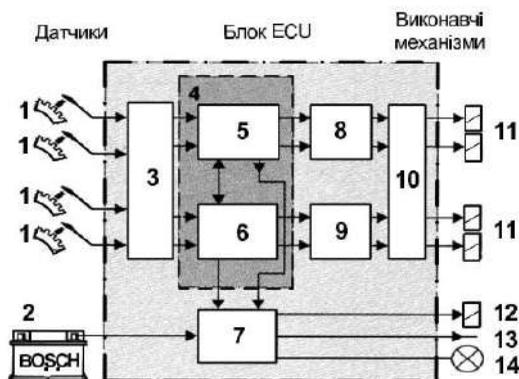
Двоканальні системи (варіанти 4, 5, 6). Ці системи, з одного боку, мають менше число компонентів, ніж триканальні і чотириканальні, що робить їх менш дорогими. З іншої сторони виникає деяка кількість функціональних обмежень.

У варіанті 4 при високопороговому регулюванні переднє колесо з більш високим коефіцієнтом зчеплення визначає тиск, що підводиться до обох передніх коліс. У даному випадку при екстремому гальмуванні виникає блокування одного з передніх коліс.

Це супроводжується збільшенням зносу шин і погіршенням керованості. При використанні варіанта 5, таке трапляється, коли колесо передньої осі, яке контролюється, має більш високий коефіцієнт зчеплення, ніж на неконтрольованому. У варіанті 6 тиск, що підводиться до передніх коліс, регулюється окремо, а на кожному задньому колесі – спільно, відповідно до передніх.

Через необхідність створення перерозподілу гальмівної сили з заднього моста на передній, з метою запобігання блокуванню задніх коліс, дана система забезпечує більш низькі рівні сповільнення, ніж три- чи чотириканальні.

Основні складові частини електронного блока керування ABS фірми Bosch (рис. 12.3):



- 1 – датчики швидкості обертання коліс, 2 – акумуляторна батарея, 3 – вхідний блок, 4 – цифровий контролер, 5 – LSI 1, 6 – LSI 2, 7 – стабілізатор напруги, 8 – вихідний блок 1, 9 – вихідний блок 2, 10 – вихідний каскад, 11 – соленоїдні клапани, 12 – реле захисту, 13 – стабілізована напруга акумуляторної батареї, 14 – сигнальна лампа

Рисунок 12.3 – Схема електронного блока керування ABS фірми Bosch

Індуктивний колісний датчик швидкості обертання забезпечує електронний блок керування (ЕБК, ECU) необхідною інформацією про швидкість обертання колеса.

Блок керування з великою інтегральною схемою (ECU з LSI).

Блок ЕБК приймає, фільтрує і підсилює сигнали від датчика швидкості обертання колеса перед їх використанням для визначення проковзування і прискорення колеса.

Вхідний блок. Складається з фільтра низьких частот і вхідного підсилювача.

Цифровий контролер. Складається з двох ідентичних взаємно незалежних цифрових інтегральних схем LSI. Ці блоки працюють паралельно, опрацьовуючи інформацію, що поступає від двох коліс (канали 1+2 і 3+4), проводять логічні розрахунки.

Логіка контролера перетворює сигнали керування в позиційні команди для соленоїдних клапанів. Послідовний інтерфейс, під'єднаний до вхідного каскаду логічного пристрою і логіки контролера за допомогою каналу передачі даних, підтримує зв'язок і передачу даних між двома цифровими LSI.

Ще один функціональний блок містить схему керування для забезпечення розпізнавання помилок та їх аналізу. Як тільки в ECU з'являється несправність, сигнальна лампочка інформує водія про те, система АБС не функціонує. Однак гальмова система зберігає повну роботоздатність навіть тоді, коли система АБС вимкнена.

Вихідні блоки. Два вихідних блоки функціонують подібно регуляторам струму для каналів 1+2 і 3+4 під час отримання позиційних команд від LSI, що використовуються для керування соленоїдами.

Вихідний каскад. Використовує дані від регуляторів струму двох вихідних блоків для збудження струму соленоїдних клапанів.

Стабілізатор напруги. В функцію цього блока входить стабілізація напруги в межах допуску, необхідного для надійної роботи ЕБК. Блок також реагує на недостатню бортову напругу за допомогою відключення пристрою, керує роботою реле і ланцюгом сигнальної лампи.

Блок керування з мікропроцесорами. В цьому блоці ЕБК замість LSI використовуються два мікропроцесори, які здійснюють обробку сигналів, запуск програми контролера і функцію автокерування АБС. Блок також виконує діагностування відповідно до стандартів ISO, що дає можливість відслідковувати несправні компоненти АБС за допомогою сигнальної лампи чи

вимірювального пристрою.

В наш час розвиток АБС йде по двох діаметрально протилежних напрямках. Для автомобілів високого класу створюються найбільш ефективні інтегровані чотириканальні АБС, а для масових дешевих моделей ведеться розробка спрощених варіантів, що вбудовуються в серійні гальмові системи як додаткове устаткування.

АБС перевернула уявлення про рівень безпеки руху. Сьогодні ця система входить у список додаткового устаткування практично кожної нової моделі. В усіх розвинутих країнах більшість автомобілістів переконані: заощаджувати на АБС не можна. Не за горами й обов'язкове застосування АБС.

На сьогоднішній день міжнародні і національні вимоги (зокрема, Директива 71/320 ЄЕС і додаток 13 до Правил 13 ЄЕК ООН) передбачають обов'язкову наявність АБС тільки на вантажних автомобілях загальною масою більш 16 т, причепах і напівпричепах повною масою більш 10 т міжнародних автобусах повною масою понад 12 т, оскільки наслідки аварій цих транспортних засобів можуть бути найтрагічнішими.

12.2 Системи регулювання гальмівних зусиль

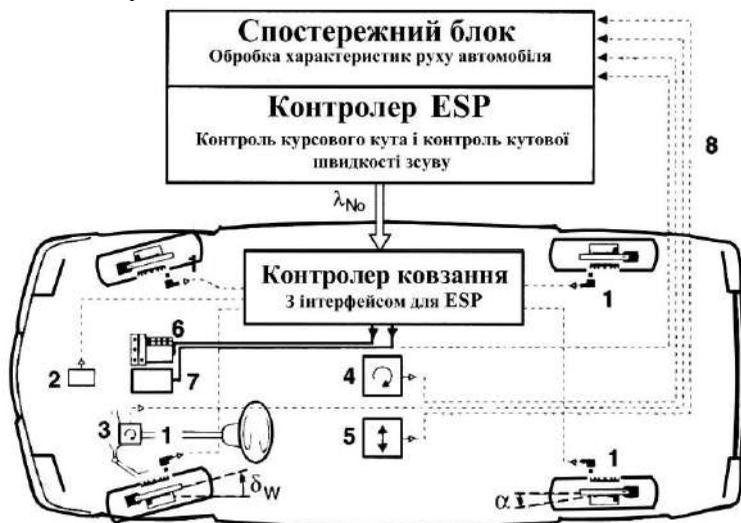
Система регулювання гальмівних зусиль (electronic stability program (ESP) – вона ж VDC, VSC, DSC, ATTS, VSA) – найбільш складний пристрій, який керує роботою антиблокувальної та антипробуксовної систем, контролює тягу і керує дросельною заслінкою (рис. 12.4, табл. 12.2).

Блок електронного керування використовує інформацію від датчиків, які відслідковують роботу двигуна і трансмісії, швидкість обертання кожного колеса, тиск в гальмовій системі, кут повороту руля, поперечне прискорення.

Ситуація оцінюється, обчислюється зусилля гальмування для кожного колеса, виконавчі механізми отримують команду. Процесор ESP пов'язаний з блоком електронного керування двигуном, що дозволяє коректувати потужність та оберт колінчатого вала.

За підсумками нових досліджень, проведених Університетом Айови при активній участі Національної адміністрації безпеки руху США (NHTSA), виявилось, що наявність системи курсової

стійкості ESP в автомобілі значно знижує імовірність виникнення серйозної аварії.



1 – датчик швидкості обертів коліс, 2 – датчик тиску в гальмовій системі, 3 – датчик положення рульового колеса, 4 – датчик кутової швидкості відносно вертикальної осі, 5 – датчик поперечного прискорення, 6 – модулятор тиску, 7 – органи керування роботою двигуна, 8 – сигнали датчиків для ESP, α – кут ковзання шини, δ_w – кут повороту переднього колеса, λ_{N0} – номінальне проковзування шини

Рисунок 12.4 – Електронна система керування гальмами ESP

В рамках цих досліджень звичайним водіям пропонувалось пройти випробування на спеціальному автомобільному симуляторі National Advanced Driving Simulator (NADS), який імітував виникнення аварійної ситуації на дорозі при керуванні автомобілем із системою ESP та без неї.

В результаті виявилось, що кількість водіїв, які зуміли зберегти контроль над автомобілем з ESP та уникнути аварії, була на 34 відсотка більшою, ніж водіїв, які уникнули аварії на автомобілі без системи курсової стійкості. Крім того, інший тест показав, що наявність системи ESP на 88 відсотків знижує імовірність виникнення ситуації, коли водій втрачає контроль над автомобілем.

Таблиця 12.2 – Системи регулювання стійкості автомобіля

Назва	Призначення
ESP = Electronic Stability Program (Mercedes, Audi)	На будь-якій швидкості і при будь-якому дорожньому покритті запобігають заносу автомобіля завдяки цілеспрямованому
VDC = Vehicle Dynamics Control (Subaru)	автомобіля завдяки цілеспрямованому
DSC = Dynamic Stability Control (BMW)	пригальмовуванні коліс і завдяки
VSC = Vehicle Stability Control (Toyota)	втручанню в систему керування
VSA = Vehicle Stability Assist (Honda)	двигуном.
StabiliTrack; = Stability Traction (GM) ATTS = Activ Torque Transfer System (Honda)	Тільки для передньопривідних автомобілів. Додаткова роздавальна коробка з багатодисковою муфтою передає на зовнішнє колесо при повороті більший привідний момент, запобігаючи в такий спосіб ефекту недостатньої поворотності, поліпшуючи стійкість автомобіля.

Таким чином, система курсової стійкості (ESP) за допомогою спеціальних датчиків визначає ситуацію, в якій водій близький до того, щоб втратити контроль над автомобілем, і попереджує її виникнення, пригальмовуючи те чи інше колесо.

Наявність подібної системи дозволяє уникнути заносу в повороті чи при об'їзді раптової перешкоди, а також допомагає водіям при їзді на слизьких покриттях. Варто також відмітити, що в даний час лише біля 10 % усіх нових автомобілів оснащується системою курсової стійкості. Проте до багатьох моделей ця система пропонується як додаткове обладнання.

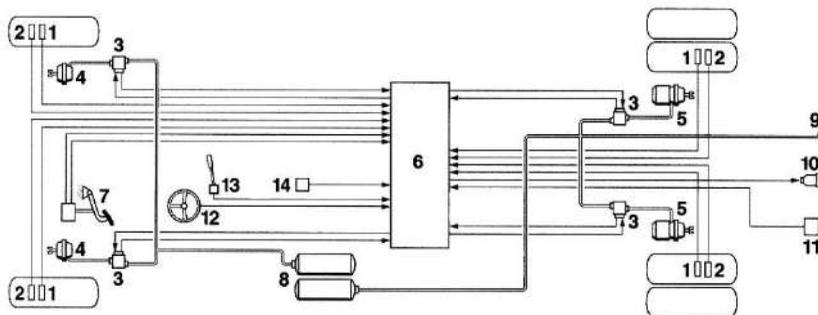
12.3 Повністю електронні системи

На відміну від АБС системи контролю тягового зусилля (TCS) і ESP повністю електронні системи (електропневматичні чи електрогідрравлічні гальма) можуть створювати тиск в колісних циліндрах незалежно від дій водія.

В цих системах електронний важіль гальма не створює тиск в приводі, а лише діє на датчики, які передають сигнал електронному блоку керування. В свою чергу ЕБК направляє цей сигнал на колісні модулятори. Модулятори регулюють гальмове зусилля на кожному колесі окремо, причому конструкція виконавчих механізмів аналогічна гальмівним пристроям АБС. Необхідний робочий тиск створюється модулятором тиску.

З метою підвищення безпеки при будь-яких несправностях в

системі гальмівний тиск може бути створений, як звичайно, в гальмівному контурі з головним гальмівним циліндром. В автомобіль, оснащений таким обладнанням, можуть бути вбудовані крім АБС, ТСС і ESP, ще й системи адаптивного круїз-контролю та автоматичного паркування. Електронна пневматична система зображена на рис. 12.5.



1 – датчик швидкості обертання коліс, 2 – датчик зносу фрикційних накладок, 3 – клапан керування, 4 – гальмівний циліндр переднього колеса, 5 – гальмівний циліндр заднього колеса, 6 – електронний блок керування, 7 – педаль гальма, 8 – ресивер, 9 – пневмомагістраль живлення причепа, 10 – орган керування гальмовою системою причепа, 11 – датчик зусилля на зчпному пристрої, 12 – датчик положення рульового колеса, 13 – контрольний датчик сповільнювача і системи гальмування двигуном, 14 – датчик повороту навколо вертикальної осі / поперечного прискорення

Рисунок 12.5 – Електропневматична гальмова система двовісного тягача

Підвищення швидкодії в системі досягається заміною пневматично керуючого сигналу на електронний. У результаті вона спрацьовує негайно при натисканні на гальмову педаль, на якій установлені датчики, що передають сигнали в блок керування. Після миттєвої обробки сигналів ЕОМ передає відповідні команди електропневматичним клапанам, розташованим поряд з кожним гальмовим циліндром.

Останні в цьому випадку спрацьовують набагато швидше, ніж у звичайній пневмосистемі. Коли водій відпускає педаль, за командою ЕОМ миттєво спрацьовують колісні датчики

розгальмовування, прискорюючи повернення гальмових колодок у вихідне положення. Це усуває нерівномірність спрацьовування й небезпеку заносу при гальмуванні.

Про роботоздатність і справність системи водіїв повідомляють покажчики на панелі приладів. Є також пристрій для само діагностування. Система електрогідравлічних гальм (electro hydraulic brake (EHB) system) (рис. 12.6) складається з блока виконавчих механізмів, гідравлічного модулятора тиску, датчиків, електронного блока і каналів керування.

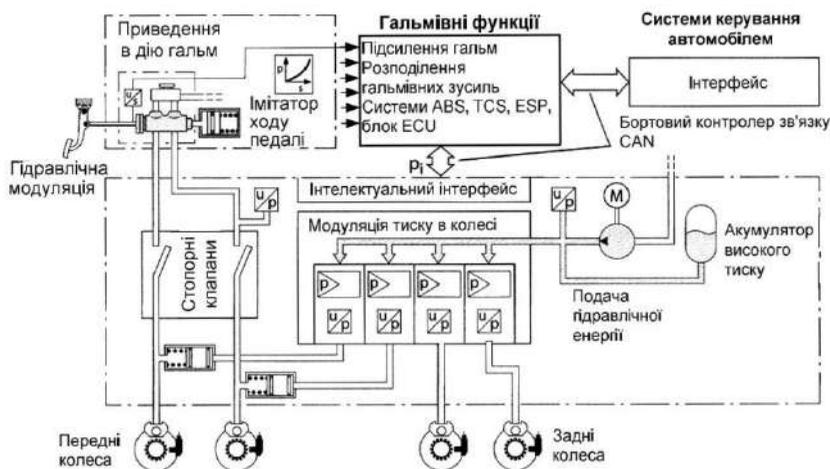


Рисунок 12.6 – Електрогідравлічна гальмова система

Для забезпечення безпеки в системі використовується два окремих датчики (один – на виконавчому механізмі для визначення ходу педалі та інший – датчик тиску в гідравлічному модуляторі) для визначення «запиту на гальмування» і передачі його в блок ECU, який з'єднаний з сервоприводом гальм і системами ABS, TCS і ESP.

Датчики цих систем забезпечують ECU даними про динаміку автомобіля – швидкість руху, здійснення поворотів і рух коліс. Використовуючи цю інформацію, ECU обчислює сигнали і подає їх до гідравлічного модулятора, де вони перетворюються в тиск

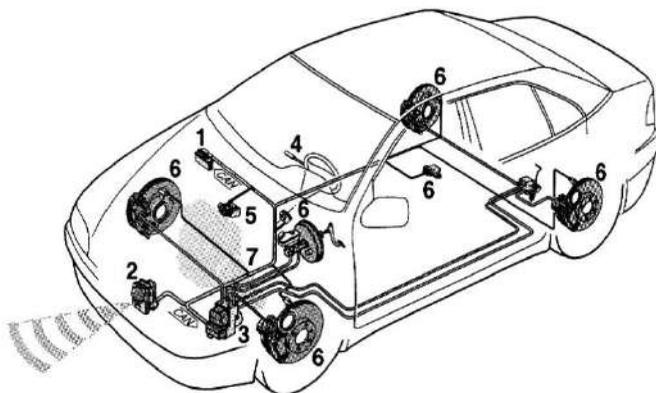
гальм для окремих коліс.

Насос з електроприводом, разом з акумулятором високого тиску і системою контролю тиску, забезпечує подання гідравлічного тиску.

У випадку відмови в системі вона, для забезпечення безпеки, перемикається на робочий режим, при якому гальмування автомобіля відбувається без підсилення потужності.

12.4 Керування гальмовою системою при круїз-контролі

Основною функцією системи адаптивного круїз-контролю (adaptive cruise control (ACC) system) є підтримка необхідної швидкості руху, заданої водієм, з метою підвищення безпеки руху на дорозі та поліпшення комфорту водія (рис. 12.7).



- 1 – ECU керування роботою двигуна, 2 – блок перевірки роботи радіолокаційного датчика, 3 – блок керування роботою гальм при включенні круїз-контролю, 4 – контрольні прилади та блок індикації, 5 – блок керування двигуном при включенні круїз-контролю, 6 – датчики, 7 – блок керування трансмісією при включенні круїз-контролю

Рисунок 12.7 – Компоненти системи адаптивного круїз-контролю

Система ACC може гнучко адаптувати швидкість автомобіля до умов дорожнього руху шляхом автоматичного прискорення, сповільнення чи гальмування і, таким чином, підтримувати

відстань до транспортного засобу, що рухається попереду.

Найбільш важливим компонентом в системі ACC (рис. 12.7) є радіолокаційний датчик, за допомогою якого визначається відстань до автомобіля, що рухається попереду, відносна швидкість руху та відносне положення транспортних засобів.

Для забезпечення надійної роботи системи ACC важливо, щоб автомобілі, що рухаються попереду, розташовувались в межах смуги руху. Інформація від датчиків програми ESP (рис. 12.8) використовується для визначення фактичної кривої руху транспортного засобу, оснащеного ACC.



Рисунок 12.8 – Основна структура керування системою ACC

Додаткова інформація про транспортний потік визначається за допомогою радіолокаційних сигналів. Системи відеозображень та навігаційні системи використовуються для допомоги водіям автомобілів при визначенні маршрутів руху.

На практиці встановлено, що для оптимального режиму роботи ACC сповільнювати рух автомобіля за рахунок прикривання дроселя недостатньо. Тривалі операції переслідування автомобілів за допомогою ACC без необхідності частого втручання водія можливі лише при задіянні програми ESP гальмової системи.

Система ACC допускає тільки плавне гальмування. Функції безпеки, такі як екстрене гальмування, в обов'язки даної системи не входять. Ці функції разом з вибором швидкості руху та

дистанції залишаються на особистій відповідальності водія.

Система АСС не передбачає операції із керування автомобілем в міських умовах, а лише при русі по автомагістралях при швидкостях більших 30 км/год. Розширення функцій для роботи системи в міських умовах потребує значного удосконалення функціональних можливостей використовуваних датчиків, призначених для контролю навколишніх умов руху. Це не можливо здійснити за рахунок радіолокаційної системи, яка працює при частоті 76,6 ГГц.

Питання для самоперевірки

1. Як класифікуються електронні системи керування гальмами автомобілів?
2. Яке призначення електронного керування гальмами?
3. Що являють собою антиблокувальні системи автомобілів?
4. Що треба брати до уваги при розробці системи АБС?
5. Які критерії якості керування автомобілем?
6. Які елементи входять до системи АБС незалежно від конструкції гальмівної системи?
7. Як відбувається процес регулювання гальмування колеса за допомогою системи АБС?
8. Що таке адаптивність гальмівної системи?
9. Наведіть рівняння руху загальмованого колеса автомобіля.
10. Який найбільш поширений варіант системи АБС?
11. Які функції виконує індуктивний колісний датчик швидкості обертання?
12. Що являє собою електронний блок керування АБС?
13. Для чого призначена система регулювання гальмівних зусиль?
14. Що розуміють під повністю електронною гальмівною системою?
15. Які складові електропневматичної гальмової системи?
16. Як відбувається керування гальмовою системою автомобіля при круїз-контролі?

13 СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В САЛОНІ ТА РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ

13.1 Призначення та основні компоненти системи керування мікрокліматом в салоні автомобіля

Система керування кліматом в салоні автомобіля призначена для забезпечення:

- сприятливого клімату для всіх пасажирів,
- сприятливих умов, які забезпечують мінімальну напругу і втомлюваність водія,
- видалення твердих домішок із атмосфери (пилки, пил) і навіть запахів шляхом використання спеціальних фільтрів,
- достатньої видимості через всі вікна.

При певних значеннях температури і вологості навколишнього повітря людина почуває себе комфортно. Самопочуття водія є важливим фактором, який визначає його готовність до керування автомобілем, а значить впливає на безпеку руху. Комфортна температура повітря в салоні автомобіля визначається температурою зовнішнього повітря та величиною повітрообміну в салоні (рис. 13.1).

При високій вологості повітря ступінь некомфортності в салоні багатократно збільшується. Наукові дослідження, проведені Всесвітньою організацією охорони здоров'я, показали, що ступінь сконцентрованості водія і швидкодія реакцій людини при несприятливих навантаженнях на його організм суттєво знижуються.

Жара є одним з таких несприятливих навантажень. Найбільш сприятлива температура для водія лежить в діапазоні від 20 до 22°C. Це відповідає зоні кліматичного навантаження А (рис. 13.2). Інтенсивне сонячне випромінювання може підвищити цю температуру в салоні на 15°C порівняно з температурою зовнішнього повітря – особливо на рівні голови, що небезпечно, оскільки при цьому підвищується температура тіла, збільшується пульс, росте виділення поту. Мозок людини отримує надто мало кисню.



Рисунок 13.1 – Криві комфортності

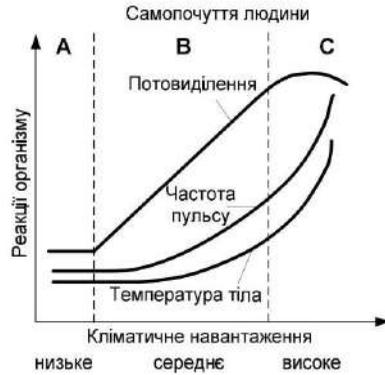


Рисунок 13.2 – Вплив кліматичних навантажень на самопочуття людини

Все це можна побачити в зоні В кліматичного навантаження людини. В зоні С для людини лежать перевантаження. Медичні працівники, які працюють в галузі дорожньої медицини, називають такий стан «кліматичним стресом». Як показують дослідження, підвищення температури з 25 до 35°C зменшує здатність адекватно оцінювати ситуацію і приймати правильні рішення на 20 %.

Це еквівалентно вмісту алкоголю в крові 0,5 проміле. Щоб зменшити такі значні навантаження або навіть зовсім виключити їх, за допомогою кліматичної установки створюється в салоні автомобіля комфортна температура, а також очищується і висушується повітря. Це можливо як в нерухомому, так і в рухомому автомобілі.

Додаткове очищення повітря досягається застосуванням мікрофільтра і фільтра з активованим вугіллям. Це дозволяє позбавити водія і пасажирів від алергічних реакцій на різні домішки в повітрі.

Таким чином, кліматична установка в автомобілі це важливий компонент безпеки руху, важлива функціональна якість, а не тільки елемент престижу.

13.2 Основні компоненти системи клімат-контролю

Система керування мікрокліматом (рис. 13.3) складається з таких основних компонентів:

- холодильний контур, датчик тиску і температури холодоагенту, датчик температури повітря за випарником;
- опалювальний контур, насосно-клапанний блок, автономні теплообмінники (регульовані з боку подачі рідини), датчики температури в правому і в лівому теплообмінниках;
- повітророзподільні пристрої, кондиціонер;
- передній і задній пульти керування та індикації;
- електронний блок керування.

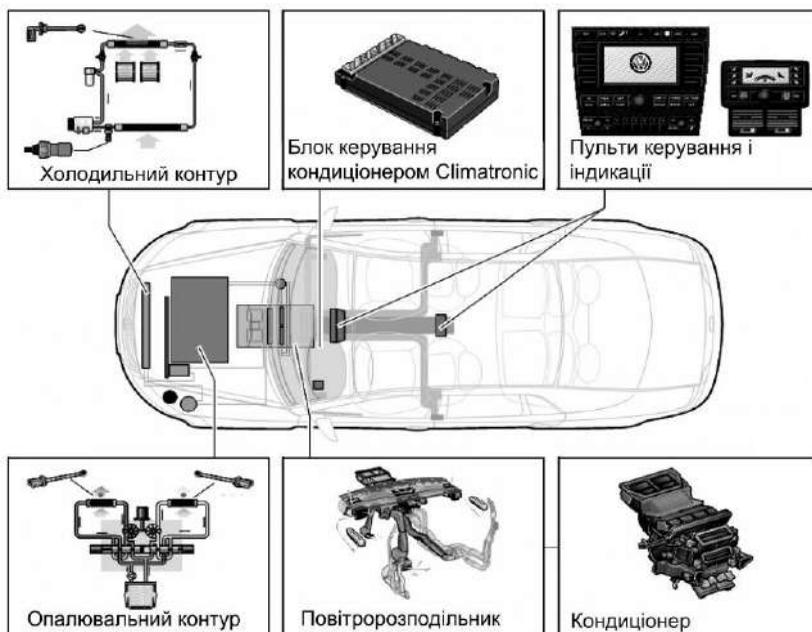


Рисунок 13.3 – Основні компоненти системи керування мікрокліматом

В холодильному контурі (рис. 13.4) тиск і температуру

холодоагенту визначає один і той самий датчик 1. По двом сигналам цього датчика блок керування може визначити неявний витік холодоагенту.

Датчик встановлюється з боку магістралі високого тиску. До холодильного контуру відносяться такі елементи: дросель, компресор із зовнішнім регулюванням, конденсатор, випарник, збирач конденсату.



Рисунок 13.4 – Схема циркуляції холодоагенту в холодильному контурі

Температуру повітря за випарником визначає спеціальний датчик 2. За сигналом цього датчика функція охолодження повітря відключається, якщо температура падає до 0°C . Датчик і компресор підтримують температуру повітря за випарником в діапазоні регулювання, тобто в межах від 0 до 12°C .

