

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни

«Основи мехатроніки»

для студентів спеціальності 133

«Галузеве машинобудування»

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

Частина 5 - змістовий модуль 2.

Автомобільні мехатронні системи

2020

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни «Основи мехатроніки» для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» («Колісні та гусеничні транспортні засоби») усіх форм навчання. Частина 5 - змістовий модуль 2. Автомобільні мехатронні системи / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. 96 с.

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

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

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

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

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

ЗМІСТ

Частина 5

Вступ	302
Тематичний план лекційних занять	304
Лекція № 14. Допоміжні та контрольні-діагностичні системи автомобілів	307
Лекція № 15. Безпілотні автомобілі	354
Рекомендована література	390
Базова	390
Допоміжна	390
Інформаційні ресурси	393

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 автотransпортних засобів.

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Тема 15. Безпілотні автомобілі (2 год.)

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

ЛЕКЦІЯ № 14. ДОПОМІЖНІ ТА КОНТРОЛЬНО-ДІАГНОСТИЧНІ СИСТЕМИ АВТОМОБІЛІВ

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

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

Електронні протиугінні системи (antitheft alarm) є стандартним обладнанням на більшості нових автомобілів і можуть встановлюватися 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 мікровимикачі 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 кабріолетах. Інфрачервоні датчики являють собою пару приймач-

випромінювач і монтується 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 імобілізації дуже залежить від скритності розміщення реле і немаркованих проводів у джгуті. Скритність потрібна щоб унеможливити шунтування створюваних цими пристроями розривів в ланцюзі;
- програмною імобілізацією, 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 імобілайзер 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, імобілайзер вносить розриви в ланцюгу керу-

вання 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.

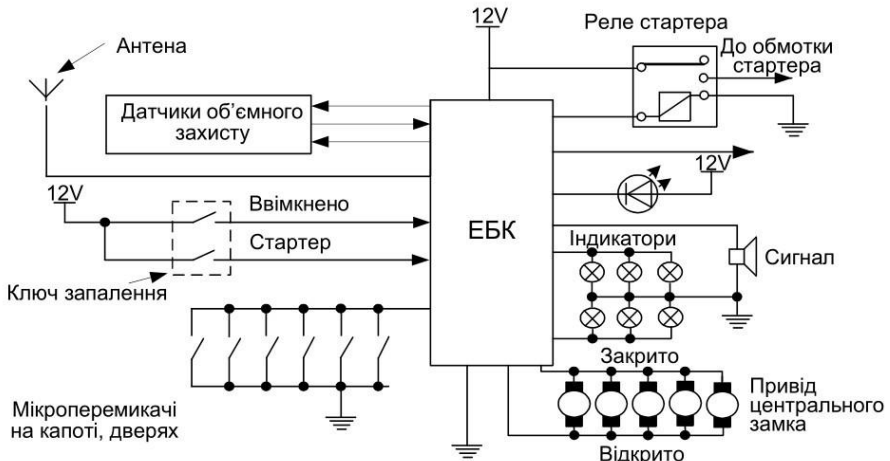


Рисунок 14.1 - Блок-схема базової протиугінної системи

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 кнопочних 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 Anli-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 визнає 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 спрацювання 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.

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 хара-

ктерний 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 котушка. В обмотці котушки 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 жив-

лення. 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.

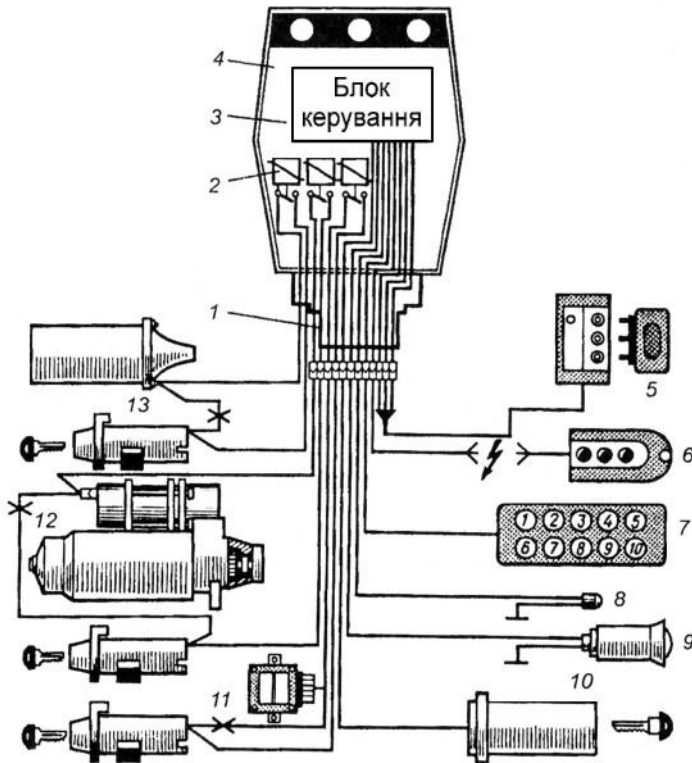
Інфрачервоний датчик (infrasonic sensor) оберігає тільки салон автомобіля. Його дія основана на реєстрації інтерференційної картини хвиль інфрачервоного діапазону. Цей датчик здатний контролювати закриті приміщення великого об'єму, тому рекомендується для встановлення в салонах мікроавтобусів, фургонів 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 спрацьову-

вання, 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).



