

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

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

2020

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.

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

Рецензент: О.С. Слюсаров, доцент, канд.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

Вступ	4
1 Робоча програма дисципліни	5
2 Методичні вказівки.....	9
2.1 Загальні вказівки. Мета викладання дисципліни.....	9
2.2 Задачі вивчення дисципліни	9
2.3 Загальні рекомендації щодо вивчення дисципліни.....	10
2.4 Методичні вказівки для студентів по освоєнню дисципліни	11
2.4.1 Тема 1. Вступ до курсу	12
2.4.2 Тема 2. Історія розвитку механічних, електронних і мехатронних систем.....	15
2.4.3 Тема 3. Сучасні мехатронні системи в різних сферах людської діяльності	17
2.4.4 Тема 4. Структура і принципи побудови мехатронних систем.....	20
2.4.5 Тема 5. Мехатронні модулі.....	22
2.4.6 Тема 6. Мехатронні системи.....	24
2.4.7 Тема 7. Інформаційні технології в мехатроніці	26
2.4.8 Тема 8. Автомобіль як складна мехатронна система	28
2.4.9 Тема 9. Системи керування автомобільними двигунами	30
2.4.10 Тема 10. Системи керування трансмісією автомобілів....	34
2.4.11 Тема 11. Системи керування підвіскою автомобілів	38
2.4.12 Тема 12. Системи керування гальмовими системами автомобілів.....	41
2.4.13 Тема 13. Системи управління мікрокліматом в салоні та рульового керування автомобілів	44
2.4.14 Тема 14. Допоміжні та контрольно-діагностичні системи автомобілів.....	46
2.4.15 Тема 15. Безпілотні автомобілі.....	48
3 Завдання на контрольні роботи	51
3.1 Список варіантів контрольних робіт.....	52
4 Контрольні заходи з перевірки якості засвоєння навчального матеріалу дисципліни	56
5 Рекомендована література	57
Базова	58
Допоміжна	58
6 Інформаційні ресурси	61

ВСТУП

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

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

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

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

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

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

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

Даний лекційний курс «Основи мехатроніки» є вступом до такої

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

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

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

1 РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

Наведені назви змістових модулів та найменування тем дисципліни для самостійного вивчення. Навчальним планом дисципліни, для самостійного вивчення тем лекцій, передбачено час для студентів денної форми навчання - 70 годин, заочної – 97 годин.

Далі для кожної теми вказано час самостійної роботи студентів денної форми навчання. Також наведений перелік питань, які повинні бути самостійно розглянуті студентом при вивченні обраної теми.

Змістовий модуль 1. Промислова робототехніка.

Тема 1. Вступ до курсу (2 год.)

Поняття про мехатроніку. Мета і предмет мехатроніки як галузі науки і техніки. Поняття мехатронних технологій. Функціональні та технічні показники мехатронних модулів. Службові та функціональні завдання мехатронних машин і систем.

Тема 2. Історія розвитку механічних, електронних і мехатронних систем (2 год.)

Механічні пристрої в доісторичні часи. Передісторія робототехніки. Середньовічні автомати. Поява і розвиток систем автоматичного керування зі зворотним зв'язком. Розвиток транспортних мехатронних систем. Поява нового науково-технічного напрямку - робототехніки. Поява терміну «мехатроніка».

Тема 3. Сучасні мехатронні системи в різних сферах людської діяльності (2 год.)

Загальна класифікація робіт. Класифікація промислових робіт. Робототехнічні комплекси. Мехатроніка в медицині. Мехатронні пристрої комп'ютерів. Побутові мехатронні пристрої. Мехатронні системи на транспорті. Роботи військового призначення. Технологічні машини-гексаподи.

Тема 4. Структура і принципи побудови мехатронних систем (2 год.)

Основи конструювання мехатронних систем. Рівні інтеграції в мехатронних системах. Місце інтерфейсу в структурі мехатронної системи. Суть мехатронного підходу в побудові системи. Алгоритм паралельного проектування мехатронних систем. Метод виключення проміжних перетворювачів та інтерфейсів. Метод об'єднання елементів мехатронного модуля. Метод перенесення функціонального навантаження на інтелектуальні пристрої.

Тема 5. Мехатронні модулі (2 год.)

Класифікація мехатронних модулів. Перетворювачі руху: рейкові, планетарні, хвильові зубчасті передачі; передачі типу гвинт-гайка, передачі з гнучким зв'язком. Напрямні елементів механізму. Гальмівні пристрої і механізми для вибірки люфтів. Електродвигуни мехатронних модулів. Силові перетворювачі. Мікропроцесорні системи управління. Інтеграція мехатронних модулів. Мікромехатронні пристрої.

Тема 6. Мехатронні системи (2 год.)

Інформаційні пристрої мехатронних систем: датчики положен-

ня, швидкості і технологічних параметрів. Завдання управління координованими рухами машин. Ієрархія управління в мехатронних системах. Системи управління виконавчого, тактичного і стратегічного рівнів. Інтелектуальні методи управління.

Тема 7. Інформаційні технології в мехатроніці (2 год.)

Дистанційне керування мехатронними системами з використанням Інтернету. Переваги та обмеження дистанційного керування. Вимоги до роботехнічних систем з керуванням по глобальній мережі. Середовища розробки програм для керування технічними об'єктами і технологічними процесами.

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 керу-

вання підвіскою. Керовані системи різних типів автомобільних підвісок. Електронне керування жорсткістю підвіски, амортизаторами та регулювання висоти кузова.

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

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

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

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

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

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

Тема 15. Безпілотні автомобілі (2 год.)

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

2 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

2.1 Загальні вказівки. Мета викладання дисципліни

Метою викладання дисципліни є формування знань, умінь і навичок науково-дослідницької роботи і здійснення інноваційної діяльності із застосуванням мехатронних і робототехнічних систем, та систем управління мехатронними і робототехнічними модулями та системами. Оскільки мехатроніка це напрямок сучасної науки, техніки і технології, який виключно динамічно розвивається, а отже і визначає вигляд техносфери нового століття. Головне завдання мехатроніки полягає в створенні інтелектуальних машин і рухомих систем, які мають якісно нові функції та властивості.

«Від механіки до мехатроніки» - така провідна тенденція розвитку сучасного машинобудування. Ця тенденція особливо чітко проявляється при створенні інтелектуальних роботів і реконфігурованого обладнання, нового покоління 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 професійного і повсякденного життя сучасної людини.

2.2 Задачі вивчення дисципліни

Задача навчальної дисципліни полягає у формуванні у студентів знань про основні поняття і перспективи розвитку мехатроніки і робототехніки, та знань про устрій і основні принципи конструювання універсальних, спеціальних промислових роботів і мехатронних систем.

У результаті вивчення курсу «Основи мехатроніки» студент повинний **знати**:

- що є предметом мехатроніки, де науково-технічна «ніша» мехатроніки і яким чином вона взаємодіє з іншими областями спеціальних знань;
- чому напрямок мехатроніки настільки швидко розвивається в сучасному світі, які його мета і перспективи;
- як відбувається створення сучасних мехатронних систем;
- в чому полягає суть методу мехатроніки і які процеси лежать в основі мехатронних технологій;
- знати конструктивні рішення і технічні параметри мехатронних модулів застосовуються в автомобілебудуванні.

Вміти:

- самостійно збирати, обробляти, аналізувати та систематизувати науково-технічну інформацію в сфері мехатроніки і робототехніки;
- застосовувати необхідні для побудови моделей знання принципів дії і математичного опису складових частин мехатронних і робототехнічних систем;
- проводити розрахунки основних мехатронних модулів автомобіля (трактора), аналізувати отриману інформацію;
- застосовувати отримані теоретичні знання при розв'язку практичних завдань у виробничій діяльності.

2.3 Загальні рекомендації щодо вивчення дисципліни

Вивчення дисципліни «Основи мехатроніки» базується на знаннях наступних курсів: «Вища математика», «Фізика», «Автомобілі. Основи конструкції», «Деталі машин», «Опір матеріалів», «Теорія автоматичних систем автомобіля», «Робочі процеси автомобіля», «Теоретичні основи теплотехніки», «Основи САПР в автомобілебудуванні».

В процесі викладання дисципліни, в якості технічних засобів, використовується клас, обладнаний персональними комп'ютерами типу IBM PC, та матеріально-технічне забезпечення кафедри Автомобілі: розрізи двигунів автомобілів, дослідні стенди, вимірювальне обладнання та інструмент. Успішне вивчення дисципліни передбачає також використання сучасних інформаційних технологій (Internet).

2.4 Методичні вказівки для студентів по освоєнню дисципліни

Викладання дисципліни передбачає наступні форми організації навчального процесу: лекції, практичні заняття, самостійну роботу студента, консультації.

Робота на практичних заняттях передбачає активну участь студента в освоєнні поставлених завдань. Для підготовки до занять рекомендується звертати увагу на проблемні питання, що піднімаються викладачем під час лекції, і групувати інформацію навколо них.

Багато виділяти у використовуваній літературі постановки питань, на які різними авторами можуть бути дані різні оцінки. На підставі постановки таких питань слід обирати аргументи на користь різних варіантів вирішення поставлених проблем.

У текстах авторів, таким чином, слід виділяти наступні компоненти:

- постановка проблеми;
- варіанти рішень;
- аргументи на користь тих або інших варіантів рішень.

На основі виділення цих елементів простіше становити власну аргументовану позицію по розглянутому питанню. При роботі з невідомими термінами необхідно звертатися до словників, у тому числі доступних в Інтернеті.

При написанні рефератів (контрольних робіт), у матеріалі слід виділити невелику кількість (не більше 5) проблем, що зацікавили Вас, і згрупувати матеріал навколо них. Слід домагатися чіткого розмежування окремих проблем і виділення їх часткових моментів.

При підготовці до лабораторних занять Вам може знадобитися матеріал, що вивчався раніше, тому варто звертатися до відповідних джерел (підручників, монографій, статей). Письмова домашня робота й завдання можуть бути індивідуальними й загальними.

При підготовці до іспиту необхідно опиратися насамперед на лекційні заняття, а також на джерела, які розбиралися на заняттях протягом семестру.

Самостійна робота студента виконується за завданням і при методичному керівництві викладача, але без його особистої участі. Самостійна робота підрозділяється на самостійну роботу на аудиторних заняттях і на позааудиторну самостійну роботу.

Самостійна робота студента включає як повністю самостійне освоєння окремих тем (розділів) дисципліни, так і пророблення тем (розділів), освоюваних під час аудиторної роботи. Під час самостійної роботи, студенти читають і конспектують навчальну, наукову й довідкову літературу, виконують завдання, спрямовані на закріплення знань і відпрацьовування вмінь і навичок, готуються до поточного й проміжного контролю по дисципліні.

При вивченні тем курсу наведених нижче, студентові необхідно повторити лекційний навчальний матеріал, вивчити рекомендовану літературу, а також навчальний матеріал, наявний в зазначених інформаційних ресурсах.

На завершальному етапі вивчення кожного модуля необхідно, скориставшись запропонованими питаннями для самоконтролю, перевірити якість засвоєння навчального матеріалу. У випадку утруднення у відповідях на поставлені питання рекомендується повторити навчальний матеріал.

Після вивчення всіх модулів приступити до виконання контрольної роботи, керуючись методичними рекомендаціями з її виконання.