Це дозволяє знизити нагрівальну потужність теплообмінників. Через них повітря проходить минаючи випарник, щоб нагрітися до заданої температури. В результаті знижуються енергозатрати та зменшується витрата пального.

Опалювальний контур (рис. 13.5) утворюють два теплообмінники, насосно-клапанний блок і коло циркуляції рідини в системі охолодження двигуна. Призначення опалювального контуру полягає у нагріванні до заданої

температури повітря, охолодженого і осушеного у випарнику холодильного контуру.

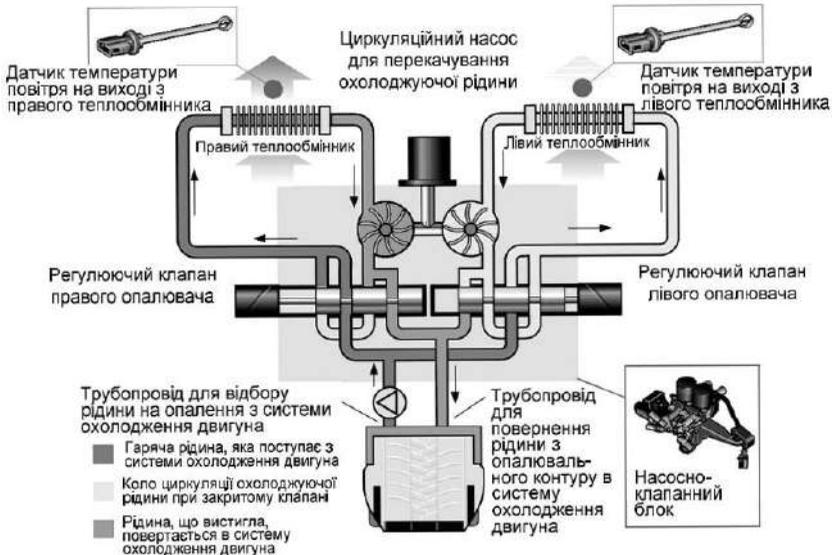


Рисунок 13.5 – Схема роботи опалювального контуру

Ступінь нагрівання контролюють датчики температури повітря на виході із теплообмінника. Насосно-крановий блок складається з двох тактових клапанів і циркуляційного насоса для перекачування охолоджуючої рідини. Насос являє собою дві крильчатки з приводом від загального електродвигуна.

Повітророзподільні пристрої з'єднані між собою повітроводами, які конструктивно оформлені як об'ємні пластмасові елементи різної конфігурації (рис. 13.6).

Повітряний потік, який поступає в середину автомобіля, проходить складний шлях від протипилового фільтра на вході до дефлекторів у салоні. Дефлектори на передній панелі закриті декоративними кришками з електроприводом.

Під дією розрідження, створюваного вентилятором, повітря проходить через протипиловий фільтр і поступає до випарника (рис. 13.7).

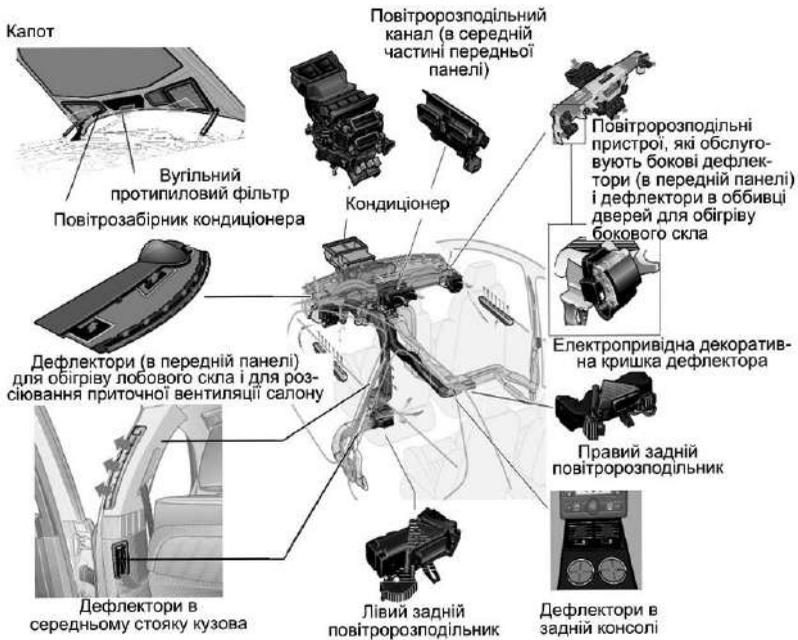


Рисунок 13.6 – Схема розташування повітророзподільних пристроїв

За випарником повітряний потік, який іде через кондиціонер, розгалужується перший раз. Основна частина проходить через теплообмінники, а решта в обхід теплообмінників, до заслінок кондиціонера, які регулюють подачу холодного повітря.

Конструктивна схема з двома паралельними теплообмінниками дозволяє подавати повітря розподіленими потоками в праву і ліву зони салону. Температуру повітря в кожному з цих двох потоків визначають головним чином налаштування, які задає водій і передній пасажир.

За теплообмінниками повітряні потоки розподіляються за допомогою заслінок з електроприводом і спрямовуються до дефлекторів в різних точках салону. При цьому повітря, яке поступає в салон через отвори в середніх стояках кузова і через задні нижні дефлектори, може попутно підігріватися додатковими нагрівальними елементами.

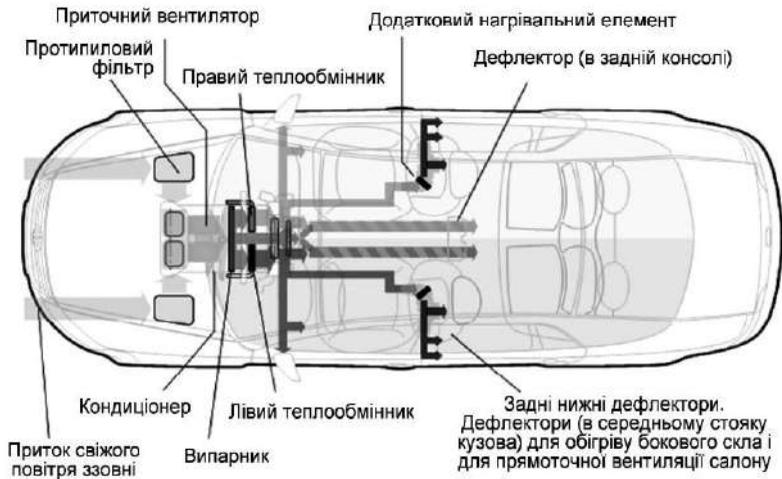


Рисунок 13.7 – Схема розподілення повітряних потоків в автомобілі

Паливо для додаткових обігрівачів (рис. 13.8), які виробляють тепло без допомоги роботи двигуна, поступає або зі стандартного бака автомобіля, або із спеціального бака для транспортних засобів великих розмірів.

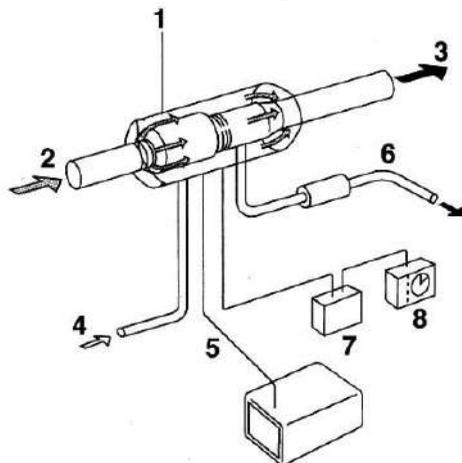
Електричний насос подає паливо до форсунки, яка впорскує розпилене паливо в камеру згоряння, де воно змішується з повітрям і згорає. Гарячі відпрацьовані гази потім спрямовуються до теплообмінника.

Теплообмінник може функціонувати одним з двох способів: або за допомогою безпосереднього підігріву повітря салону, або шляхом передачі тепла в систему охолодження двигуна.

В останньому випадку циркуляція підтримується окремим електричним насосом, що дає можливість використання стандартного пристрою обігріву повітря в пасажирському салоні. Цей тип допоміжного підігріву охолоджувальної рідини двигуна також покращує характеристики запуску в зимовий період.

Один пристрій обігріву не здатний справлятися із завданням забезпечення сприятливої навколишньої обстановки. Коли зовнішня температура перевищує 20°C , повітря повинне

охолоджуватись, щоб досягнути прийнятної температури в салоні. Для цього використовуються пристрої, які приводяться в дію компресором із холодоагентом (рис. 13.9).



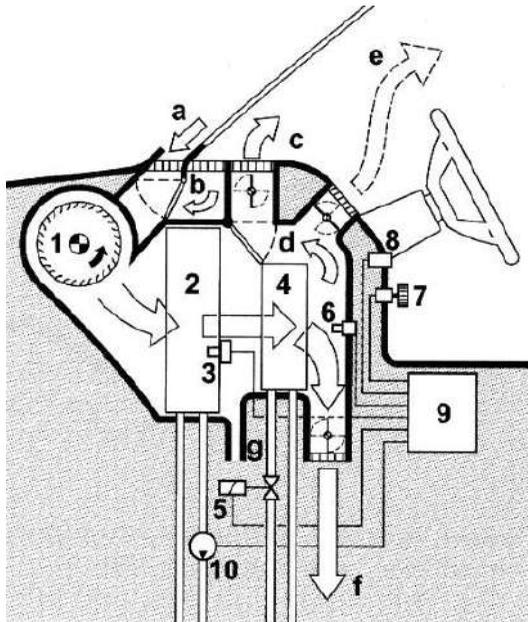
- 1 – повітрообігрівач з вентилятором, камерою згоряння і теплообмінником, 2, 3 – впускний та випускний отвори для повітря, яке подається в салон автомобіля, 4 – приток повітря в камеру згоряння, 5 – подача живлення, 6 – система випуску відпрацьованих газів, 7 – електронний блок керування (ЕБК), 8 – термостат і таймер для попереднього вибору тривалості включення

Рисунок 13.8 – Схема допоміжного повітрообігрівача незалежного від роботи двигуна

Насос, що приводиться в дію від двигуна, стискує пароподібний холодоагент, який потім подається насосом в конденсатор, де він охолоджується і перетворюється в рідкий стан, тут холодоагент віддає енергію, яку отримує в компресорі, і тепло, що поглинається у випарнику, в навколишнє середовище.

Редукційний клапан розбризкує охолоджену рідину, подаючи її у випарник (процес випаровування служить для поглинання тепла із потоку свіжого повітря).

За рахунок витягування вологи із охолодженого повітря у вигляді конденсату, вологість повітря зменшується до бажаного рівня.



1 – вентилятор, 2 – випарник, 3 – датчик температури випарника, 4 – радіатор обігрівача, 5 – соленоїдний клапан, 6 – датчик температури повітря, 7 – регулятор керування вихідними величинами, 8 – датчик температури повітря в салоні, 9 – електронний блок керування (ЕБК), 10 – компресор, а – свіже повітря, b – рециркульоване повітря, с – відтаювання, d – байпас, e – вентиляція, f – підведення до ніг, g – дренажний канал конденсації

Рисунок 13.9 – Схема кондиціонера повітря з електронним керуванням

Випарники і конденсатори виконані у вигляді трубопластинчастих теплообмінників. Випарник розташовується перед радіатором обігрівача в потоці свіжого повітря і охолоджує повітря приблизно до 3-5°C. Осушене повітря повторно нагрівається радіатором обігрівача до необхідної температури.

Автоматичне керування особливо необхідне для автомобілів, оснащених одночасно кондиціонером і обігрівачем, оскільки

постійний контроль і регулювання, потрібні для підтримки температури створюваного клімату, ускладнюють завдання водію автомобіля.

У центрі системи знаходиться ланцюг контролю температури в салоні. Блок керування безперервно контролює як попередньо задану температуру, так і усі зміни, які впливають на систему. Цю інформацію необхідно використовувати для визначення температури завчасно заданих точок, які порівнюються із дійсною температурою, а блок керування використовує різницю між двома величинами як основу для визначення необхідного рівня обігріву, охолодження і подачі повітря.

Іншою функцією керування є регулювання положення заслінок розподілення повітряного потоку відповідно до програми, яка обрана водієм автомобіля.

Величина температури повітря, яке подається, визначається за допомогою блока керування і досягається за рахунок регулювання подачі охолоджувальної рідини або повітря через радіатор опалювача.

Для регулювання величини повітряного потоку використовується плавний чи ступінчатий спосіб керування вентилятором. Умови роботи вентилятора пов'язані із збільшенням повітряного потоку, викликаного аеродинамічним тиском при високих швидкостях автомобіля.

За допомогою спеціальної функції керування це можна компенсувати, реагуючи на підвищення швидкості автомобіля шляхом зменшення швидкості обертання вентилятора до нуля, а якщо потік буде і далі зростати, то за допомогою обмежувальної заслінки для дроселювання потоку вхідного повітря.

Керування розподіленням повітря відповідно до трьох рівнів – дефлектор скла, верхня частина салону і зона ніг – можна здійснювати вручну з попереднім вибором або за програмою.

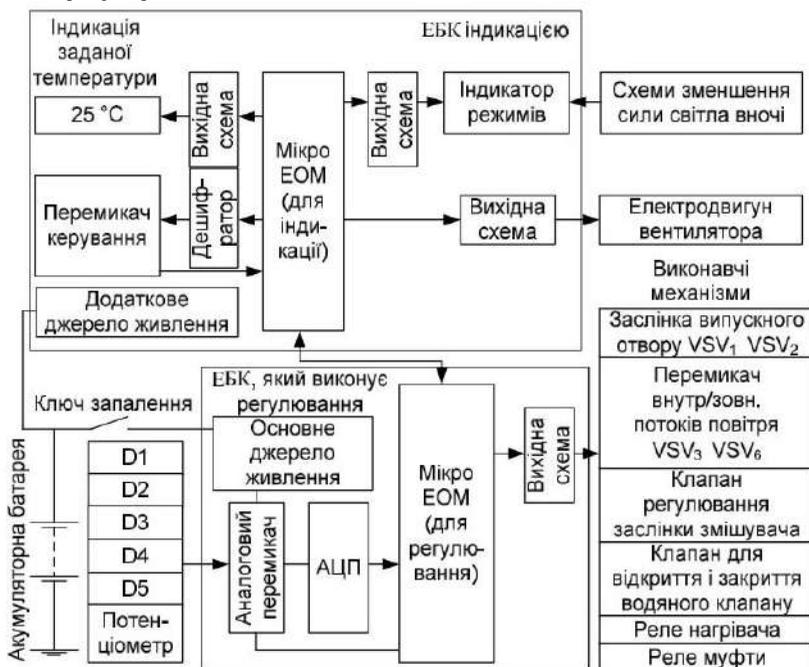
Звичайно за допомогою автоматичних кондиціонерів вирішують такі завдання залежно від умов усередині й поза автомобілем:

- регулювання температури повітря на випуску зміною ступеня відкриття заслінки повітряного змішувача,
- регулювання інтенсивності потоку повітря зміною частоти обертання вала двигуна вентилятора,

- керування впускним і випускним отворами перемикання випускних отворів охолоджувача й нагрівача, перемикання надходження повітря з атмосфери або салону,
- керування компресором ввімкнення й вимкнення електромагнітної муфти компресора.

13.3 Особливості роботи електронного блока керування

Структура електронного блока керування подана на рис. 13.10. В системі використовуються ЕБК індикацією та ЕБК, що виконує регулювання.



D1 і D2 – датчики температури повітря відповідно в салоні й поза салоном, D3 – датчик інтенсивності сонячного випромінювання, D4 – датчик випарника, D5 – датчик температури охолоджувальної рідини

Рисунок 13.10 – Структура ЕБК автоматичного кондиціонера

Обидва блоки виконані на основі однокристальних мікроЕОМ і забезпечують керування шляхом обміну між собою вихідними і вхідними сигналами. ЕБК індикацією обробляє вхідні сигнали від різних перемикачів заслінок і забезпечує індикацію заданої температури.

ЕБК, що виконує регулювання, за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП) перетворює аналогові сигнали різних датчиків температури, установлених усередині й зовні автомобіля, у цифрові сигнали, а також за допомогою мікроЕОМ обчислює необхідну температуру повітря на випуску та відповідно до умов усередині й зовні автомобіля виробляє сигнали для різних виконавчих механізмів.

Збільшена блок-схема алгоритму керування показана на рис. 13.11. Для підтримки певного теплового балансу в салон подається повітря. Щоб температура повітря в салоні дорівнювала заданій, мікроЕОМ обчислює температурну поправку.

Ступінь відкриття заслінки повітряного змішувача встановлюється відповідно до обчисленої температури повітря на випуску. Регулювання температури повітря (від холодного до теплого) забезпечується зміною складу суміші з охолодженого й нагрітого потоків повітря.

Положення заслінки повітряного змішувача плавно регулюється від повністю відкритого стану до повністю закритого мембраною сервомеханізму, що приводиться у дію розрідженням. Сервомеханізм пов'язаний з потенціометром, сигнал якого пропорційний ступеню відкриття заслінки.

У результаті утворюється сигнал зворотною зв'язку, що дозволяє зробити близькими реальну й обчислену ступені відкриття заслінки. Датчик інтенсивності сонячного випромінювання встановлюється над щитком приладів так, щоб він сприймав сонячні промені.

За допомогою цього датчика визначається інтенсивність сонячного випромінювання та враховується зміна температури салону, викликана сонячними променями. Датчики можуть бути двох видів – з термістором і з фотодіодом. Фотодіод підбирається таким чином, щоб він не реагував на температуру навколишнього повітря, але мав високу чутливість до сонячних променів.



Рисунок 13.11 – Блок-схема алгоритму керування

Датчик випарника встановлюється на вихідному отворі випарника (у якому відбувається випарювання стислого холодоагенту) і показує температуру охолодженого повітря, тобто подає інформацію про максимально досяжний ступінь охолодження.

Датчик температури охолоджувальної рідини розташований на виході із системи охолодження двигуна і показує її температуру. Він використовується для встановлення найбільшої охолоджувальної здатності та включення у разі необхідності схеми підігріву.

У кондиціонерах застосовують кілька датчиків внутрішньої та зовнішньої температури повітря, температури випарника, температури охолоджувальної рідини двигуна. У всіх датчиках використовуються термістори, причому термістори датчиків внутрішньої та зовнішньої температури і температури випарника мають однакові характеристики.

Датчик температури повітря в салоні містить малогабаритний вентилятор, щоб, пропускаючи через себе повітря салону, показувати його середню температуру.

Зовнішня частина датчика температури повітря поза салоном виготовляється зі смоли з високою теплоємністю, тому датчик не реагує на різкі зміни температури (наприклад, через надходження відпрацьованих газів від автомобіля, що йде спереду) і показує середню зовнішню температуру.

Сучасні засоби клімат-контролю дозволяють регулювати температуру від 18°C до 28°C та використовувати принцип чотиризонального регулювання (рис. 13.12).



Рисунок 13.12 – Приклад використання принципу чотиризонального регулювання

Пристроєм опис яких наведено вище, використовуються як для легкових, так і для вантажних автомобілів. Для автобусів необхідні складніші схеми, оскільки в них пасажирський салон поділяється на декілька контрольованих зон, в яких температура регулюється за допомогою електронно-керованих режимів роботи індивідуальних насосів подачі рідини.

13.4 Рульове керування

В директивах ЄЕС 70/311, виділяються три основних типи систем рульового керування:

- рульове керування з використанням мускульних зусиль, в якому підсилення для виконання повороту створюється виключно самим водієм,
- безмускульні системи рульового керування, в якому зусилля для керування створюється виключно від джерела енергії на автомобілі (не використовується на високошвидкісних автомобілях):

- рульове керування з підсилювачем (рис. 13.13), в якому зусилля для керування створюються як за рахунок мускульної сили, так і від джерела енергії (використовується на високошвидкісних автомобілях).

Системи рульового керування з підсилювачем знайшли широке застосування. Однак без застосування електроніки підсилювачі, як правило, мають постійний коефіцієнт підсилення, що негативно позначається на занадто великих і занадто малих швидкостях руху автомобіля: на малій швидкості потрібні більші зусилля на рульовому колесі, а на великій швидкості – дуже малі.

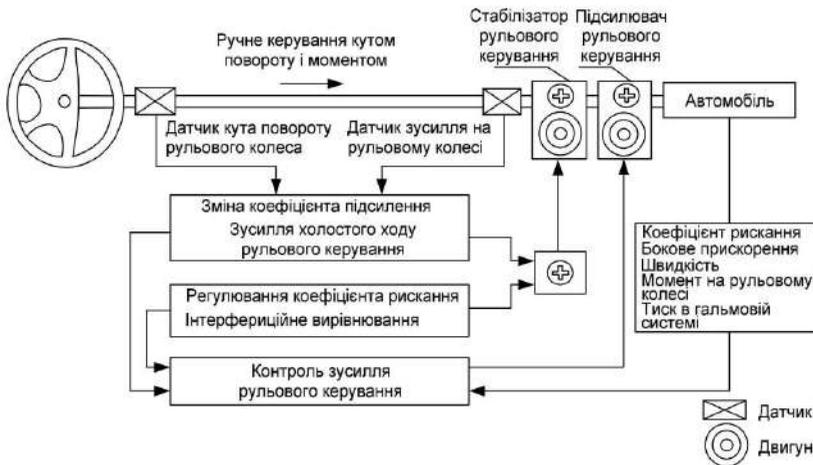


Рисунок 13.13 – Активна система рульового керування з підсилювачем

Розробки з метою підвищення ефективності рульового керування базуються на прогресі в області електронної техніки і мають два напрямки:

- керування, що реагує на швидкість руху автомобіля,
- керування, що реагує на частоту обертання колінчатого вала двигуна.

В 1-му випадку коефіцієнт підсилення змінюється відповідно до швидкості автомобіля, в 2-му із частотою обертання колінчатого вала двигуна. В обох випадках мета зміни полягає в тому, щоб зробити більше легким керування на низькій

швидкості та менш чутливим на високій.

Існують також системи, які за допомогою мікроЕОМ дозволяють управляти рульовим підсилювачем за показниками кутової швидкості повороту рульового колеса або встановлювати його за бажанням водія.

Зростаючі вимоги до комфортабельності і безпеки руху сучасних автомобілів приводять до необхідності використання систем підсилення з можливістю модуляції сил, то діють на рульове керування, за швидкістю їх руху.

В таких системах блок керування (рис. 13.14) оцінює сигнали, які відповідають швидкості руху автомобіля, і визначає рівень реакції гідравлічного або електричного підсилювача.

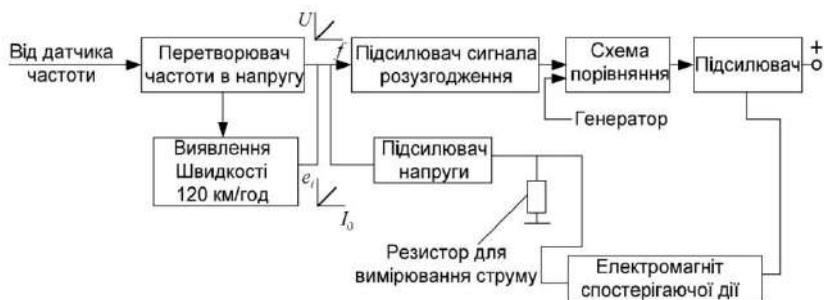


Рисунок 13.14 – Структурна схема електронного блока рульового керування ЕБК з підсиленням за швидкістю автомобіля

На вхід схеми ЕБК надходить сигнал від датчика швидкості. Вихідним сигналом ЕБК є сигнал, що приводить у рух електромагніт слідкуючої дії. Цей електромагніт відрізняється від звичайного тим, що може фіксувати чотири клапани в довільному положенні, пропорційному середньому струму.

Сигнал від датчика швидкості за допомогою перетворювача частоти в напругу (f - U) перетворюється в напругу, пропорційну швидкості, що легко обробляється аналоговою схемою.

На високій швидкості для збільшення рульового зусилля струм електромагніту повинен рости. Але щоб не допускати надмірного збільшення зусилля на рульовому колесі на великих швидкостях, значення струму залишається незмінним при

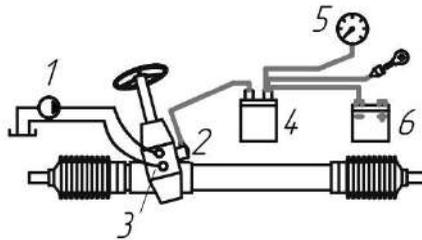
швидкості вище 120 км/год. Для цього вводиться схема виявлення швидкості 120 км/год.

Напруга U , отримана в результаті перетворення сигналу датчика швидкості, напруга e_i пропорційна спаданню напруги (утвореному струмом I_0 через електромагніт) на резисторі для вимірювання струму, порівнюються в підсилювачі сигналу неузгодженості.

Підсилювач, що містить інтегруючу схему на операційному підсилювачі, виробляє сигнал, скоректований таким чином, що при наявності неузгодженості через електромагніт завжди протікає струм, пропорційний швидкості.

Схема порівняння в результаті обробки скоректованого сигналу та сигналів трикутної форми e_0 генератора виробляє імпульси відповідно до реальної швидкості. Ці сигнали через транзистор надходять на електромагніт. Зі збільшенням струму ступінь відкриття електромагнітного клапана та зусилля на рульовому колесі зростають.

Принципова схема системи регулювання за допомогою гідравлічного підсилювача наведена на рис. 13.15.



- 1 – нагнітальний масляний насос, 2 – електрогідравлічний перетворювач, 3 – корпус розподільного клапана, 4 – електронний блок керування, 5 – електронний спідометр, 6 – акумуляторна батарея

Рисунок 13.15 – Схема рульового керування з гідравлічним підсилювачем, робота якого модулюється від швидкості руху

Особливістю конструкції даного гідравлічного підсилювача є те, що виконавчий механізм може бути встановлений або в насосі підсилювача, або в рейковому рульовому механізмі.

У виконавчому механізмі є розподільний клапан, який змінює витрату рідини з насоса підсилювача. Роботою клапан керує електронний блок керування, що одержує сигнали швидкості руху автомобіля від центрального електронного керуючого модуля (датчика).

Особливі характеристики підсилювача рульового керування (рис. 13.16) дозволяють повертати рульове колесо з мінімальним зусиллям при нерухомому автомобілі, або під час його руху з невеликою швидкістю, ступінь посилення знижується з підвищенням швидкості руху.