- 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 імобілайзера

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, катушки 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 пристроєм 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. Таке виконання оболонки іммобілайзера називають броньованим. Якщо зловмисникові 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 обплетення, 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 замінювати батарейку в брелоку, а це додаткові витрати. Якщо на 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 вироби 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.

Робота охоронної системи з дистанційним керуванням.

Система дистанційного керування дозволяє керувати протиугін-

ним 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.

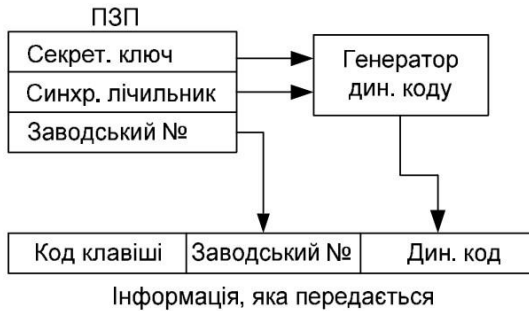


Рисунок 14.3 - Алгоритм роботи передавача

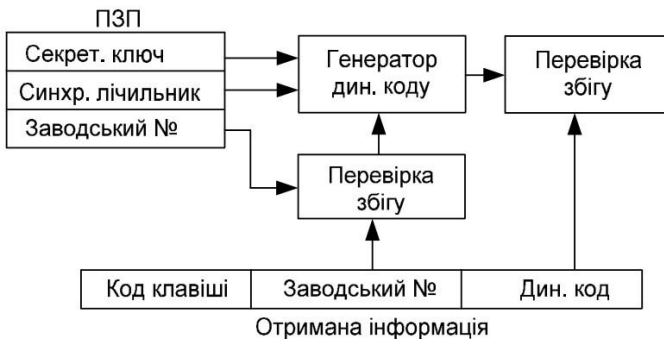


Рисунок 14.4 - Алгоритм роботи приймача

При натисненні кнопки брелока (передатчика) (sender) його мік-

росхема 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.

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 посиленні 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^i комбінацій кодових сигналів.

З іншого боку, з'явилися інтелектуальні граббери, які зламують протиугінні системи з динамічним кодом і одностороннім передаванням інформації. Вони працюють так. Перша послілка 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 послілку, блокує її приймання приймачем, а потім посилає першу послілку. Протиугінна система вмикається. В потрібний час викрадач її відключить записаною граббером другою послілкою. Можливим методом боротьби проти цього алгоритму роботи граббера є використання двонаправленого передавання інформації.

ції 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.

Допоміжні пристрої охоронних систем.

На даний час широке розповсюдження отримали механічні протиугінні пристрої - замки, які забезпечують надійне блокування важеля перемикавання 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 запірна дуга 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 ключам, 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 картонки. Секретний номерний ключ має 5 ступенів захисту:

- від підробки 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 протигугінним 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 спрацювання сигнального пристрою.

Системи визначення місцезнаходження автомобілів та навігаційне устаткування. Класифікація та характеристика систем 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.

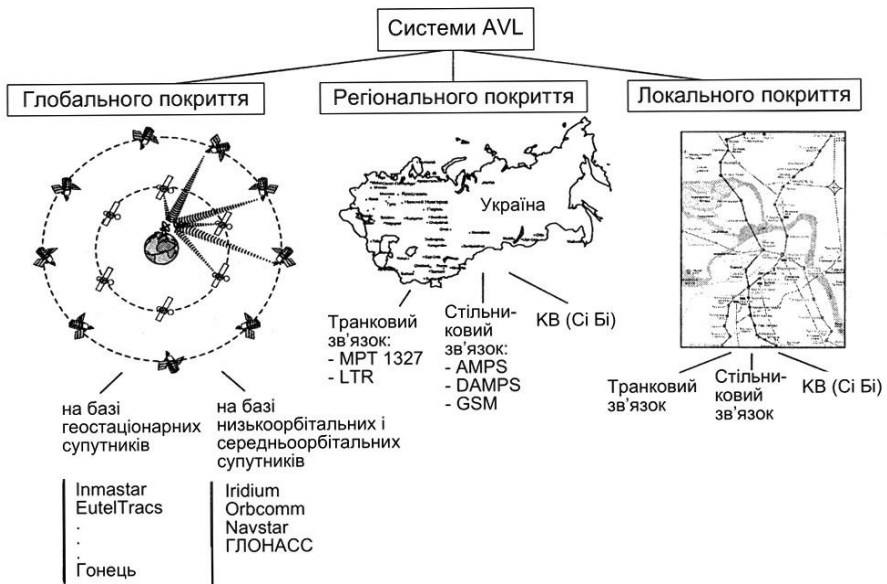


Рисунок 14.5 - Класифікація AVL-систем за територією обхвату

З погляду реалізації функцій місцезнаходження системи AVL характеризуються такими технічними параметрами, як точність визначення місцезнаходження і періодичність уточнення даних. Очевидно, і 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 km). 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 усієї 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 комплекту 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 переміщення 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 відкри-

вання 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.