По завершенню вивчення навчальної дисципліни в семестрі студент зобов'язаний пройти проміжну атестацію. Вид проміжної атестації визначається робочим навчальним планом. До проміжної атестації допускаються студенти, що виконали вимоги робочого навчального плану.

2.4.1 Тема 1. Вступ до курсу

Література: [1], [5]-[11], [18]-[20], [22]-[44].

Сам термін «мехатроніка» з'явився в 1969 р. у Японії, де активно проводилася розробка прецизійних електроприводів для верстатів із програмним керуванням та оброблювальних центрів. Автором терміна є Тецуро Морія (Tetsuro Moria) - старший інженер компанії «YASKAWA ELECTRIC».

Цей термін був їм уведений для позначення робочих органів, що здійснювали надавання руху машин і агрегатів, електромеханічних пристроїв з електродвигунами, керованими електронними напівпровідниковими перетворювачами й представляв комбінацію слів «механіка» і «електроніка». У СРСР, Німеччині й у деяких інших країнах при-

строї перетворення електричної енергії в механічну, для надавання руху робочих органів (виконавчих механізмів), починаючи з 30-х років минулого сторіччя одержали назву «електричний привод».

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

Поширеним графічним символом мехатроніки (рис. 1.3) стала діаграма з веб-сайту RPI (Rensselaer Polytechnic Institute, NY, USA).

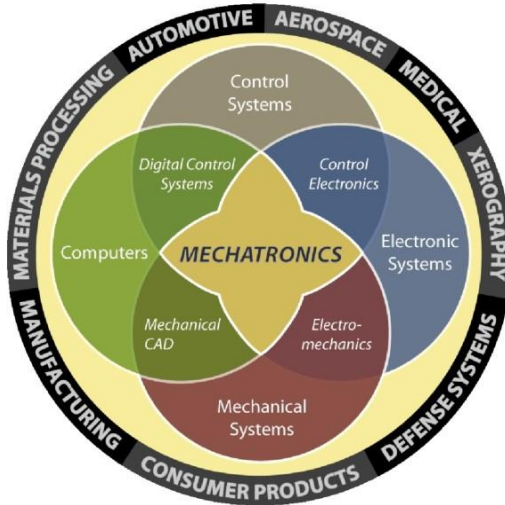


Рисунок 2.1 - Міжнародний графічний символ мехатроніки

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

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

Функціональний рух мехатронної системи передбачає її цілесп-

рямоване механічне переміщення, яке координується з паралельно керованими технологічними й інформаційними процесами. Таким чином, поняття «рух» трактується в даному визначенні мехатроніки широко. Давньогрецькі філософи розуміли під рухом тіла всяку його зміну взагалі: від зміни розмірів, кольору й температури до виникнення й знищення. Але все-таки основою функціональних рухів у мехатроніці служить механічне переміщення системи в просторі й у часі. Вимоги до показників якості виконання функціональних рухів (по точності, швидкості) визначаються службовим призначенням машини.

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

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

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

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

Питання для самоперевірки

1. Коли вперше з'явився термін мехатроніка?
2. Що таке мехатронний модуль?
3. На чому заснований метод мехатроніки?
4. Що таке мехатронні технології?
5. Яка роль мікропроцесора в мехатронній системі?

2.4.2 Тема 2. Історія розвитку механічних, електронних і мехатронних систем

Література: [1], [6] - [11], [22], [27] - [38].

Коріння складної механіки сягають глибокої давнини. Уже тоді вперше виникли ідеї і були зроблені перші спроби створення людиноподібних технічних пристроїв, рухливих культових статуй, механічних слуг, тощо. Статуї богів з рухомими частинами тіла (руки, голова) з'явилися ще в Давньому Єгипті, Вавилоні, Китаї.

В «Іліаді» Гомера божественний коваль Гефест виконує механічних служниць. Арістотель згадує про ляльок-маріонеток, що приводяться в рух за допомогою ниток, з яких створювалися цілі механічні театри. До нас дійшли книги Герона Олександрійського (I століття н.е.), де описані подібні і багато інших автоматів давнини. Як джерело енергії в них використовувалися вода, пара, гравітація (гіри).

У середні століття великою популярністю користувалися різного роду автомати, засновані на використанні годинникових механізмів. Були створені всілякі годинники з рухомими фігурами людей, янголів і т.п. До цього періоду відносяться відомості про створення перших рухомих людиноподібних механічних фігур - андроїдів. Так, андроїд алхіміка Альберта Великого (1193- 1280) був лялькою в людський зріст, яка, коли стукали в двері, відкривала і закривала їх, кланяючись при цьому тому хто входить.

До речі, в середні століття було висловлено припущення про можливість створення гомункулуса - живого чоловічка засобами алхімії. Створення такого гомункулуса хімічним шляхом в колбі, описав Гете у «Фаусті».

Роботи зі створення андроїдів досягли найбільшого розвитку в 18 ст. одночасно з розквітом годинникової майстерності. Механіками-годинникарями були створені андроїди-музиканти, малювальники, писарі. До них відноситься, наприклад, «флейтист» французького механіка Жака Вокансона (1709-1789) фігура в зріст людини; за допомогою рухомих пальців «флейтист» виконував закладені в його програму 11 мелодій.

Цілий ряд людиноподібних автоматів був створений швейцарськими годинникарями П'єром-Жаком Дро (1721 -1790) і його сином Анрі Дро (1752 - 1791). Від імені останнього, пізніше було утворено і

саму назва «андроїд». Ці людиноподібні іграшки представляли собою програмовані автомати з оперативно змінюваними програмами. Програми задавалися за допомогою змінних кулачків, що встановлюються на барабані який обертається, та інших подібних механічних пристроїв. Привід здійснювався від годинникового механізму.



Рисунок 2.2 - Механічний писар
Анрі Дро



Рисунок 2.3 - Механічний негр-флейтист (XIX ст.,
Паризький національний музей)

З вітчизняних пристроїв подібного типу назвемо знаменитий годинник «яєчної» форми з театральним автоматом І.П. Кулібіна (1735-1818). У 1820 р в Петербурзі був відкритий «Храм чарівності» А.М. Гамулецького, який обслуговувався механічними слугами. У 1866 р І. Мезгін створив «астрономо-історичний» годинник, який незалежно від часу показував чотири сценки з історії міста Томська.

Ідеї створення «механічних» людей, що почали було затухати разом з ослабленням ролі годинникової справи в подальшому розвитку техніки, знову відродилися в 20 ст. на основі електроніки та електротехніки. Так американський інженер Венслі побудував керований на відстані за допомогою свистка автомат «Телевокс», який міг не тільки

виконувати ряд елементарних операцій, але і вимовляти за допомогою звукозаписної апаратури кілька фраз. Англієць Гаррі Мей в 1932 р. створив людиноподібний автомат «Альфа», який по командам, що подаються голосом, сідав, вставав, рухав руками, говорив. Кілька подібних автоматів під назвою «Собор» були побудовані в Австрії Августом Губером. Вони мали управління по радіо, могли ходити, говорити, виконувати різні маніпуляції. В основному подібні пристрої створювали в рекламних цілях, хоча робилися спроби використовувати їх і для різних практичних цілей.

Цікаво нагадати, що в 1937 р. на Всесвітній виставці в Парижі, демонструвався радіокерований рухливий робот, створений радянським восьмикласником В. Машкевічем. На той час вже остаточно «прижився» термін «робот», а ідеї робототехніки все більш енергійно використовувалися в науково-фантастичній літературі.

Питання для самоперевірки

1. Коли почали створювати перших людиноподібних роботів?
2. Як було утворено слово «андроїд»?
3. Що означає термін «автоматичне керування»?
4. Коли з'явилися перші роботи з яких почалася сучасна робототехніка?
5. Коли був вперше використаний термін «зворотний зв'язок»?

2.4.3 Тема 3. Сучасні мехатронні системи в різних сферах людської діяльності

Література: [1], [6] - [11], [22], [27] - [38].

Крім звичайних автомобілів велика увага приділяється створенню легких транспортних засобів (ЛТЗ) з електроприводом (іноді їх називають нетрадиційними). До цієї групи транспортних засобів відносяться електровелосипеди, електроролери, інвалідні коляски, сегвей, електромобілі з автономними джерелами живлення (рис. 2.4).

ЛТЗ є альтернативою транспорту із двигунами внутрішнього згоряння й використовуються в цей час в екологічно чистих зонах (лікувально-оздоровчих, туристичних, виставочних, паркових комплексах), а також у торговельних і складських приміщеннях. Основою для створення ЛТЗ є мехатронні модулі типу «мотор-колесо» на базі, як

правило, високомоментних електродвигунів.



Рисунок 2.4 - Легкі транспортні засоби

Світовий ринок ЛТЗ має тенденцію до розширення. Зараз вже є можливість вибору таких пристроїв. Наприклад, компанія BionX пропонує 5 моделей електровелосипедів (рис. 2.4, а), здатних задовольнити потреби багатьох велосипедистів. Найпоширенішим і зрозумілим критерієм вибору є рівень підтримки або рівень допомоги при педалюванні. Асистентом виступає мехатронна система. У всіх системах BionX можливе використання 4-х рівнів допомоги. Максимальний рівень асистента додасть до зусиль велосипедиста 300 % потужності!

Чим більше рівень підтримки – тим більше енергії споживає система. При виборі моделі й при поїздках необхідно визначитися з тим, що важливіше: дальність поїздки або максимальний рівень підтримки (асистування). На зміну моторолерам приходять *електроролери* (рис. 2.4, б). І це не просто звичайний моторолер, а швидкий, модний та екологічний засіб пересування містом. Знаходять поширення й *сегвейі* (Segway) (рис. 2.4, в).

У боротьбі за виживання в переповнених мегаполісах з їхніми постійними транспортними колапсами електроролери можуть подарувати своїм власникам мобільність. До розробки такого засобу пересування долучилася каліфорнійська компанія Lit C-1. Її двоколісний ролер вміє самостійно утримувати рівновагу.

Якщо вірити експертам, то дуже скоро всіх жителів планети чекає транспортний колапс. Розв'язати проблему можуть електричні ровери. Вони вимагають менше місця на вулиці й споживають відносно мало електрики. Єдиний недолік: у погану погоду пасажир не захищений від дощу, а рух на двох колесах ускладнений.

Тому для всіх скептиків двоколісних транспортних засобів розроблювачі приготували гідну відповідь: модель C-1 каліфорнійського виробника Lit Motors. Мова йде про електроролер з кабіною, у якій можуть розміститися до двох людей (рис. 2.5).

Максимальна швидкість майбутнього електроролера буде понад 160 км/год, але ще більше вражає його дальність поїздки: енергії 8-кіловатного акумулятора вистачить на 320 кілометрів після однієї зарядки. C-1 не є спартанським: на його борті є кондиціонер, ремені й подушки безпеки, повністю функціональні стекла й мультимедійна система з підключенням смартфона й постійним доступом до «хмари» даних. Ізюминкою C-1 є два гіроскопи, які втримують електроролер у вертикальному положенні. C-1 не страшний світлофори, перед якими потрібно зупинятися.