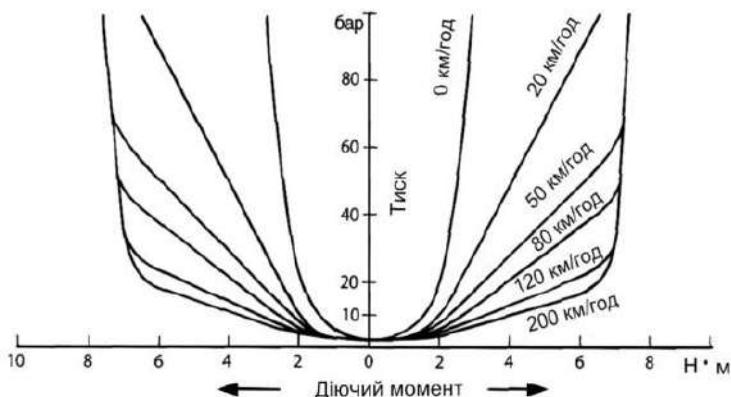
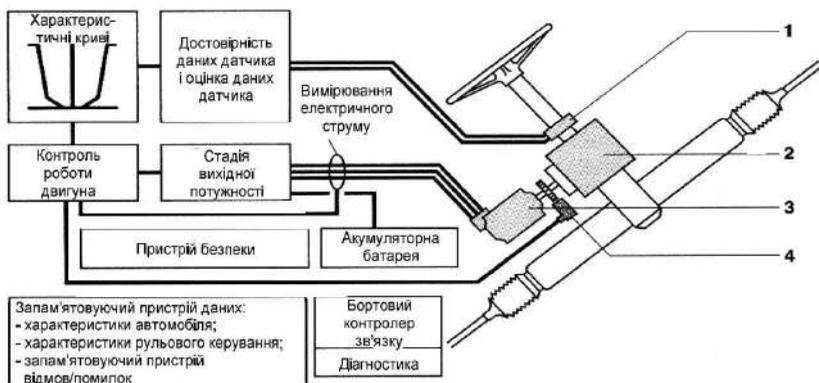


Рисунок 13.16 – Характеристичні криві системи рульового керування з підсилювачем (форма кривих може змінюватися відповідно до змін параметрів автомобіля)

Таким чином, при русі з високими швидкостями забезпечується можливість керування поворотами автомобіля в оптимальному режимі. При такій системі важливо, що тиск і витрата мастила ніколи не знижуються і тому ці параметри можуть бути негайно затребувані в критичних ситуаціях керування.

У випадку використання електропідсилювача (рис. 13.17), в роботі системи використовується електричний двигун, який живиться від системи електрообладнання автомобіля, і розташовується в одному з трьох місць: на рульовій колонці, в районі шестеренного насоса або рейкового приводу.



1 – датчик крутного моменту, 2 – понижувальна передача,
3 – датчик електродвигуна, 4 – електродвигун

Рисунок 13.17 – Схема роботи системи рульового керування з електропідсилювачем Servolectric (Bosch/ZF)

ЕБК системи Servolectric програмує її роботу за допомогою динамічно керованих параметрів, тобто автоматичне (зі зворотним зв'язком) підсилення впливу на керовану вісь, забезпечуючи значну економію енергії рульового керування (приблизно 85 % економії енергії порівняно з рульовим керуванням з гідропідсилювачем, насосом, приводом від двигуна).

Система Servolectric дозволяє керувати автомобілем без підсилення у випадку виходу з ладу системи підсилення потужності.

Питання для самоперевірки

1. Яке призначення системи керування кліматом в салоні машини?
2. Чим визначається комфортна температура повітря в салоні?
3. В якому діапазоні знаходиться найбільш сприятлива температура для водія?
4. Як здійснюють додаткове очищення повітря в салоні автомобіля?
5. Назвіть основні компоненти системи клімат-контролю.

6. За допомогою чого розподіляються повітряні потоки за теплообмінниками?
7. Які елементи входять до складу допоміжного повітрообігрівача незалежного від роботи двигуна?
8. В чому полягають особливості роботи електронного блока керування автомобільного кондиціонера?
9. Назвіть основні типи систем рульового керування.
10. Які є напрямки підвищення ефективності рульового керування?
11. Назвіть конструктивні елементи рульового керування автомобіля з гідравлічним підсилювачем.
12. Які переваги електрогідравлічного підсилювача?
13. Яке призначення датчика кута повороту рульового колеса?
14. Де може бути розміщений електродвигун підсилювача керма?

14 ДОПОМІЖНІ ТА КОНТРОЛЬНО-ДІАГНОСТИЧНІ СИСТЕМИ АВТОМОБІЛІВ

14.1 Способи реалізації електронного захисту автомобіля від угону

Електронні протиугінні системи (antitheft alarm) є стандартним обладнанням на більшості нових автомобілів і можуть встановлюватись на випущені раніше. Вони повинні бути ефективними, надійними, стійкими до зовнішніх впливів та мати тривалий строк служби. Їх встановлення не повинно погіршувати безпеку автомобіля.

Протиугінні системи реалізують захист автомобіля на трьох рівнях.

1. Захист по периметру. Система периметричного захисту використовує мікрвимикачі для контролю за відкриванням дверей, капота чи багажника автомобіля. При несанкціонованому їх відкритті вмикається звуковий і світловий сигнали. Інколи система доповнюється датчиками, здатними розрізняти рухи тіла.

2. Захист по об'єму. Система за допомогою інфрачервоних, ультразвукових або мікрохвильових датчиків виявляє несанкціонований рух в салоні автомобіля. Ультразвукові датчики використовують ефект Доплера, коли будь-який рух в салоні змінює частоту сигналу ультразвукового випромінювача (40 кГц), який приймається приймачем. Мікрохвильова радіосистема працює за тим же принципом, але радіосигнал випромінюється на частоті 10 ГГц. Мікрохвильові датчики рідше помилково реагують на рух повітря і часто встановлюються в кабриолетах. Інфрачервоні датчики являють собою пару приймач-випромінювач і монтуються на стелі салону. Вони створюють невидиму інфрачервону завісу до підлоги салону. Приймач постійно контролює відбитий сигнал і при його зміні вмикається сигнал тривоги.

3. Імобілізація двигуна здійснюється спеціальним ЕБК, який забороняє запуск двигуна при отриманні сигналу тривоги. Це можна здійснити двома способами:

- апаратною імобілізацією, при якій деякі електричні ланцюги системи пуску двигуна розриваються

спеціальними реле або напівпровідниковими перемикачами. Ефективність апаратних систем іммобілізації дуже залежить від скритності розміщення реле і немаркованих проводів у джгуті. Скритність потрібна щоб унеможливити шунтування створюваних цими пристроями розривів в ланцюзі;

- програмною іммобілізацією, коли за командою протиугінної системи ЕБК двигуна забороняє його запуск, наприклад, робить недоступними калібрувальні діаграми подачі палива і запалювання. Після цього двигун хоч і буде провертатись стартером, але не запуститься. Такі системи дуже ефективні, потрібно тільки усунути можливість запуску шляхом заміни ЕБК двигуна на інший роботоздатний блок.

Склад протиугінних пристроїв, які входять в стандартну комплектацію, залежить від моделі автомобіля. У всіх випадках автомобіль комплектується засобами периметричного захисту, багато протиугінних систем включають іммобілайзер і захист по об'єму (рис. 14.1).

Зазвичай протиугінна система вмикається і вимикається ключем замка дверей або з дистанційного пульта, який керує також і центральним замком. Світлодіодний індикатор при ввімкненні протиугінної системи починає блискати, інформуючи про роботу системи.

В робочому режимі протиугінна система може реагувати на такі дії:

- відкриття капоту, дверей чи багажника;
- спроба відкрити дверний замок;
- спроба ввімкнути замок запалювання;
- спроба ввімкнути стартер;
- пересування, рух в салоні автомобіля (об'ємний захист).

Коли протиугінна система зафіксує спробу несанкціонованого доступу до автомобіля, на 30 секунд вмикається звуковий сигнал і підсвічування фарами, іммобілайзер вносить розриви в ланцюгу керування запуском і забороняє користування калібрувальними діаграмами електронного запалювання і впорскування палива, після чого робота двигуна стає неможливою. Для вимкнення протиугінної

системи і відкривання дверей з дистанційного пульта потрібно надіслати відповідний код.

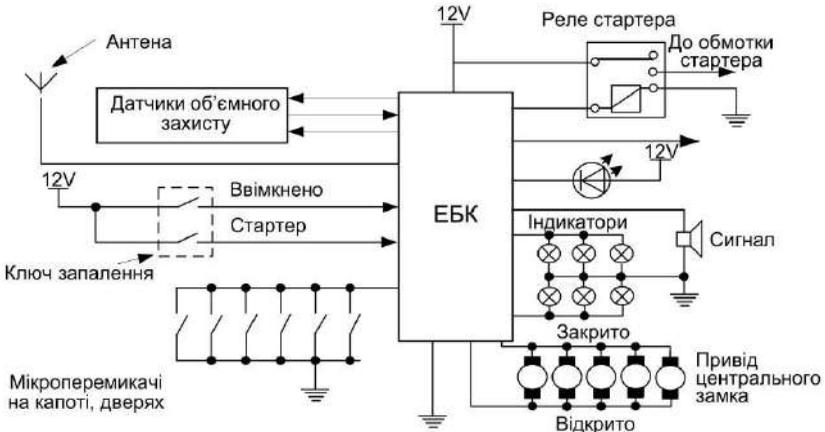


Рисунок 14.1 – Блок-схема базової протиугінної системи

14.2 Класифікація автомобільних охоронних систем

На даний час відсутня єдина класифікація для усіх типів охоронних систем. Спеціалісти класифікують їх за співвідношенням охоронних і сервісних функцій. Зокрема розрізняють три основних класи.

1. Системи класу «Стандарт» забезпечують охоронні функції:

- дистанційне керування радіобрелоком (один канал керування, декілька десятків тисяч кодів);
- охорона дверей, капота, багажника за допомогою кнопкових вимикачів;
- захист від ударів;
- режим «Паніка»;
- блокування двигуна по одному ланцюгу (ланцюг запалювання або живлення стартера);
- світлова і звукова сигналізація (в режимі тривоги);
- антисканерний захист.
- Стандартними сервісними функціями є такі:
- світлове і звукове підтвердження поставлення і зняття

- режиму охорони,
- світлодіодна індикація режимів роботи,
- світлова і (або) звукова індикація факту спрацьовування сигналізації,
- службовий режим з відключеними охоронними функціями.

2. Системи класу «Екстра» забезпечують охоронні функції:

- дистанційне керування з кількістю кодових комбінацій від сотень до тисяч і вище;
- захист об'єму салону;
- блокування двигуна, яке зберігається навіть при демонтажі системи;
- автоматичне повернення в режим охорони, яке забезпечує захист від випадкового вимкнення системи (повернення режиму охорони через 15-30 с);
- пасивне ввімкнення охорони (автоматичне ввімкнення режиму охорони через 15-30 с після закриття останньої дверці);
- захист від угону, який дозволяє дистанційно зупинити автомобіль і заглушити двигун (функція Anti-Hi-Jack);
- роздільний захист дверей, капота і багажника автомобіля;
- захист від ударів;
- розгалужена діагностика системи, яка дозволяє визначити несправний датчик і завчасно прийняти відповідні заходи.
- Стандартними сервісними функціями є такі:
 - дистанційне керування (2-4 канали керування) основним чи додатковим датчиком, регулюванням чутливості датчиків, замком багажника, склопідіймачами;
 - керування замками дверей;
 - відключення несправного чи того, що постійно спрацьовує, датчика з повідомленням про це власнику;
 - індикація причин спрацьовування сигналізації, завдяки якій власник знає про спробу вторгнення в автомобіль, про помилкову тривогу та її причини;
 - освітлення салону при вимкненні сигналізації;
 - керування двома і більше автомобілями;

- пошук автомобіля в темну пору доби (ввімкнення габаритних вогнів);
- службовий режим з відключеними охоронними функціями і з можливістю дистанційного керування замками дверей;
- безшумне ввімкнення/вимкнення сигналізації (без звукового підтвердження);
- програмування функцій дистанційного брелока-передатчика (запис кодів нових брелоків);
- програмування керованих налаштувань сигналізації (зміна функцій вбудованими перемикачами типу DIP).

3. Системи класу «Супер» забезпечують такі охоронні функції:

- дистанційне керування з динамічним кодом, завдяки якому усі спроби запам'ятати його або розшифрувати за допомогою сканера чи іншого електронного пристрою стають безрезультатними;
- резервне джерело живлення блока керування системою;
- використання не менше трьох ланцюгів блокування двигуна: блокування запалювання, стартера і системи подачі палива;
- досконала автоматична система захисту від нападу активного, пасивного чи комбінованого типу, яка потребує від водія мінімальних керованих впливів.
- Стандартними сервісними функціями є такі:
- розвинене дистанційне керування (2-4 канали керування) основними і додатковими датчиками, плавним регулюванням чутливості датчиків, замком багажника, склопідіймачами;
- дистанційне програмування деяких функцій;
- дистанційне ввімкнення/вимкнення службового режиму;
- контроль і усунення помилкового спрацьовування сигналізації.

Належність системи до певного класу встановлюють спеціалісти із охоронних систем, виходячи із усієї сукупності функцій. При цьому системі може присвоюватись два класи: один за рівнем охоронних функцій, а інший – за рівнем сервісних функцій.

14.3 Датчики охоронних систем

Автомобільні охоронні системи використовують велику кількість датчиків від найпростіших (контактних) до складних інтелектуальних пристроїв (об'ємні датчики). Розглянемо їх докладніше.

Контактні датчики (contact sensor) призначені для захисту дверей, капота і багажника автомобіля. В якості таких датчиків зазвичай використовують штатні кнопкові вимикачі.

Датчики розбитого скла (beaten glass sensor) реагують на характерний звук розбитого скла. Це датчики мікрофонного типу, які можуть бути однорівневими чи дворівневими. Спрацьовування такого датчика значно залежить від типу скла, його товщини і розташування мікрофона. Однорівневий датчик реагує на звук розбитого скла, дворівневий – реєструє звук удару і дзвін розбитого скла і спрацьовує при реєстрації цих двох сигналів з інтервалом не більше 150 мс.

Датчик удару або вібрації (shock sensor) являє собою пристрій, який реєструє вібрацію і удари по корпусу автомобіля. Якщо амплітуда перевищує задану величину, то спрацьовує сигналізація. Датчик працює на основі п'єзоефекту або електромагнітної індукції, коли постійний магніт пересувається вздовж обмотки котушки і тим самим наводить в ній змінний струм.

До даного класу відноситься і лазерний датчик, принцип роботи якого полягає у зміщенні чутливого елемента фотоприймача відносно вузького променя напівпровідникового світлодіода при вібраціях і ударах по кузову автомобіля.

Датчик удару має високий рівень помилкових спрацьовувань через зовнішні перешкоди та низьку чутливість до плавних покачувань. В охоронних системах високого класу він має органи регулювання чутливості, дворівневий поріг спрацьовування і можливість дистанційного програмування.

Датчик нахилу (gradient sensor) складається з двох магнітів і котушки. Один магніт закріплений нерухомо в основі котушки, а інший – підвішений в магнітному полі першого. При нахилі корпусу датчика другий магніт зміщується відносно першого, що призводить до зміни магнітного поля, в якому знаходиться

катушка. В обмотці катушки наводиться електрорушійна сила, яка підсилюється і є інформаційним сигналом датчика. Цей датчик в основному використовується на мотоциклах.

Датчик спаду напруги (falling voltage sensor) в режимі охорони контролює напругу бортової мережі автомобіля. При виникненні значних коливань напруги (наприклад, при відкриванні дверей) датчик видає відповідний сигнал в блок керування охоронної системи. Цей датчик вбудовується в центральний блок і входить у склад базової комплектації охоронних систем.

Датчик струму (current sensor) працює аналогічно датчику спаду напруги, але в режимі охорони він реєструє коливання струму, яке виникає при підключенні додаткового навантаження до джерела живлення. Цей датчик повинен мати дуже високу чутливість до малих коливань струму, тому в охоронних системах використовується достатньо рідко.

Датчик обриву живлення (breaking supply sensor) спрацьовує при обриві ланцюга живлення (від'єднанні клем акумулятора) і вмикає сигналізацію при наявності автономного джерела живлення.

Датчик руху (proximity sensor) спрацьовує при попаданні об'єкта, який випромінює тепло (людини), в зону охорони датчика. Датчик має зону чутливості 90°-110° і є стійким до помилкових спрацьовувань завдяки складній цифровій обробці сигналів та наявності вбудованого процесора.

Ультразвуковий датчик (ultrasonic sensor) призначений для виявлення пересувань в салоні автомобіля. Його дія основана на інтерференції ультразвукових коливань. В склад датчика входять випромінювач на ультразвуковій частоті і приймач, які рознесені в салоні автомобіля. При проникненні якогось об'єкта в салон стійкість інтерференційної картини біля приймача порушується і формується сигнал тривоги. Основним недоліком цього датчика є помилкове спрацьовування при виникненні конвекційних потоків повітря в системі опалення автомобіля.

Мікрохвильовий датчик (microwave sensor) призначений для виявлення руху всередині салону та поблизу автомобіля. Тому його ще називають двозонним датчиком. Перша зона охорони знаходиться за межами автомобіля, а друга – в салоні. Принцип

дії оснований на реєстрації змін інтерференційної картини радіохвиль сантиметрового діапазону (прозорого для скла автомобіля), яка формується передавачем. Пристрій потребує точних регулювань чутливості в першій зоні з метою мінімізації помилкових спрацьовувань.

Інфрачервоний датчик (infrasonic sensor) оберігає тільки салон автомобіля. Його дія основана на реєстрації інтерференційної картини хвиль інфрачервоного діапазону. Цей датчик здатний контролювати закриті приміщення великого об'єму, тому рекомендується для встановлення в салонах мікроавтобусів, фургонів і т.п. Основний недолік – великий струм споживання порівняно з іншими об'ємними датчиками.

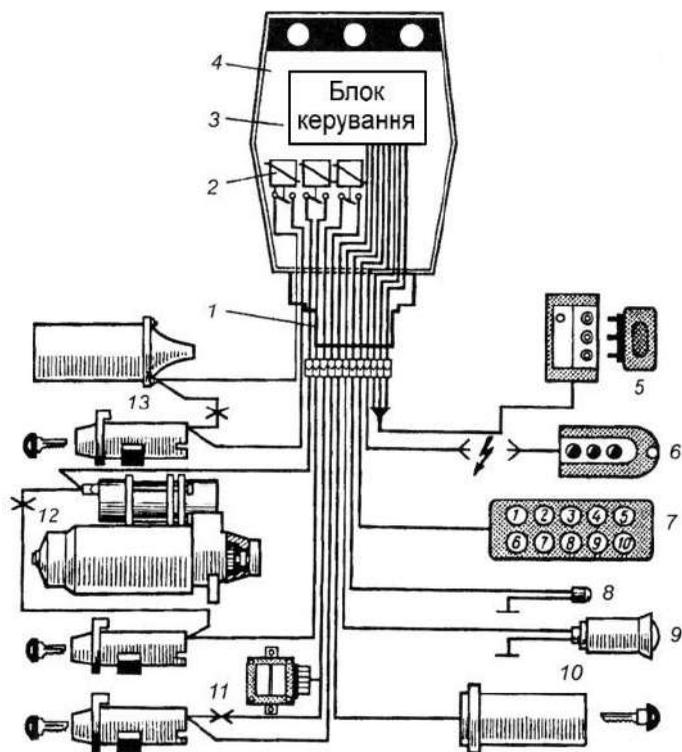
Датчик зміни об'єму (volume changing sensor) призначений для реєстрації зміни тиску в салоні автомобіля, яка виникає, наприклад, при відкриванні дверей чи скла автомобіля. Цей датчик має дуже високу чутливість і в зв'язку з цим можливі його помилкові спрацьовування, особливо при охолодженні салону автомобіля в зимовий період. В автомобільних охоронних системах використовується дуже рідко.

Імобілайзери.

Імобілайзер (immobilizer) – це протиугінний пристрій, який забороняє запуск двигуна при отриманні сигналу тривоги шляхом використання апаратних чи програмних засобів. Залежно від моделі в схемі імобілайзера є 2-6 електромагнітних реле (рис. 14.2). Кожне обслуговує окремий канал переривання.

Реле виконують функцію «секретних» тумблерів, тобто замикають і розмикають ті або інші електрокола. Звичайно в автомобілі блокують стартер, апаратуру керування впорскуванням палива, електромеханічні бензонасоси, котушки в контактних системах запалювання і комутатори в електронних системах запалювання, бортові комп'ютери й т.д.

Блок керування являє собою плату з електронними мікросхемами. Він включає-виключає реле, формує команди сигнальним пристроям і приймає коди від системи керування. Його ретельно ховають, а корпус виконують нерозбірним з удароміцного пластику. В кращих моделях електроніку впаковують у герметичну сталеву капсулу і заливають спеціальною гумою.



1 – роз’єм, 2 – переривальне реле, 3 – блок керування,
 4 – корпус, 5 – електронний ключ, 6 – радіобрелок,
 7 – коловий пульт, 8 – сигнальний світлодіод,
 9 – додаткова сирена, 10 – керуючий вихід на
 електронну сигналізацію, 11, 12 й 13 – переривання
 відповідно для комутатора, стартера й котушки запалювання

Рисунок 14.2 – Функціональна схема іммобілайзера

Таке виконання оболонки іммобілайзера називають броньованим. Якщо злоумисникові повезе й він все-таки відшукає блок керування, то добратися до начинки йому буде дуже важко. Ще складніше визначити, що ж в автомобілі заблоковано. Всі силові проводи, підведені до переривальних реле одного кольору. Маркують тільки хвостики їх облєтєння, які при встановленні на автомобіль зачищає монтажник.

Відновити розімкнутий ланцюг злодій не зможе, та й обрізати проводи іммобілайзера безглуздо – двигун однаково не буде працювати. Варто віддавати перевагу тим системам, у яких силові проводи йдуть усередину корпусу.

Всі іммобілайзери переходять у режим захисту від викрадення автоматично, через кілька секунд після того, як буде виключене запалювання, а от конструкції систем керування для зняття комплексів з охорони фірми-виготовлювачі використовують різні.

Кнопковий пульт звичайно розташовують у салоні на видному місці. Користуватися ним просто, водій сідає в автомобіль і набирає пальцем потрібну комбінацію цифр. Переваги методу такі. Існують два коди – «користувач» і «майстер».

Якщо на автомобілі їздять кілька людей, то хазяїн повідомляє їм комбінацію коду «користувач», який здатний тільки розблокувати двигун. Код «майстер» відомий лише самому власникові. З його допомогою можна зовсім відключити іммобілайзер або, увійшовши в режим програмування, змінити комбінацію «користувач». Недолік пульта: набір цифр іноді забирає занадто багато часу, що може викликати невдоволення навколишніх. Наприклад, при від'їзді від бензоколонки.

Радіобрелок такий же, як і у звичайних сигналізаціях, значно зручніший, ніж кнопковий пульт. Він дозволяє легко управляти охоронним комплексом навіть на значному віддаленні від автомобіля. Однак радіокод можна перехопити, записати і відтворити. Системи з дистанційним керуванням дорожчі.

Крім того, необхідно періодично замінити батарею в брелоку, а це додаткові витрати. Якщо па автомобілі, крім іммобілайзера, змонтована сигналізація, то на в'язці ключів з'явиться відразу два брелоки, що ускладнить зняття з охорони.

У ряді іммобілайзерів передбачений спеціальний вихід для підключення до традиційної автосигналізації у випадку спільної роботи. Тоді обидва комплекси приймають команди з пульта дистанційного керування сигналізацією.

Таке рішення, звичайно, спрощує життя власникові, але для надійного захисту від викрадення все-таки краще, щоб основна

охоронна система та іммобілайзер відключалися незалежно один від одного.

Оптимальний і найпоширеніший спосіб керування іммобілайзером – електронний ключ. Його вставляють у спеціальне гніздо, змонтоване біля панелі приладів, процесор зчитує код, «зашитий» в електронних схемах ключа, і формує команду керування. Контактний метод хороший тим, що виключає можливість перехоплення шифру.

Підробити електронний ключ практично неможливо: сучасні мікросхеми дозволяють закодувати мільйони варіантів комбінацій. Ще одна позитивна якість ключів у тому, що вони не містять батарейок, майже не зношуються, стійкі до впливу вологи, їх важко зруйнувати механічно, наприклад, при падінні, при випадкових ударах. Неодмінний атрибут будь-якого іммобілайзера – сигнальний світлодіод.

Власник з його допомогою довідається, у якому стані перебуває система в цей момент часу, а зловмисник, побачивши миготіння світлодіода, зрозуміє, що автомобіль під охороною.

На додаток до світлової індикації деякі фірми формують свої виробу автономними сиренами. На відміну від подібних пристроїв у сигналізаціях вони мовчать при поривах вітру, ударах по кузову, проникненнях у салон.

Але варто злодієві включити запалювання, як сирена іммобілайзера порушить тишу голосним завиванням.

14.4 Робота охоронної системи з дистанційним керуванням

Система дистанційного керування дозволяє керувати протиугінним пристроєм і центральним замком на деякій відстані. Вона складається з портативного передавача, що носить водій, і приймача, підключеного до ЕБК охоронної системи і центрального замка.

Система вмикається і вимикається передавачем шляхом надсилання відповідного цифрового коду. Код передається послідовно, використовуючи інфрачервоне випромінювання або радіосигнал в УКХ-діапазоні.

Системи, які використовують інфрачервоне випромінювання, мають малий радіус дії, потребують точного наведення променя

передавача, але не створюють електромагнітних перешкод. УКХ-системи мають більший радіус дії, але сигнал може бути перехопленим і декодованим за допомогою відповідної електронної апаратури. На рис. 14.3 і 14.4 схематично зображено алгоритми роботи передавача і приймача.

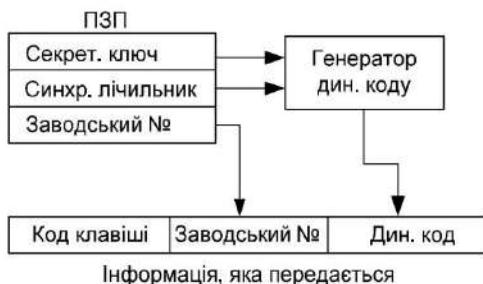


Рисунок 14.3 – Алгоритм роботи передавача



Рисунок 14.4 – Алгоритм роботи приймача

При натисненні кнопки брелока (передатчика) (sender) його мікросхема із режиму очікування переходить в робочий режим. Запускається 16-розрядний синхронізуючий лічильник.

Генератор динамічного коду виробляє за певним алгоритмом динамічний код (28-32 біт) в функції від значення секретного ключа (статичний код) і стану синхронізуючого лічильника.

Динамічний код (dynamic code), заводський номер брелока і код натиснутої клавіші утворюють керуюче слово довжиною 60-70 біт, яке передається приймачу по радіоканалу чи іншим способом.

Якщо брелок зареєстрований в даному приймачі, тобто його ідентифікаційний номер, секретний код, стан синхронізуючого лічильника є в постійному запам'ятовуючому пристрої (ПЗП) приймача, прийнята інформація ідентифікується за номером брелока і обробляється.

Запускається синхронізуючий лічильник приймача і виробляється динамічний код в генераторі приймача. Якщо динамічні коди приймача і передавача збігаються, то відбувається виконання переданої команди.

