ЛЕКЦІЯ 1
ГОЛОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРОМЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

План

1. Мехатроніка. Головні поняття та визначення.
2. Роль і місце мехатронних систем в роботі транспортних засобів.
3. Складники мехатронної системи. Функціональне призначення.

1.1 Мехатроніка. Головні поняття та визначення

Мехатро́ніка (рос. *мехатроника*, англ. *mechatronics*, нім. *echatronik f*) – галузь науки та техніки, заснована на синергетичному об'єднанні вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними й комп'ютерними компонентами, що забезпечують проектування та виробництво якісно нових модулів, систем і машин з інтелектуальним управлінням їхніми функціональними рухами. Мехатроніка є своєрідною сучасною філософією проектування складних керованих технічних об'єктів.

Синергетика та мехатроніка. Принципи синергетики лежать в основі побудови мехатронних систем (див. мехатроніка) – поєднання в одному аґреґаті компонент різної технічної природи (механічних, електротехнічних, комп'ютерних), які адаптивно взаємодіють із зовнішнім середовищем як єдиний функціональний і конструктивний організм.

Синергетичну інтеграцію в мехатроніці під час проектування здійснюють двома способами [1]:

1) шляхом функціонально-структурної інтеграції (ФС-інтеграції), завданням якої є пошук мехатронних структур, що реалізують задані функціональні перетворення за допомогою мінімальної кількості структурних блоків і суміжних з ними інтерфейсів на основі програмно-апаратних елементів або у вигляді механічних перетворювачів руху, електротехнічних або гідравлічних перетворювачів енергії;

2) структурно-конструктивної інтеграції (СК-інтеграції), що полягає в мінімізації конструктивних рішень для реалізації необхідної структури.

Синергетична інтеграція повинна виконуватися тільки на основі паралельного проектування, методологією якого (на відміну від традиційного послідовного) є одночасний і взаємопов'язаний синтез всіх компонент (традиційного й інтелектуального характеру) технічної системи мехатронного класу.

Термін **«мехатроніка»** уведений японцем Тецуро Морія (Tetsuro Moria), старшим інженером компанії Yaskawa Electric, у 1969 році. Ця назва отримана комбінацією слів «МЕХАніка» і «елекТРОНІКА». Незважаючи на наявність

стандартного визначення, мехатроніка залишається дещо суперечливим поняттям. Часто цей термін використовують у значенні електромеханіка, що є суперечливим, але допустимим.

Завдання мехатроніки як науки полягає в інтеграції знань із таких раніше відособлених галузей, як точна механіка та комп'ютерне керування, інформаційні технології та мікроелектроніка. На стиках цих наук і виникають нові ідеї мехатроніки. Науково-технічне рішення можна вважати мехатронним, якщо компоненти не просто взаємодіють один з одним, але при цьому утворена система має нові властивості, які не були властиві її складниками.

Чому механіка? Сьогодні без знання законів механіки неможливо уявити сучасне життя та розвиток цивілізації. Кожен крок людини пов'язаний з використанням пристроїв, механізмів та машин. Вони полегшують нам життя але й вимагають відповідних знань та умінь.