Методи визначення місця розташування транспортних засобів, які використовуються в AVL-системах.

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 датчи-

ками 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, основані 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.

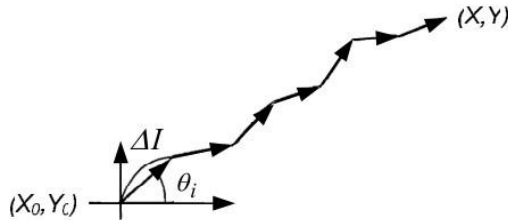


Рисунок 14.6 - Визначення координат автомобіля методом навігаційного обчислення

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 вісь X означає напрямок схід - захід, а Y - 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.

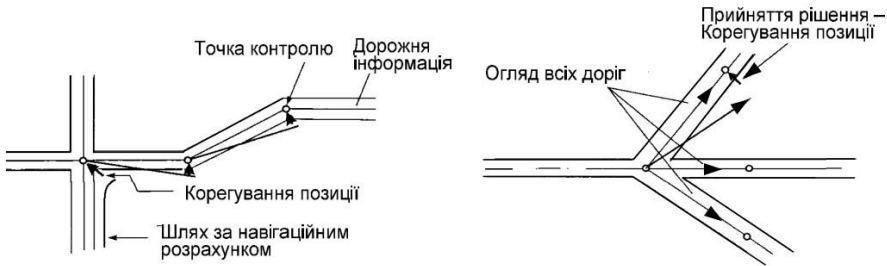
В цьому випадку виникає систематична похибка у визначенні напрямку руху автомобіля. Паразитне магнітне поле компенсується додатковими магнітами поблизу компаса.

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 приходить коректувати координати, визначені цим методом кожні 10-15 км. Ситуацію спасе 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.



а - корегування шляху, б - вибір шляху на перехресті доріг

Рисунок 14.7 - Корегування і вибір шляху

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.

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.

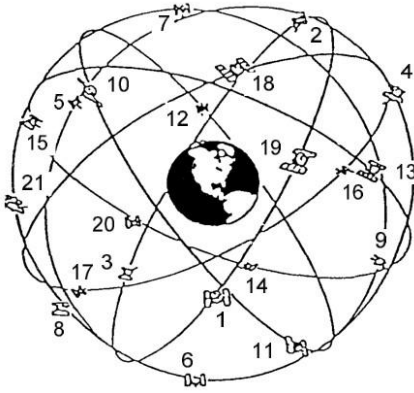


Рисунок 14.8 - Супутникова система Navstar

Вона складається з 18 основних та 3 запасних супутників на навколоземних 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.

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 P_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.

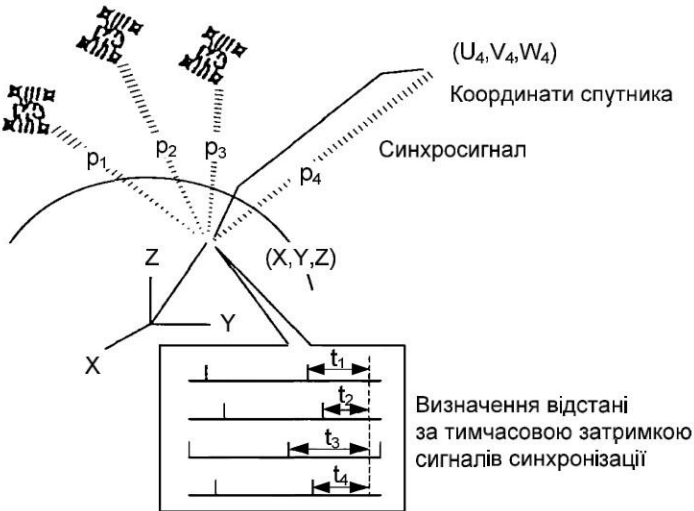


Рисунок 14.9 - Визначення координат за допомогою GPS

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 навіга-

- ційних супутників (НС),
- контролю і керування (ПКК) наземний командно-вимірювальний комплекс (КВК) або центр керування,
- апаратура споживача (АС) СРНО (прийоминдикатори (ПІ)).

Множина видів прийоміндикаторів СРНО забезпечує потреби наземних, морських, авіаційних та космічних (в межах ближнього космосу) споживачів.