Рисунок 2.5 - Електроролер з кабіною

За даними виробника два гіроскопи усередині розкручуються до 12 000 обертів на хвилину й забезпечують стійкість електроролера навіть під час повної зупинки. Цей механізм працює за принципом дзиги й розроблювачі настільки впевнені у ньому, що гарантують стійкість навіть під час аварії, а під час гальмування гіроскопи забезпечують компенсацію мас.

По заявах виробника в цей час мова йде про прототип, але в 2020 році ситуація кардинально зміниться – C-1 вийде невеликою серією за ціною від 24 000 доларів. Якщо справа дійде до масового виробництва, то ціна понизиться до 16 000 доларів.

Питання для самоперевірки

1. Які мехатронні пристрої є в комп'ютерах?
2. Що відноситься до легких транспортних засобів і чи можна їх віднести до мехатронних систем?
3. У чому полягає особливість електровелосипедів?
4. Що собою являють електроролери?
5. Які основні напрямки розвитку медичної мехатроніки?

2.4.4 Тема 4. Структура і принципи побудови мехатронних систем

Література: [1], [5]-[11], [18]-[20], [22]-[44].

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

На рис. 2.6 представлена узагальнена структура машин з комп'ютерним управлінням (автоматичних роботів), які використовуються в машинобудуванні. Дана схема дозволяє показати принципи побудови мехатронних систем. Зовнішньою середою для машин даного класу є технологічне середовище, яке містить основне і допоміжне обладнання, технологічне оснащення та об'єкти робіт.

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

Зовнішні середовища ділять на два основні класи: детерміновані і недетерміновані. До детермінованих відносяться середовища, для яких параметри збурюючих впливів і характеристики об'єктів робіт можуть бути заздалегідь визначені з необхідною точністю для проектування мехатронних систем. Деякі середовища є недетермінованими за своєю природою (наприклад, екстремальні середовища: підводні,

підземні, тощо). Характеристики технологічних середовищ можуть бути визначені за допомогою аналітико-експериментальних досліджень і методів комп'ютерного моделювання.

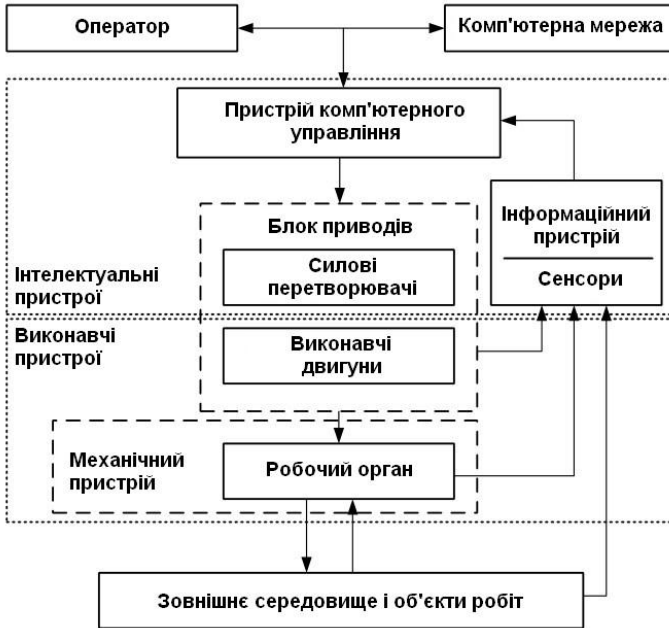


Рисунок 2.6 - Узагальнена схема машини з комп'ютерним управлінням рухом

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

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

виконання операції. До складу традиційної машини входять наступні основні компоненти: механічний пристрій (кінцева ланка - робочий орган; блок приводів, що включає силові перетворювачі і виконавчі двигуни, устрій комп'ютерного управління, верхнім рівнем для якого є людина-оператор, або інша ЕОМ, що входить в комп'ютерну мережу; сенсори, призначені для передачі в пристрій управління інформації про фактичний стан блоків машини і рух мехатронної системи.

Таким чином, наявність трьох обов'язкових частин - механічної (електромеханічної), електронної та комп'ютерної, пов'язаних енергетичними та інформаційними потоками, є первинною ознакою мехатронних систем. Електромеханічна частина включає механічні ланки і передачі, робочий орган, електродвигуни, сенсори і додаткові електротехнічні елементи (гальма, муфти). Механічний пристрій призначений для перетворення рухів ланок в необхідний рух робочого органу. Електронна частина складається з мікроелектронних пристроїв, силових перетворювачів і електроніки вимірювальних ланцюгів. Сенсори призначені для збору даних про фактичний стан зовнішнього середовища і об'єктів робіт, механічного пристрою і блоку приводів з подальшою первинною обробкою і передачею цієї інформації в пристрій комп'ютерного управління. До складу цього пристрою зазвичай входять комп'ютер верхнього рівня і контролери управління рухом.

Питання для самоперевірки

1. Які основні принципи в основі побудови мехатронних систем?
2. Які пристрої можуть бути складовою частиною машин з комп'ютерним управлінням рухом?
3. Які функції виконує пристрій комп'ютерного управління в мехатронній системі або модулі?
4. Поясніть суть мехатронного підходу до проектування.
5. Дайте визначення поняття «інтерфейс».

2.4.5 Тема 5. Мехатронні модулі

Література: [1], [5]-[11], [18]-[20], [22]-[44].

Конструкція сучасних мехатронних систем заснована на модульних принципах і технологіях. Мехатронні модулі (ММ) служать у якості конструктивної основи при компонуванні багатомірних мехат-

ронних машин і комплексів.

Мехатронний модуль - це функціонально й конструктивно самостійний виріб для реалізації рухів із взаємопроникненням і синергетичною апаратно-програмною інтеграцією складових його елементів, що мають різну фізичну природу.

До елементів різної фізичної природи відносять механічні (перетворювачі руху, трансмісії, ланки), електротехнічні (двигуни, гальма, муфти), електронні (електронні блоки й мікропроцесори) та інформаційні (датчики інформації) елементи. Класифікація мехатронних модулів по конструктивних ознаках представлена на рис. 5.1.

Розглянемо більш докладно мехатронні модулі, залежно від рівня їх інтеграції.

Модуль руху (МР) – конструктивно й функціонально самостійний виріб, що включає в себе механічну (гідравлічну, пневматичну) і електротехнічну частини, який можна використовувати індивідуально й у різних комбінаціях з іншими модулями.

Головною відмінною ознакою МР від загальнопромислового приводу є використання вала двигуна в якості одного з елементів механічного перетворювача руху. Прикладами МР є мотор-редуктори, мотор-колесо, мотор-барабан, електрошпіндель.

В 1927 р. фірмою «Бауер» була розроблена принципово нова конструкція – мотор-редуктор, що об'єднала в один компактний конструкційний модуль електродвигун і механічний перетворювач руху (редуктор), що й одержала в цей час широке поширення. З тих пір з'явилася величезна гама різних мотор-редукторів для різних умов застосування, які дозволяють знайти оптимальне рішення у кожному конкретному випадку.

Конструктивне об'єднання електродвигуна й перетворювача руху в єдиний компактний електропривод – мотор-редуктор має ряд переваг у порівнянні із застарілою системою з'єднання електродвигуна й перетворювача руху через муфту.

Це й значне скорочення габаритних розмірів, істотне зменшення кількості приєднувальних деталей, і витрат на установку, налагодження й запуск. Таким чином, мотор-редуктор є в цей час одним з найпоширеніших видів електроприводу. Мотор-редуктори при необхідності постачають фотоімпульсними датчиками й гальмами.

Мотор-редуктор (рис. 5.29) складається із двох основних елементів: електродвигуна М і перетворювача руху (редуктора) 2, що має

стикувальну поверхню 3 з отворами для кріплення до неї електродвигуна гвинтами й болтами 4. При об'єднанні електродвигуна й редуктора в єдиний конструктивний модуль вал 5 електродвигуна вставляють у вхідний порожній вал 6 редуктора й закріплюють шпонкою 7.

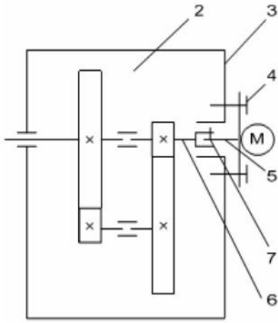


Рисунок 2.7 - Циліндричний мотор-редуктор

У мотор-редукторах у якості електродвигунів найбільш часто використовують асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором і регульованим перетворювачем частоти обертання вала, однофазні двигуни й двигуни постійного струму, а також крокові двигуни.

У якості механічних перетворювачів руху використовують зубчасті циліндричні й конічні черв'ячні, планетарні, хвильові, гвинтові, прецизійні шарико- і роликотвинтові передачі з короткими й довгими різбовими роликами.

Електромеханізми по типу руху вихідної ланки діляться на дві групи: з обертним рухом вихідного вала й поступальним рухом вихідного штока.

Питання для самоперевірки

1. Класифікація мехатронних модулів.
2. Сформулюйте визначення «модуль руху», «мехатронний модуль руху» і відмінності між ними.
3. Поясніть принцип дії модулів руху.
4. Склад мехатронного модуля руху.
5. Структурна й функціональна схема мехатронних модулів руху.

2.4.6 Тема 6. Мехатронні системи

Література: [1], [5]-[11], [18]-[20], [22]-[44].

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

нальну схему пристрою з комп'ютерним керуванням (рис. 2.8).

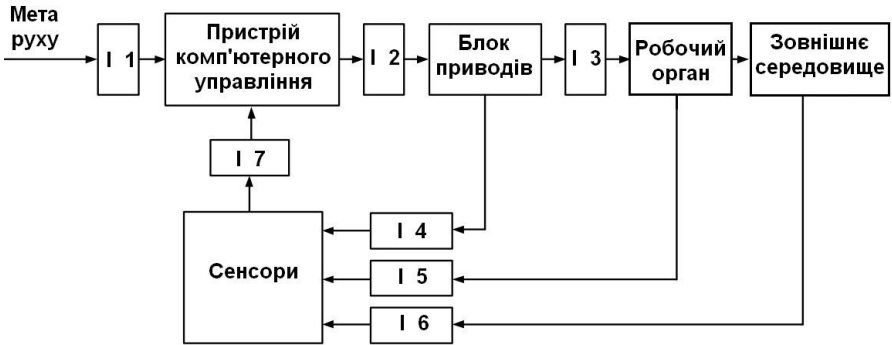


Рисунок 2.8 - Функціональна схема пристрою з комп'ютерним керуванням

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

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

Окремі блоки й пристрої системи можуть бути інтегровані в мехатронні модулі. Процес взаємодії робочого органу й зовнішніх об'єктів (наприклад, при виконанні операцій складання, механообробки і т.д.) дозволяє організувати технологічно орієнтований процес керування, враховуючий характер і специфіку даної взаємодії в конкретно поставленому завданні.

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

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

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

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

Питання для самоперевірки

1. Які завдання управління вирішуються на виконавчому рівні?
2. Які завдання вирішуються на тактичному рівні управління?
3. Які відмінності між параметричними й генераторними типами датчиків?
4. Назвіть особливості режиму роботи сельсина.
5. Що собою представляє резольвер?

2.4.7 Тема 7. Інформаційні технології в мехатроніці

Література: [1], [5]-[11], [18]-[20], [22]-[44].