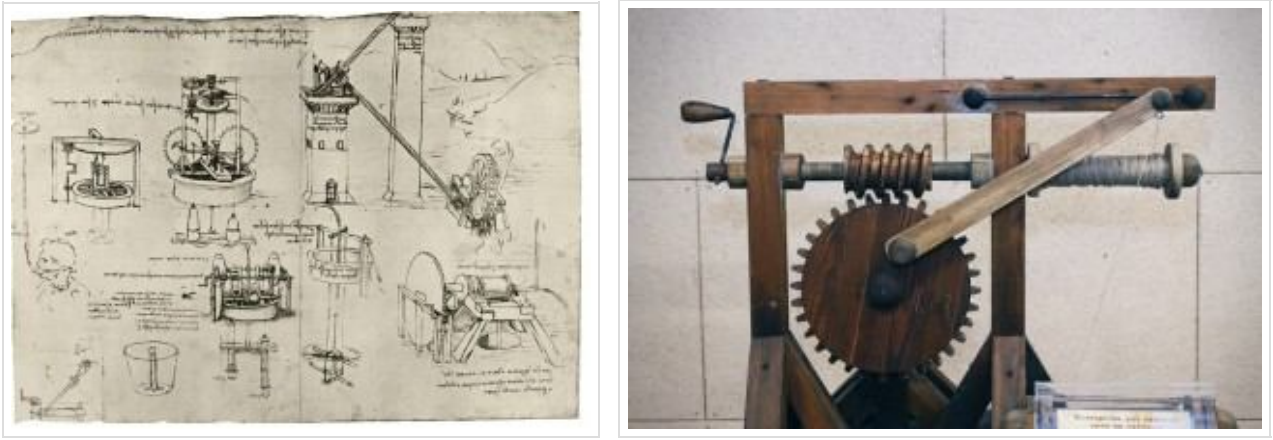


Рисунок 1.1 – Фрагменти стародавніх мехатронних машин і систем

Переклад терміну «**механіка**» від грецького (μηχανική) – це мистецтво створення машин. Ця наука виникла в стародавні часи, на зорі розвитку нашої цивілізації.

Усім відомі з дитинства імена великих механіків. Безцінний внесок у розвиток механіки внесли Ейлер, Лангранж, Якобі, Остроградський, Жуковський, Герц, Мещерський, Ціолковський та багато інших. Кругом, де з'являлася людина, її діяльність була пов'язана з механікою.

Перший трактат із механіки, що дійшов до наших часів, з'явився в стародавній Греції у вигляді твору Аристотеля (384–322 рр. до н. е.). Далі наукові основи статики у механіці розробив Архімед (287– 12 рр. до н. е.). Продовжив ці дослідження Герон Александрійський (I ст. до н. е.) та римський архітектор Марк Ветрувія (I ст. до н. е.). Так із покоління в покоління на протязі багатьох століть розвивалась наука механіка. Відповідно до цього разом з розвитком людства удосконалювались існуючі механізми та з'являлись нові. Вони стали невід'ємною частиною життя з моменту свого виникнення.

Рисунок 1.2 – Сучасні мехатронні машини та системи

Однак досить тривалий час прості пристосування не вимагали фахівців для їх обслуговування. Перші механіки з'явилися в Стародавньому Римі. Вони займалися обслуговуванням установок для перекачування води. Надалі професія починає свій стрімкий розвиток. З розробкою нових механізмів з'являлися і майстри, які забезпечували їхнє справне функціонування. Цих фахівців називали по-різному: ремісниками, робітниками тощо. Словом «механік» професію назвали в кінці XIX століття, після технічної революції. З цього моменту механізми постійно змінюються та модернізуються, те саме відбувається і з фахівцями-механіками.

Інженер-механік – це висококваліфікований фахівець у галузі механічних систем. Він знає особливості їхньої конструкції, послідовність ремонту та особливості обслуговування. Механіки – головні фахівці на виробничих підприємствах різних галузей промисловості де застосовується технічне обладнання.

Сучасна професія механіка має широкий спектр необхідних навичок та знань. Це професія, яка вимагає постійного розвитку. Так фахівцю механіку потрібно бути в авангарді прогресу, постійно володіти інформацією щодо новітніх науково-технічних розробок та винаходів. Ураховуючи величезну різноманітність техніки і механізмів, знання з одного напрямку механіки замало для їх проектування, ремонту та обслуговування. Сучасний механік повинен володіти на належному рівні знаннями з електрики, електроніки та комп'ютерних наук [1,2].