Рисунок 14.10 - Принцип дії супутникової навігації

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.

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 пропускної 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.

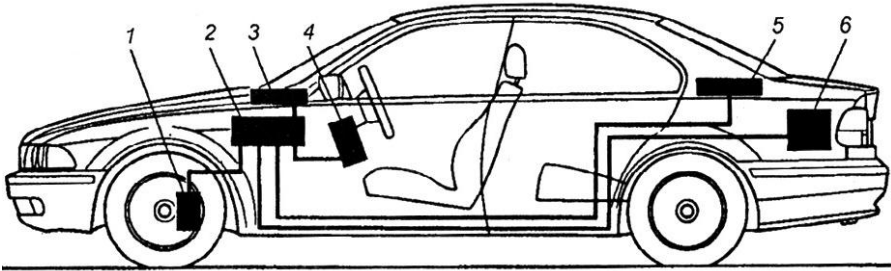
Підсистема контролю і керування являє собою комплекс наземних засобів - КНЗ, які забезпечують спостереження і контроль за траєкторіями руху НС, якістю функціонування їх апаратури, керування режимами її роботи і параметрами супутникових радіосигналів, складом, об'ємом та дискретністю переданої із супутників 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.

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 непрямыми 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 виграєти.

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 простоям 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.

Інформаційні контрольно-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.



Рисунок 14.12 - Структура інформаційної системи транспортного засобу

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 контрольно-вимірювальної апаратури автомобіля, головною умовою застосування якої є забезпечення безпеки дорожнього руху.

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.

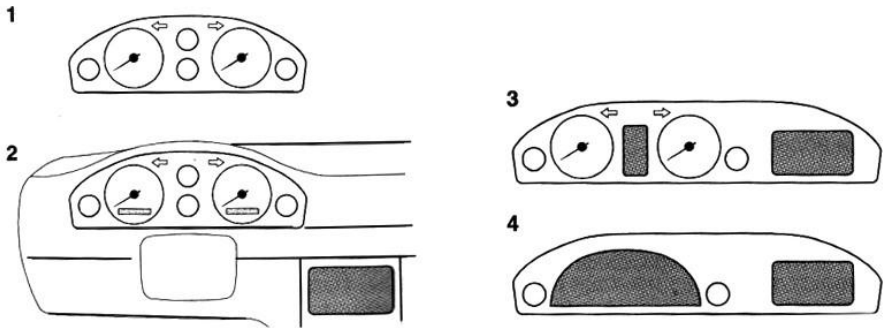
Контрольно-вимірювальні прилади та засоби бортової діагностики.

Водії повинні обробляти постійно зростаючий потік інформації, яка поступає від власного та інших автомобілів, дороги та засобів зв'язку. Все це повинно передаватись 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 них зонах визначається областю значень корисної і бажаної інформації для користувача. Інформація про динаміку руху автомобіля, на яку водій повинен реагувати, відображається на щитку приладів.

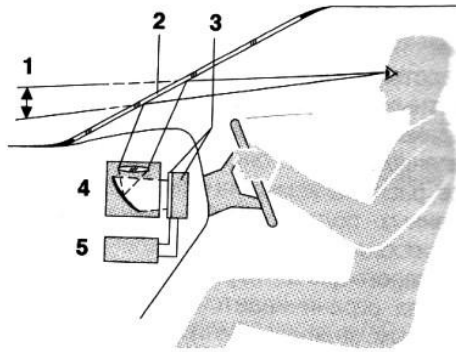
Проекційний бортовий індикатор (head-up display (HUD)), за допомогою якого інформація відображається на вітровому склі, особливо ефективний для передачі інформації при збереженні основної уваги водія на дорожній ситуації, наприклад, у випадку необхідності відображення попереджень системи адаптивного 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 проекційного 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 колінчатого вала двигуна, індикація відмов або необхідності технічного обслуговування і ремонту на матричному дисплеї.

Навіть оперативні діагностичні функції є стандартними і займають важливу частину запам'ятовуючого пристрою програми. Застосовувані в сучасних комбінаціях приладів системи шин (каналів переда-

чі інформації) використовуються як інтерфейси між різними системами автомобіля (наприклад, контролер зв'язку з двигуном, бортовим контролером зв'язку і шиною діагностування).



Рисунок 14.15 - Блок-схема функціонування комбінації приладів з використанням бортового контролера зв'язку CAN

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 виведенням результатів на дисплей водієві та у бортовий накопичувач для подальшого прогнозування і обліку ресурсу та напруження 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.