Використання Інтернет-технологій в мехатроніці і робототехніці відкриває нові перспективи в розвитку розподілених систем управління та збору даних. Завдання дистанційного моніторингу експериментів і контролю віддалених технічних систем за допомогою Інтернету

можуть бути виконані з мінімальними витратами практично в будь-якій точці світу за рахунок широкого поширення і доступності глобальної мережі. Дистанційне керування мехатронними об'єктами з використанням Інтернету має на увазі не тільки збір даних за допомогою інформаційно-вимірювальної апаратури, а й подачу керуючих впливів на виконавчі елементи різних типів.

Це завдання є, мабуть, найбільш перспективним, але разом з тим складним для практичної реалізації. Аналіз сучасних тенденцій, а також ряду реально здійснених проектів показує, що Інтернет є досить ефективним і зручним засобом організації дистанційного керування технічними об'єктами, перевагами якого є:

- можливість організувати дистанційне керування реальними об'єктами і експериментами практично з будь-якої точки світу;
- зниження витрат на створення спеціалізованих каналів зв'язку;
- можливість організації доступу широкого кола фахівців-експертів, територіально віддалених один від одного, до унікального обладнання в режимі реального часу.

Перспективні сфери застосування Інтернет-робототехніки:

- дистанційне керування в умовах агресивного навколишнього середовища (мобільні роботи);
- астрономія (створення роботизованих автономних телескопів);
- дистанційна освіта (створення віртуальних лабораторій віддаленого доступу);
- віддалене управління роботизованими осередками і системами;
- індустрія розваг (віртуальні візити в музеї, змагання з управління Інтернет-роботами і т.п.).

Застосування роботів для проведення операцій у важкодоступних і небезпечних середовищах висуває вимоги до створення систем дистанційного керування мобільними роботами, які використовують переваги мережі Інтернет в якості каналу зв'язку.

При використанні Інтернету для цілей дистанційного керування виникає цілий ряд науково-технічних проблем. Вони пов'язані з оптимізацією взаємодії web-сервера і системи управління роботом, необхідністю передачі великих обсягів даних, нестабільністю віддаленого

з'єднання з оператором.

Таким чином, для ефективного використання перспектив, які відкриває застосування глобальної мережі в області управління технікою, необхідно розробити такий підхід до її використання, який враховував би проблеми, зумовлені специфікою Інтернету, як каналу зв'язку в системі дистанційного керування технічним об'єктом, а також специфіку керованого об'єкта.

Питання для самоперевірки

1. Що маєтись на увазі під дистанційним управлінням мехатронними об'єктами з використанням Інтернету?
2. Які переваги Інтернету як засобу управління технічними об'єктами?
3. Які фактори слід враховувати при використанні глобальної мережі в якості каналу зв'язку?
4. Яким основним вимогам повинна задовольняти робототехнічна система з керуванням по глобальній мережі?
5. Які функції виконує інформаційна система навігації мобільного робота?

2.4.8 Тема 8. Автомобіль як складна мехатронна система

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

Жорстка конкуренція на автомобільному ринку змушує фахівців у цій області до пошуку нових передових технологій. Мехатронні модулі знаходять усе більш широке застосування в різних транспортних системах. Отже сучасний автомобіль так начинений мехатронними пристроями, що його можна вважати складною мехатронною системою (МС). Сучасна автомобільна МС включає, як правило, цілий ряд підсистем, що виконують функції:

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

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

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

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

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

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

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

Через кілька років була створена ESP - програма курсової стійкості (Electronic Stability Program). Оснастивши автомобіль датчиками кута повороту, швидкості обертання коліс і поперечного прискорення, гальма змусили допомагати водієві в найбільш складних ситуаціях. Підгальмовуючи те або інше колесо, електроніка зводить до мінімуму ризик зносу машини при швидкому проходженні складних поворотів.

Системою управління двигуном називається електронна система управління, яка забезпечує роботу двох і більше систем двигуна. Система є одним з основних електронних компонентів електрообладнання автомобіля. Генератором розвитку систем управління двигуном в світі є німецька фірма Bosch. Технічний прогрес в області електроніки, жорсткі норми екологічної безпеки обумовлюють неухильне зростання числа підконтрольних систем двигуна.

До мехатронних систем автомобіля також відносяться усілякі різновиди допоміжних та контрольно-діагностичних систем.

Питання для самоперевірки

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

2.4.9 Тема 9. Системи керування автомобільними двигунами

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

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

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

Керування двигуном неможна розглядати у відриві від керування автомобілем. Швидкісні та навантажувальні режими роботи двигу-

на залежать від швидкісних режимів руху автомобіля в різних умовах експлуатації, які включають в себе прискорення і сповільнення, рух з відносно постійною швидкістю, зупинки.

Водій змінює швидкісний та навантажувальний режим двигуна, впливаючи на передаточне відношення трансмісії автомобіля і педаль акселератора (дросельну заслінку). Вихідні характеристики двигуна при цьому залежать від складу паливо-повітряної суміші та кута випередження запалення, керування якими здійснюється за допомогою механічних, електронно-механічних чи електронних систем керування двигуном, автоматично (рис. 2.9).

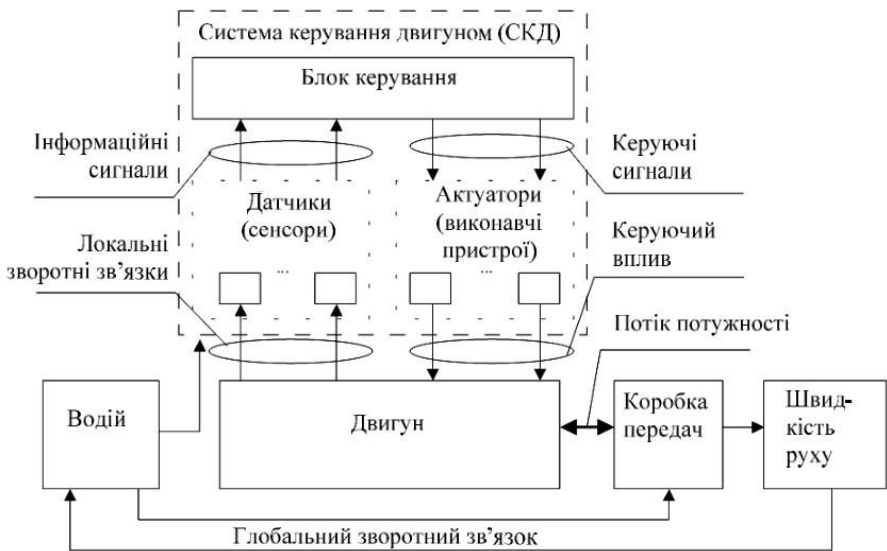


Рисунок 2.9 - Схема процесу керування автомобільним двигуном

Для двигуна внутрішнього згорання характерна періодична повторюваність робочих циклів. Тому важливим принципом керування двигуном є циклічність керування. Це обумовлює необхідність узгодження частотних параметрів керованих впливів з частотою робочих циклів двигуна. Іншими словами, система керування двигуном (СКД) повинна встигати сприймати інформацію про стан двигуна, обробляти її і передавати відповідні керовані впливи на двигун протягом обмежених у часі тактів робочого циклу (2-3 мс), що накладає жорсткі ви-

моги на швидкодію СКД.

Як об'єкт керування двигун є нелінійним, оскільки реакція на суму будь-яких зовнішніх впливів не дорівнює сумі реакцій на кожний з впливів окремо.

Враховуючи, що двигун звичайно працює на нестационарних (змінних у часі) режимах, виникає проблема оптимального і адаптивного (такого, що автоматично налаштується) керування двигуном. Принципи оптимального і адаптивного керування стало можливим реалізувати завдяки розвитку електронних систем керування.

Слід відмітити, що для побудови оптимальних адаптивних систем керування потрібна наявність математичних моделей об'єкта керування. Через складність конструкції, наявність допусків на розміри деталей, двигуни однієї і тієї ж моделі мають різні характеристики. Крім того, за конструктивними параметрами відрізняються і окремі циліндри багаточиліндрового двигуна.

В зв'язку з цим, загальні, достатньо точні і повні математичні моделі двигунів внутрішнього згоряння в традиційному аналітичному вигляді на даний час відсутні (це характерно для більшості складних технічних систем). Вихід знаходять у побудові емпіричних залежностей між параметрами індивідуальних типів двигунів та поданні їх у формі таблиць.

Ці таблиці містять великі об'єми даних і можуть бути використані в системах керування тільки при наявності засобів обчислювальної техніки, яка має достатній об'єм пам'яті та високу обчислювальну потужність.

Автомобільний двигун являє собою багатовимірний об'єкт керування, оскільки число входних параметрів у нього більше одного і кожний входний параметр впливає на два і більше вихідних. В такому випадку система керування повинна бути багатовимірною. Для багатовимірних об'єктів керування таблиці залежностей між параметрами повинні бути також багатовимірними. Такі таблиці та їх графічне подання називають характеристичними картами.

Широке розповсюдження автомобільних двигунів зумовило велике різноманіття їх конструкцій. Це приводить до багатоваріантності систем керування. Так, якщо в карбюраторних системах паливоподачі практично не використовується електроніка, то сучасні системи впрскування палива створюються лише на основі керування електронними системами. Це приводить, в свою чергу до взаємного впливу роз-

витку електронної техніки на конструктивну реалізацію проєктованих двигунів.

На основі вищевикладеного сформулюємо основні принципи керування двигуном:

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

Критерії керування.

Вибір критеріїв керування диктується цілями або цільовими задачами, які вирішуються об'єктом керування.

Автомобільний двигун - складна система, цільові задачі якої відповідають потребам різних груп людей і суперечливі вже хоча б з цієї причини. Так, перед конструктором двигуна стоїть проблема зробити максимально надійний, максимально потужний двигун. Споживач очікує появи на ринку максимально простого в експлуатації, дешевого і економічного автомобіля; відповідних якостей він очікує і від двигуна. Легкий, безшумний, екологічно чистий двигун - вимога борців за охорону навколишнього середовища. Система керування двигуном як система, що забезпечує його оптимальне функціонування, підпорядкована цільовим задачам керованої системи, тобто двигуна.

Вважається, що основне призначення систем керування двигуном полягає в забезпеченні максимальної потужності двигуна при мінімальній витраті палива (енергії) та мінімальному вмісті шкідливих речовин у відпрацьованих газах. Можна показати, що такої ідеальної системи керування (яка задовольняє одразу всі ці критерії) в природі не існує.

Припустимо, що вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах залежить від якості робочої суміші, яка поступає в циліндри поршневого двигуна. Спочатку якість суміші охарактеризуємо словесно: багата, бідна і нормальна, що відповідно означає надлишок, нестачу і відносно раціональний вміст палива в її складі. Залежності потужності і економічності двигуна від якості суміші говорять про те, що максимальну потужність можна отримати при багатій суміші, мінімуму витрати палива - при збідненій.

Принципово неможливо створити таку систему керування, яка одночасно задовольняла б критерії максимуму потужності і мінімуму витрати палива. Принципово - тому, що суміш не може бути і бідною і

багатою одночасно.

Питання для самоперевірки

1. Що являє собою автомобільний двигун з точки зору керування?
2. Від чого залежать вихідні характеристики автомобільного двигуна внутрішнього згоряння?
3. Що є важливим принципом керування двигуном внутрішнього згоряння?
4. В чому полягає принцип адаптивного керування двигуном внутрішнього згоряння?
5. Що являють собою характеристичні карти?