Заводський номер передавача і секретний ключ статичні коди. Генератор динамічного коду разом з 16-розрядним синхронізуючим лічильником, виробляє 65 535 різних значень коду, які змінюються в кожному посиланні.

Якщо користуватись брелоком по 50 раз в день, повторення коду відбудеться через 1310 діб.

Системи дистанційного керування на основі динамічного коду є криптографічними. Захист автомобіля залежить від кодової довжини секретного ключа, тобто від числа його можливих станів. Для автомобільних систем вважається задовільним, якщо час розкриття коду ТР методом сканування (перебору можливих комбінацій) перевищує 32 доби.

В такому випадку:

$$T_P = \frac{1}{D} C(T_A - T_B), \quad (14.1)$$

де D – число зареєстрованих брелоків;

C – число значень секретного ключа;

T_A – час активації системи;

T_B – час, на який відключається система після отримання неправильного динамічного коду і розпізнання спроби розкриття дійсного його значення.

14.5 Пристрої розкриття кодів сигналізації

Можливі такі варіанти зламу системи дистанційного керування.

1. Підбір коду за допомогою сканера.
2. Відтворення раніше записаного коду з використанням

граббера.

3. Криптоаналіз.

4. Зламування під час обслуговування.

Перші системи дистанційного керування передавали фіксований або змінний код із невеликого фіксованого набору. Викрадач з портативним комп'ютером і прийомопередатчиком (граббером) записував сигнал з брелока автовласника, а потім в слушний момент відтворював його і відключав сигналізацію.

При використанні сканера передатчик викрадача посилає кодові комбінації, змінюючи при кожному новому посиланні код на одиницю до тих пір, поки наступна послідовність не збіжиться з шуканою.

Для перебору кодів необхідний час, величина якого залежить від можливого числа комбінацій і тривалості передавання команди керування (в сучасних системах вона складає 40 мс). Таким чином, для перебирання 1 млн. комбінацій знадобиться 10 годин.

Застосування динамічного коду (dynamic (random) code, hopping, jumping, rolling), тобто збільшення числа можливих комбінацій, унеможливило використання сканерів. Сучасні сигналізації мають мільярди кодових комбінацій і більше 10^{10} комбінацій кодових сигналів.

З іншого боку, з'явились інтелектуальні граббери, які зламують протиугінні системи з динамічним кодом і одностороннім передаванням інформації. Вони працюють так.

Перша послідовність з брелока записується граббером з одночасною генерацією перешкоди, яка блокує приймач. Не отримавши підтвердження про включення протиугінної системи, власник повторно натискає кнопку брелока.

Граббер записує другу послідовність, блокує її приймання приймачем, а потім посилає першу послідовність. Протиугінна система вмикається. В потрібний час викрадач її відключить записаною граббером другою послідовністю.

Можливим методом боротьби проти цього алгоритму роботи граббера є використання двонаправленого передавання інформації в системі дистанційного керування. Але і в цьому випадку систему можна зламати засобами криптоаналізу.

В сучасних протиугінних системах часто застосовують

спеціалізовані мікросхеми фірми Microchip, які реалізують алгоритм генерації псевдовипадкової послідовності (динамічного коду) Keeloq з довжиною ключа 64 біт. Оцінка середнього часу для апаратного розкриття коду шляхом перебору комбінацій в залежності від затрат на обладнання і довжини ключа подана в табл. 14.1.

Таблиця 14.1 – Результати прогнозування трудомісткості злому протиугінних систем з алгоритмом генерації псевдовипадкової послідовності

Вартість обладнання	Довжина ключа, біт		
	56	64	80
100000\$	35 годин	1 рік	70000 років
1000000\$	3,5 години	37 діб	7000 років
10000000\$	21 хвилина	4 доби	700 років

Для зламу протиугінної системи потрібно мати спеціалізоване обладнання або суперЕОМ типу Cray, оскільки операційні системи звичайних комп'ютерів не пристосовані для обробки довгих кодових слів. Криптоаналіз обійдеться дуже дорого.

В автосервісі викрадачі можуть спробувати зареєструвати свій брелок в приймачі автомобіля. Потім можна записати за допомогою граббера команду ресинхронізації із зареєстрованого брелока, щоб відтворити її пізніше при угоні.

Більшість протиугінних систем підтримують режим Valet, коли для обслуговування автомобіля система відключається і немає необхідності передавати брелок стороннім особам.

14.6 Допоміжні пристрої охоронних систем

На даний час широке розповсюдження отримали механічні протиугінні пристрої – замки, які забезпечують надійне блокування важеля перемикання передач. Протиугінні замки користуються попитом в 54 країнах світу. Ізраїльський концерн Technologies Ltd постачає свою продукцію (високоякісні механічні засоби захисту) і в Україну. Протиугінні замки дуже прості і зручні у використанні.

Замок Mul-T-Lock має підвищену стійкість до зламування, підбору ключа. Сам замок і запірні дуги виготовлені із надміцної легованої сталі, захищеної антикорозійним покриттям.

Замок Mul-T-Lock має захист від висвердлювання, пиляння, різання та інших способів його зняття. Механізм замка має понад 3 мільйона комбінацій, що практично виключає його несанкціоноване розкриття.

Замок комплектується 3-ма ключами, які пройшли при виготовленні комп'ютерний контроль комбінацій. Кожному клієнту видається пластикова картка власника, яка дає право на виготовлення дубліката ключа.

Дублікат ключа може бути виготовлений тільки в стаціонарних умовах сервіс-центру Mul-T-Lock і виключно при наявності пластикової картки. Секретний номерний ключ має 5 ступенів захисту:

- від подробики ключа шляхом виготовлення відбитків,
- від виготовлення дублікатів ключа при відсутності магнітної карти,
- від свердління,
- від пиляння і різання,
- від зварювання і обробки рідким азотом.

Деякі відомі фірми пропонують широкий асортимент додаткових пристроїв для автосигналізацій, які розширюють спектр охоронних і сервісних функцій систем охорони автомобілів.

1. Центральний замок призначений для одночасного відкривання (закривання) усіх дверей автомобіля. Комплект центрального замка являє собою набір з 2-х або 4-х електричних виконавчих механізмів (активаторів) і контролера керування. Сигнали керування дверми на контролер поступають від центрального блока сигналізації. В деяких моделях контролер керування дверми знаходиться в корпусі самої сигналізації.

2. Електросклопідіймачі являють собою електроприводи, призначені для підняття і опускання дверного скла автомобіля. Керування склопідіймачами здійснюється спеціальним контролером, який є самостійним пристроєм.

3. Додатковий замок капота є допоміжним, але дуже корисним пристроєм. Встановлення додаткового замка капота,

який відкривається із салону автомобіля ключем, добре охороняє сирену сигналізації. Крім того, замок капота може розривати ланцюг пуску стартера.

4. Додатковий паливний електроклапан призначений для блокування системи подачі палива автомобіля. Звичайно паливний клапан керується сигналізацією чи іммобілайзером і може стати серйозним протиугінним пристроєм.

5. Електронний захист коліс і засоби проти буксирування автомобіля працюють на основі показань датчика положення та сигналів електронного блока оцінювання поточної ситуації.

На момент підключення пристрою сигналізації кут нахилу, при якому автомобіль був встановлений на стоянку, завантажується в запам'ятовувальний пристрій як нульовий контрольний кут.

Сигнал тривоги подається, коли величина кут перевищує запрограмовані границі. Звичайні зміни положення автомобіля (наприклад, в результаті зменшення тиску в шинах, вільного розкачування автомобіля чи осідання в рихлому ґрунті) розпізнаються засобами електроніки і не приводять до спрацьовування сигнального пристрою.

14.7 Системи контролю за переміщенням автотранспорту

В наш час в усьому світі намічається значне зростання інтересу до систем, що забезпечують автоматизацію контролю за переміщенням авто транспорту. Будучи на початковому етапі прерогативою спецслужб і невеликого числа комерційних організацій, що займаються транспортуванням особливо цінних вантажів, у наш час, завдяки удосконалюванню технології і зниженню цін, ці системи стають доступні й економічно ефективні для використання в різних галузях, включаючи комерційні вантажоперевезення, суспільний транспорт і потреби рядового споживача.

Системи і комплекси технічних засобів визначення місця розташування рухомих об'єктів розрізняються за методами визначення координат об'єктів, способами передачі інформації між рухомими об'єктами і диспетчерськими пунктами, логікою побудови і т.п. Однак у всіх цих системах повинна виконуватися

умова – можливість для споживача самостійно визначати її основні параметри:

- зону роботи системи,
- тип транспорту, який потрібно контролювати,
- частоту відновлення інформації про рухомий об'єкт,
- перелік задач, розв'язуваних у системі.

Системи автоматичного (автоматизованого) визначення місця розташування транспортних засобів – AVL (automatic vehicle location system) за територією охоплення умовно можна підрозділити (рис. 14.5) на такі зони покриття:

- глобальну, котра охоплює земну кулю, материки або території декількох держав,
- регіональну, обмежену, як правило, границями населеного пункту, області, регіону,
- локальну (зональну) розраховану на малий радіус дії (територія міста, області), що характерно в основному для систем дистанційного супроводу і пошуку викрадених автомобілів.

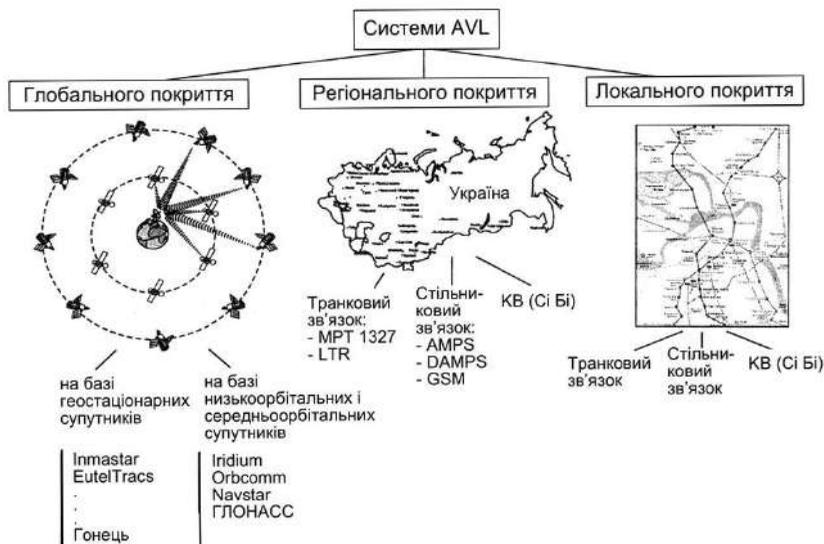


Рисунок 14.5 – Класифікація AVL-систем за територією обхвату

З погляду реалізації функцій місцезнаходження системи AVL характеризуються такими технічними параметрами, як точність визначення місцезнаходження і періодичність уточнення даних. Очевидно, ідо ці параметри багато в чому залежать від зони дії AVL-системи.

Чим менше розмір зони дії, тим вище повинна бути точність. Так, для локальних систем, що діють на території міста, вважається достатньою точність визначення місцезнаходження від 50 до 100 м.

Деякі спеціальні системи потребують точності до одиниць метрів, для глобальних систем буває досить точності до одиниць кілометрів. Періодичність уточнення даних може коливатися від декількох хвилин до годин. Глобальна зона покриття звичайно потрібна для контролю міжнародних перевезень, коли відстані між рухомим об'єктом і диспетчерським пунктом можуть бути в кілька тисяч кілометрів.

Тому найбільш прийнятне рішення для реалізації системи подібного масштабу – використання супутникових каналів зв'язку. Системи супутникового рухомого зв'язку можуть бути побудовані на базі геостационарних супутників або на базі низько- і середньоорбітальних супутників.

Основна маса систем контролю дальніх перевезень основана на використанні геостационарних супутників. Це системи Inmarsat, OmniTracs, EutelTracs, Prodat та інші.

Системи на базі низькоорбітальних супутників, такі, наприклад, як Indium, Orhcomm, Navstar, Глонасс призначені для автоматизованого збору інформації про стан об'єктів, надання послуг електронної пошти, рішення навігаційних задач.

Основна їхня відмінність від геостационарних систем полягає в тому, що вони складаються з низькоорбітальних супутників з невеликою висотою орбіти (менше 1000 км). Для споживача це означає, що їхні супутникові термінали мають менші розміри і невисокі піни.

До систем, що забезпечують регіональну зону покриття, відносяться системи контролю рухомих об'єктів, в яких об'єкти не віддаляються від диспетчерського пункту далі фіксованої відстані (звичайно не більш 1000 км).

У цих системах потрібно підтримувати голосовий зв'язок

між об'єктом і диспетчером, оперативно доставляти інформацію про місце розташування і стан транспортних засобів. Досить умовно в цей розряд можна віднести системи на базі транкового, стільникового та короткохвильового зв'язку.

Системи на базі транкового зв'язку можуть покривати значні площі, дозволяючи здійснювати «автороумінг» та «автопатчинг», тобто в них, за рахунок поєднання окремих ретрансляторів у єдину логічну структуру, у споживача відпадає необхідність піклуватися про переключення радіочастотних каналів при переміщенні в рамках усїєї системи. У світі розгорнуті й експлуатуються транкові системи різних стандартів: SmartTrunk, MPT 1327, LTR, SmartZone, EDACSnap.

Системи на базі стільникового зв'язку усе більш завойовують ринок України. Багато фірм випускають устаткування і пропонують закінчені системи. Широке застосування цих систем стримують висока ціна бортового комплексу і проблеми перевантаження системи зв'язку. Системи локальної зони покриття працюють, як правило, у радіусі до 100 км і найчастіше використовуються для забезпечення внутрішньоміських перевезень і пошуку викрадених автомобілів.

У таких системах можуть використовуватися системи космічного, стільникового, транкового та короткохвильового зв'язку окремо одна від одної або в різних поєднаннях. За своїм призначенням AVL можна розділити на диспетчерські системи, системи дистанційного супроводу та системи відновлення маршруту.

Диспетчерські системи – це системи, в яких здійснюється централізований контроль у певній зоні за місцем розташування і переміщенням рухомих об'єктів у реальному масштабі часу одним або декількома диспетчерами, що знаходяться в стаціонарних обладнаних диспетчерських центрах, це можуть бути системи оперативного контролю переміщення патрульних автомашин, контролю рухомих об'єктів, системи пошуку викрадених автомобілів.

Системи дистанційного супроводу – це системи, в яких дистанційно контролюється переміщення рухомого об'єкта за допомогою спеціально обладнаної автомашини або іншого транспортного засобу, найчастіше такі системи

використовуються при супроводі цінних вантажів або контролюється переміщення спеціальних транспортних засобів.

Системи відновлення маршруту – це системи, що вирішують задачу визначення маршруту або місць перебування транспортного засобу на основі даних, отриманих тим або іншим способом, подібні системи застосовуються при контролі переміщення транспортних засобів, а також з метою одержання статистичних даних про маршрути.

У тому випадку, коли потреба одержання інформації в реальному масштабі часу не є обов'язковою, однією з найбільш дешевих систем контролю рухомих об'єктів є використання бортового накопичувана параметрів руху транспортних засобів.

Останній працює в режимі «чорної скриньки», тобто здійснює запис координат точок маршруту руху з відміткою часу їхнього проходження, а також фіксує додаткову телеметричну інформацію, наприклад, температуру в рефрижераторі, витрату палива, факти відкривання дверей фургона і т.д.

Для зональних диспетчерських систем ідеальним може вважатися одержання даних про місце розташування рухомого об'єкта до одного разу в хвилину. Системи дистанційного супроводу потребують більшої частоти відновлення інформації.

Конкретні реалізації AVL-систем часто включають у свій склад технічні засоби, що забезпечують кілька способів визначення місця розташування.

14.8 Методи визначення місця знаходження автотransпортних засобів

Застосовувані в AVL-системах методи визначення місця розташування транспортних засобів можна розбити на три основних категорії: методи наближення (зональні), методи навігаційного обчислення, методи визначення місця розташування за радіочастотою.

Для використання методів наближення створюється мережа контрольних зон шляхом встановлення достатньо великої кількості контрольних пунктів (КП) з точно відомим місцем розташування.

Положення транспортного засобу визначається за проходженням ним КП шляхом автоматичного використання

встановленої бортової апаратури. Точність місцезнаходження об'єкта напряму залежить від щільності розташування КП. Вартість використання цих методів досить висока, особливо при необхідності охоплення значних територій.

Місце розташування транспортного засобу за радіочастотою визначається шляхом вимірювання різниці відстаней транспортного засобу від трьох або більше відносних позицій.

Дану групу методів можна умовно розбити на дві підгрупи:

- радіопеленгація, коли абсолютне або відносне місце розташування рухомого об'єкта визначається при прийомі випромінюваного ним радіосигналу мережею стаціонарних або мобільних приймальних пунктів,
- обчислення координат за результатами прийому спеціальних радіосигналів на борту рухомого об'єкта (методи прямої або інверсної радіонавігації).

Методи навігаційного обчислення ґрунтуються на вимірюванні параметрів руху автомашини за допомогою датчиків прискорень, кутових швидкостей у сукупності з датчиками пройденого шляху і датчиками напрямку та обчисленні на основі цих даних поточного місця розташування рухомого об'єкта щодо відомої початкової точки.

В цілому дані методи можуть використовуватися в тих же системах, що і методи, ґрунтуються на радіонавігації. Основна їхня перевага в порівнянні з методами радіонавігації незалежність від умов прийому навігаційних сигналів бортовою апаратурою.

На рис. 14.6 показано застосування навігаційного обчислення для визначення координат автомобіля.

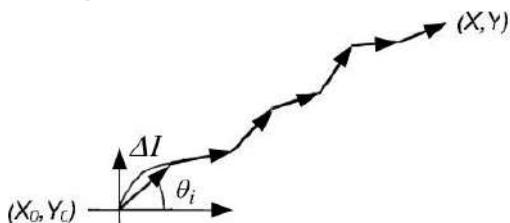


Рисунок 14.6 – Визначення координат автомобіля методом навігаційного обчислення

Відстань від стартової точки (X_0, Y_0) визначається за такою

системою рівнянь

$$\begin{cases} X_n = X_0 + \sum_{i=1}^n \Delta l \cdot \sin \theta_i, \\ Y_n = Y_0 + \sum_{i=1}^n \Delta l \cdot \cos \theta_i \end{cases} \quad (14.2)$$

де X – напрямок схід – захід;

Y – напрямок північ – південь.

Таким чином, поточні координати автомобіля можуть бути визначені, якщо відоме положення стартової точки на карті. Напрямок руху автомобіля звичайно визначають за геомагнітним датчиком азимута (компасу). Корпус автомобіля виконаний з металу та інших магнітних матеріалів і здатний намагнічуватись зовнішніми полями.

В цьому випадку виникає систематична похибка у визначенні напрямку руху автомобіля. Паразитне магнітне поле компенсується додатковими магнітами поблизу компаса.

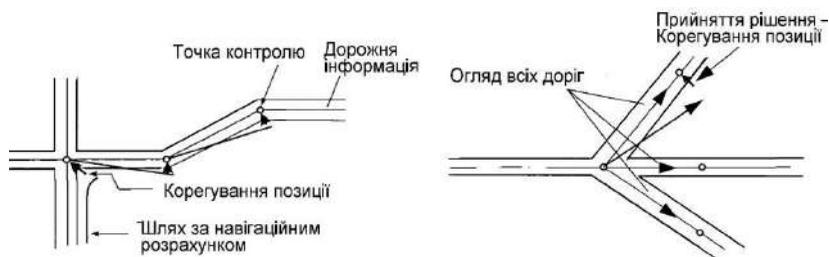
Магнітне поле також спотворюється в тунелях, на металевих мостах, під час руху вздовж електропоїздів. Застосування датчиків обертання коліс разом із компасом вирішує дану проблему.

Навігаційне обчислення дає низьку точність визначення поточних координат об'єкта. Для автомобіля приходится коректувати координати, визначені цим методом кожні 10-15 км. Ситуацію спасє лише те, що звичайно автомобілі рухаються по дорогах, які нанесені на карту.

Орієнтування на карті місцевості дозволяє уточнити поточні координати автомобіля шляхом порівняння конфігурації пройденого шляху, отриманої навігаційним обчисленням, з конфігурацією дороги, по якій рухається автомобіль. На рис. 14.7 показано як порівнюються і коректуються шляхи, отримані навігаційним обчисленням, з картою.

Спочатку навігаційна система визначає, які з найближчих доріг можуть відповідати координатам автомобіля, отриманим навігаційним обчисленням. Потім виконується порівняння, як

показано на рис 14.7, а. Вибирається найбільш придатна дорога і корегуються координати автомобіля по карті.



- а – корегування шляху,
- б – вибір шляху на перехресті доріг

Рисунок 14.7 – Корегування і вибір шляху

Коли автомобіль досягає перехрестя, вибір дороги визначається напрямком руху (рис. 14.7, б). Якщо дороги на перехресті виглядають приблизно однаково, навігаційний комп'ютер слідкує за ними по карті вперед і визначає коефіцієнт кореляції для кожної з доріг відносно заданого маршруту.

Вибирається дорога з найбільшим коефіцієнтом кореляції. Система GPS (рис. 14.8) може використовуватись для визначення абсолютних координат автомобіля.

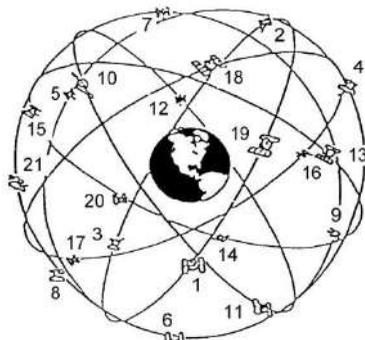


Рисунок 14.8 – Супутникова система Navstar

Вона складається з 18 основних та 3 запасних супутників на навколосемних орбітах (радіус 20183 км, період обертання 12 годин), запущених міністерством оборони США в період з 1980 по 1992 рік (програма Navstar), і призначена для отримання інформації про абсолютні координати різних об'єктів: морські судна, літаки, ракети, військові підрозділи, автомобілі і т.д.

На супутниках встановлені атомні годинники, періодично на Землю надсилаються сигнали з інформацією про системний час і

параметри орбіти на частоті 1,57542 ГГц.

Користувачі обслуговуються системою за двома категоріями: точне визначення координат (Precise Position Service – PPS) – для військових і стандартна точність визначення координат (Standard Position Service – SPS) – для решти категорій користувачів, в тому числі і для навігації автомобілів. Досяжна точність визначення координат з помилкою до 30 м.

Координати приймача (X, Y, Z) і супутника (U_i, V_i, W_i) пов'язані співвідношенням:

$$P_i = \sqrt{(X - U_i)^2 + (Y - V_i)^2 + (Z - W_i)^2} + R, \quad (14.3)$$

де P_i – відстань між супутником і приймачем;

R – похибка у часі, яка виникає через неможливість точно синхронізувати атомний годинник супутника і кварцовий генератор приймача.

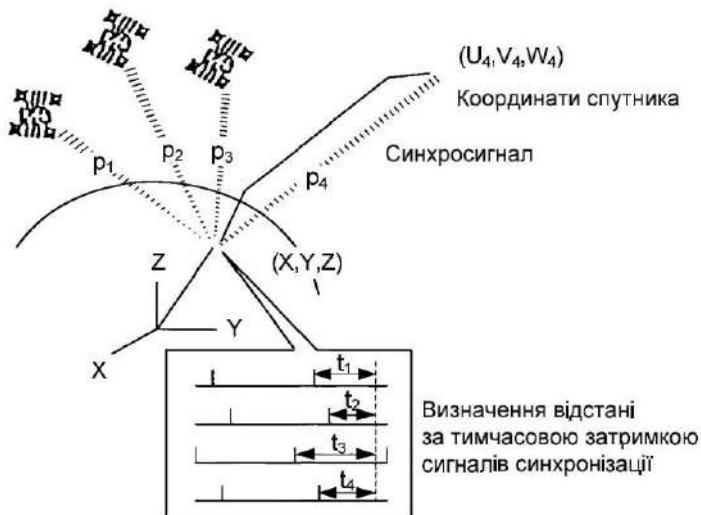


Рисунок 14.9 – Визначення координат за допомогою GPS

Таким чином при відомих координатах (U_i, V_i, W_i) чотирьох супутників (рис. 14.9) і відстані від супутників до приймача P_i

шляхом розв'язання чотиривимірного нелінійного рівняння визначаються координати приймача (X, Y, Z).

Координати супутника визначаються за розв'язанням рівняння Кеплера, для чого передається інформація про системний час. Відстань R_i між супутником і приймачем визначається за часом затримки t_i приходу сигналу синхронізації із супутника (швидкість розповсюдження радіохвиль – постійна величина). Вважається, що навігація за допомогою GPS є найбільш перспективною. Її основні недоліки.

1. При першому зверненні початкові координати визначаються відносно повільно – 2...3 хвилини. В подальшому інформація оновлюється протягом декількох секунд.

2. Система працює в умовах прямої видимості з 4-х супутників. Гори та високі будівлі можуть бути перешкодою.

14.9 Обладнання навігаційних систем

Структура, способи функціонування та потрібні характеристики підсистем системи реалізації навігаційного обчислення (СРНО) переважно залежать від заданої якості навігаційного забезпечення та обраної концепції навігаційних вимірювань.

Для досягнення таких важливих якостей, як неперервність і висока точність навігаційних визначень, в глобальній робочій зоні і складі сучасної СРНО типу ГЛОНАСС або NAVSTAR GPS функціонують три основні підсистеми:

- космічних апаратів (ПКА), яка складається з мережі навігаційних супутників (НС),
- контролю і керування (ПКК) наземний командно-вимірювальний комплекс (КВК) або центр керування,
- апаратура споживача (АС) СРНО (прийоіндикатори (ПІ)).

Множина видів прийоіндикаторів СРНО забезпечує потреби наземних, морських, авіаційних та космічних (в межах ближнього космосу) споживачів. Основною операцією, яку виконують в СРНО є визначення просторово-часових координат (ПЧК). Цю операцію здійснюють відповідно до концепції незалежної навігації, яка передбачає визначення шуканих навігаційних параметрів безпосередньо в апаратурі споживача.



Рисунок 14.10 – Принцип дії супутникової навігації

В рамках цієї концепції в СРНО обрано позиційний спосіб визначення місцезнаходження споживача на основі пасивних (без запитів) далекомірних вимірювань за сигналами декількох навігаційних штучних супутників Землі з відомими координатами.

Вибір концепції незалежної навігації та використання беззапитних вимірювань забезпечили можливість досягнення необмеженої пропускну здатності СРНО, однак це призвело до ускладнення апаратури споживачів.

Висока точність визначення місцезнаходження споживачів обумовлена багатьма факторами, включаючи взаємне розташування супутників і параметри їх навігаційних сигналів.

В наш час вважається доцільним введення у склад СРНО додаткових регіональних систем, які дозволяють підвищити точність обсервації, здійснювати контроль цілісності системи та підтримувати режим диференціальних вимірювань.