Параметри, що контролюються

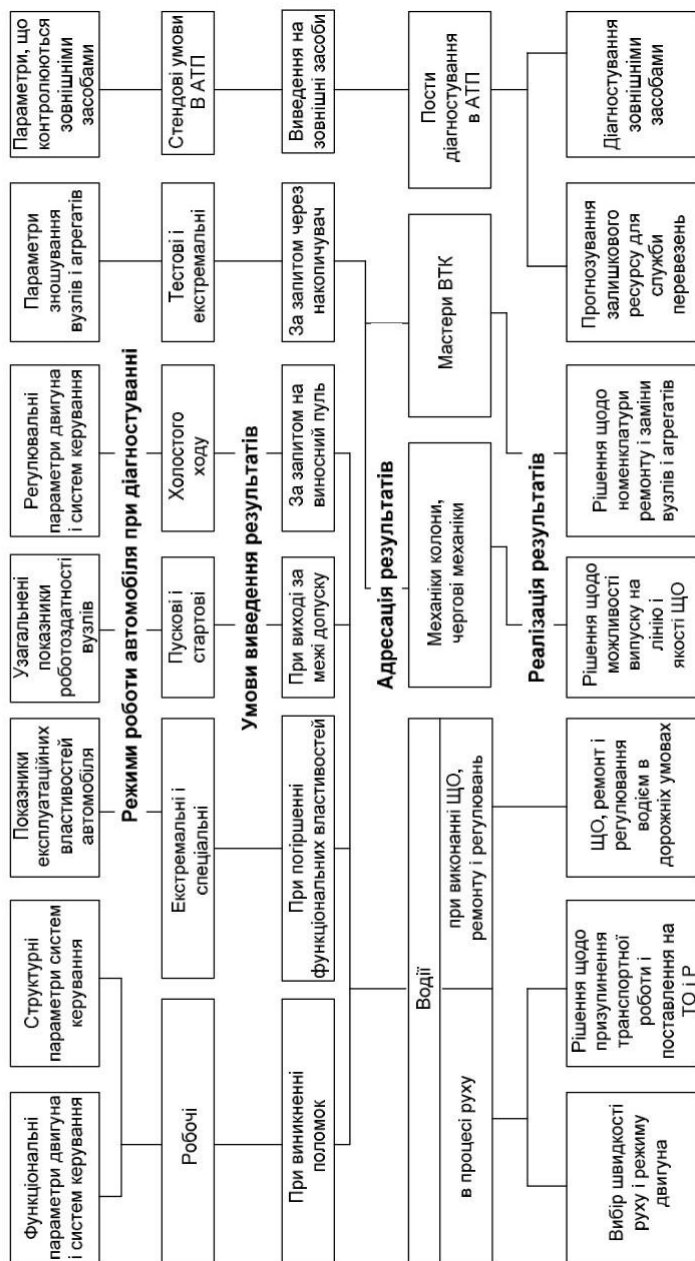


Рисунок 14.16 - Можливості й сфера контролю технічного стану вмонтованими засобами



Рисунок 14.17 - Класифікація вбудованих засобів діагностування

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).

Замість контролю структурних параметрів, які безпосередньо і однозначно відбивають рівень зношування деталі або роботоздатності вузла, у них за результатами вимірів функціональних параметрів обчислюються узагальнені комплексні показники роботоздатності 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 апаратурна 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.

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 перемикавання 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 більш високу швидкість їх передавання, ніж в стандартних інтерфейсах, без створення додаткових перешкод для центрального процесора. Число штирьових 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.

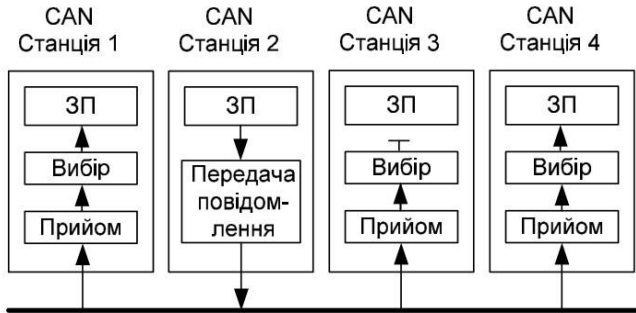


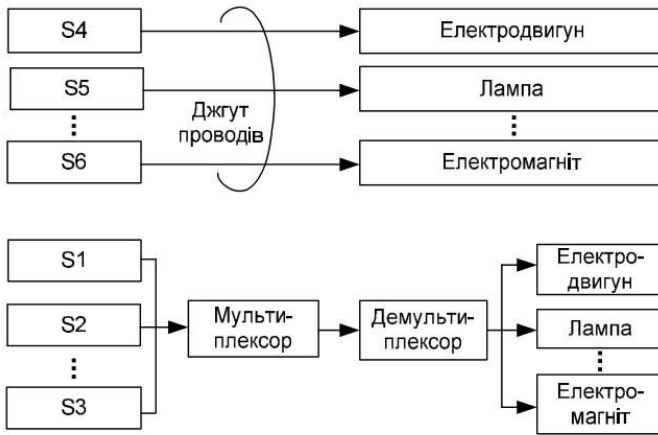
Рисунок 14.18 - Послідовна передача даних з використанням контролера CAN

Швидкість передачі даних 50-125 кбіт/с є достатньою за умови, що немає необхідності в передачі даних цифрової звукової чи навігаційної системи. Діагностування CAN ґрунтується 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). Колись ці сигнали передавалися по численних проводах.