2.4.10 Тема 10. Системи керування трансмісією автомобілів

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

Залежно від виду перетворюваної енергії розрізняють наступні види автомобільної трансмісії:

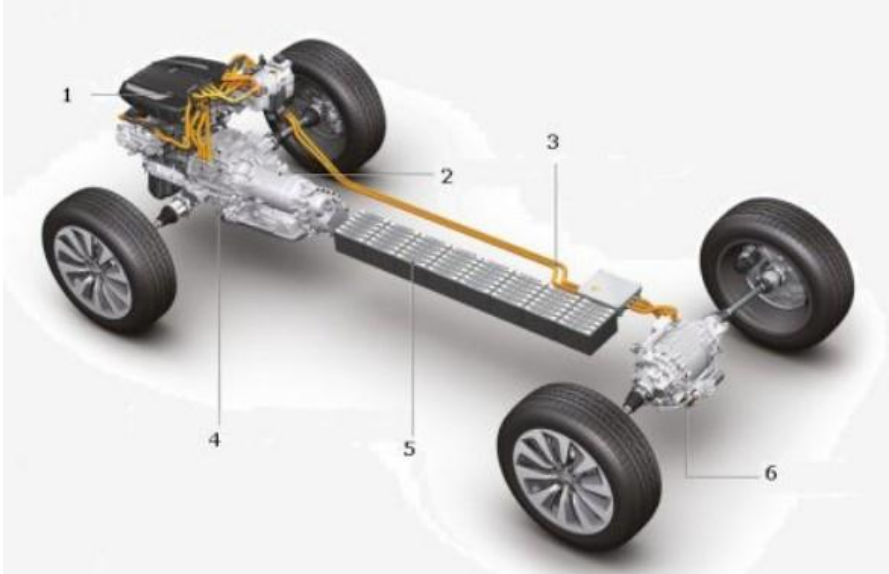
- механічна (передає і перетворює механічну енергію);
- електрична (перетворює механічну енергію в електричну і після передачі до ведучих коліс - електричну в механічну енергію);
- гідрооб'ємна (перетворює механічну енергію в енергію потоку рідини і після передачі до ведучих коліс - енергію потоку рідини в механічну енергію);
- комбінована (електромеханічна, гідромеханічна - т.зв. «гібриди»).

Система повного приводу quattro.

Система повного приводу quattro є системою постійного повного приводу, в якій крутний момент постійно передається на всі колеса автомобіля. З 1980 року назва quattro використовується автовиробником Audi для позначення системи повного приводу своїх автомобілів і є зареєстрованим товарним знаком. Відмінною особливістю системи quattro є поздовжнє розташування двигуна і елементів трансмісії, яке характерно для більшості автомобілів Audi.

Незважаючи на відмінності в конструкції систем конкретних автомобілів, система quattro включає наступні традиційні елементи пов-

нопривідної трансмісії: коробку передач, роздавальну коробку, кардану передачу, головну передачу і міжколісний диференціал на кожній осі. Оновлена версія системи повного приводу від Audi заснована на використанні гібридної силової установки і носить назву E-tron quattro. Дану систему встановлюють на серійні автомобілі з 2014 року.



- 1 - двигун внутрішнього згоряння, 2 - коробка передач,
 3 - кабель високої напруги, 4 - електродвигун,
 5 - високовольтна акумуляторна батарея,
 6 - задній міст з електричним приводом

Рисунок 2.10 - Схема системи повного приводу E-tron quattro

Конструктивно система E-tron quattro включає в додаток до двигуна внутрішнього згоряння і коробки передач два електродвигуни - потужністю 33 кВт на передній осі і 60 кВт - на задній. При цьому задня вісь має тільки електричний привід. Живлення електродвигунів здійснюється від літій-іонної акумуляторної батареї, встановленої в центральному тунелі автомобіля.

Система адаптації до дорожніх умов.

Електроніка активно впроваджується в управління автомобілем. Не залишаються осторонь і повнопривідні автомобілі, отримуючи все

нові електронні компоненти. Ідея об'єднання повного приводу з іншими електронними системами реалізована в системі адаптації до дорожніх умов (інша назва - система допомоги руху по бездоріжжю).

Дана система дозволяє найкращим чином використовувати можливості автомобіля при русі в різних дорожніх умовах і по бездоріжжю. Завдання водія зводиться лише до правильного визначення характеру покриття і включенню відповідного режиму, а система сама забезпечить оптимальне зчеплення, керованість і стійкість автомобіля.

Родоначальником механізмів адаптації до дорожніх умов є система **Terrain Response**, яка встановлюється на автомобілі Land Rover з 2005 року. Іншими різновидами системи допомоги руху по бездоріжжю є:

- Selec Terrain від Jeep;
- Terrain Management System від Ford;
- Multi-Terrain Select від Toyota;
- X-Mode від Subaru.

У різних системах адаптації до дорожніх умов реалізовано спільний підхід до роботи. Деякі системи використовують навіть однакові режими руху. Виняток із загального списку становить система X-Mode, в якій допомога руху здійснюється тільки в автоматичному режимі.

Конструкцію і принцип роботи системи адаптації до дорожніх умов розглянемо на прикладі Terrain Response. Система Terrain Response як всяка електронна система управління включає вхідні пристрої, блок управління і виконавчі пристрої. Вхідними пристроями виступають органи управління системою. Залежно від моделі автомобіля для управління використовуються перемикачі на центральній консолі або поворотний селектор на панелі між передніми сидіннями. З їх допомогою вибирається певний режим руху.

В системі Terrain Response передбачені наступні режими руху:

- основна програма (рух по сухому твердому дорожньому покриттю);
- трава, ґравій, сніг (рух по слизьким, сипучим і пухким поверхням);
- бруд, колія (рух по бруді, ямам, м'яким і нерівним поверхням);
- пісок (рух по поверхням, покритим сухим піском або товстим шаром ґравію або снігу);

- камені, малий хід (обережний рух по кам'янистій основі, в тому числі перетин річок убрід);
- автоматичний (рух по будь-яких дорогах і бездоріжжю).

Крім перерахованих режимів на автомобілі Range Rover Evoque використовується динамічний режим, що передбачає активний рух по сухих дорогах з хорошим покриттям. Даний режим оптимізує тягові характеристики автомобіля, підлаштовуючи їх під стиль водіння, а не тип поверхні, тому до системи адаптації відношення не має.

Сигнали від органів управління подаються в електронний блок управління, де активується відповідна програма, яка формує керуючі впливи на підлеглі електронні системи. Власних виконавчих пристроїв система Terrain Response не має, а впливає на електронні блоки управління різних систем автомобіля, оптимізуючи їх роботу під конкретні умови руху.

Підконтрольними Terrain Response системами є: система управління двигуном, автоматична коробка передач, система повного приводу, пневматична підвіска, антипробуксовочна система, система курсової стійкості.

За допомогою системи управління двигуном для однакового ходу і інтенсивності натискання електронної педалі акселератора реалізується різний крутний момент. Відповідно до обраної програми руху змінюється алгоритм роботи автоматичної коробки передач, забезпечуючи максимальну потужність двигуна і не допускаючи пробуксовки коліс. Система Terrain Response використовується з різними схемами повного приводу: класичною - з роздавальною коробкою, міжосьовим і міжколісним диференціалами, автоматичною - з дисковою електрогідравлічною муфтою. У кожному разі блокуванням диференціалів (імітацією блокування) досягається ефективний розподіл крутного моменту між осями і окремими колесами. При наявності понижувальної передачі в роздавальній коробці використовується понижуючий діапазон передач.

Пневматична підвіска автоматично змінює висоту кузова. У антипробуксовочній системі використовуються різні порогові значення пробуксовки, що дозволяє поліпшити зчеплення коліс з основою. При використанні спеціальних режимів знижується вплив на автомобіль системи курсової стійкості і не потрібне її відключення.

Інформація про роботу системи і вибрані режими руху виводиться у вигляді індикаторів на комбінації приладів і (або) текстових і

графічних повідомлень на інформаційному дисплеї.

Питання для самоперевірки

1. Які є типи автомобільних трансмісій?
2. Які особливості системи повного приводу quattro?
3. З чого складається система адаптації до дорожніх умов?
4. Які режими руху передбачені в системі Terrain Response?
5. Як реалізується різний крутний момент у системі адаптації до дорожніх умов?

2.4.11 Тема 11. Системи керування підвіскою автомобілів

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

Підвіска сучасного автомобіля являє собою компроміс між керованістю, стійкістю і комфортом. Жорстка підвіска забезпечує мінімальні крени, а значить кращу керованість і стійкість. М'яка підвіска відрізняється плавністю ходу, але при маневруванні призводить до розгойдування автомобіля, погіршення керованості і стійкості. Тому багато автовиробників розробляють і впроваджують на свої автомобілі різні конструкції активної підвіски.

Під терміном «активна» розуміється підвіска, параметри якої можуть змінюватися при експлуатації. Електронна система управління в складі активної підвіски дозволяє змінювати параметри автоматично. У ряді конструкцій активної підвіски використовується вплив на кілька елементів.

Найбільш широко в конструкції активної підвіски використовуються амортизатори з регульованим ступенем демпфірування. Даний вид активної підвіски має власну усталену назву - **адаптивна підвіска**. Таку підвіску ще називають напівактивною підвіскою, тому що в її конструкції не використовуються додаткові приводи.

При регулюванні демпфіруючої здатності амортизатора реалізується два підходи: використання електромагнітних клапанів в амортизаторній стійці і застосування спеціальної магнітно-реологічної рідини для наповнення амортизатора.

Електроніка дозволяє регулювати ступінь демпфірування індивідуально для кожного амортизатора, чим досягаються різні характе-

ристики жорсткості підвіски (висока ступінь демпфірування - жорстка підвіска, низький ступінь демпфірування - м'яка підвіска).

Відомими конструкціями адаптивної підвіски є:

- Adaptive Chassis Control, DCC (Volkswagen);
- Adaptive Damping System, ADS (Mercedes-Benz);
- Adaptive Variable Suspension, AVS (Toyota);
- Continuous Damping Control, CDS (Opel);
- Electronic Damper Control, EDC (BMW).

Активна підвіска з регульованими пружними елементами більш універсальна, тому що дозволяє підтримувати певну висоту кузова і жорсткість підвіски. З іншого боку така підвіска має більш складну конструкцію (використовується окремий привід для регулювання пружних елементів), тому і вартість її набагато вища. Як пружний елемент в активній підвісці використовуються традиційні пружини, а також пневматичні і гідропневматичні пружні елементи.

У підвісці Active Body Control (ABC) від Mercedes-Benz жорсткість пружини змінюється за допомогою гідравлічного приводу, який забезпечує нагнітання масла в амортизаторну стійку під високим тиском. На пружину, встановлену співвісно з амортизатором, впливає гідравлічна рідина гідроциліндра.

Управління гідроциліндрами амортизаторних стійок здійснює електронна система, яка включає 13 різних датчиків (положення кузова, поздовжнього, поперечного і вертикального прискорення, тиску), блоку управління і виконавчих пристроїв - електромагнітних клапанів.