У сучасному світі механіка трансформувалась в мехатроніку. За визначенням **мехатроніка** (англ. mechatronics) – галузь науки та техніки, заснована на синергетичному об'єднанні вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними й комп'ютерними компонентами, що забезпечують проектування і виробництво якісно нових модулів, систем і машин з інтелектуальним управлінням їхніми функціональними рухами. Мехатроніка є своєрідною сучасною філософією проектування складних керованих технічних об'єктів. Завдання мехатроніки як науки полягає в

інтеграції знань з раніше відособлених галузей, таких як прецизійна механіка й комп'ютерне керування, інформаційні технології та мікроелектроніка.

Мехатронний підхід до проектування гірничого обладнання полягає в тому, що під час проектування складного гірничого обладнання такі об'єкти повинні створюватися як органічні цілісні електро-механо-гідро-електронні технічні системи, що включають електронно-комп'ютерну апаратуру автоматизованого управління.

Мехатроніка вже увійшла не лише до професійного, але й у повсякденне життя сучасної людини. Адже і домашні побутові машини, і трансмісії нових автомобілів, і цифрові відеокамери, і дисководи комп'ютерів побудовані на мехатронних принципах.

Останнім часом декількома компаніями (зокрема Google) активно ведуться роботи зі створення автомобіля без водія, автомобіля керованого комп'ютером. В експериментах беруть участь десятки автомобілів різних класів. За даними Google їхні автомобілі на червень 2016 року в автономному режимі проїхали більше 2,7 мільйона кілометрів.

Загальне визначення мехатроніки в широкому розумінні подано в Державному освітньому стандарті РФ міждисциплінарної спеціальності 07.18 «Мехатроніка» (1995 рік):

*«**Мехатроніка** – це нова галузь науки і техніки, присвячена створенню та експлуатації машин і систем із комп'ютерним керуванням рухом, яка базується на знаннях в галузі механіки, електроніки й мікропроцесорної техніки, інформатики та комп'ютерного керування рухом машин і агрегатів».*

У цьому визначенні особливо підкреслена триєдина сутність мехатронних систем (МС), в основу побудови яких покладено ідею глибокого взаємозв'язку механічних, електронних і комп'ютерних елементів. Поширеним графічним символом мехатроніки (рис. 1.3) стала діаграма з вебсайту RPI (Rensselaer Polytechnic Institute, NY, USA) [1].

Рисунок 1.3 – Діаграма взаємоперетину різних галузей науки та техніки, на основі яких формується мехатроніка

Відомо кілька визначень, опублікованих у періодичних виданнях, працях міжнародних конференцій і симпозіумів, де поняття про мехатроніку конкретизується та спеціалізується. На підставі розглянутих вище визначень пропонується таке спеціальне формулювання **предмета мехатроніки** [2]:

«Мехатроніка вивчає синергетичне об'єднання вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними й комп'ютерними компонентами з метою проектування та виробництва якісно нових модулів, систем, машин і комплексів машин з інтелектуальним керуванням їхніми функціональними рухами».

Коментарі до визначення:

1. Мехатроніка вивчає особливий методологічний (концептуальний) підхід у побудові машин із якісно новими характеристиками. Важливо підкреслити, що цей підхід є досить універсальним і може бути застосований у машинах і системах різного призначення. Однак варто зазначити, що забезпечення високу якість управління мехатронної системою можна тільки з урахуванням специфіки конкретного керованого об'єкта. Тому вивчення мехатроніки доцільно здійснювати за спеціальностями, предметом яких є конкретні класи виробничих машин і процесів.

2. У визначенні підкреслюється синергетичний характер інтеграції складових елементів у мехатронних об'єктах. Синергія (грец.) – це спільна дія, спрямована на досягнення єдиної мети. При цьому принципово важливо, що складники не просто доповнюють один одного, але об'єднуються таким чином, що утворена система має якісно нові властивості. У мехатроніці всі енергетичні та інформаційні потоки спрямовані на досягнення єдиної мети – реалізації заданого керованого руху.