Підсистема космічних апаратів СРНО складається з певного числа навігаційних супутників. Основні функції НС – формування та випромінювання радіосигналів, необхідних для навігації споживачів, контролю бортових систем супутника підсистемою контролю і керування СРНО.

З цією метою в склад апаратури НС звичайно включають:

радіотехнічне обладнання (передатчики, приймачі, антени, блоки орієнтації), ЕОМ, бортовий еталон часу і частоти, сонячні батареї та інше устаткування. Бортові еталони часу і частоти забезпечують практично синхронне випромінювання навігаційних сигналів усіма супутниками, що необхідно для реалізації режиму пасивних далекомірних вимірювань в апаратурі споживача.

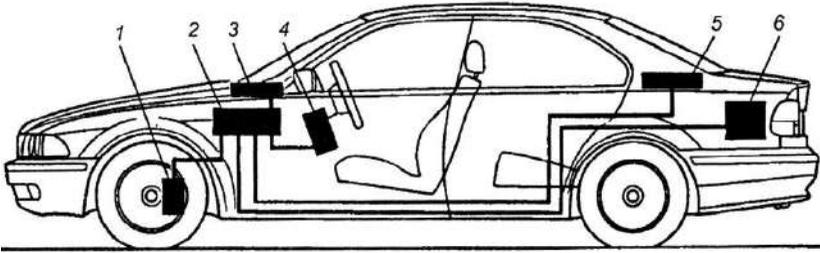
Підсистема контролю і керування являє собою комплекс наземних засобів – КНЗ, які забезпечують спостереження і контроль за траєкторіями руху НС, якістю функціонування їх апаратури, керування режимами її роботи і параметрами супутникових радіосигналів, складом, об'ємом та дискретністю переданої із супутників навігаційної інформації, стабільністю бортової шкали часу та інше.

Звичайно КНЗ складається з координаційно-обчислювального центру (КОЦ), станцій траєкторних вимірювань і керування (СТВ), системного (наземного) еталону часу і частоти. Періодично при польоті НС в зоні видимості СТВ, відбувається спостереження за супутником, що дозволяє за допомогою КОЦ визначати і прогнозувати координатну та іншу необхідну інформацію. Потім ці дані закладають в пам'ять бортової ЕОМ і передають споживачам в службовому повідомленні у вигляді кадрів відповідного формату.

Функціональні можливості навігаційної апаратури споживачів СРНО досить різноманітні. Одні комплекси показують водієві розташування заданого пункту призначення, його віддаленість, а також місце розташування автомобіля, інші «супроводжують» водія від початку поїздки до кінцевого пункту, безупинно вказуючи оптимальний напрямок руху до заданої мети з урахуванням зміни дорожньої обстановки.

Є й більш прості системи, що видають інформацію тільки загального характеру: про погодні умови, ДТП, що відбулися в певному місті або на маршруті руху, і т.д. Але в будь-якому випадку мета їх застосування очевидна: знизити час і вартість поїздки, забезпечити водієві можливість оптимальним чином коректувати свій маршрут.

Розташування елементів типового комплексу навігаційної апаратури автомобіля показано на рис. 14.11.



- 1 – датчик пройденого шляху, 2 – процесорний блок,
3 – компас, 4 – інформаційний дисплей, 5 – антена
приймача GPS, 6 – накопичувач інформації

Рисунок 14.11 – Будова навігаційної системи

В сучасних СРНО керування НС здійснюється з обмежених територій і, відповідно, не забезпечується постійна взаємодія КНЗ і мережі НС. В зв'язку з цим виділяють два етапи розв'язування цієї задачі.

На першому етапі в апаратурі КНЗ вимірюють координати супутників в процесі їх прольоту в зоні видимості і обчислюють параметри їх орбіт. Ці дані прогнозуються на фіксовані (опорні) моменти часу, наприклад, на середину кожного півгодинного інтервалу майбутньої доби, до виконання наступного прогнозу.

Прогнозовані координати НС та їх похідні передаються на НС, а потім у вигляді навігаційного (службового) повідомлення, в указані моменти часу, споживачам.

На другому етапі в апаратурі споживача за цими даними здійснюється наступне прогнозування координат НС, тобто обчислюються поточні координати НС в інтервалах між опорними точками траєкторії. Процедури первинного і вторинного прогнозування координат проводять при відомих закономірностях руху НС.

На відміну від НС, що самовизначаються, розглянутий варіант функціонування СРНО забезпечує спрощення апаратури супутників за рахунок ускладнення КНЗ з метою досягнення заданої надійності.

14.10 Економічна ефективність та окупність систем

Морські, повітряні і наземні шляхи виконують важливу роль в економічному розвитку будь-якої країни. По цих транспортних артеріях перевозиться величезна кількість пасажирів і різних вантажів.

Для компаній, що здійснюють вантажні і пасажирські перевезення, дисципліна водіїв має першорядне значення. Адже в умовах, коли людині надана надзвичайно сучасна і дорога техніка, відсутність належного контролю може обійтися компанії прямими або непрямими втратами в сотні тисяч доларів.

Немає необхідності пояснювати наскільки важливо в сучасних умовах (світова економічна криза) підвищувати ефективність контролю за станом транспортного парку, знижувати холостий пробіг, зменшувати накладні вигради.

Задачі, розв'язувані за допомогою навігаційних систем пошуку і спостереження за рухомими об'єктами:

- постійна і достовірна інформація про місцезнаходження кожного з автомобілів у реальному часі із записом протоколу і можливістю наступного аналізу;
- спрощення роботи диспетчера і зниження його завантаження, що знижує імовірність прийняття помилкового або несвоєчасного рішення;
- наочне картографічне відображення місцевості з накладенням маркерів, що вказують положення автотранспорту, тип маркера і його колір можуть відображати як тип машини, так і її стан (вільна, зайнята, несправна і т.д.);
- можливість автоматичного контролю за незапланованими зупинками автотранспорту, а також за виїздом автотранспорту за межі встановленої робочої зони, що значною мірою може сприяти зниженню ризику розкрадання матеріальних цінностей або нецільового використання автотранспорту;
- можливість оперативної допомоги водіям, що втратили орієнтацію, у виборі оптимального маршруту;
- можливість автоматизованого пошуку найближчої до заданої точки машини з можливістю диференціації за

- заданими ознаками (наприклад, найближчої вільної машини, найближчої машини з певним устаткуванням);
- при наявності датчиків сигналізації і виконавчих пристроїв – своєчасне оповіщення диспетчера про викрадення автотранспорту і можливість його дистанційного блокування (наприклад, дистанційним включенням клапана, що перекриває бензопровід), подальші дії органів охорони правопорядку можуть бути значно полегшені через наявність точної інформації про місцезнаходження викраденого автомобіля;
 - можливість обладнання автомобіля «тривожною кнопкою» і (або) датчиком зіткнення для автоматичної передачі сигналу про надзвичайну ситуацію і координати події;
 - можливість ефективної координації дій з вантажоодержувачем і забезпечення своєчасного розвантаження або переадресації вантажу при неможливості його прийому на заздалегідь запланованому об'єкті (що особливо важливо під час перевезення вантажів, які швидко псуються, наприклад, бетону високих марок або деяких харчових продуктів);
 - зменшення холостого пробігу автотранспорту через прорахунки в організації перевезень, пов'язані з неповним інформуванням диспетчера про реальну обстановку;
 - підвищення ефективності використання наявного автотранспорту і персоналу за рахунок більш чіткої організації їх роботи і зниження потреби в додаткових машинах;
 - спрощення контролю за реальним пробігом кожної з одиниць автотранспорту та оцінки реальних витрат при аналізі економічної ефективності перевезень;
 - великий обсяг об'єктивної інформації для аналізу з метою розробки найбільш раціональних маршрутів, удосконалення системи керування і т.п.;
 - можливість автоматизованого контролю за настанням терміну регламентного обслуговування автотранспорту і більш ефективного планування його використання з

урахуванням цієї інформації.

Для кінцевого користувача економічний ефект від впровадження систем контролю за рухомими об'єктами, як правило, досягається за рахунок:

- підвищення ефективності використання основних засобів виробництва (у даному випадку транспортних засобів);
- прискорення реагування на запити клієнтів;
- розширення спектра пропонованих послуг;
- зниження експлуатаційних витрат;
- підвищення безпеки і зниження ризику матеріальних втрат як від неправильних рішень персоналу, зроблених на основі недостовірної інформації, так і від крадіжок майна при транспортуванні.

При розгляді економічного ефекту від впровадження подібних систем у кожному конкретному випадку необхідно враховувати специфіку парку машин і характер перевезених вантажів. При цьому можна виділити такі складові забезпечення успіху:

- підвищення ефективності використання наявного парку транспорту і персоналу;
- зниження потреби в розширенні парку автотранспорту;
- зниження втрат від крадіжок вантажу і викрадень або нецільового використання автотранспорту завдяки удосконалюванню системи забезпечення безпеки;
- зменшення витрат на технічне обслуговування, паливо, мастильні матеріали за рахунок оптимізації маршрутів і зниження непродуктивного пробігу автотранспорту;
- поліпшення обслуговування клієнтів і можливість залучення нових клієнтів за рахунок розширення спектра послуг і оперативного реагування на запити;
- більш чітке перспективне планування роботи на основі об'єктивної інформації про реальний пробіг кожної одиниці автотранспорту і зниження втрат, пов'язаних з ремонтом і простоем автотранспорту, що особливо важливо для унікального автотранспорту і для машин з дорогим спеціальним устаткуванням;
- підвищення ефективності роботи персоналу і

можливість уведення системи матеріального стимулювання, що базується на достовірній інформації про роботу кожного водія і заохочує до більш ефективного використання робочого часу, транспорту, паливно-мастильних матеріалів і спеціального устаткування.

Дослідження Департаменту транспорту США, яке охопило 24 цілком розгорнутих системи подібного типу і 31 систему, що знаходяться в різних стадіях розгортання (усього більше 10 000 обладнаних машин) виявило такі усереднені показники, які мають пряме відношення до економічної ефективності:

- пробіг автотранспорту зниження на 15-18 %;
- обсяг наданих послуг збільшення на 12-23 % при значному поліпшенні оперативності обслуговування клієнтів;
- безпека скорочення часу оповіщення спеціальних служб про надзвичайні ситуації приблизно до однієї хвилини;
- повернення інвестицій до 45 % у рік.

14.11 Інформаційні контрольні-діагностичні системи автомобіля

Крім дисплея та елементів керування в сучасних автомобілях застосовується набір засобів забезпечення інформацією, зв'язком і комфортом руху, який постійно розширюється.

Радіозв'язок, телефон, система навігації і т.п. (рис. 14.12) поступово стають стандартним оснащенням автомобілів. Кожен з цих засобів потребує наявності дисплея, спеціальних схем керування та різних процедур для їх роботи.

Для повного задоволення вимог щодо забезпечення комфорту і безпеки руху, інформаційна система автомобіля повинна мати стандартизований «інтерфейс користувача» для вибору водієм різних засобів забезпечення інформацією, зв'язком і комфортом руху. Застосування робочих елементів повинно бути обмежене рамками одного дисплея та одного робочого пристрою.

Істотне зменшення числа елементів введення/виведення інформації полегшує впровадження ергономічних схем керування. Через підвищення складності, інформаційні системи потребують розробки легко читаної та зручної контрольної-

вимірювальної апаратури автомобіля, головною умовою застосування якої є забезпечення безпеки дорожнього руху.



Рисунок 14.12 – Структура інформаційної системи автотранспортного засобу

Дисплей і робочий блок підтримують взаємний зв'язок з усіма під'єднаними компонентами через шинну систему, наприклад, через бортовий контролер зв'язку (controller area network (CAN)), для керування і відображення інформації на дисплеї.

Найважливішою функцією керування є введення інформації, здійснюване за допомогою елементів введення, які можуть бути розташовані водієм в межах миттєвого доступу, а також використання елементів керування на рульовому колесі.

Більш розширені задачі програмування можуть виконуватись за допомогою дистанційного керування, використання якого за умовами забезпечення безпеки руху допустиме в нерухомому стані автомобіля.

Центральний дисплей служить для відображення найбільш змінюваної відеоінформації, такої як тексти та відеосигнали. Інформація, важлива для водія під час керування транспортним

засобом, відображається на дисплеї комбінації приладів.

Засоби голосового виведення можуть бути допоміжним забезпеченням оптичного дисплея. В майбутньому знайдуть застосування засоби голосового введення, які допомагатимуть водію керувати деякими функціями системи.

14.12 Контрольно-вимірювальні прилади та засоби бортової діагностики

Водії повинні обробляти постійно зростаючий потік інформації, яка поступає від власного та інших автомобілів, дороги та засобів зв'язку. Все це повинно передаватися водієві через наявні в транспортному засобі зони інформації і зв'язку зручним відображенням та індикаторним оснащенням, виконаними відповідно до ергономічних вимог.

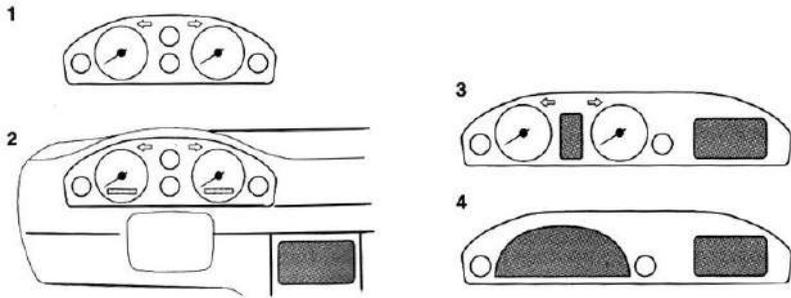
В будь-якому автомобілі є чотири зони інформації і зв'язку: щиток приладів, вітрове скло, центральна консоль панелі приладів, заднє відділення салону автомобіля.

Характер відображення інформації в цих зонах визначається областю значень корисної і бажаної інформації для користувача. Інформація про динаміку руху автомобіля, на яку водій повинен реагувати, відображається на щитку приладів.

Проекційний бортовий індикатор (head-up display (HUD)), за допомогою якого інформація відображається на вітровому склі, особливо ефективний для передачі інформації при збереженні основної уваги водія на дорожній ситуації, наприклад, у випадку необхідності відображення попереджень системи адаптивного круїз-контролю (ACC).

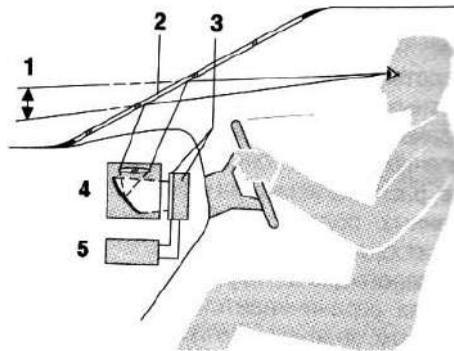
Інформація про стан систем і агрегатів або запрошення до діалогу відображаються на центральній консолі панелі приладів. Інформація розважального характеру відображається в задній частині автомобіля, для того, щоб не відволікати увагу водія.

Зона інформування водія в салоні транспортного засобу та використовувані технології відображення пройшли декілька стадій розробки (рис. 14.13, 14.14): персональні та комбіновані контрольно-вимірювальні прилади (КВП), цифрові дисплеї, графічні модулі, персональні модулі з комп'ютерним монітором, проекційні бортові індикатори.



1 – стрілкові пристрої, 2 – стрілкові пристрої і дисплеями на рідких кристалах типу TN і окремими активно-матричними рідкокристалічними дисплеями AMLCD на центральній консолі панелі приладів, 3 – стрілкові пристрої і дисплеями на рідких кристалах типу (D)STN та інтегрованими активно-матричними рідкокристалічними дисплеями (AMLCD), 4 – програмовані прилади з двома активно-матричним рідкокристалічними дисплеями (AMLCD)

Рисунок 14.13 – Зони інформування водія



1 – віртуальне зображення, 2 – відображення на вітровому склі, 3 – рідкокристалічний дисплей з додатковим освітленням або дисплей з електронно-променевою трубкою (CRT), або вакуумно-флуорисцентний дисплей (VFD), 4 – оптична система, 5 – електроніка

Рисунок 14.14 – Принципова схема проєкційного бортового індикатора

Для того, щоб не дуже відволікати увагу водія від головного напрямку зору, зображення від проекційного бортового індикатора не перевантажується інформацією.

Як правило, проекційний бортовий індикатор використовується для передачі інформації, пов'язаної з безпекою руху: попередження про небезпеку, дотримання безпечної дистанції між автомобілями, вказування маршруту руху.

Основні функції більшості комбінацій приладів є однаковими, хоча функціональні блоки, які включають мікроконтролери, інтегральні схеми запам'ятовуючих пристроїв з програмами (application-specific integrated circuit (ASIC)) і стандартні зовнішні пристрої інколи значно відрізняються (за асортиментом, характеристиками і типом дисплеїв).

Електронні комбінації приладів показують вимірювані параметри з високою точністю завдяки технології крокових двигунів, а також застосовуваних «інтелектуальних» функцій, таких як попередження про зміну тиску мастила в залежності від частоти обертання колінчастого вала двигуна, індикація відмов або необхідності технічного обслуговування і ремонту на матричному дисплеї.



Рисунок 14.15 – Блок-схема функціонування комбінації приладів з використанням бортового контролера зв'язку CAN

Навіть оперативні діагностичні функції є стандартними і займають важливу частину запам'ятовуючого пристрою програми. Застосовувані в сучасних комбінаціях приладів

системи шин (каналів передачі інформації) використовуються як інтерфейси між різними системами автомобіля (наприклад, контролер зв'язку з двигуном, бортовим контролером зв'язку і шиною діагностування).

Завданням мікропроцесорних вбудованих засобів є контроль за технічним станом агрегатів, вузлів, систем та автомобіля в цілому. В результаті формуються рекомендації із продовження роботи автомобіля на лінії або поставлення його на технічне обслуговування (ТО) і поточний ремонт (ПР), чи виконання дрібного ремонту самим водієм у межах щоденного обслуговування (ЩО).

Вбудовані засоби підрозділяються на:

- системи датчиків і контрольних точок, що забезпечують виведення сигналів на зовнішні засоби діагностування,
- бортові системи контролю параметрів функціонування та технічного стану з виведенням результатів тільки на дисплеї в кабіні водія,
- вбудовані системи діагностування автономні або функціонуючі комплексно зі стаціонарними інформаційно-керуючими центрами. Ці системи призначені для непрямого узагальненого контролювання роботоздатності вузлів і агрегатів з видачею результатів на дисплей водієві та у бортовий накопичувач для подальшого прогнозування і обліку ресурсу та напрацювання вузлів, коректування режимів ТО стаціонарними ЕОМ.

Найбільше поширення одержали вбудовані системи з мікропроцесорною обробкою, накопиченням і видачею інформації водієві, у бортовий накопичувач і на штекерний вивід, що несуть функції всіх трьох зазначених різновидів.

Такі системи призначені для використання водієм або механіком АТП і видачі даних в ЕОМ стаціонарного комплексу автоматичних систем контролю (АСК) роботою і технічним станом парку.

Діагностування тільки зовнішніми засобами не забезпечує запобігання експлуатації автомобілів з несправностями, аварійних дорожніх відмов, оптимізації вибору режимів руху та проведення ТО і ПР.

Воно не усуває нагромадження несправностей на межі контрольного пробігу, так що в середньому більше 20 % парку експлуатується з такими несправностями. Погіршення технічного стану автотранспортних засобів є причиною дорожньо-транспортних пригод (ДТП) і дорожніх відмов.

Більш частому проведенню діагностування перешкоджають обмеження економічного характеру. Крім того, значна частка парку експлуатується взагалі без діагностування, нерідко у відриві від АТП і станцій технічного обслуговування, у відомчих та особистих, погано оснащених гаражах.

Найбільш перспективною можливістю зняти зазначені обмеження, забезпечивши практично безперервним контролем найменш надійні вузли, служить впровадження вбудованих засобів діагностування.

Провідні автомобілебудівні фірми застосовують на автомобілях розгалужені мікропроцесорні бортові системи контролю (БСК), які забезпечують контроль стану зчеплення, амортизаторів, акумуляторної батареї, системи запалювання, компресії в циліндрах та ін. (рис. 14.16). Різноманіття функціональних можливостей, апаратної побудови та форм видачі результатів відображає класифікація вбудованих засобів діагностування за функціональними і структурними ознаками (рис. 14.17).

Число датчиків визначає вартість і надійність БСК. Подальший розвиток мікропроцесорних БСК пов'язаний не з нарощуванням числа контрольованих параметрів, як колись, а з удосконалюванням обробки даних, одержуваних у результаті вимірювань, їхнього нагромадження, вторинної переробки за змінними обчислювальними алгоритмами, і видачею результатів не тільки водієві, але й через накопичувач, персоналу технічної служби після повернення автомобіля в АТП.

Такі автономні або функціонуючі в комплексі зі стаціонарними інформаційно-керуючими центрами (ІКЦ) мікропроцесорні системи для непрямого контролю, нагромадження і переробки результатів доцільно йменувати вбудованими системами діагностування (ВСД).

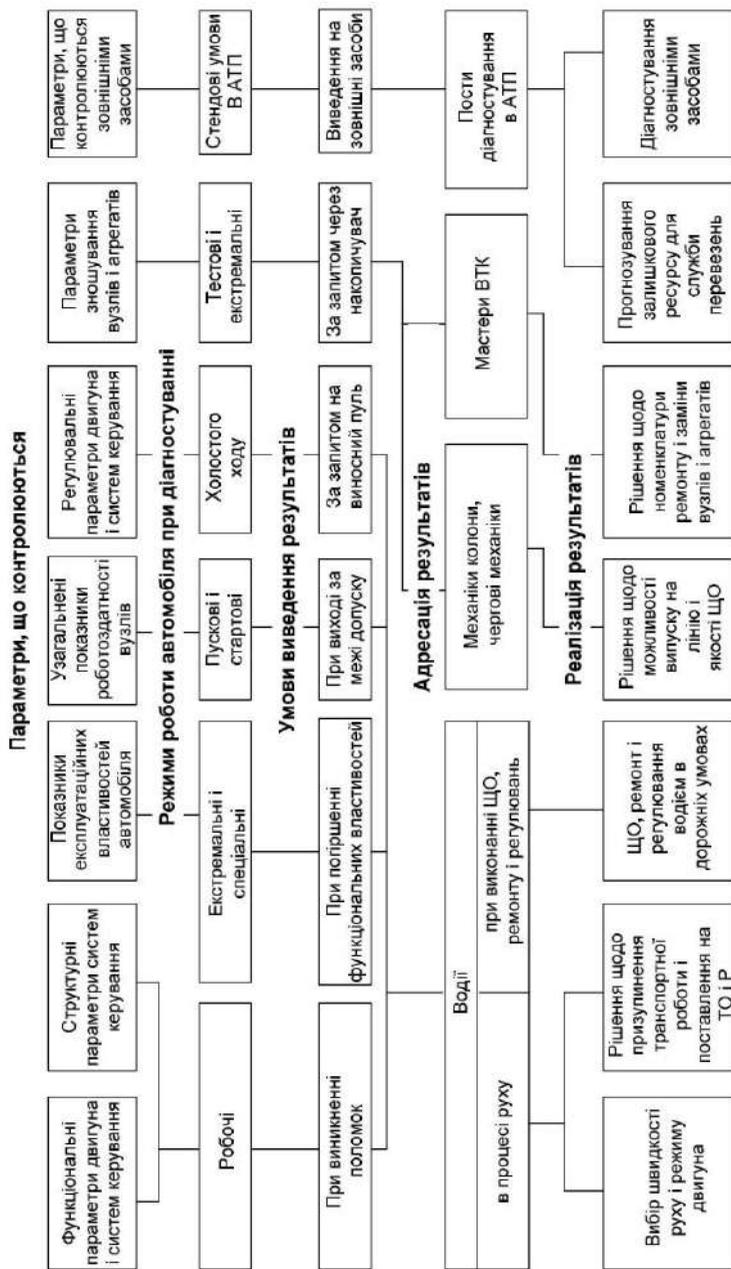


Рисунок 14.16 – Можливості й сфера контролю технічного стану вмонтованими засобами



Рисунок 14.17 – Класифікація вбудованих засобів діагностування

Замість контролю структурних параметрів, які безпосередньо і однозначно відбивають рівень зношування деталі або робоздатності вузла, у них за результатами вимірів функціональних параметрів обчислюються узагальнені комплексні показники робоздатності агрегатів та експлуатаційних якостей автомобіля.

Такі ВСД забезпечують формування рекомендацій водієві та команд автоматичним регуляторам щодо обмеження швидкості руху, частоти обертання колінчатого вала двигуна, своєчасності поставлення автомобіля на ТО і ПР, заміни конкретних вузлів і агрегатів, а разом зі стаціонарними комплексами АСК визначають їхній залишковий ресурс. ВСД автоматизують процедуру узагальненої оцінки стану автомобіля, звичайно виконувану водієм і механіком суб'єктивно навіть при оснащенні бортовими системами контролю.

Конструювання ВСД ведеться за двома основними напрямками: створення автономних цілком орієнтованих на

водіїв систем для узагальненої оцінки стану автомобіля і систем у комплексі зі стаціонарними засобами ІКЦ, адресованих насамперед механікам, майстрам і керівникам АТП.

На сучасному етапі найбільш характерним є об'єднання різних автомобільних систем контролю і діагностування на структурному та алгоритмічному рівнях у єдину інформаційну систему автомобіля із загальною мережею датчиків і мікропроцесорним блоком з накопичувачем у комплексі зі стаціонарними ІКЦ АТП. Цим забезпечується не тільки раціональна побудова бортового комплексу, але й новий, якісно більш високий рівень оптимізації оперативного керування в технічній і комерційній експлуатації.

Характерно, що при інтеграції ВСД із комплексними системами керування двигуном, трансмісією та іншими агрегатами самі ці системи керування також підлягають контролю вбудованою системою. При цьому роздільно контролюються вихідні сигнали вбудованих датчиків, електронних блоків, виконавчих механізмів, а найчастіше і стан керованого ними вузла автомобіля.

Як правило, ВСД легкових автомобілів забезпечуються борговим накопичувачем, а процедура відображення результатів є дво- або триланковою і програмується. В залежності від пріоритету несправності автоматично включається одна з форм індикації (синхронна, ланцюгова, за запитом, за опорними сигналами режиму роботи автомобіля) наявності та місця несправностей.

Таке ускладнення процедури відображення результатів при порівняно простих алгоритмах допустимого контролю забезпечує адаптацію ВСД до жорстких умов інформаційних перевантажень водія, значно спрощує використання результатів як водієм, так і ремонтним персоналом АТП і СТО.

У ВСД є не тільки апаратна інтеграція систем, але й об'єднання процедур обробки зафіксованих ними результатів різного змісту: діагностування, контролю виконаної транспортної роботи (за показниками тахографа), обліку виробітку ресурсу агрегатів і виконаних технічних впливів, витрати паливних ресурсів й ін. Алгоритми спільної обробки реалізуються на ЕОМ стаціонарних інформаційно-керуючих центрів АТП.