Система ABC практично повністю виключає крени кузова при різних умовах руху (поворот, прискорення, гальмування), а також регулює положення кузова по висоті (знижує автомобіль на 11 мм при швидкості понад 60 км/год).

Пневматичний пружний елемент складає основу пневматичної підвіски. Він забезпечує регулювання висоти кузова щодо поверхні дороги. Тиск в пневматичних пружних елементах створюється за допомогою пневматичного приводу, що включає електродвигун з компресором. Для зміни жорсткості підвіски використовуються амортизатори з регульованим ступенем демпфірування. Такий підхід реалізований в пневматичній підвісці Airmatic Dual Control від Mercedes-Benz, в якій застосована адаптивна система Adaptive Damping System.

Гідропневматичні пружні елементи використовуються в гідропневматичній підвісці, яка дозволяє змінювати жорсткість і висоту

кузова в залежності від умов руху і бажань водія. Роботу підвіски забезпечує гідравлічний привід високого тиску. Управління гідросистемою проводиться за допомогою електромагнітних клапанів. Сучасною конструкцією гідропневматичною підвіски є система Hydractive третього покоління, яка встановлюється на автомобілі Citroën.

Окрему групу складають конструкції активної підвіски, в яких змінюється жорсткість стабілізатора поперечної стійкості. При прямолінійному русі стабілізатор поперечної стійкості вимикається, за рахунок чого збільшуються ходи підвіски, краще обробляються нерівності і тим самим досягається висока плавність і комфортність пересування. При повороті або різкій зміні напрямку руху жорсткість стабілізаторів збільшується пропорційно впливає силам, і запобігають кренам кузова.

Відомими конструкціями активної стабілізації підвіски є:

- Dynamic Drive від BMW;
- Kinetic Dynamic Suspension System, KDSS від Toyota.

Одну з найцікавіших конструкцій активної підвіски пропонує на своїх автомобілях компанія Hyundai. *Система активного управління геометрією підвіски (Active Geometry Control Suspension, AGCS)* дозволяє змінювати довжину важелів підвіски, за рахунок чого змінюється сходження задніх коліс. Для зміни довжини важеля використовується електричний привід.

При прямолінійному русі і маневруванні на невеликій швидкості система встановлює мінімальне сходження. Поворот на високій швидкості, активне перестроювання з ряду в ряд супроводжується збільшенням сходження задніх коліс. Автомобіль отримує додаткову стійкість і кращу керуваність. Система AGCS взаємодіє з системою курсової стійкості.

Питання для самоперевірки

1. Що розуміється під терміном «активна» підвіска автомобіля?
2. Що таке адаптивна підвіска?
3. Що використовують в якості пружного елемента в активній підвісці автомобіля?
4. Що складає основу пневматичної підвіски?
5. В чому суть активної стабілізації підвіски автомобіля?

2.4.12 Тема 12. Системи керування гальмовими системами автомобілів

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

Система екстреного гальмування призначена для ефективного використання гальм в екстреній ситуації. Як показує практика, застосування системи екстреного гальмування на автомобілі дозволяє скоротити гальмівний шлях в середньому на 15-20 %. Це, часом, є вирішальним фактором запобігання аварії або зменшення її наслідків.

Розрізняють два види систем екстреного гальмування - допомоги при екстреному гальмуванні і автоматичного екстреного гальмування. Система допомоги при екстреному гальмуванні дозволяє реалізувати максимальний гальмівне тиск при натисканні водієм на педаль гальма, тобто система догальмовує за нього. Система автоматичного екстреного гальмування створює часткове або максимальний гальмівний тиск без участі водія, тобто автоматично.

Система допомоги при екстреному гальмуванні.

Конструкції систем допомоги при екстреному гальмуванні можна розділити на два типи за принципом створення максимального гальмівного тиску: пневматичні і гідравлічні.

Системи допомоги при екстреному гальмуванні пневматичного типу забезпечують ефективну роботу вакуумного підсилювача гальм. До них відносяться системи:

- BA (Brake Assist), BAS (Brake Assist System), EBA (Emergency Brake Assist) на автомобілях Mercedes-Benz, BMW, Toyota, Volvo та ін.;
- AFU на автомобілях Renault, Peugeot, Citroen.

Конструктивно дані системи об'єднують датчик швидкості переміщення штока вакуумного підсилювача, електронний блок управління і електромагнітний привод штока. Система допомоги при екстреному гальмуванні пневматичного типу встановлюється, як правило, на автомобілі, обладнані системою ABS.

Принцип роботи даної системи заснований на розпізнаванні ситуації екстреного гальмування по швидкості натискання педалі гальма. Швидкість натискання на педаль гальма фіксує датчик швидкості переміщення штока вакуумного підсилювача і передає сигнал в елект-

ронний блок керування. Якщо величина сигналу перевищує встановлене значення, електронний блок управління активує електромагніт приводу штока. Вакуумний підсилювач гальм дотискує педаль гальма. Екстремне гальмування відбувається до спрацьовування системи ABS.

Системи допомоги при екстремому гальмуванні гідравлічного типу забезпечують максимальний тиск рідини в гальмівній системі за рахунок використання елементів системи курсової стійкості. До таких систем відносяться:

- HBA (Hydraulic Braking Assistance) на автомобілях Volkswagen, Audi;
- HBB (Hydraulic Brake Booster) на автомобілях Volkswagen, Audi;
- SBC (Sensotronic Brake Control) на автомобілях Mercedes-Benz;
- DBC (Dynamic Brake Control) на автомобілях BMW;
- BA Plus (Brake Assist Plus) на автомобілях Mercedes-Benz.

Система HBA розпізнає екстремну ситуацію по швидкості і силі натискання педалі гальма. У роботі системи використовується датчик тиску в гальмівній системі, датчики частоти обертання коліс, вимикач стоп-сигналу. На підставі сигналів що надходять, електронний блок управління при необхідності включає насос зворотної подачі, який доводить тиск в гальмівній системі до максимального. Дія програми відбувається до спрацьовування системи ABS.

Система HBB в певних режимах експлуатації автомобіля (протів двигуна та ін.) дублює вакуумний підсилювач гальм. У роботі системи використовуються датчик тиску в гальмівній системі, датчик розрядження в вакуумному підсилювачі, вимикач стоп-сигналу. При недостатньому розрядженні в камерах вакуумного підсилювача система HBB включає насос зворотної подачі і підвищує тиск в гальмівній системі до необхідної величини.

Система SBC в своїй роботі враховує безліч факторів, у тому числі: швидкість перенесення ноги з педалі газу на педаль гальма, силу натискання на педаль гальма, якість дорожнього покриття, напрямок руху, інші параметри. Відповідно до конкретних умов руху електронний блок управління формує оптимальне гальмівне зусилля на кожне колесо.

Система BA Plus контролює відстань до автомобіля що йде попереду, за допомогою радарів системи DISTRONIC. Якщо відстань мала і

існує небезпека зіткнення проводиться візуальне і звукове попередження водія. Якщо водій гальмує недостатньо ефективно система догальмує за нього.

Система автоматичного екстреного гальмування.

Система автоматичного екстреного гальмування за допомогою радара (лідара) і відеокамери виявляє автомобіль що їде попереду. У разі можливої аварії (інтенсивного скорочення відстані між автомобілями) система реалізує часткове або максимальне гальмівне зусилля, уповільнює або зупиняє автомобіль. Навіть якщо зіткнення відбулося, наслідки його для обох автомобілів будуть значно меншими.

Конструктивно система автоматичного екстреного гальмування побудована на інших системах активної безпеки - системи адаптивного круїз-контролю (контроль відстані) і системі курсової стійкості (автоматичне гальмування).

Відомими системами автоматичного екстреного гальмування є:

- Pre-Safe Brake на автомобілях Mercedes-Benz;
- Collision Mitigation Braking System, CMBS на автомобілях Honda;
- City Brake Control на автомобілях Fiat;
- Active City Stop і Forward Alert на автомобілях Ford;
- Forward Collision Mitigation, FCM на автомобілях Mitsubishi;
- City Emergency Brake на автомобілях Volkswagen;
- Collision Warning with Auto Brake і City Safety на автомобілях Volvo;
- Predictive Emergency Braking System, PEBS від Bosch;
- Automatic Emergency Braking, AEB від TRW.

Необхідно відзначити, що в перерахованих системах крім автоматичного екстреного гальмування реалізовані інші функції, серед яких попередження водія про небезпеку зіткнення, активація деяких пристроїв пасивної безпеки. Тому дані системи ще називають превентивними системами безпеки.

Питання для самоперевірки

1. Яке призначення системи екстреного гальмування автомобіля?
2. Назвіть види систем екстреного гальмування.
3. На які типи поділяють системи допомоги при екстреному гальмуванні?
4. Які конструктивні особливості системи допомоги при екстреному

гальмуванні пневматичного типу?

5. За рахунок чого забезпечується максимальний тиск рідини в гальмівній системі допомоги гідравлічного типу?

2.4.13 Тема 13. Системи управління мікрокліматом в салоні та рульового керування автомобілів

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

Сучасні автомобілі оснащуються системою клімат-контролю. Дана система призначена для створення і автоматичної підтримки мікроклімату в салоні автомобіля. Система забезпечує спільну роботу систем опалення, вентиляції та кондиціонування за рахунок електронного управління. Застосування електроніки дозволило добитися зонального регулювання клімату в салоні автомобіля. Залежно від числа температурних зон ***розрізняють наступні системи клімат-контролю:*** однозонний, двозонний, трьохзонний і чотирьохзонний.

Система клімат-контролю об'єднує кліматичну установку і систему управління. Кліматична установка, в свою чергу, включає конструктивні елементи систем опалення, вентиляції та кондиціонування, в тому числі радіатор опалення, вентилятор повітря та кондиціонер, що складається з випарника, компресора, конденсатора і ресивера.

Управління кліматичною установкою здійснює відповідна система. Основними елементами цієї системи є вхідні датчики, блок управління і виконавчі пристрої.

Кількість датчиків вихідної температури визначається конструкцією системи клімат-контролю. До датчику вихідної температури може бути доданий датчик вихідної температури в ножний простір. У двозонній системі клімат-контролю число датчиків вихідної температури подвоюється (датчики зліва і справа), а в трьохзонній - потроюється (зліва, справа і ззаду).

Потенціометри заслінок фіксують поточний стан повітряних заслінок. Датчики температури випарника і тиску забезпечують роботу системи кондиціонування. Електронний блок управління приймає сигнали від датчиків і відповідно до закладеної програми формує керуючі впливи на виконавчі пристрої.

Рульове керування призначене для забезпечення руху автомобіля в заданому водієм напрямку і поряд з гальмівною системою є най-

важливішою системою управління автомобілем. На більшості легкових автомобілів зміна напрямку руху здійснюється за рахунок повороту передніх коліс (кінематичний спосіб повороту). Змінити напрямок руху можна і за рахунок пригальмовування окремих коліс. Силевий спосіб повороту покладено в основу роботи системи курсової стійкості. **Рульовий привід** призначений для передачі зусилля, необхідного для повороту, від рульового механізму до коліс. Він забезпечує оптимальне співвідношення кутів повороту керованих коліс, а також перешкоджає їх повороту при роботі підвіски. Конструкція рульового приводу залежить від типу застосовуваної підвіски.