Приклад мультиплексної 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

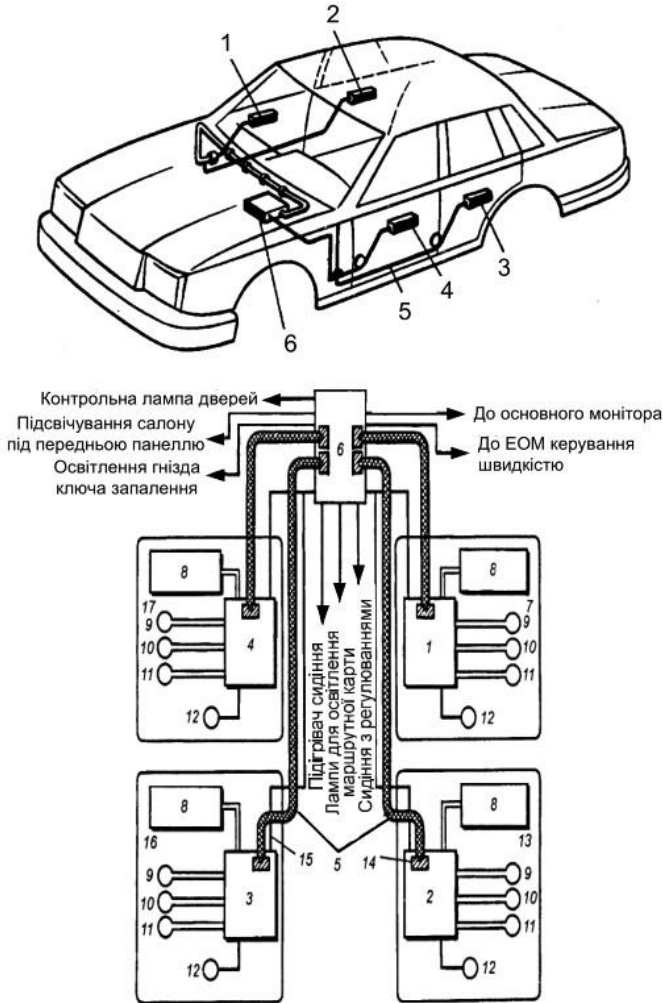
Рисунок 14.19 - Традиційна та мультиплексна системи зв'язку

Передача даних між ЕБК здійснюється стартоостопним 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 стартоостопний 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.

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.



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

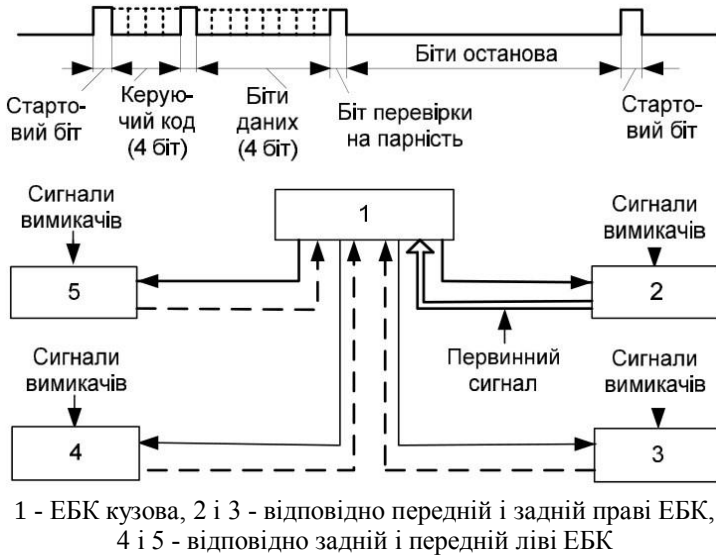
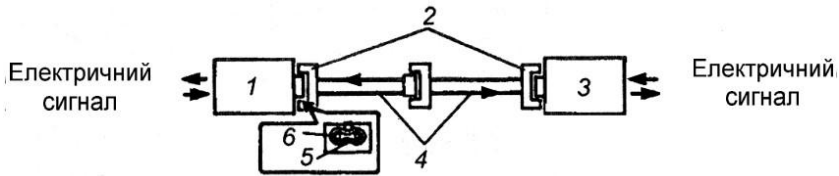


Рисунок 14.21 - Формат даних



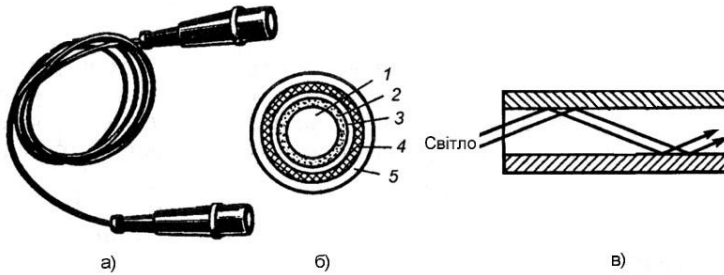
1 - оптичний приймач (передавач), 2 - оптичний з'єднувач,
3 - оптичний передавач (приймач), 4 - світловод,
5 і 6 - відповідно передавальний і приймальний канали

Рисунок 14.22 - Система оптичного зв'язку

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. Але пластмасові світловоди майже не ламаються при вигинах, дешеві та забезпечують простоту з'єднання (рис. 14.23).