На борту дані фіксуються за опорними сигналами пробігу, дати, часу і подій (номером їздки або рейсу, причинами простоїв, випадками ТО і ПР та ін.).

Видача інформації забезпечується відразу за кількома адресами – диспетчерські служби перевезень – групи обліку паливних і матеріальних ресурсів, аналіз технічного стану і обслуговування рухомого складу, керування виробництвом ТО і ПР, механікам і керівникам АТП.

14.13 Бортові контролери і системи зв'язку

Сучасні транспортні засоби оснащуються великим числом електронних блоків керування (ЕБК), які виконують обмін великої кількості даних.

Традиційний метод розв'язання цієї задачі шляхом використання ліній передачі даних, закріплених за кожним каналом, на даний час досягає меж своїх можливостей і стає стримуючим фактором розвитку ЕБК.

Тому вирішення проблеми слід шукати у використанні спеціалізованих, сумісних з автомобільною проводкою, послідовних систем шин, серед яких бортовий контролер зв'язку (CAN) уже прийнято як стандарт.

Існує чотири основних види застосування CAN:

- зв'язок між ЕБК,
- рухомі засоби зв'язку,
- діагностування,
- мультиплексна проводка для елементів електрообладнання.

Зв'язок між окремими ЕБК стає необхідним, коли повинні з'єднуватись такі електронні системи, як Motronic, електронне перемикання коробки передач, електронне керування потужністю двигуна, керування силою тяги (ASR).

Звичайно швидкість передачі даних знаходиться в діапазоні від 125 кбіт/с до 1 Мбіт/с і повинна бути достатньо високою для забезпечення реагування системи у реальному масштабі часу.

Послідовне передавання даних (рис. 14.18) забезпечує більшу високу швидкість їх передавання, ніж в стандартних інтерфейсах, без створення додаткових перешкод для центрального процесора. Число штирових контактів для ЕБК також зменшується.

Рухомі засоби зв'язку, центральний дисплей та блок керування водія разом з послідовною шиною використовуються для керування роботою радіоприймача, автомобільного телефону, навігаційної системи і надання вихідних параметрів водієві через кольоровий дисплей високої роздільної здатності. Основна мета – застосування ергономічної конструкції для зменшення відволікання водія, пов'язаного з експлуатацією ЕБК.



Рисунок 14.18 – Послідовна передача даних з використанням контролера CAN

Швидкість передачі даних 50-125 кбіт/с є достатньою за умови, що немає необхідності в передачі даних цифрової звукової чи навігаційної системи. Діагностування CAN основане на використанні існуючих мереж зв'язку, призначених для діагностування ЕБК. Швидкість передачі даних 500 кбіт/с.

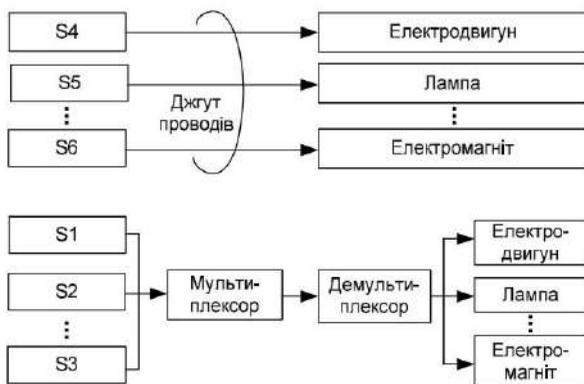
Мультиплексна система зв'язку в автомобілі використовується для передачі декількох сигналів по одному сигнальному проводу, з'єднуючи електронні компоненти з інтерфейсом водія.

Ця система не тільки скорочує число джгутів і знижує масу з'єднувальних проводів, але й дозволяє істотно спростити конструкцію монтажу каналів у кузові та вузлів з'єднання дверей з кузовом.

Сигнали, які керують виконавчими пристроями електродвигунами, соленоїдами, електромагнітними клапанами, лампами, обробляються мультиплексором (пристроєм, що поєднує кілька сигналів), передаються по одному сигнальному проводу і за допомогою демультіплексора надходять до

виконавчих пристроїв (рис. 14.19). Колиш ці сигнали передавалися по численних проводах.

Приклад мультимплексної системи зв'язку наведений на рис. 14.20. Вимикачі 8 систем керування в ній розташовані на дверях, а зв'язок з ЕБК 6 забезпечується за допомогою світлодіодів 5. ЕБК системи виконують такі функції керування: блокування і розблокування дверей, поворот дзеркал, регулювання положення скла у вікнах, регулювання сидінь, підігрів сидінь, підсвічування попільниці та вимикачів, освітлення під передньою панеллю та освітлення гнізда ключа запалювання.

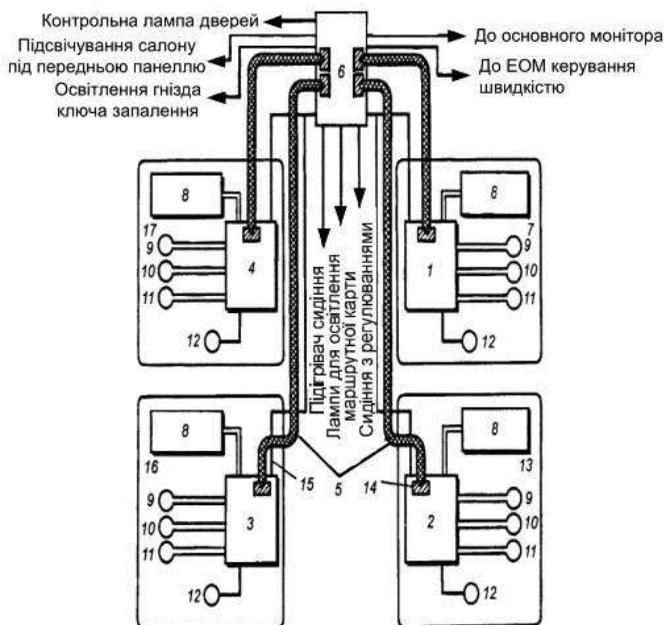
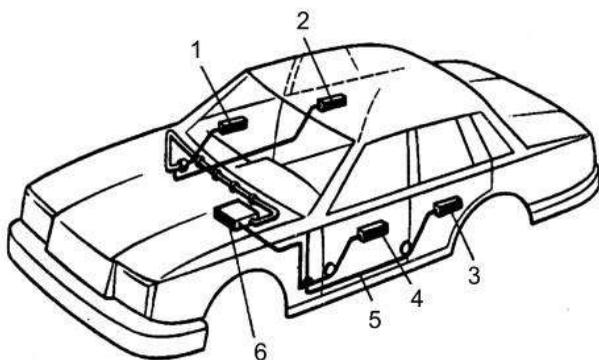


S1 - S6 – вимикачі

Рисунок 14.19 – Традиційна та мультимплексна системи зв'язку

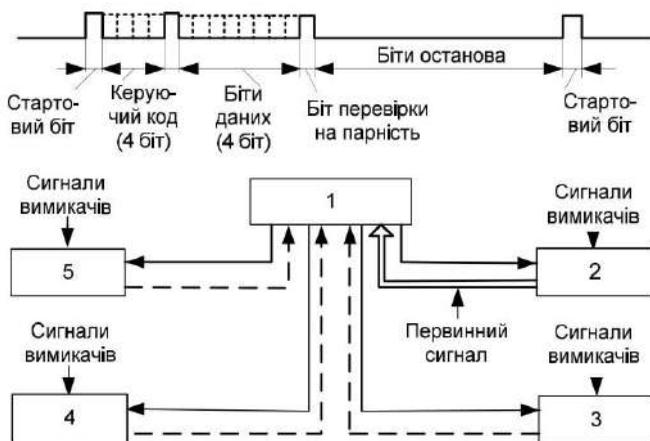
Передача даних між ЕБК здійснюється стартостопним способом. При цьому способі на початку і в кінці даних додаються сигнали (так звані стартовий біт і біт зупинки), які синхронізують роботу приймальних і передавальних пристроїв. Швидкість передачі даних при такому способі невисока.

Проте стартостопний спосіб одержав найбільш широке поширення, оскільки він забезпечує досить надійну синхронізацію даних. Швидкість передачі даних становить від 10 до 125 кбіт/с (низькошвидкісні CAN). Формат даних поданий на рис. 14.21.



1 і 2 – відповідно передній і задній праві ЕБК, 3 і 4 – відповідно задній і передній ліві ЕБК, 5 – світлодіоди, 6 – ЕБК кузова, 7 і 13 – відповідно передня і задня праві двері, 8 – вимикачі, 9 і 10 – електродвигуни відповідно для переміщення і повороту скла і дзеркал, 11 – електромагніти блокування і розблокування, 12 – освітлення попільниці, 14 – прийомопередавальний оптичний елемент, 15 – шина джерела живлення, 16 і 17 – відповідно задня і передня ліві двері

Рисунок 14.20 – Мультиплексна система автомобіля Toyota



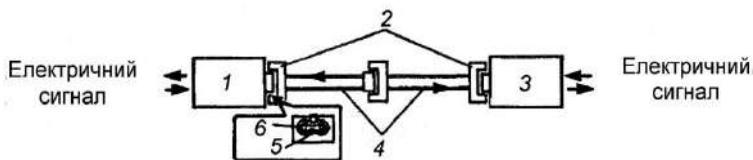
1 – ЕБК кузова, 2 і 3 – відповідно передній і задній праві ЕБК,
4 і 5 – відповідно задній і передній ліві ЕБК

Рисунок 14.21 – Формат даних

Тип сигналу вказується в зоні керуючого коду, а зміст обробки і стан вимикачів – у зоні даних. ЕБК 2, розташований в передніх правих дверях, є провідним елементом мультиплексного зв'язку. Він генерує 32-бітові послідовності керуючих імпульсів (первинні сигнали), які через ЕБК кузова 1 передаються на ЕБК в інших дверях.

ЕБК записують у зоні даних цих сигналів стан вимикачів і потім передають сигнали в ЕБК кузова, що обробляє їх і передає вихідні сигнали на виконавчі пристрої кузова. Система оптичного зв'язку (рис. 14.22) складається з оптичних передавачів 3 і приймачів 1, а також світловодів 4. В оптичному передавачі використовуються світлодіоди, що перетворюють електричні сигнали у світлові.

В оптичному приймачі фотодіод перетворює світловий сигнал, переданий по світлодіоду, в електричний. Приймач і передавач виконані в єдиній конструкції у вигляді так званого модуля зв'язку. Світловоди можна розділити на два типи – скляні та пластмасові. У даній системі застосовуються пластмасові світловоди, яким властиві більші втрати і гірші характеристики передачі, ніж скляним.

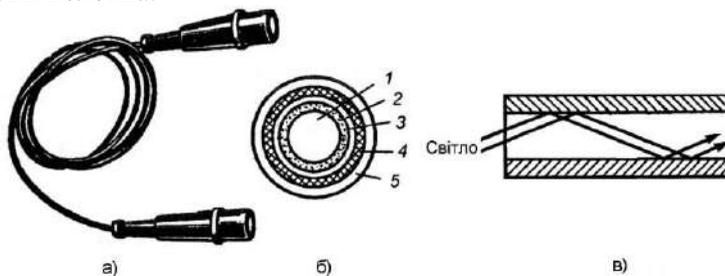


- 1 – оптичний приймач (передавач), 2 – оптичний з’єднувач,
 3 – оптичний передавач (приймач), 4 – світловод,
 5 і 6 – відповідно передавальний і приймальний канали

Рисунок 14.22 – Система оптичного зв’язку

Але пластмасові світловоди майже не ламаються при вигинах, дешеві та забезпечують простоту з’єднання (рис. 14.23).

Поширення світла досягається використанням матеріалів з різними коефіцієнтами переломлення. Коефіцієнт переломлення серцевини 1 трохи вищий, ніж оболонки 2. Світло повністю відбивається на границі «оболонка-серцевина» і поширюється уздовж волокна.



- а – зовнішній вигляд, б – переріз, в – принцип дії,
 1 – серцевина (пластмаса), 2 – оболонка, 3 – перше покриття (підсилює серцевину й оболонку),
 4 – захисний матеріал (охороняє світловод від розтягання),
 5 – друге покриття (захищає від зовнішніх впливів)

Рисунок 14.23 – Світловод

14.14 Система керування CARTRONIC

Розвиток автомобільних електронних систем пов’язаний зі збільшенням потреб, включаючи безпеку і комфорт руху, сумісність з навколишнім середовищем, зростання законодавчих

вимог, інтегрування інформаційно-розважальних систем і зв'язок із зовнішнім середовищем.

Під впливом цих потреб окремі електронні автомобільні системи розробляються для перетворення в мережні складні системи, в яких інформація передається за допомогою шин даних (наприклад CAN). Основною вимогою при розробці таких складних систем є крос-системна стандартизація її окремих компонентів, підсистем і підфункцій. Повинні підвищуватись надійність і доступність системи, а шляхом спільнот обміну інформацією між різними автомобільними системами може бути зменшена кількість необхідних компонентів.

В сучасних автомобілях уже використовуються складні системи, такі як контроль сили тяги (TCS) і електронна система стійкості автомобіля (ESP), розробка якої триває.

Крос-системні функції цих двох систем знаходяться під впливом електронного блока керування TCS, який інформує ЕБК роботою двигуна, коли колеса починають проковзувати, в результаті ЕБК, відповідно, зменшує крутний момент двигуна.

Впровадження крос-системних функцій шляхом інтеграції підсистем потребує узгодження зі стандартизації інтерфейсів і функцій підсистем. Потрібно встановити, яка інформація необхідна від підсистеми і які змінні параметри на основі цієї інформації повинні контролюватися.

Все це має важливе значення з урахуванням того, що підсистеми розробляються окремо одна від одної (часто різними виробниками).

Вимоги, подані вище, привели до створення системи CARTRONIC (рис. 14.24), яка виражає концепцію специфікації та класифікації усіх систем контролю і керування автомобілем.

Вона містить певні правила взаємодії між підсистемами, а також розширені модульні архітектури для функціонування, безпеки руху та електронних засобів на основі цих формальних правил.

Таким чином, в систему CARTRONIC закладається спосіб опису автомобіля як загальної системи. На цій основі виробники можуть здійснити взаємодію між випущеними підсистемами шляхом дотримання загальноприйнятих промислових стандартів та взаємозамінності використовуваних компонентів.

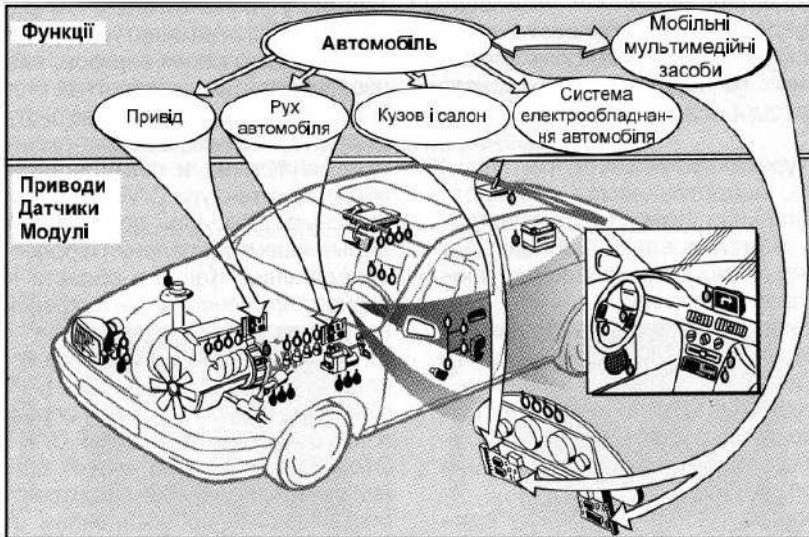


Рисунок 14.24 – Апаратна технологія системи CARTRONIC

Питання для самоперевірки

1. Назвіть рівні захисту автомобіля які реалізують протиугінні системи.
2. Як класифікують автомобільні охоронні системи?
3. Які типи датчиків використовують автомобільні охоронні системи?
4. Як працює датчик удару?
5. Для чого в автомобільній охоронній системі призначений ультразвуковий датчик?
6. Що таке іммобілайзер?
7. За яким алгоритмом працює автомобільна охоронна система з дистанційним керуванням?
8. Які можливі варіанти зламу системи дистанційного керування?
9. Що таке граббер?
10. Які є допоміжні пристрої автомобільних охоронних систем?
11. Як класифікують системи визначення місцезнаходження автомобілів?

12. Якими параметрами характеризуються системи AVL?
13. Чим відрізняються системи на базі низькоорбітальних супутників від геостационарних систем?
14. Які особливості роботи систем на базі стільникового зв'язку?
15. Для чого призначені системи відновлення маршруту?
16. Які методи визначення місця розташування транспортних засобів використовуються в AVL-системах?
17. Від чого залежить якість навігаційної системи?
18. Як можна визначити поточні координати автомобіля?
19. В яких випадках виникає систематична похибка у визначенні напрямку руху автомобіля?
20. З яких основних елементів складається автомобільна навігаційна система?

15 БЕЗПЛОТНІ АВТОМОБІЛІ

Безпілотний автомобіль (робомобіль) – це транспортний засіб, обладнаний системою автоматичного управління, який може пересуватися без участі людини.

Перші поодинокі але невдалі експерименти зі створення повністю автономних автомобілів почалися ще в 1920-ті роки. У 30-х роках ХХ століття інженерам компанії General Motors прийшли на розум дві геніальні для того часу ідеї.

Перша ідея полягала в тому, що машини будуть управлятися за допомогою радіосигналів. Так вони зможуть контролювати дистанцію на трасі і уникати аварійних ситуацій.

Друга була більш цікавою – для реалізації безпілотних поїздок потрібно побудувати спеціальні траси у вигляді скейтбордних рамп. Автомобілі будуть їхати посередині, а якщо їх почне хилити до узбіччя, сила тяжіння поверне їх на місце, в поглиблення дороги.



Рисунок 15.1 – Бачення індустрії безпілотних автомобілів від компанії General Motors в 1950-і роки

І хоча ідеї були зустрінуті скептично, вони дали потужний поштовх для розвитку технологій в потрібному напрямку. Так з 1949 по 1961 рік General Motors проводили знамениті на всю Америку виставки (автошоу) Motorama. Основою бачення нової

індустрії безпілотних автомобілів стали вдалі експерименти проведені інженерами General Motors на початку 1950-х років.



Рисунок 15.2 – Концепт General Motors Firebird II – перший автомобіль в світі з системою круїз-контролю (так у 1956 році американці бачили свої машини через 15-20 років)

Тоді був вдало протестований перший «розумний»

автомобіль компанії Firebird II, який крім нової системи гальмування мав магнітні датчики і взаємодіяв з «розумною» дорогою (з електрокабелем під асфальтом).

Версія №3 цього концепт-кара оснащувалася першою системою автопілоту, яка відома сьогодні як круїз-контроль. Ця система відповідала за утримування постійної швидкості і значно полегшувала завдання водія на дорозі. Але до справжнього автопілоту було ще далеко.

У 1956 р. шоу Motorama об'їхало всю країну, зупиняючись в Нью-Йорку, Бостоні, Майамі, Сан-Франциско і Лос-Анджелесі. Виставку відвідали більше 2 млн. американців. Відвідувачі шоу також змогли заглянути в майбутнє, подивившись короткометражний фільм (реklamний ролик) під назвою «Ключ до майбутнього», який переніс сім'ю 1950-х років в футуристичний світ транспорту в 1976 році.

В цьому роликуні родина американців сидить в типовому для того часу кабріолеті. Раптом вони потрапляють в 1976 рік і їдуть по шосе на безпілотному автомобілі. У той час була величезна мода на космос, так що не дивно, що машина була схожа на ракету.

У фільмі, перед переходом в автономний режим, пасажери розмовляють з оператором системи управління через вбудований в автомобіль радіозв'язок: «Ми готові до переходу в безпілотний режим», – говорить водій і направляє машину на електронну смугу управління в центральній смузі.

Оператор програмує маршрут безпілота і контролює перевірку кількості палива, дані двигуна та інших систем автомобіля. За задумом інженерів, система наведення (електронний автоконтроль) призначалася для використання спільно з «шосе майбутнього». Тобто у проїжджу частину був вбудований електричний провід, який посилав сигнали, що направляли безпілоти і тим самим запобігали аварії.

«Ось це життя. Безпечно, круто і комфортно! Ти не проти, якщо я закурю сигару?». Ну і звичайно, в кінці міні-фільму все співають, навіть оператор управління безпілотами в своїй будці. А що ви хотіли, це 1956-й! І ось незважаючи на здавалося-б вдалі експерименти зі створення дійсно автономних автомобілів, General Motors тільки наприкінці 2018 року оголосили що

планують зробити автомобіль повністю автономним – без керма і педалей.

Доречи, значно пізніше, в 1979 році, протягом десяти років досліджень, схожа система була протестована Університетом Південної Каліфорнії в Сан-Дієго на 15 км реального шосе. Система дійсно працювала.

В історію безпілотних авто також увійшов 1961 рік, коли студент Стенфорда Джеймс Адамс створив і протестував перший самокерований візок. Він керувався звичайним сигналом, за допомогою кабелю. Але вже другий прототип Стенфордської візки був керованим по радіо.

Ці експерименти не пройшли непоміченими і в 1970-х роках відомий вчений-практик Дж. Маккарті вніс свої корективи в устрій візка, модернізував його за допомогою системи технологічного зору. Тепер візок міг пересуватися самостійно і орієнтуватися при цьому на лінію білого кольору.

Прототип також оснастили далекоміром, відеокамерами і 4-ма каналами для збору даних. Але і цього виявилось замало допитливому розуму Маккарті – ще в 70-х він спробував створити тривимірне картографування місцевості.

Після успіхів Маккарті зусилля інженерів були кинуті на створення 100 % автономного транспорту без дистанційного управління. Вчені США і Японії досягли значних успіхів, проте справжній прорив зробили німецькі дослідники на чолі з Ернстом Дікмансом.

Саме перший безпілотник Дікманса став прототипом сучасних робомобілів. Оскільки саме тут вперше були застосовані обчислювальні механізми та система імітації руху очей. Ці інновації дозволили сформувати модель навчання автомобіля, який самостійно оцінює ситуацію і приймає рішення.

Тоді за основу був узятий вантажний фургон, розміри якого дозволили помістити величезну (на той час) комп'ютерну систему, і в результаті «силіконовий мозок» став керувати пересуванням 5-ти тонного металевого монстра. Автоконцерн Daimler-Benz звернув пильну увагу на розробки Дікманса і запустив проект «Прометей», основною метою якого було вдосконалення безпілотників і досягнення безпрецедентної безпеки на дорогах. Проект взяв старт в 1987 році і за час його

існування (8 років) було витрачено більше 1 млрд. доларів. «Прометей» увійшов в історію як найдорожчий проект в сфері розробок робомобілів ХХ століття. Однак інвестиції були витрачені не даремно.



Рисунок 15.3 – Автоматизований Mercedes-Benz Vario

До середини 90-х світу були представлені два роботизованих безпілота – VaMP і VITA-2. Вони пройшли успішне тестування на полігоні (в області Парижа), в процесі якого:

- пересувалися зі швидкістю до 130 км/год повністю на автопілоті;
- самостійно перебудовувалися і міняли ряд;
- стежили за дистанцією і пересуванням інших учасників руху;
- обганяли йшли попереду машини.

Результатами проекту «Прометей» і розробками Дікманса скористалися для серійного виробництва Mercedes-ів S-класу 1995 року. Ці машини були оснащені більш просунутою системою круїз-контролю, яка дозволяла адаптуватися до середньої швидкості автомобільного потоку і не порушувати

дистанцію між авто.

У 2004 році відбулося перше в історії автозмагання за участю робомобілів DARPA, де безпілотники наполегливо заявили про себе.

У 2010 році світ побачив перший автопілот Google, розроблений на базі моделі Toyota. Оснащений радарми, відеокамерами і системою LIDAR, цей Гуглмобіль міг орієнтуватися в просторі, дізнаватися дорожні знаки і взаємодіяти з іншими учасниками автопотоків.

У 2012 році випробування свого безпілотника провела компанія AUDI. Машина на автопілоті розвивала швидкість до 193 км/год, відмінно вписувалася в повороти і прискорювалася на трасі.

У 2013 Nissan і Honda довели ефективність своїх запатентованих систем автопілотування. У планах компаній – почати масове виробництво роботизованих авто в 2020 році.

У 2014 шведська компанія Volvo протестувала перший безпілотник з унікальною системою Drive Me. Успіхи випробування дозволили прогнозувати серійний випуск робомобіля цієї марки вже в кінці 2019 року.

У 2015 з'явилися перші серійні безпілотники – Tesla Model S, які пересуваються на дорогах на 100% самостійно. Вони нарівні з Гуглмобілями вважаються еталоном безпілотних технологій на сьогоднішній день.

2016-2017 – це період, коли всі великі авто-компанії заявили про розробки власних прототипів робомобілів і про плани на їх серійний випуск.

Сьогодні у 2020 році, оглядаючись назад, на успіхи і невдачі в розробці цілком автономного автомобіля, вже став очевидним той факт, що в майбутньому штучний інтелект відбере право у людини на управління автомобілем, безпілотники стануть не тільки найбезпечнішим способом пересування, а й взагалі стануть єдиним вибором для людства. Отже пройде 20-30 років і їх панування стане тотальним.

Тому співтовариством автомобільних інженерів (SAE) була розроблена *класифікація автоматизації автомобілів* яка містить 6 рівнів.

Рівень 0. Ніякої автоматизації, водій сам виконує всю роботу.

Рівень 1 – «hands on», «допомога водію». Водій і система разом керують автомобілем. Приклад: водій рулить, а система регулює потужність двигуна, зберігаючи задану швидкість (круїз-контроль) або регулює потужність двигуна і управляє гальмами, зберігаючи задану швидкість, а при необхідності знижуючи її, щоб дотримуватися дистанції (адаптивний круїз-контроль). Іншим прикладом є автоматична парковка (en: Automatic Parking), коли швидкість визначається водієм, а рулювання автоматичне.

Рівень 2 – «hands off», «часткова автоматизація». Система повністю управляє автомобілем, здійснюючи прискорення, гальмування і руління. Водій стежить за їздою і готовий втрутитися в будь-який момент, якщо система не може правильно відреагувати. Незважаючи на назву «hands off», такі системи часто вимагають від водія тримати руки на кермі, як підтвердження готовності втрутитися.

Рівень 3 – «eyes off», «умовна автоматизація». Від водія не потрібно негайної реакції. Він може, наприклад, писати повідомлення або дивитися фільм. Система сама реагує на ситуації, що вимагають негайних дій, таких як екстрене гальмування. Від водія вимагається готовність втрутитися в перебіг якогось обмеженого часу, визначеного виробником.