3. Інтегровані мехатронні елементи вибираються розробником вже на стадії проектування машини, а потім забезпечується необхідна інженерна та технологічна підтримка під час виробництва та експлуатації машини. У цьому полягає радикальна відмінність мехатронних машин від традиційних, коли найчастіше користувач був змушений самостійно об'єднувати в систему різноманітні механічні, електронні та інформаційно-керувальні пристрої різних виробників. Саме тому багато складних комплексів (наприклад, деякі гнучкі виробничі системи у вітчизняному машинобудуванні) показали на практиці низьку надійність і невисоку техніко-економічну ефективність.

4. 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.

5. Базовими об’єктами вивчення мехатроніки є мехатронні модулі, які виконують рухи, за звичай по одній керованої координаті. З таких модулів, як з функціональних кубиків, компонуються складні системи модульної архітектури.

6. Мехатронні системи призначені, як випливає з визначення, для реалізації заданого руху. Критерії якості виконання руху МС є проблемно-орієнтованими, тобто визначаються шляхом визначення конкретної прикладної задачі. Специфіка завдань автоматизованого машинобудування полягає в реалізації переміщення вихідної ланки – робочого органу технологічної машини (наприклад, інструмента для механічної обробки). При цьому необхідно координувати управління просторовим переміщенням МС із керуванням різними зовнішніми процесами. Прикладами таких процесів можуть слугувати регулювання силової взаємодії робочого органу з об’єктом робіт ппід час механообрабки, контролю і діагностики поточного стану критичних елементів МС (інструмента, силового перетворювача), управління додатковими технологічними впливами (тепловими, електричними, електрохімічними) на об’єкт робіт при комбінованих методах обробки, управління допоміжним обладнанням комплексу (конвеєрами, завантажувальними пристроями тощо), видача та прийом сигналів від пристроїв електроавтоматики (клапанів, реле, перемикачів). Такі складні координовані рухи мехатронних систем будемо надалі називати функціональними рухами.

7. У сучасних МС для забезпечення високої якості реалізації складних і точних рухів застосовуються методи інтелектуального управління (advanced intelligent control). Дана група методів спирається на нові ідеї в теорії управління, сучасні апаратні та програмні засоби обчислювальної техніки, перспективні підходи до синтезу керованих рухів МС.

Варто зазначити, що мехатроніка як нова галузь науки та техніки, перебуває на стадії свого становлення, її термінологія, межі та класифікаційні ознаки ще чітко не визначені. Здається, що на нинішньому етапі найважливіше значення має виявлення сутності нових принципів побудови та тенденцій розвитку машин із комп’ютерним управлінням рухом, а відповідні семантичні поняття та визначення безумовно з часом устояться.

1.2 Роль і місце мехатронних систем у роботі транспортних засобів

До складу будь-якої машини входять механічна частина, приводна (переважно електромеханічна) частина, а також система керування. Елементами механічної частини такі:

– робочий орган (лебідка крана, робоче колесо насоса, фреза металорізального верстата), що виконує корисну механічну роботу (переміщення вантажу, механічна обробка деталі тощо);

– механічна передача, яка змінює швидкість руху або його характер (поступальний замість обертального).

Завданням приводної частини (електроприводу) є перетворення електричної енергії на механічну та приведення до руху робочих органів машини.

Електропривод – високотехнологічна автоматизована електромеханічна система, до складу якої входять електричні, механічні, електронні вузли. Сучасний електропривод складається з електричного двигуна, електронного перетворювача електричної енергії та системи автоматичного керування. За допомогою електроприводів приводяться до руху майже всі механізми на заводах та фабриках, транспортні засоби, побутова техніка. Трамваї та тролейбуси, потяги та літаки, верстати та підйомні крани, пароплави та автомобілі, вентилятори та кондиціонери, пральні машини та холодильники, принтери та годинники, сканери та дисководи обладнані електроприводами. Різноманітні електроприводи (від крихітки, який обертає стрілки годинника, до гіганта розміром з двоповерхівку, що рухає потужний прокатний стан) споживають разом понад 60 % енергії, виробленої усіма електростанціями України.