Поширення світла досягається використанням матеріалів з різ-

ними 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

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 дви-

гуна, 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.

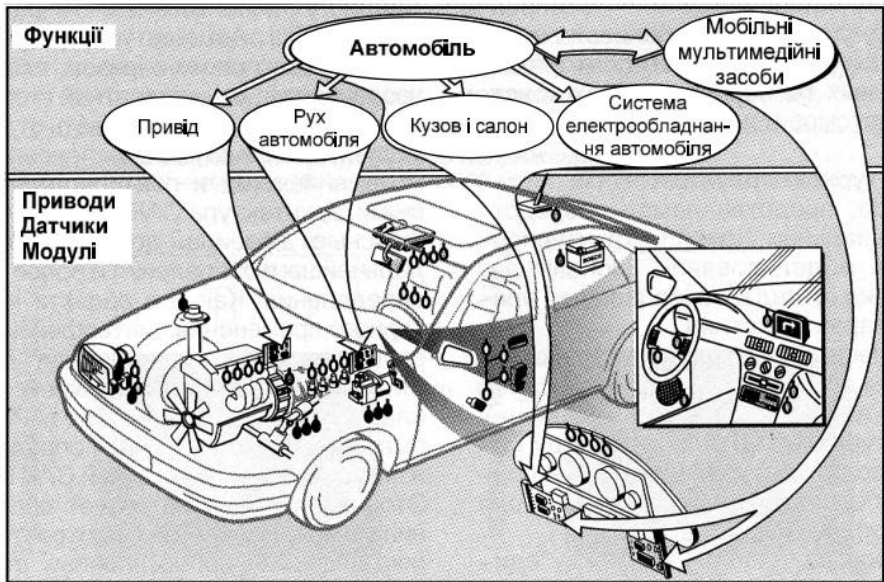


Рисунок 14.24 - Апаратна технологія системи CARTRONIC

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.

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?

ЛЕКЦІЯ № 15. БЕЗПІЛОТНІ АВТОМОБІЛІ

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

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

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 поїздки 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.

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.

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.



Рисунок 15.1 - Бачення індустрії безпілотних автомобілів від компанії General Motors в 1950-і роки

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 ролику 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 наставляє машину на електронну смугу управління в центральній смузі.

Оператор програмує маршрут безпілотника 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.



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

«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 XX століття. Однак інвестиції були витрачені не даремно.



Рисунок 15.3 - Автоматизований Mercedes-Benz Vario

До середини 90-х світу були представлені два роботизованих безпілотника - 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 авто-

мобільного 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 автопотоку.

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 робомобілів 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, зайло педаль газу, навігатор направив в пірву 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 робомобілі? 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. Раціональніше 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 авто-

мобіль 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.



Рисунок 15.5 - Недалеко від офісу Google

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 «фручка» 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.

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 розрахунку 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.

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.



Рисунок 15.6 - Напрямок самокерованих машин зараз займаються всі великі автовиробники

Те ж саме відбудеться і з машинами без водіїв.

На сьогоднішній день приблизно три чверті вартості транспортних послуг - це людина за кермом (зарплата, страховка), 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 простій 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».



Рисунок 15.7 - А для когось «близьке майбутнє» вже настало

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 сидати 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 ощадливим німцем на смітник, а тепер отримав нове життя в якості громадського транспорту, причому не де-небудь, а в самому центрі Європи. Таке життя...

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).

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 15.8 - Лідари Velodyne на даху безпілота



Рисунок 15.9 - Лідари на безпілотному автомобілі Яндекс



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 встано-

влюється 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 кольорні сигнали світлофорів, об'єкти, які наближаються на потенційно небезпечну відстань. На сучасних безпілотах зазвичай встановлено від 1 до 3 відеокамер.

У багажнику безпілотного автомобіля 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 безпілотних автомобілів:

- 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 поводитимуться 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 зупинятися 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 ви-

никненні підвищеної небезпеки як для учасників руху, так і для самої автоматизованої машини.

Полігони для випробування роботів-автомобілів.