Найбільшого поширення набув механічний рульовий привод, що складається з рульових тяг і рульових шарнірів. Рульовий шарнір виконується кульовим. Кульовий шарнір складається з корпусу, вкладишів, кульового пальця і захисного чохла. Для зручності експлуатації кульовий шарнір виконаний у вигляді знімного наконечника рульової тяги. За своєю суттю рульова тяга з кульовою опорою виступає додатковим важелем підвіски.

Більшість сучасних автомобілів мають **гідралічний підсилювач рульового управління** (інша назва - гідропідсилювач керма). Різновидом гідропідсилювача є електрогідралічний підсилювач рульового управління, в якому гідронасос має привод від електродвигуна. В останні роки на автомобілях все ширше застосовується електричний підсилювач рульового управління (інша назва - електропідсилювач керма). Крутий момент від електродвигуна може передаватися безпосередньо на вал рульового колеса або на зубчасту рейку. Електроніка дозволяє використовувати електропідсилювач керма для автоматичного керування автомобілем, наприклад в системі автоматичного паркування, системі допомоги руху по смузі.

Підсилювач рульового управління, в якому поворотне зусилля змінюється в залежності від швидкості автомобіля, називається адаптивним підсилювачем рульового управління. Відомої конструкцією адаптивного підсилювача рульового управління є електрогідралічний підсилювач Servotronic.

Інноваційними є система активного рульового управління від BMW, система динамічного рульового управління від Audi, **в яких передавальне число рульового механізму змінюється в залежності від швидкості руху автомобіля.** Компанія BMW додала в рульовий вал здвоєний планетарний редуктор, корпус якого може повертатися

за допомогою електродвигуна і в залежності від швидкості руху автомобіля міняти передавальне відношення рульового механізму.

Перспективною є конструкція рульового управління, в якій відсутній механічний зв'язок рульового колеса і ведучих коліс, т.зв. «рульове управління по проводах». Система забезпечує незалежний вплив на кожне колесо за допомогою електроприводу. Серійне застосування рульового управління по проводах стримує скоріше психологічний фактор, пов'язаний з високим ризиком аварії в разі відмови системи.

Питання для самоперевірки

1. Яке призначення системи клімат-контролю в автомобілі?
2. Які конструктивні елементи включає в себе системи клімат-контролю автомобіля?
3. Від чого залежить кількість датчиків в системі клімат-контролю?
4. Який тип рульового приводу найбільш поширений?
5. Назвіть інноваційні та перспективні системи рульового управління автомобіля.

2.4.14 Тема 14. Допоміжні та контрольно-діагностичні системи автомобілів

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

При опрацюванні цієї теми слід пам'ятати що сучасний автомобіль за своєю конструкцією дуже сильно відрізняється від моделей випущених до 2000-х років, опис конструкцій яких саме й домінує в російськомовній літературі. А отже вона є морально застарілою за своїм змістом. Тому для самопідготовки по цій темі перш за все слід використовувати сучасну англomовну літературу та статті в мережі Internet. Особливо слід звернути увагу на сучасні електронні системи, перелік яких вказано нижче, і які в своїй більшості вже стали стандартним обладнанням у провідних автовиробників світу.

Система інформування про світлофори забезпечує бездротове з'єднання автомобіля з міським центром управління рухом і отримання інформації про режими роботи світлофорів на шляху проходження автомобіля. **Система передбачення дорожніх умов** дозволяє передбачити умови руху на певному маршруті і при необхідності впливати

на автомобіль для досягнення оптимального режиму руху по цьому маршруту.

В даний час проводиться безліч аудіо компонентів, з яких створюються різні за складом і якістю звучання автомобільні аудіосистеми. Проектування аудіосистем є одним з найпопулярніших напрямків автомобільного тюнінгу. **Автомобільна мультимедійна система** об'єднує різні засоби розваги, інформації та зв'язку за допомогою інтерактивного інтерфейсу управління.

Автомобільна операційна система не є операційною системою як такою. Це програма, що забезпечує доступ водія під час руху до програм, встановлених на смартфон. Ще зовсім недавно наявність бортового комп'ютера уявлялася конкурентною перевагою автомобіля. В даний час штатний бортовий комп'ютер мають більшість випущених легкових автомобілів.

Система голосового управління забезпечує управління деякими функціями автомобіля за допомогою голосових команд, які перетворюються в керуючі сигнали відповідним системам автомобіля. Компанія Ford спільно з Intel працюють над прототипом системи візуалізації внутрішнього простору автомобіля, яку вони називають Mobile Interior Imaging або скорочено Mobii.

Система Алколок (Alcolock) активно впроваджується в багатьох країнах Євросоюзу, США, Канаді та Австралії. Разом з тим, юридично її застосування на сьогодні закріплено тільки в Фінляндії.

Система активного шумозаглушення призначена для придушення шуму від двигуна та інших агрегатів в салоні автомобіля. Рівень низькочастотних шумів знижується на 5-8 ДБ. **Сучасні системи стеження за автомобілем** використовують GPS або ГЛОНАСС технології для визначення місцезнаходження транспортного засобу.

Система контролю витрат палива дозволяє виявляти факти нерационального використання машини (підвищені навантаження, перевищення швидкості, відхилення від маршруту, простоювання) і розкрадання палива. Компанія Google запатентувала систему моніторингу та оповіщення про якість доріг, яка дозволяє уникнути різних пошкоджень на дорозі за рахунок своєчасного попередження водія про них. **Система захисту дверей від пошкодження** спрацьовує автоматично і захищає від ушкодження як сам автомобіль, так і транспортний засіб що стоїть поруч. Конструктивно **система доповненої реальності** являє собою інтерактивний дисплей, накладений на поверхню

автомобіля. Система прозорого автомобіля дозволить позбутися мертвих зон, що створюються елементами кузова, і, тим самим, забезпечить додаткову безпеку руху.

Найпоширенішим типом протиугінних систем є електронні системи, до яких відносяться сигналізації, іммобілайзери, супутникові системи. **Іммобілайзер** - різновид протиугінної системи, що перешкоджає несанкціонованому запуску двигуна з використанням саморобного ключа або без ключа. **Автомобільна сигналізація** є електронною протиугінною системою, в якій реалізовано, як правило, кілька функцій, пов'язаних з охороною, захистом і сервісом.

За останні кілька років **автомобільна навігаційна система** з дорогої іграшки перетворилася в надійного помічника водія. Система наскрізного бачення покликана допомогти водієві, який рухається за великогабаритним транспортним засобом, зробити безпечний обгін. **Проекційний дисплей** виводить на лобове скло автомобіля або спеціальний екран актуальну інформацію, яка розташовується на лінії погляду водія.

Питання для самоперевірки

1. Які системи відносяться до допоміжних а які до контрольно-діагностичних у сучасному автомобілі?
2. Поясніть що таке OBD (On-board diagnostics)?
3. Що таке автомобільна операційна система?
4. Яке призначення системи Алколок (Alcolock)?
5. Що слід розуміти під акустичними ознаками несправностей автомобіля?

2.4.15 Тема 15. Безпілотні автомобілі

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

Безпілотним автомобілем називається роботизований транспортний засіб, здатний сприймати навколишнє середовище і здійснювати рух між пунктами призначення без участі людини (водія). Інша назва системи - автономний автомобіль, тобто самостійний, незалежний від водія. Конструкція безпілотного автомобіля включає такі основні елементи:

- різні датчики (оптичні, інфрачервоні, радіолокаційні, ультра-

- звуків, лазерні);
- навігація, яка об'єднує GPS-систему і електронні карти;
- сервер з встановленим програмним забезпеченням і джерелами живлення;
- автоматизовані органи управління автомобілем (рульове управління, гальмівна система, система управління двигуном);
- автоматична трансмісія;
- бездротова мережа для зв'язку між транспортними засобами, доступ до оновлення програмного забезпечення, електронних карт, відомостей про стан доріг, надзвичайні ситуації та ін.

Над створенням безпілотного автомобіля в даний час працюють багато автовиробників: Audi, BMW, General Motors, Ford, Mercedes-Benz, Nissan, Tesla, Toyota, Volkswagen, Volvo. Їм активно допомагають компанії Apple, Autoliv, Bosch, Continental, Delphi, Google, Mobileye, Vislab і ін.

Потенційними перевагами безпілотних автомобілів є:

- скорочення числа аварій, викликаних помилками водія;
- зниження трудовитрат на водіння;
- підвищення мобільності окремих категорій населення (молоді, людей похилого віку, інвалідів, малозабезпечених);
- підвищення ефективності організації руху і пов'язане з нею збільшення пропускної здатності доріг;
- скорочення потреби в автомобілях, паркувальних місцях.

До недоліків автономних транспортних засобів, що перешкоджає їх швидкому і широкому впровадженню, можна віднести надійність програмного забезпечення, обмежені можливості штучного інтелекту, висока чутливість системи до погодних умов (дощ, сніг).

У 2014 році професійна асоціація SAE International запропонувала класифікацію безпілотних автомобілів в залежності від ступеня автоматизації. Класифікація включає шість рівнів - від нульової до повної автоматизації.

0 рівень - відсутність автоматизації.

Системи нульового рівня не здійснюють функцій управління, а тільки попереджають водія про небезпечну ситуацію. Прикладом систем нульового рівня автоматизації є:

- система нічного бачення;
- система допомоги при перестроюванні;

- паркувальна система.

1 рівень - допомога водію.

У системах першого рівня частину функцій управління автомобілем (рульове управління, прискорення, гальмування) виконує автоматика. Водій постійно контролює рух з готовністю взяти повне керування автомобілем на себе. Прикладом систем першого рівня автоматизації є:

- адаптивний круїз-контроль (водій - рульове управління, система - швидкість);
- активна система допомоги руху по смузі (водій - швидкість, система - рульове управління);
- система автоматичного паркування (водій - швидкість, система - рульове управління).

2 рівень - часткова автоматизація.

Автоматизовані системи другого рівня повністю керують автомобілем. Руки можна прибрати з рульового колеса, ногу - з педалі акселератора. Водій стежить за рухом з готовністю взяти керування на себе. Якщо система не справляється з покладеними на неї функціями, вона може бути відключена. Прикладом систем другого рівня автоматизації є:

- автопілот Tesla;
- система автоматичного руху в пробках (Traffic Jam Assistant);
- тимчасовий автопілот (Temporary Auto Pilot).

3 рівень - обумовлена автоматизація.

Системи третього рівня автоматизації дозволяють водієві повністю відволіктися від руху автомобілем. В цей час він може читати, писати, дивитися відео. Водій втручається в управління автомобілем тільки на вимогу системи. До систем третього рівня автоматизації відносяться наступні розробки:

- система Super Cruise;
- система SARTRE.

4 рівень - висока автоматизація.

Системи четвертого рівня взагалі не вимагають уваги водія. Він може заснути, покинути водійське сидіння. При настанні небезпечної ситуації система паркує автомобіль в безпечному місці і інформує про це водія. Систем, які можна віднести до четвертого рівня автоматизації, поки небагато:

- безпілотний автомобіль Google;

- система автономної парковки.

5 рівень - повна автоматизація.

У системах п'ятого рівня автоматизації людина взагалі не потрібна. Тому органи управління (рульове колесо, педалі) можуть бути прибрані з салону автомобіля. Пасажир активує (вказує пункт призначення) і дезактивує систему. Сьогодні систем автоматизації п'ятого рівня немає.