Рівень 4 – «mind off», «широка автоматизація». Відрізняється від рівня 3 тим, що від водія не потрібно постійної уваги. Наприклад, він може лягти спати або покинути місце водія. Повністю автоматичне водіння здійснюється лише в деяких просторових областях (геозонах) або в деяких ситуаціях, наприклад, в пробках. Поза такими місцями або ситуаціями система здатна припинити водіння і припаркувати машину, якщо водій не взяв керування на себе.

Рівень 5 – «steering wheel optional», «повна автоматизація». Ніякого людського втручання не потрібно.

Отже, перше і головне питання – а для чого взагалі компанії займаються створенням технологій автономних автомобілів?

Перша і головна причина – це зниження смертності в ДТП, спровокованих помилками водіїв. Тільки в 2013 році в Росії на дорогах загинуло понад 27 тисяч осіб, в США – більше 32 тисяч. Людський фактор обганяє всі технічні проблеми разом узяті (відмовили гальма, заїло педаль газу, навігатор направив в прірву

і так далі).

Що зміниться? У загальному випадку комп'ютер буде допускати стільки ж помилок в порівнянні з людиною, скільки при математичних розрахунках – тобто анітрохи. Так, будуть складні неоднозначні ситуації, будуть загиблі в таких машинах, будуть задані юридичні, моральні та філософські питання. Але статистика аварій буде настільки разючою, що всі проблеми в результаті будуть вирішені.

Друга важлива причина – парковки. У великих містах до 30 % корисної площі відводиться під більш-менш зручні парковки. Чи не саме раціональне використання простору. Чим допоможуть роботомобілі? У двох словах: автономна машина доведе вас прямо до дверей офісу, а сама поїде паркуватися (або по інших справах) куди-небудь подалі, щоб в потрібний момент знову з'явитися у тих же дверей і забрати вас. Для прикладу – офіс компанії Facebook. Оцініть самі, скільки площі віддано під сам офіс, і скільки під парковку.



Рисунок 15.4 – Офіс компанії Facebook: оцініть самі, скільки площі віддано під сам офіс, а скільки під парковку

Третя причина – прагматичне використання автомобіля. Так, багато хто любить отримувати задоволення в русі, від самостійного керування. Але щоденна одноманітна «подорож» по

маршруту «Дім – Школа – Офіс – Дім» – це зовсім не те ж саме, що поїздки в нові цікаві місця. Рациональніше довірити роботу відвезти дітей в школу а себе на роботу, при чому сам власник авто за цей час зробив би щось більш корисне.

Четверта причина – те, що називається *Sharing Economy* (економіка спільного споживання). Припустимо, середньостатистична людина півгодини добирається з дому на роботу, а потім назад. Машина працює одну годину на день, тобто 4 % часу. 96 % часу автомобіль просто стоїть і займає місце. Чи не занадто марнотратно для складного дорогого механізму? У більшості випадків, сім'я могла б обійтися однією машиною, яка б просто більш ефективно використовувалася (хоча б на 8 %), тільки для цього вона повинна вміти сама приїхати куди треба. У ще більшою мірою це може бути застосовано до комерційної експлуатації автомобілів (таксі, доставка, різноманітні транспортні послуги).

П'ята причина – фізична неспроможність людини керувати автомобілем. Якщо озирнутися на всі боки, то виявиться, що крім любителів справжнього драйву, в світі живе чимало людей, яким їздити потрібно, але вони не можуть – інваліди, неповнолітні, особи похилого віку.

Та й просто люди, які не отримують ніякого задоволення від водіння машини, а деякі і просто роблять це через силу (так, є й такі!). Міський транспорт або таксі – далеко не завжди хороше рішення, а іноді неможливе (в маленьких містах, наприклад)....

Проте незважаючи на всі вказані переваги автоматичного управління автомобілем в найближчі кілька років нічого кардинально не зміниться.

А враховуючи досвід останніх експериментальних досліджень в цій сфері нічого особливо не зміниться навіть через 10, а то і через 15 років. Ні в Росії, ні в Америці. Навіть в Каліфорнії. Навіть навколо офісу Google через 10 років будуть їздити в основному Сивіки, Камрі, Фокуси, Пріуси і великі пікапи. Чому? Тому що перш за все автомобільний ринок неймовірно інертний.

Хороший приклад – механічна КПП. «Справжнє почуття автомобіля» не витримало тиску потреб і бажань масового покупця. І навіть незважаючи на очевидну перевагу АКПП,

потрібно було ціле десятиліття(!), щоб «ручка» стала історією. І подальший прогрес не зупинити. Вчора ви проміняли «справжнє почуття коня» на залізну коробку з колесами, сьогодні довірили роботу перемикачі передач, завтра довірите все інше.



Рисунок 15.5 – Недалеко від офісу Google

Заполонили всі дороги хоча б гібридні машини, революційність яких сильно нижча, а екологічна користь очевидна? Ні. Навіть незважаючи на дике голосіння і прокльони в ООН Грети Тунберг. Адже перший Пріус з'явився в 1997 році – 23 роки тому!

Адаптивний круїз-контроль – попередник всього того, про що ми говорили вище. На серійних машинах адаптивний круїз вперше з'явився на Мерседесах S-класу і купе CL в 1999 році. Ну, і як йдуть справи через 16 років? Це і сьогодні – недешева опція навіть у преміальних машинах навіть в самих дорогих базових комплектаціях.

Здавалося б така проста річ як камера заднього виду («технологія» вартістю в кілька десятків доларів в розрахунок на один автомобіль) до сих пір вважається «преміальною». Лише у США був прийнятий закон про обов'язкову наявність такої камери на всіх нових автомобілях. Проте коли? З 2018 року. Ось приблизно такими темпами все і розвивається у світовому автомобілебудуванні. Однак, революція станеться. Причому, в доступному для огляду майбутньому. Чому? Тому що революцію

завжди робить меншість.

Ось дивіться – сьогодні у всіх на слуху Tesla, яка влаштувала електричну революцію в автопромі. І в наші дні кожен провідний великий автовиробник – від Мерседеса до всілякого китайського автомотлоху – вже випускає або як мінімум заявляє про швидкий випуск електричних машин.

З чого це раптом? Та тому що інакше в очах покупця ти вже неактуальний і старомодний. А вектор майбутнього вже визначений.



Рисунок 15.6 – Напрямок самокерованих машин зараз займаються всі великі автовиробники

Чи загрожує Tesla безпосередньо кому-небудь з автогігантів? Ні звичайно. Компанія продала в 2014 році більше 30 тисяч машин. Класно, здорово, молодці. Але не забувайте, що тільки Ford за цей час продав 500 тисяч одних тільки пікапів F-серії в

одній тільки Америці! Ринкова частка Тесли на ринку США – 0,0 %, у всьому світі – 0,0 %. І так буде ще дуже довго. Однак вплив електромобілів що катаються по містах – сутність зовсім іншого рівня. Якого? Революційного.

Те ж саме відбудеться і з машинами без водіїв.



Рисунок 15.7 – А для когось «близьке майбутнє» вже настало

На сьогоднішній день приблизно три чверті вартості транспортних послуг – це людина за кермом (зарплата, страхівка), і тільки чверть – експлуатація автомобіля (вартість,

обслуговування, паливо, страховка).

Приберіть з цієї формули людину і ви отримаєте транспортні послуги в 4 рази (!) дешевші. Впровадження автономних машин радикально змінить ринок, тому транспортні компанії – перші, хто зацікавлений в їх впровадженні, але про це трохи далі.

Дивіться, завдяки досить простої оптимізації служб таксі (Uber, Яндекс.Таксі, GetTaxi, які замінили собою стародавні диспетчерські) вже сьогодні в деяких великих містах вигідніше користуватися таксі, ніж мати свою машину. Більш того – буквально за 2-3 роки звичайне таксі стало чимось з «минулого життя».

А тепер уявіть, що послуга «доїхати з пункту А в пункт Б» стає ще в 3-4 рази дешевше – тобто економить людині гроші (тисячі або навіть десятки тисяч гривень на місяць), і одночасно з цим заощаджує час (можна забути про парковку, заправку, мийку, сервіс, тощо). І що це тоді як не революція?

Ілон Маск каже, що коли-небудь людині взагалі заборонять сідати за кермо. Не думаю, що ми з вами до цього доживемо. Однак все рухається саме в цю сторону.

Так, це майбутнє, як і всі інші технологічні дива, настає нерівномірно по планеті – хтось (ймовірно десь у Силіконовій Долині, в США) мабуть вже умовно завтра буде їхати в офіс, по дорозі на роботу розбираючи електронну пошту і складаючи собі плани на день, або навіть переглядаючи свій улюблений youtube.

А хтось цього вечора буде стояти на зупинці громадського транспорту, яка продувається всіма вітрами, в очікуванні маршрутки переробленої з вантажного мікроавтобуса Mercedes Sprinter, який був свого часу викинутий ошадливим німцем на смітник, а тепер отримав нове життя в якості громадського транспорту, причому не де-небудь, а в самому центрі Європи. Таке життя...

15.1 Технології в сучасних безпілотних автомобілях

В сучасних безпілотних автомобілях використовуються алгоритми на основі байєсівського методу одночасної локалізації і побудови карт (SLAM, simultaneous localization and mapping). Суть роботи алгоритмів полягає в комбінуванні даних з датчиків автомобіля (real-time) і даних карт (offline).



Рисунок 15.8 – Лідари Velodyne на даху безпілота



Рисунок 15.9 – Лідари на безпілотному автомобілі Яндекса

SLAM і метод виявлення та відстеження рухомих об'єктів (DATMO, detection and tracking of moving objects) розроблені і застосовуються в автомобілях дочірньої компанії Google Waymo. Google судилася з Uber з приводу крадіжки останньою технологій у Google. Проте з 2017 року Google виклала бібліотеку SLAM у відкритий доступ для безкоштовного використання будь-якою компанією.

Зазвичай на робомобіль встановлюються датчики:

- LIDAR – далекомір оптичного розпізнавання;
- систему стереозору;
- систему глобального позиціонування (GPS, ГЛОНАСС);
- гіростабілізатори.

Програмне забезпечення безпілотного автомобіля може включати машинний зір і нейромережі. Деякі системи покладаються на інфраструктурні системи (наприклад, вбудовані в дорогу або біля неї), але більш просунуті технології дозволяють імітувати присутність людини на рівні прийняття рішень про зміну положення керма і швидкості, завдяки набору камер, сенсорів, радарів і систем супутникової навігації.

Розглянути як працює безпілот можна на прикладі автомобіля Toyota Prius, який тестували інженери і програмісти Google. Постійне сканування місцевості за допомогою датчиків: лідаров, камер, радарів і високоточні карти – обов’язкові умови автономного пересування транспортного засобу. Система безпілотного авто взаємодіє з сервісом Street View, який дає панорамний вид на вулиці міста з висоти 2,5 м.



Рисунок 15.10 – У Росії одним з лідерів розробки безпілотних автомобілів стала компанія Яндекс



Рисунок 15.11 – Салон безпілотного автомобіля Яндекс

Лідар є серцем автопілота. Це лазерний далекомір, який встановлюється на даху авто і генерує 3D-карту простору в радіусі до 100 метрів. Отримані дані керуючий комп'ютер об'єднує з картами Google, що дозволяє йому уникати аварійних ситуацій і дотримуватися правил дорожнього руху.



Рисунок 15.12 – Безпілотна Tesla – салон і види з камер

Радар – їх на безпілотному автомобілі 4 штуки (іноді більше): два попереду і два – на задньому бампері. Дана система

застосовує радіохвилі, щоб визначити дальність об'єктів, траєкторію і швидкість їх руху. Радар випромінює імпульси, вони відбиваються від перешкод і передаються на приймаючу антену. Таким чином радари стають «очима» авто і дозволяють миттєво реагувати на будь-які зміни ситуації.

Датчик положення – спеціальний пристрій, який визначає координати автомобіля на карті. GPS приймач дозволяє відстежити місце розташування машини і маршрут його прямування.

Відеокамера – розташована біля дзеркала заднього виду. Вона виявляє колірні сигнали світлофорів, об'єкти, які наближаються на потенційно небезпечну відстань. На сучасних безпілотах зазвичай встановлено від 1 до 3 відеокамер.

У багажнику безпілотної машини не настільки цікаво, проте вільного місця для мішків картоплі тут немає. «Залізна» складова Google-автопілота включає:

- керуючий комп'ютер;
- комп'ютер візуального інтерфейсу і модулі датчиків;
- контролер рульового управління і приводу;
- систему комунікації «машина-машина»;
- систему голосового радіоуправління.

Алгоритм роботи безпілотної машини:

1) за допомогою лідара генерується об'ємна карта місцевості, а керуючий комп'ютер з'єднує її з тими даними, які містяться в пам'яті;

2) на основі отриманої інформації від радарів, камери і сенсорів спеціальний алгоритм оцінює ситуацію на дорозі і враховує поведінку інших учасників руху;

3) комп'ютер визначає траєкторію руху безпілота, а також реагує на ситуацію на дорозі: рух інших автомобілів, жести поліцейського, шкільний автобус що йде попереду, пішоходів, ожеледь на трасі та безліч інших чинників.

Автоматизовані машини вчать дуже швидко завдяки тому, що вся отримана інформація і практичний досвід передаються в базу даних Google і користуватися нею можуть усі авто. У базі даних є величезна кількість сценаріїв, які зустрічаються в реальному житті: некерована інвалідна коляска на дорозі, раптово

вискочив на проїжджу частину пішохід і т.д.

Але є і нестандартні ситуації. Наприклад, при тестуванні безпілотника Google на дорозі дівчина в кріслі для інвалідів ганялася за птахом. Природно, сценарію такого плану в базі даних не було, але комп'ютер все одно загальмував.

І не тому, що на дорозі був птах – інакше машині довелося б гальмувати при вигляді кожного голуба. Щоб безпілотник правильно реагував на такі незвичайні ситуації, інженерам доводиться постійно вдосконалювати систему управління.

На думку більшості експертів, безпілотні авто поведуться на дорогах дуже правильно. Наприклад, перші машини зупинялися на дорозі просто «побачивши» людину – комп'ютер відразу вирішував, що пішохід збирається переходити дорогу.

Але людина могла просто зупинитися зав'язати шнурки або почекати когось. Тому інженери вирішили – логічніше буде пригальмовувати, а не зупинитися повністю, тим більше що різке гальмування створює аварійно-небезпечну ситуацію на трасі.

Але розробники Google пішли ще далі і дали безпілотнику «голос» – можливість сигналізувати. Сигнал спрацьовує автоматично при виникненні підвищеної небезпеки як для учасників руху, так і для самої автоматизованої машини.

15.2 Полігони для випробування роботомобілів

У 2015 році в США був побудований полігон M-City спеціально для випробувань роботів-автомобілів. Побудоване Центром трансформації транспорту (Mobility Transformation Centre) при Мічиганському Університеті «місто», зайняло 13 гектарів.

Городок імітує нещільну приміську забудову, характерну для США. Будинки представлені тільки фасадами, а ось дорожнє господарство виконано так само, як в реальності, передбачені навіть покриті брудом знаки, напівстерта розмітка, частина смуг перекриті «ремонтними роботами» і т.п.

В Росії тестування автономних вантажівок ведеться на полігоні, побудованому в підмосковному Шахово. Експериментальний майданчик побудований холдингом TIS на замовлення транспортної компанії Traft.



Рисунок 15.13 – Полігон M-City для випробувань роботів-автомобілів при Мічиганському Університеті



1 – КПП, вхідна група, маневрування при проїзді через термінал, ворота, шлагбаум; 2 – маневри в обмеженому просторі, змійка, паралельна парковка, задній хід; 3,8 – розгінна смуга для відпрацювання маневрів в потоці, в т.ч. екстреного гальмування; 4 – в'їзд на склад, парковка при обмеженому баченні для датчиків; 5 – вивантаження і завантаження, маневри поруч з карою, коригування положення кузова при установці палет; 6 – заїзд і з'їзд з гори, естакади, оглядової ями; 7 – виїзд з прилеглої території, проїзд складних перехресть; 9 – рух по пересіченій місцевості і дорозі з поганим покриттям

Рисунок 15.14 – Полігон для тестування автономних вантажівок підмосковному Шахово

Головна особливість полігону – програмована мінливість його ландшафту, що дозволить створювати безпілотнику ефект непередбачуваної дорожньої обстановки, як це буває в реальному житті. Крім того, на полігоні відтворені всі типи дорожніх покриттів.

З серпня 2017 року полігон приймає і інших автовиробників, що займаються розробкою і тестуванням безпілотників. Відповідні запрошення були відправлені в російські представництва ряду компаній, в їх числі VolgaBus, Volvo, Sollers.

15.3 Проблеми заміни водія-людини автопілотом

Після того, як великі автовиробники почали масово тестувати свої безпілотні системи на дорогах загального користування, в інформаційному полі стався вибух – автомобільні журналісти навперебій почали прогнозувати швидку відмову від традиційних автомобілів. Але незважаючи на розвиток технологій, до цих пір залишається цілий ряд невирішених технологічних питань і обмежень.

Отже, що стримує поширення безпілотних авто? На думку експертів, є кілька основних стримуючих факторів:

- Юридичні. В середньому необхідно 5-7 років для адаптації технологій до сучасних реалій. Тобто потрібна законодавча база, яка буде регламентувати безпілотний рух;
- Технологічні. Обов'язковою умовою безпроблемної експлуатації безпілотників є відповідна інфраструктура і високошвидкісний зв'язок. Наприклад, використання нової мережі 5G дозволить звести затримки передачі даних до мінімального критичного значення;
- Етичні. Хто винен в разі ДТП: виробник, власник або пішохід? Які жертви вважаються виправданими? Чи життя в пріоритеті – пасажирів або пішоходів? Всі ці питання ще відкриті.

Перехід світу на стандарт 5G прискорить розвиток безпілотників. Більшість технологій, пов'язаних з розумними автомобілями, вимагають постійного з'єднання з мережею. Геопозиціонування на основі HD-карт здійснюється за рахунок

постійного зіставлення навколишнього простору з картами на хмарних сховищах, тому швидкість передачі даних критична.

За словами гравців ринку, після переходу на 5G комп'ютерна система робомобіля зможе визначити, коли транспортний засіб що йде попереду має намір змінити смугу руху або знизити швидкість. Причому навіть у тому випадку, коли транспорт знаходиться поза полем зору. За мережі 5G робомобілі зможуть передавати один одному інформацію про ситуацію на дорогах. Наприклад, про несподівану неполадку, яка призвела до зупинки машини або про найближчу аварію.

Розумній системі робомобіля постійно потрібні додаткові джерела даних про дорогу, включаючи пішоходів що переходять проїзну частину, завантаженість траси або стан дорожнього покриття. Для передачі всіх цих даних потрібне швидкісне підключення до мережі, що може реалізувати саме 5G.

Прогнозують, що мережа 5G буде використовуватися на 70 мільйонах транспортних наземних засобів вже через кілька років. До цього ще варто додати кілька мільйонів повітряних і водних безпілотників. За прогнозами Gartner, до 2025 року різні системи індивідуальних безпілотних систем передаватимуть в «хмари» близько терабайта даних на місяць.

Розробники робомобілів дійсно публікують вельми барвисті звіти і прогнози про швидку повсюдну інтеграцію безпілотних автомобілів на дорогах загального користування. На ділі мрії про автономність 5 рівня (а значить про невтручання людини на всьому шляху) не варто навіть в найближче десятиліття.

Розглянемо технологію Autopilot компанії Tesla, яка найдалі просунулася в сфері розробки систем автопілотування. На поточній стадії розвитку система знаходиться між другою і третьою ступенями автономності.

Так, часом вони допомагають запобігти виникненню небезпечних ситуацій на дорозі, але Autopilot компанії позиціонується як цифровий помічник водія, і ні в якому разі не як самостійний блок управління. Фахівці Tesla звертають увагу, що водій повинен тримати руки на кермі, не відриваючи їх довше, ніж на 2-3 секунди.

Ще один приклад – робомобілі компанії Waymo, одного з підрозділів корпорації Google. Кілька років тому корпорація

оголосила, що в 2018-2019 роках запустить роботизований сервіс безпілотних автомобілів. Реальність виявилася іншою: в «повністю автономної» машині є місце для водія, яке завжди зайнято інженером-оператором. За свідченнями пасажирів роботаксі, оператор постійно бере керування на себе і ні про яку свободу говорити не доводиться. Знову ж таки, не варто дивуватися, оскільки автономність Waymo знаходиться між 2 і 3 рівнем, як і автопілот Tesla.

Жителі містечка Чандлер (США), де проводиться тестування розумного таксі, виступають проти технології. Робомобілі часто не можуть зловити момент для виїзду на кільце або зміну смуги – в результаті на дорогах утворюються затори.

Щоб уникнути таких ситуацій, тепер в них втручається оператор-людина, що само по собі дискредитує ідею «повністю автоматичного транспортного сервісу пасажироперевезень».

Не всі безпілотники використовують лідар – лазерну систему навігації, яка генерує лазерні імпульси. Система оцінює час, через який сигнал повертається назад, і будує просторову модель навколишнього середовища. Лідар в багатьох випадках – частина системи комп'ютерного зору робомобіля.

Незважаючи на високий рівень складності в налаштуванні, в сервісному обслуговуванні, більшість зарубіжних і російських розробників будують технологію з застосуванням лідара. Наприклад, серед фіналістів конкурсу за підтримки Skolkovo «Зимове місто» 4 з 5 команд розробляють безпілотний автомобіль з використанням лідара, відмовилася від нього тільки компанія BaseTracK.

Як і будь-яка інша оптика, лідар має обмеження, які дуже сильно гальмують розвиток технології. Хто б що не говорив, але в умовах поганої погоди безпілотник з лідаром не зможе безперешкодно долати відстані – система не функціонує ні в тумані, ні в снігопад. Крім іншого, вся оптика обходиться компаніям в копійчку – наявність тільки одного лідара підвищує собівартість транспортного засобу на кілька тисяч доларів США. Як правило, одним не обмежуються.

В результаті від лідарів відмовилася Tesla Inc. на чолі з Ілоном Маском. У 2018 році він оголосив, що електромобілі, які випускає його компанія, будуть оснащені камерами, радарми та

додатковими сенсорами. Але не лідачами. Електромобілі, випущені після 2018 року, отримали систему комп'ютерного зору «Tesla Vision», база якої – спеціалізований комп'ютер від Nvidia Drive PX2.

Повітряні безпілотники також не використовують лідари, оскільки для них цей елемент багато в чому марний – лазерні імпульси повинні бути дуже потужними, щоб досягати поверхні землі з висоти. Технологія споживає занадто багато енергії.

Тому є вигадкою те, що оптичні робомобілі вже здатні пересуватися по дорогах в сніг, дощ і туман. Яскравим прикладом може служити кейс збройних сил Великобританії, які кілька років тому придбали партію безпілотних літальних апаратів (БПЛА) Desert Hawk III для проведення операцій в Іраку і Афганістані. Як згодом виявилось, апарати не змогли літати в погану погоду – ні в дощ, ні в туман, ні в сніг. При прискоренні і пікіруванні вони були не здатні орієнтуватися в просторі.

Не тільки БПЛА військового призначення, а й інші системи автопілотування не можуть повністю функціонувати в складних умовах. Максимум, з яким може працювати оптична система – зовсім легкий дощ або пролітаючий сніг. Дані про ідеальну роботу автопілоту в снігопад, зливу або в щільному тумані надають розробники рішень, тобто сторона зацікавлена в позитивному іміджі технології.

Навіть при таких умовах що здаються оптимальними, автопілот не завжди адекватно реагує на зовнішні фактори. У березні 2019 року робомобіль Tesla не зміг розпізнати вантажний автомобіль, який перекрив йому дорогу і врізався в перешкоду на повній швидкості, в результаті чого загинув водій. Як виявилось, сонячні промені осліпили камери Autopilot, і вони не змогли вчасно розпізнати перешкоду прямо по курсу. Чому не спрацював радар – питання, яке залишається без відповіді.

Ще один випадок – аварія за участю робомобіля Uber, який в нічний час збив жінку в темному одязі. Комп'ютерна система не ідентифікувала людину і прийняла рішення рухатися далі. Адже роботаксі Uber оснащені лідачами, радарамі та додатковими сенсорами. Результат аварії – загибель велосипедистки і судові позови проти компанії.

Правдою є те що безпілотні технології працюють однаково

на суші, у воді і в повітрі. Це дійсно так, якщо розробники не спираються на оптичні сенсори і лідари. Оскільки більше 90 % гравців працюють з оптикою, масштабувати рішення на повітряне та водне простору їм не вдається і вони концентруються на одному полі діяльності.

Проблема вирішується, якщо система позиціонування об'єкта будується не на HD-картах і лазерних імпульсах, а на геоінформаційних даних. У цьому випадку перед компанією стоять два етапи: обробка геодезичних даних регіону і прокладка шляху для транспортного засобу з урахуванням його особливостей.

Треба відзначити, що будь-яка безпілотна система збирає велику кількість телематичних даних: починаючи від стану транспортного засобу (режим роботи окремих елементів і дані про сервісне обслуговування) і закінчуючи інформацією про стан водія (концентрація, стиль водіння і навіть емоції). Як тільки в комп'ютер транспортного засобу вкладаються точні координати шляху – можна назвати це віртуальною рейкою – система здатна функціонувати і на судах, і в авіації.

Коли експерти з суміжних галузей в Росії та СНД нарікають на те, що ми не можемо розвивати технологію через відсутність закону, їм слід подивитися на інші ринки. Ті, де законодавство щодо безпілотників вже опрацьовано.

Чи їздять там прототипи без інженерів по вулицях міста? Чи існує взагалі зараз транспортний засіб, який може абсолютно автономно пересуватися по відкритих просторах? Ні. Поки безпілотники навіть з операторами за кермом потрапляють в аварії, ні про які стримуючі фактори закону і мови бути не може.

Для багатьох компаній підігрів інтересу до сфери робомобілів виявився дуже прибутковим інструментом. Грошей це приносить більше, ніж самі робомобілі. Отже сфера роботизованих транспортних засобів привертає мільярди доларів США

У розробку технологій управління транспортом активно інвестують по всьому світу. Великі автомобільні концерни прогнозують масовий випуск безпілотників третього рівня вже до середини 2020 року. Знову ж, звертаємо увагу – мова не йде про повну автономність, третій рівень забезпечують розумні ADAS-

системи та цифрові асистенти на кшталт Autopilot від Tesla.

До 2030 року ринок тільки наземних цивільних безпілотників може вирости до \$ 77 млрд. Що стосується ринку літаючих безпілотників, то прогноз збільшення його обсягу – \$ 8,14 млрд. до 2021 року, з щорічним зростанням (CAGR) в 8 %.

Ключовий драйвер зростання ринку автопілотів всіх напрямків – зростання потреби в автоматизації. Роботизовані системи можна використовувати в промисловості, гірських розробках, логістиці, будівництві та житлово-комунальному господарстві та багатьох інших сферах.