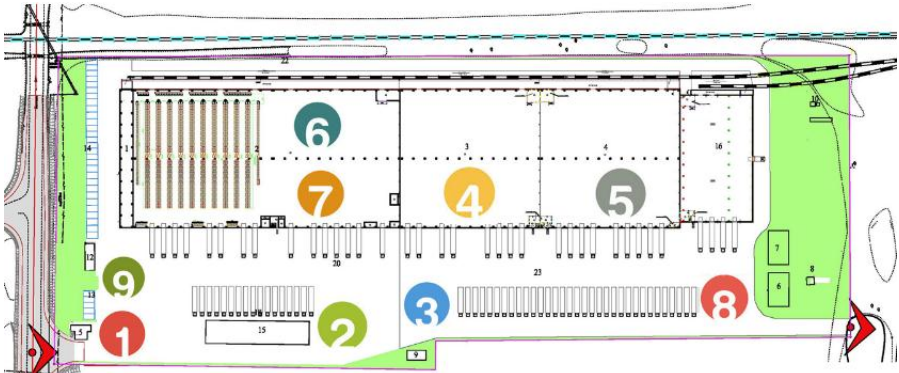
У 2015 році в США був побудований полігон M-City спеціально для випробувань роботів-автомобілів. Побудоване Центром трансформації транспорту (Mobility Transformation Centre) при Мічиганському Університеті "місто", зайняло 13 гектарів. Городок імітує нещільну приміську забудову, характерну для США. Будинки 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.



Рисунок 15.13 - Полігон M-City для випробувань роботів-автомобілів при Мічиганському Університеті

В Росії тестування автономних вантажівок ведеться на полігоні, побудованому в підмосковному Шахово. Експериментальний майданчик побудований холдингом TIS на замовлення транспортної компанії Traft. 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.



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 в підмосковному Шахово

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 експлуа-

тації 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? Чис 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 мріяти 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 поганой погоди безпілотник з лідаром не зможе безперешкодно долати відстані - система не функціонує ні в тумані, ні в снігопад. Крім іншо-

го, 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 лідарами. 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 лідарами, радарами 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 будуватиметься 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.

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 місцево-

го 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 Wepods. Якщо раніше для тестування безпілотників створювалася спеціальна інфраструктура, в якій не було складних розв'язок, то в мі-

сті 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 Арма 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.

Покататися на безпілотному автобусі вже можна і в Росії. На

полігонах вже проходять успішні тестування безпілотного модуля, розрахованого на 20 пасажирів. Розробкою технології займається компанія Bakulin 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. BMG 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 миттєво. 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.

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.



Рисунок 15.19 - Безпілотний мікроавтобус Шаттл (КамАЗ-НАМИ)

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.

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.



Рисунок 15.20 - Автономна вантажівка Plus.ai на дорогах Америки

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 міс-

та Тьюлара, штат Каліфорнія, в Квакертан, 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 довелося 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. 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 переконалися жителі Норвегії, завдяки угоді між норвезькою поштовою службою Posten-Norge і компанією, яка розробила робота-листоношу.



Рисунок 15.21 - Робот-листоноша компанії Buddy Mobility

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 вво-

дить 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 роботомобілям, 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.

Вимоги до безпілотних постачальників з боку каліфорнійської влади уніфіковані з уже існуючими вимогами до легкових роботомобілів, 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 роботомобіля 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 по-

рядку взаємодії з правоохоронними органами в разі надзвичайної ситуації.



Рисунок 15.22 - Робо-доставщик товарів R1

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.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Базова

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 Kaltjob. Mechatronic Systems and Process Automation. Boca Raton : CRC Press, 2018. 468 p.

Допоміжна

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 электрон-

- ные 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. Сырямкин В. И. Интеллектуальные робототехнические и мехатронные системы. Томск : Томский гос. ун-т, 2017. 256 с.
 34. Бектайл Дж. Конструируем роботов. Дроны. Руководство для на-

- чинающих. 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., Синицын 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: 27.12.2019).
67. Mechatronics - an international journal. <https://www.journals.elsevier.com/mechatronics> (дата звернення: 27.12.2019).

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: 27.12.2019).
69. Robotics. <https://curlie.org/Computers/Robotics> (дата звернення: 27.12.2019).
70. IEEE Robotics and Automation Society. <http://www.ieee-ras.org> (дата звернення: 27.12.2019).
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: 27.12.2019).
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: 27.12.2019).
73. Automotive Electronic Systems Clemson Vehicular Electronics Laboratory Website <http://www.cvel.clemson.edu/auto/systems/auto-systems.html> (дата звернення: 27.12.2019).
74. Seattle Robotics «What is a Servo?». <http://www.seattlerobotics.org/guide/servos.html> (дата звернення: 27.12.2019).
75. Different types of servo motors. <http://www.servotronix.com/servomotors.html> (дата звернення: 27.12.2019).
76. Automotive Manufacturing Engineering Overview.
<http://www.automotiveengineeringhq.com/automotive-manufacturing-engineering/> (дата звернення: 27.12.2019).
77. Engineering Synergy. <http://myengineeringsystems.co.uk/> (дата звернення: 27.12.2019).
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: 27.12.2019).
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: 27.12.2019).