За заявами автомобільних компаній перспективи безпілотного автомобіля вельми райдужні. У 2018 році свою версію безпілотного автомобіля представила компанія Tesla, прототип безпілотного автомобіля - російські компанії АвтоВАЗ і Яндекс. У 2019 свої системи автономного управління автомобілем створили Volvo і Autoliv, Delphi і Mobileye. 2020 рік буде ознаменований автопілотом для автомагістралей від Toyota, безпілотними автомобілями від Honda, General Motors, Nissan. Останній - на базі системи ProPilot.

BMW, що працює спільно з Intel і Mobileye, планує в 2021 році представити безпілотні автомобілі третього, четвертого і п'ятого рівнів автоматизації. В 2020 році також виходить і безпілотний автомобіль від Ford. Mercedes-Benz і компанія Bosch працюють над безпілотним автомобілем 4 і 5 рівня автоматизації. Про терміни готовності спільного проекту поки не повідомляється.

Питання для самоперевірки

1. Що таке безпілотний автомобіль?
2. Які основні конструктивні елементи включає в себе безпілотний автомобіль?
3. Назвіть потенційні переваги безпілотних автомобілів.
4. Які рівні класифікації безпілотних автомобілів в залежності від ступеня автоматизації запропонувало SAE International?
5. Які недоліки автономних транспортних засобів?

3 ЗАВДАННЯ НА КОНТРОЛЬНІ РОБОТИ

Студенти заочної форми навчання відповідно до програми курсу «Основи мехатроніки» самостійно вивчають літературу, що рекомендується, і виконують одну контрольну роботу, яка складається з трьох питань. Залік по контрольній роботі студент одержує при особистій співбесіді з викладачем.

Оформляти роботу рекомендується на аркушах формату А4 (210x297), зброшурованих і закріплених у швидкозшивачі. При оформленні роботи слід керуватися вимогами ДСТУ 3008:2015 - «Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання» (Київ, ДП «УкрНДНЦ», 2016).

При виконанні контрольної роботи необхідно пояснювати текст схемами і рисунками в масштабі. На обкладинці роботи треба вказати: назву предмета; прізвище, ім'я, по батькові студента; шифр; спеціальність; номер залікової книжки; домашню адресу (для іногородніх) з поштовим індексом; дату виконання. Контрольна робота повинна бути підписана студентом.

Матеріал контрольної роботи розташовується в наступному порядку:

- титульний лист;
- теоретична частина;
- графічна частина;
- висновки;
- перелік посилань.

Наприкінці роботи обов'язково необхідно привести список використаної літератури та електронних джерел, на які наведені посилання в контрольній роботі, з обов'язковим зазначенням по кожному літературному джерелу прізвища та ініціалів автора, назви книги, місця видання, видавництва і року видання, URL електронного ресурсу.

Контрольна робота повинна бути особисто підписана студентом. Залік по контрольній роботі студент одержує при особистій співбесіді з викладачем.

3.1 Список варіантів контрольних робіт

ВАРІАНТ 1

1. Історія розвитку мехатроніки.
2. Сучасні методи управління мехатронними модулями і системами.
3. Технологічні машини-гексаподи.

ВАРІАНТ 2

1. Основні поняття і визначення мехатроніки.
2. Транспортні мехатронні системи.
3. Мехатроніка в медицині.

ВАРІАНТ 3

1. Мікромехатронні пристрої.
2. Історія розвитку мехатроніки.
3. Основи конструювання мехатронних систем.

ВАРІАНТ 4

1. Периферійні пристрої комп'ютерів як мехатронні об'єкти.
2. Гальмівні пристрої і механізми для вибірки люфтів.
3. Основні поняття і визначення мехатроніки.

ВАРІАНТ 5

1. Сучасні методи управління мехатронними модулями і системами.
2. Модельне проектування мехатронних систем в LabVIEW.
3. Розвиток систем управління зі зворотним зв'язком.

ВАРІАНТ 6

1. Мехатроніка - основа інтелектуальної техніки нового покоління.
2. Історія розвитку мехатроніки.
3. Ієрархія управління в мехатронних системах.

ВАРІАНТ 7

1. Структура, класифікація та основи кінематики маніпуляційних систем промислових роботів.
2. Метод перенесення функціонального навантаження на інтелектуальні пристрої.
3. Основні поняття і визначення мехатроніки.

ВАРІАНТ 8

1. Структура і принципи інтеграції мехатронних систем.
2. Мехатроніка в медицині.
3. Електродвигуни мехатронних модулів.

ВАРІАНТ 9

1. Основи конструювання мехатронних систем.
2. Історія розвитку мехатроніки.
3. Мікромехатронні пристрої.

ВАРІАНТ 10

1. Розвиток інформаційних комп'ютерних систем автотранспорту.
2. Транспортні мехатронні системи.
3. Сучасні методи управління мехатронними модулями і системами.

ВАРІАНТ 11

1. Системи керування автомобільними двигунами.
2. Основні поняття і визначення мехатроніки.
3. Технологічні машини-гексаподи.

ВАРІАНТ 12

1. Особливості систем керування бензинових двигунів.
2. Історія розвитку мехатроніки.
3. Системи керування підвіскою автомобілів.

ВАРІАНТ 13

1. Розвиток систем управління зі зворотним зв'язком.
2. Гальмівні пристрої і механізми для вибірки люфтів.
3. Основи конструювання мехатронних систем.

ВАРІАНТ 14

1. Особливості систем керування дизельних двигунів.
2. Основні поняття і визначення мехатроніки.

3. Змієподібні мобільні роботи і маніпулятори.

ВАРІАНТ 15

1. Системи бортової самодіагностики автомобіля.
2. Історія розвитку мехатроніки.
3. Периферійні пристрої комп'ютерів як мехатронні об'єкти.

ВАРІАНТ 16

1. Мехатроніка в медицині.
2. Сучасні методи управління мехатронними модулями і системами.
3. Електронне керування жорсткістю підвіски, амортизаторами та регулювання висоти кузова.

ВАРІАНТ 17

1. Екзоскелети: аналіз конструкцій, принципи створення, основи моделювання.
2. Основні поняття і визначення мехатроніки.
3. Електродвигуни мехатронних модулів.

ВАРІАНТ 18

1. Керування мікрокліматом в салоні автомобіля.
2. Історія розвитку мехатроніки.
3. Інформаційні технології інтелектуальних систем управління.

ВАРІАНТ 19

1. Антиблокувальні системи автомобілів.
2. Транспортні мехатронні системи.
3. Метод перенесення функціонального навантаження на інтелектуальні пристрої.

ВАРІАНТ 20

1. Керування гальмовою системою при круїз-контролі.
2. Мікромехатронні пристрої.
3. Основи конструювання мехатронних систем.

ВАРІАНТ 21

1. Технологічні машини-гексаподи.
2. Історія розвитку мехатроніки.
3. Модельне проектування мехатронних систем в LabVIEW.

ВАРІАНТ 22

1. Структура, класифікація та основи кінематики маніпуляційних систем промислових роботів.
2. Основні поняття і визначення мехатроніки.
3. Розвиток систем управління зі зворотним зв'язком.

ВАРІАНТ 23

1. Мехатроніка - основа інтелектуальної техніки нового покоління.
2. Сучасні методи управління мехатронними модулями і системами.
3. Електродвигуни мехатронних модулів.

ВАРІАНТ 24

1. Мехатроніка в медицині.
2. Гальмівні пристрої і механізми для вибірки люфтів.
3. Транспортні мехатронні системи.

ВАРІАНТ 25

1. Основні поняття і визначення мехатроніки.
2. Периферійні пристрої комп'ютерів як мехатронні об'єкти.
3. Мікромехатронні пристрої.

**4 КОНТРОЛЬНІ ЗАХОДИ З ПЕРЕВІРКИ
ЯКОСТІ ЗАСВОЄННЯ НАВЧАЛЬНОГО
МАТЕРІАЛУ ДИСЦИПЛІНИ**

На підставі робочої програми дисципліни та вимог організації навчального процесу, кафедра розробляє контрольні заходи з перевірки якості засвоєння студентом навчального матеріалу дисципліни. Контрольні заходи з дисципліни «Основи мехатроніки» передбачають

наступне:

- опитування за окремими темами лекційного курсу;
- виконання тестових письмових робіт на рубіжному контролі;
- виконання та захист практичних робіт;
- виконання та захист контрольних робіт;
- складання заліку.

Для закріплення поточних знань протягом семестру, до проведення підсумкового модульного контролю, проводяться контрольні заходи (письмове опитування студентів за матеріалами лекцій, що були прочитані), на підставі яких студент отримує загальну оцінку.

При виконанні письмової роботи, студенти одержують завдання по висвітленню певних теоретичних питань або розв'язку завдань. Робота виконується студентом письмово й здається викладачеві. При цьому оцінюються володіння матеріалом по темі роботи, аналітичні здатності студента, його володіння методами, уміння й навички, необхідні для виконання завдань.

Залік націлений на комплексну перевірку освоєння дисципліни. Залік проводиться в усній або письмовій формі по білетах, у яких наводяться питання (завдання) по всіх темах курсу. Студенту дається час на підготовку. Оцінюється володіння матеріалом, його системне освоєння, здатність застосовувати потрібні знання, навички й уміння при аналізі проблемних ситуацій і вирішенні практичних завдань.

Слід зазначити, що всі заплановані заходи мають бути складені позитивно. Негативна оцінка з будь якого контрольного заходу свідчить про незасвоєння студентом навчального матеріалу.

Студент, який одержав за результатами модульного контролю позитивні оцінки, виконав всі завдання, що передбачені робочим навчальним планом дисципліни допускається до складання заліку.

Студент, який отримав на модульному контролі незадовільну оцінку або не з'явився на нього, має можливість повторного складання протягом одного-двох тижнів.

5 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Надається перелік навчальної та довідникової літератури, що рекомендується при вивченні дисципліни «Основи мехатроніки». Слід мати на увазі, що джерела, які можуть бути використані студентом для самопідготовки при вивченні дисципліни, не обмежуються тільки

цим, наведеним нижче переліком літератури.

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. Карташев 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 AG, 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.

6 ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

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

- vier.com/mechatronics (дата звернення: 27.12.2019).
3. 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).
 4. Robotics. <https://curlie.org/Computers/Robotics> (дата звернення: 27.12.2019).
 5. IEEE Robotics and Automation Society. <http://www.ieee-ras.org> (дата звернення: 27.12.2019)
 6. 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)
 7. 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)
 8. Automotive Electronic Systems Clemson Vehicular Electronics Laboratory Website <http://www.cvel.clemson.edu/auto/systems/auto-systems.html> (дата звернення: 27.12.2019).
 9. Seattle Robotics «What is a Servo?». <http://www.seattlerobotics.org/guide/servos.html> (дата звернення: 27.12.2019).
 10. Different types of servo motors. <http://www.servotronix.com/servomotors.html> (дата звернення: 27.12.2019).
 11. Automotive Manufacturing Engineering Overview. <http://www.automotiveengineeringhq.com/automotive-manufacturing-engineering/> (дата звернення: 27.12.2019).
 12. Engineering Synergy. <http://myengineeringssystems.co.uk/> (дата звернення: 27.12.2019).
 13. 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).
 14. 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).