15.4 Комерційні проекти в даний час

Заява про те, що пасажирські автобуси без водія за кермом – це вже дійсність, звучить занадто голосно і оптимістично. Поки що ці безпілотники їздять набагато повільніше, ніж хотілося б пасажирам, так і маршрути їм довіряють елементарні.

Однак технології в цьому напрямку розвиваються шаленими темпами. Вже як мінімум п'яти містам пощастило увійти в історію – по їх вулицями в рамках випробування пустили перші безпілотні автобуси.

Швейцарська Лозанна. З літа 2017 тут в рамках проекту Easy Mile курсують 6 автобусів-безпілотників EZ10.



Рисунок 15.15 – Автобус-безпілотник EZ10

Їм виділили простий маршрут довжиною 2,5 кілометра і довірили максимально лояльних пасажирів – студентів і викладачів місцевого університету. Головне завдання транспорту – курсувати між корпусами і найближчою станцією метро. За півроку експерименту не відбулося жодної аварії, що обнадіює як розробників, так і користувачів технології.

Грецька Трікала. У цьому невеликому містечку тестується французька безпілотна система CityMobil2. Автобуси розраховані на 10 пасажирів, працюють від електроенергії і здійснюють поїздки по звичайних міських вулицях в режимі автопілота.

Китайський Чженчжоу. Китайці довіряють штучному інтелекту набагато охочіше європейців. Компанія Yutong на сьогоднішній день проводить успішні випробування своєї нової розробки – безпілотного автобуса, який буде перевозити пасажирів на відстань 30 кілометрів. Зараз за роботою техніки стежить оператор, проте в планах у розробників повністю автоматичні перевезення.



Рисунок 15.16 – Безпілотний автобус NAVYA

Голландський Вагенінген. Тут на реальних міських вулицях проходить випробування модифікована версія EZ10 під назвою WERods. Якщо раніше для тестування безпілотників

створювалася спеціальна інфраструктура, в якій не було складних розв'язок, то в місті Вагенінген все по-іншому. Тут автобус на автопілоті їздить по звичайних дорогах і зустрічається з непередбаченими дорожніми ситуаціями.

Британський Мілтон-Кінс. Консервативні англійці пішли ще далі – вони виділили ціле місто для тестування 40 безпілотних автомобілів і системи громадського транспорту.

Безпілотні автобуси NAVYA.

Модель безпілотного автобуса Navya – це далеко не прототип, вона тестується кілька років і вже довела свою безпеку і ефективність в якості пасажирського транспорту. У конструкції модуля немає керма і стандартних педалей, а максимальна швидкість складає 45 км/год.

Під час випробувань в кабіні автобуса все ще знаходиться оператор, який в разі екстреної ситуації зможе управляти машиною. Однак з розвитком технологій і законодавчої бази від послуг людини можна буде повністю відмовитися.

Кілька цікавих фактів про безпілотні NAVYA ARMA:

- місткість автобуса 15 пасажирів;
- за орієнтацію в просторі відповідають GPS, LiDAR і стереокамери;
- залежно від обраного режиму може працювати автономно від 5 до 13 годин;
- вартість стандартної комплектації безпілотного модуля – 160 000 євро.

Зараз 12 автобусів Arma обслуговують територію АЕС Сиво в західній частині Франції. Вони курсують по круговому маршруту кожні п'ять хвилин і значно економлять час співробітників станції. Раніше цю територію обслуговували дизельні автобуси – час очікування становив 15 хвилин. Керівництво АЕС підрахувало економію – заміна дизельних автобусів на електро-безпілотники заощадить 3 млн євро за рік, а викиди вуглекислого газу зменшить на 40 тонн.

Компанія Navya пропонує експлуатувати роботизовані автобуси на промислових об'єктах, на території аеропортів і лікарень, в парках розваг і в міських житлових кварталах. У планах компанії відкриття нового заводу в Мічигані, що дозволить задовольнити зростаючий попит на ринку. З 2018 року

в США працює 50 приміських автобусів-безпілотників.

Безпілотники на російських дорогах.

Покатитися на безпілотному автобусі вже можна і в Росії. На полігонах вже проходять успішні тестування безпілотного модуля, розрахованого на 20 пасажирів. Розробкою технології займається компанія *Vakulin Motors Group* спільно з центром інновацій «Сколково», на ринку представлена під маркою *Volgabus*. Головний напрямок діяльності холдингу – виробництво автобусів і інших видів транспорту, які працюють без водіїв, а також комплектуючих і шасі для них.



Рисунок 15.17 – Російський безпілотник Volgabus

Холдинг почав своє існування в 2014 році. Підприємство відразу було націлене на те, щоб виробляти машини, що працюють на альтернативних, екологічно безпечних джерелах енергії. Ставилося за мету скоротити токсичні викиди в повітря, а також спростити експлуатацію машин. *VMG* спеціалізується також на розробках і реалізації високотехнологічного обладнання для автобусів.

У Сколково (Підмосков'я) з 2017 року працює дослідницький центр, в якому працюють близько 100 чоловік. Співробітники Центру займаються дослідженнями в галузі сучасної робототехніки і розробкою безпілотних транспортних засобів. Створюється програмне забезпечення та апаратний комплекс для

управління автономними автобусами в реальному середовищі міських умов.

Розраховується, що транспортні засоби будуть здійснювати в основному пасажирські перевезення. Автобуси працюють на газі або електроенергії. Створюються також гібридні агрегати. Крім готових транспортних засобів, Bakulin Motors Group випускає автобусні шасі. Компанія орієнтується як на вітчизняний, так і на експортні ринки, особливо на кілька країн Африки.

«Бакулін Моторс Груп» тестує в Підмосков'ї безпілотний електробус Matrëshka. Планується випустити більше двох десятків таких машин. До того ж ці безпілотники можна буде використовувати на майданчиках готелів, в туристичних зонах, університетах і територіях виробничих підприємств. Машини на інших модифікаціях платформ можуть не тільки перевозити людей, а й працювати в якості вантажного і прибирального транспорту. Пасажирський модуль Matrëshka вміщує до 12 осіб, має 8 посадочних місць і може розвивати швидкість до 30 км/год.



Рисунок 15.18 – Російський безпілотний електробус Matrëshka

Автобус може слідувати за гнучким маршрутом. Однієї «заправки» акумуляторів вистачить на 130 км. Замінити старі

батареї можна буде практично моментально. Серійне виробництво електробусів відбувається у Володимирській області. Вартість прототипу склала близько 8,5 млн рублів, однак в планах зниження ціни до 3,5 млн після запуску масового виробництва. Варто також відзначити, що майже всі деталі для безпілотника виробляються в Росії.

Безпілотний ШАТЛ (НАМИ).

Безпілотний мікроавтобус Шаттл є спільним проектом КАМАЗа і Науково-дослідного центру НАМИ. Його не можна назвати ексклюзивним, але його також складно порівнювати із зарубіжними аналогами. Автобус розвиває максимальну швидкість до 40 км/год, але на автопілоті не перевищує 15 км/год. За орієнтацію в просторі і обчислення оптимальної траєкторії відповідає система Яндекс.



Рисунок 15.19 – Безпілотний мікроавтобус Шаттл (КамАЗ-НАМИ)

Працює самохідна капсула від літій-іонних акумуляторів власної розробки НАМИ. Інженери поки пропонують довіряти новинці стандартні нескладні маршрути – в парках розваг, в наукових містечках і університетах, у виставкових центрах. В майбутньому викликати безпілотник планується за допомогою

спеціального додатку на смартфонах.

Очікується що «розумні автобуси» витіснять з доріг звичні маршрутки через 20-25 років, коли їх вартість буде доступна для середнього бізнесу, а ефективність вже не буде піддаватися сумнівам. Тотальне панування безпілотників неминуче, проте саме завдяки йому наше пересування на дорогах стане ще більш комфортним і безпечним.

15.5 Безпілотні вантажні перевезення

Безпілотні вантажівки сьогодні розробляють як гіганти на кшталт Volvo і Ford, так і невеликі стартапи з США і Європи. Процес стрімко розвивається: багато компаній обіцяють вивести готовий продукт на ринок не пізніше середини 2020 року. Тільки протягом 2018-2019 років робофури пройшли шлях від присутності в салоні водіїв-асистентів до перших спроб повної автономності.



Рисунок 15.20 – Автономна вантажівка Plus.ai на дорогах Америки

У грудні 2019 року відбулася знакова подія в усіх сенсах: безпілотна вантажівка вперше(!) успішно перетнула Сполучені Штати Америки, самостійно проїхавши від одного узбережжя до іншого по справжніх автомагістралях.

Вперше в історії створення сучасних робомобілів, вантажівка без водія зробила настільки тривалу поїздку по реальних дорогах. Причому не просто так, а доставляючи вантаж. Автономна вантажівка доставила 40 000 фунтів (трохи більше 18 000 кілограмів) масла з міста Тьюлара, штат Каліфорнія, в Квекертаун, штат Пенсільванія, завершивши поїздку менше, ніж за три дні.

Вантажівка керувалася алгоритмом, створеним стартапом з Кремнієвої долини під назвою Plus.ai. Як і будь-який інший автономний автомобіль з автопілотом, вантажівка використовує безліч камер, лазерів і радарів і лідарів для розпізнавання дорожніх знаків, перешкод та інших транспортних засобів на дорозі для того, щоб оцінити дорожню обстановку.

Вантажівка їхала по дорогах вдень і вночі, адже їй, на відміну від реального водія, не потрібно було витратити час на сон. При цьому машина відмінно орієнтувалася в змінах висот, об'їжджаючи різні перешкоди. Зокрема, області, в яких проходили ремонтні роботи. Їй не були перешкодою інші автомобілі, також дощ і сніг. Звичайно, на борту завжди знаходився водій-чоловік, готовий в разі необхідності взяти керування на себе і інженер з техніки безпеки, який стежив за роботою машини. Але їх втручання взагалі не знадобилося.

Хоча вантажівка повинна була зробити кілька зупинок, щоб зробити заплановані перерви, передбачені діючим законом, вона в основному їхала автономно. Найбільш вражає те, що водієві не потрібно було перехоплювати управління під час поїздки, тобто не було ніяких проблем, які вимагали б його втручання – цитує представників Plus.ai видання Zmescience.

В даний час в Сполучених Штатах існує більше десятка компаній, що розробляють або здійснюють автономну доставку вантажів. Наприклад, стартап Embark Trucks, що базується в Сан-Франциско, завершив тривалу поїздку по пересіченій місцевості.

Однак вона зайняла більше часу, закінчившись через п'ять днів, і в цьому випадку не було доставлено ніякого вантажу. Та й

водієві час від часу довелось коригувати рух.

При цьому найважливіше в даному випадку – це тривалі автоматизовані поїздки. Так як в таких умовах системам орієнтуватися найважче. До того ж вони важливі для вантажних операторів, тому що саме на великих відстанях можна отримати значну вигоду.

Самохідна вантажівка обійдеться дорожче, але вона повинна окупити себе в довгостроковій перспективі. Близько 30-40 % вартості далекомагістрального вантажу – це зарплата водія і допоміжні витрати (на мотелі, харчування і т.д.). Повністю автономній вантажівці цього не потрібно. Більш того, використання подібного виду транспорту також скоротить і час, необхідний на доставку вантажів.

Це автоматично поміщає в зону ризику близько 1,8 мільйона водіїв. Середній вік в даній категорії – 55 років. Чи багато шансів у цих людей навчитися іншої професії? Мабуть ні. Що ж з ними буде? Їх просто звільнять.

Банк Morgan Stanley вже оцінив, що введення безпілотних фур допоможе компаніям економити по 70 мільйонів доларів щорічно. А продуктивність тим часом має зрости як мінімум на третину – вантажівки-роботи можуть їхати по дорогах цілодобово, без перерв і вихідних. А отже відпадає необхідність в так званих трак-стопах з їхнім обслуговуючим персоналом. А значить це ще кілька сотень тисяч майбутніх безробітних.

Однак не всі експерти поділяють цю думку. Так, провідний аналітик в сфері транспорту Дональд Бротон в своєму інтерв'ю Business Insider називає відразу кілька причин, чому робофури не замінять вантажний транспорт з водіями так швидко.

По-перше – завадять юридичні складності. Так, тільки в США в ДТП з вантажівками щорічно гине понад три тисячі пішоходів, мотоциклістів, автомобілістів і велосипедистів. Якщо ж пілотовані фури замінять безпілотними, стає незрозуміло – кого звинувачувати в разі аварії. Більшість країн досі не розробили законодавства щодо безпілотників, в зв'язку з чим компанії-розробники відправляють свої робофури в дорогу під чітким наглядом оператора-людини.

Друга причина – недоведена ефективність безпілотних вантажних систем. Прогнози експертів виглядають спокусливо,

проте в реальності компанії застосовують нову технологію з великою обережністю. Так, наприклад, робофури Volvo вивозять вапняк з норвезького кар'єра по обмеженій території, і по маршруту, який визначають для них заздалегідь.

У Норвегії в місті Консберг, в тестовому режимі вже працює з кінця 2018 року робот для доставки пошти: пристрій на колесах зовні нагадує велику поштову скриньку, але бігає по дорогах досить впевнено.



Рисунок 15.21 – Робот-листоноша компанії Buddy Mobility

Робот-листоноша – розробка американо-норвезької компанії Buddy Mobility. Гігантський ящик на колесах здатний пересуватися зі швидкістю 6 км/год і щодня обслуговувати до ста адресатів.

Інженери Buddy Mobility кажуть, що в світі, де все переписується за допомогою електронної пошти, Twitter, WhatsApp і т.д., традиційна паперова пошта – просто пережиток минулого. І тому немає кращого способу оптимізувати поштову службу, ніж використовувати робота для доставки ваших листів і бандеролей. Незабаром в цьому зможуть переконатися жителі Норвегії, завдяки угоді між норвезькою поштовою службою Posten-Norge і компанією, яка розробила робота-листоношу.

Працює це так: роботи Posten відправляють клієнтам повідомлення на смартфон через додаток. Одержувач вказує час, і до цього моменту робомобіль вже чекає їх біля будинку. Потім одержувач вводить певний код і дістає саме свій лист або бандероль. Після чого робот повертається в найближчий розподільний центр для підзарядки і наступної партії пошти.

У США, найбільша мережа американських супермаркетів Kroger підписала контракт зі стартапом Nuro, автомобілі якого будуть забезпечувати першу в світі безпілотну доставку для широкого загалу. Поки що інновація доступна лише в Стотсдейлі (штат Арізона), проте найближчим часом її географію планують розширити.

Безпілотний автомобіль R1 буде доставляти клієнтам магазину їжу всього за 5,95 доларів. Всередині у машини два відсіки, в кожен з яких поміщається по три пакети.

З 17 січня 2020 року влада Каліфорнії дозволила виїжджати на дороги загального користування робомобілям, призначеним для розвезення товарів і посилок.

Згідно з новими правилами, компанії зможуть запитувати у місцевого автотранспортного департаменту дозвіл на використання на дорогах автономних автомобільних доставщиків масою до 4,54 тонни (під це визначення підпадають як невеликі транспортні засоби, так і безпілотні мінівени і середньорозмірні пікапи), причому чиновники готові видавати дозволи як автомобільним робо-доставщикам зі страхуючим водієм за кермом, так і повністю автономним апаратам, за якими стежить

віддалений оператор. Додатково власники таких транспортних засобів можуть запросити дозвіл на комерційну діяльність, що має на увазі стягування плати за доставку за допомогою безпілотних пристроїв.



Рисунок 15.22 – Робо-доставщик товарів R1

Вимоги до безпілотних постачальників з боку каліфорнійської влади уніфіковані з уже існуючими вимогами до легкових робомобілів, що перевозять пасажирів. Так

розробникам в числі іншого потрібно сертифікувати свій безпілот у різних організаціях і контролюючих органах.

Зокрема, в Товаристві автомобільних інженерів (SAE), яке відповідає за віднесення робомобіля до тих чи інших рівнів автономності, і у Національного управління безпекою руху на трасах (NHTSA), провести попередні випробування безпілоту в контрольованих умовах.

Також потрібно в деталях розписати процес автономних поїздок – від того, яким чином буде контролюватися рух, яке навчання пройдуть страхуючі водії або віддалені оператори і які заходи будуть вжиті в разі спроби кібератаки автономного транспортного засобу, і до порядку взаємодії з правоохоронними органами в разі надзвичайної ситуації.

Отже хоча безпілотні технології і виглядають яскраво, не варто поспішати з остаточними висновками, запевняють експерти.

Питання для самоперевірки

1. Що розуміють під терміном безпілотний автомобіль (робомобіль)?
2. Коли були проведені перші експерименти зі створення повністю автономних автомобілів?
3. В якому році і де був створений перший автомобіль в світі з системою круїз-контролю?
4. Ким і де саме був створений перший безпілотний автомобіль який став прототипом сучасних робомобілів?
5. Скільки рівнів містить класифікація автоматизації автомобілів?
6. Назвіть потенційні переваги безпілотних автомобілів.
7. Які недоліки автономних транспортних засобів?
8. Які технології застосовуються в сучасних безпілотних автомобілях?
9. Які датчики зазвичай встановлюються на робомобіль?
10. Що таке лідар?
11. На якому принципі працює радар?
12. Для чого необхідний датчик положення?
13. Які функції виконує відеокамера?
14. Яка кількість відеокамер зазвичай встановлена на сучасних

безпілотних автомобілях?

15. Розкажіть алгоритм роботи безпілотних автомобілів.
16. Як безпілотні автомобілі працюють в нестандартних ситуаціях?
17. Як влаштовані полігони для випробувань роботів-автомобілів?
18. Які є проблеми заміни водія-людини автопілотом?
19. Що може значно прискорити розвиток автомобілів безпілотників?
20. Назвіть вдалі комерційні проекти в даний час.

ЛІТЕРАТУРА

1. Грабченко А. И., Клепиков В. Б., Доброскок В. Л. Введение в мехатронику. Харьков : НТУ «ХПИ», 2014. 264 с.
2. Кашканов А. А. Інформаційні комп'ютерні системи автомобільного транспорту. Вінниця : ВНТУ, 2010. 230 с.
3. Konrad Reif. Automotive mechatronics. Automotive networking, driving stability systems, electronics. Wiesbaden : Springer Fachmedien, 2015. 549 p.
4. Levent Güvenc, Bilin Aksun Güvenc, Burak Demirel. Control of mechatronic systems. London : The Institution of Engineering and Technology, 2017. 217 p.
5. Patrick Kalljob. Mechatronic Systems and Process Automation. Boca Raton : CRC Press, 2018. 468 p.
6. Andrew J. Kurdila. Dynamics and control of robotic systems. Hoboken : John Wiley & Sons Ltd, 2020. 517 p.
7. Mohammad H. Abedin-Nasab. Handbook of robotic and image-guided surgery. Cambridge : Elsevier, 2020. 724 p.
8. Ambarish Goswami. Humanoid robotics: a reference. Dordrecht : Springer Nature B.V., 2019. 2676 p.
9. Clifford A. Pickover. Artificial intelligence. An illustrated history. New York : Sterling Publishing Co., Inc., 2019. 268 p.
10. Сторожев В. В. Системотехника и мехатроника технологических машин и оборудования. М. : Дашков и К°, 2016. 412 с.
11. Юревич Е. И. Основы робототехники. Спб. : БХВ-Петербург, 2017. 284 с.
12. Карташевич А. Н. Тракторы и автомобили. Тормозные системы автомобилей. Пневматические тормозные приводы. Горки : БГСХА, 2014. 52 с.
13. Кусяк В. А., Руктешель О. С. Проектирование автоматизированных мехатронных систем управления силовым агрегатом грузовых автомобилей и автопоездов. Минск : БИТУ, 2015. 295 с.
14. Сергеев Н. Н., Хонелидзе Д. М. Электрооборудование и электронные системы автомобиля. Тула : ТулГУ, 2015. 156 с.
15. Болштянский А. П. Электронные системы автомобилей. Омск : ОГТУ, 2010. 125 с.

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

2016. 524 с.
33. Сыряжкин В. И. Интеллектуальные робототехнические и мехатронные системы. Томск : Томский гос. ун-т, 2017. 256 с.
 34. Бектайл Дж. Конструируем роботов. Дроны. Руководство для начинающих. М. : Лаборатория знаний, 2018. 226 с.
 35. Гололобов В. Н., Ульянов В. И. Беспилотники для любознательных. Спб. : Наука и техника, 2018. 256 с.
 36. Петров М. А., Шейпак А. А., Петров П. А. Мехатронные системы в машиностроении и их моделирование. М. : МАМИ, 2015. 115 с.
 37. Экзоскелеты : анализ конструкций, принципы создания, основы моделирования. Курск : Юго-Зап. гос. ун-т., 2015. 179 с.
 38. Рассадкин Ю. И., Сеницын А. В. Компьютерное управление в мехатронных системах. М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. 61 с.
 39. Robert H. Bishop. Mechatronics. An Introduction. Boca Raton : CRC Press, 2006. 285 p.
 40. Robert H. Bishop. Mechatronic System Control, Logic, and Data Acquisition. Boca Raton : CRC Press, 2008. 755 p.
 41. Robert H. Bishop. Mechatronic Systems, Sensors, And Actuators. Boca Raton : CRC Press, 2007. 656 p.
 42. William Bolton. Mechatronics : electronic control systems in mechanical and electrical engineering. Harlow : Pearson, 2015. 663 p.
 43. David G. Alciatore. Introduction to mechatronics and measurement systems. New York : McGraw-Hill Education, 2018. 609 p.
 44. Erika Ottaviano. Mechatronics for cultural heritage and civil engineering. Cham : Springer International Publishing, 2018. 372 p.
 45. Fijalkowski B.T. Automotive mechatronics: operational and practical issues. Heidelberg : Springer, 2011. Volume I. 612 p.
 46. Fijalkowski B.T. Automotive mechatronics: operational and practical issues. Heidelberg : Springer, 2011. Volume II. 538 p.
 47. Edwin Kiel. Drive Solutions. Mechatronics for production and logistics. Berlin : Springer-Verlag, 2008. 545 p.
 48. Uwe Kiencke, Lars Nielsen. Automotive control systems for

- engine, driveline, and vehicle. Berlin : Springer-Verlag, 2005. 521 p.
49. John Billingsley. Essentials of mechatronics. Hoboken : John Wiley & Sons, Inc., 2006. 267 p.
 50. Frank Lamb. Industrial Automation. Hands On. New York : McGraw-Hill Education, 2013. 369 p.
 51. Günter Ullrich. Automated guided vehicle systems a primer with practical applications. Berlin : Springer-Verlag, 2015. 237 p.
 52. Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations. Washington, DC : The national academies press, 2005. 257 p.
 53. Driver Reactions to Automated Vehicles. A Practical Guide for Design and Evaluation. Boca Raton : CRC Press, 2018. 177 p.
 54. Road Vehicle Automation. Lecture notes in mobility / Gereon Meyer, Sven Beiker (editors). Switzerland : Springer, 2014. 257 p.
 55. Road Vehicle Automation 2. Lecture notes in mobility / Gereon Meyer, Sven Beiker (editors). Switzerland : Springer, 2015. 226 p.
 56. Road Vehicle Automation 3. Lecture notes in mobility / Gereon Meyer, Sven Beiker (editors). Switzerland : Springer, 2016. 292 p.
 57. Road Vehicle Automation 4. Lecture notes in mobility / Gereon Meyer, Sven Beiker (editors). Switzerland : Springer, 2018. 255 p.
 58. Road Vehicle Automation 5. Lecture notes in mobility / Gereon Meyer, Sven Beiker (editors). Switzerland : Springer, 2019. 246 p.
 59. Road Vehicle Automation 6. Lecture notes in mobility / Gereon Meyer, Sven Beiker (editors). Switzerland : Springer, 2019. 146 p.
 60. 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.
 61. Huaqun Guo. Automotive informatics and communicative systems: principles in vehicular networks and data exchange. New York : Information Science Reference, 2009. 364 p.
 62. Jan Fischer-Wolfarth. Advanced microsystems for automotive applications 2014. Smart systems for safe, clean and automated vehicles. Switzerland : Springer International Publishing, 2014. 305 p.
 63. Kimon P. Valavanis. Advances in Unmanned Aerial Vehicles. State of the Art and the Road to Autonomy. Dordrecht : Springer, 2007. 551 p.
 64. Hassan Rashidi, Edward Tsang. Vehicle Scheduling in Port

- Automation. Advanced Algorithms for Minimum Cost Flow Problems. Boca Raton : CRC Press, 2016. 260 p.
65. Steffen Heinrich. Planning universal on-road driving strategies for automated vehicles. Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2018. 141 p.

Інформаційні ресурси

66. The IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS (TMECH) is a bimonthly periodical source. <http://www.ieee-asme-mechatronics.org> (дата звернення: 27.12.2021).
67. Mechatronics - an international journal. <https://www.journals.elsevier.com/mechatronics> (дата звернення: 27.12.2021).
68. 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: 27.12.2021).
69. Robotics. <https://curlie.org/Computers/Robotics> (дата звернення: 27.12.2021).
70. IEEE Robotics and Automation Society. <http://www.ieee-ras.org> (дата звернення: 27.12.2021).
71. Investigation of social robots – Robots that mimic human behaviors and gestures. <http://www.ai.mit.edu/projects/humanoid-robotics-group/index.html> (дата звернення: 27.12.2021).
72. 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: 27.12.2021).
73. Automotive Electronic Systems Clemson Vehicular Electronics Laboratory Website <http://www.cvel.clemson.edu/auto/systems/auto-systems.html> (дата звернення: 27.12.2021).
74. Seattle Robotics «What is a Servo?». <http://www.seattlerobotics.org/guide/servos.html> (дата звернення: 27.12.2021).
75. Different types of servo motors. <http://www.servotronix.com/servomotors.html> (дата звернення: 27.12.2021).

76. Automotive Manufacturing Engineering Overview.
<http://www.automotiveengineeringhq.com/automotive-manufacturing-engineering/> (дата звернення: 27.12.2021).
77. Engineering Synergy. <http://myengineeringsystems.co.uk/> (дата звернення: 27.12.2021).
78. 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: 27.12.2021).
79. 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: 27.12.2021).

Навчальне видання

АРТЮХ Олександр Миколайович
ДУДАРЕНКО Ольга Василівна
КУЗЬМІН Віктор Володимрович
СОСИК Андрій Юрійович
ЩЕРБИНА Андрій Васильович

ОСНОВИ МЕХАТРОНІКИ

Навчальний посібник

Технічні редактори: Білостоцька А. О., Желізний О. І.,
Пругло А. М., Решетняк О. В.
Комп'ютерний набір: Білостоцька А. О., Желізний О. І.,
Пругло А. М., Решетняк О. В.
Комп'ютерна верстка: Білостоцька А. О., Желізний О. І.,
Пругло А. М., Решетняк О. В.

Підписано до друку 30.12.2021. Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 21,62.
Тираж 100 прим. Зам. № 1028.

Національний університет «Запорізька політехніка»
Україна, 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64
Тел.: (061) 769–82–96, 220–12–14

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6952 від 22.10.2019.