Без електроприводів неможливе сучасне автоматизоване виробництво.

Особливостями сучасного електропривода такі [1,2]:

– широке використання напівпровідникових перетворювачів енергії для регулювання швидкості електроприводів;

– застосування мікропроцесорних контролерів для реалізації завдань керування електроприводами.

Рисунок 1.4 – Структура сучасного електропривода промислового механізму

Мережа електропостачання є джерелом електричної енергії.

Перетворювач електричної енергії використовується для керування потоком електричної енергії, що поступає від мережі до двигуна. Керуючи електричною енергією, перетворювач дозволяєдає змогу керувати швидкістю двигуна. Сучасні перетворювачі виготовляються на базі потужних напівпровідникових елементів. Найпоширенішими різновидами перетворювачів енергії перетворювачі частоти та випрямлячі.

Система автоматичного керування входить до складу перетворювача та становить мікропроцесорну систему, запрограмовану спеціальними законами стабілізації швидкості двигуна.

Двигун – це перетворювач електричної енергії в механічну. Окрім класичних двигунів, що обертаються, існують лінійні двигуни, рухлива частина яких рухається лінійно.

Редуктор використовується для зміни параметрів механічної енергії (наприклад, зменшення швидкості та підвищення моменту або для перетворення обертального руху на прямолінійний).

Виконавчий механізм – механізм, який безпосередньо виконує корисну роботу (підйом вантажу, рух транспорту, обертання вентилятора тощо).

Система автоматизації технологічного процесу – комп'ютеризований пристрій, який керує роботою виконавчого механізму. Керування відбувається шляхом розрахунку завдання на поточну швидкість. Завдання на швидкість подається на систему керування перетворювача електричної енергії.

Предметом діяльності інженера з автоматизованого електроприводу є керування електричними двигунами. На сучасному ринку праці до інженера з електроприводу висуваються вимоги:

- уміння налагоджувати цифрові електроприводи (насамперед перетворювачі частоти, пристрої плавного пуску);
- здатність програмувати та настроювати сучасні засоби автоматизації (програмовані логічні контролери, цифрові регулятори, технологічні давачі);
- володіння програмами автоматизованого проектування.

Рисунок 1.5 – Галузі використання електропривода

Електромеханічна приводна частина складається з електричного двигуна та електронного силового перетворювача, який перетворює електроенергію, спожиту з джерела (системи електропостачання) до вигляду, придатного для живлення обмоток двигуна. Саме через цей перетворювач і здійснюється керування швидкістю, зусиллями та положенням валу двигуна та, зрештою, робочого органу [1,2].

Останнім часом у побудові машин нового покоління спостерігається тенденція передачі все більшої кількості функцій від механічних вузлів до інтелектуальних (електронних, комп'ютерних, інформаційних), із яких складається система керування машиною. Інтелектуальні вузли легко перепрограмовуються під нове завдання, що розширює функціональні можливості машини. Водночас із розвитком техніки вузли машини різної фізичної природи (механічні, електричні, електромеханічні, електронні,

інформаційні) поступово об’єднувалися в єдине конструктивне ціле. Саме такі інтелектуальні машини та вузли називають мехатронними.

Мехатроніка (Mechatronics) – галузь науки та техніки, присвячена створенню та експлуатації машин із комп’ютерним керуванням рухом, яка базується на знаннях у сферах електромеханіки, електроніки, мікропроцесорної техніки, автоматики та ІТ-технологій.

Термін «мехатроніка» з’явився наприкінці 60-х років минулого століття в Японії. Він є комбінацією слів «МЕХАніка» та «елекТРОНІКА».

Як видно, вона вбирає в себе досягнення не лише механіки та електроніки, а й сучасних цифрових систем керування та автоматизованого проектування (CAD). У зовнішньому колі показані основні сфери застосування мехатроніки.

Ключовим елементом мехатронних систем є мехатронний модуль руху. Одним із найперших таких модулів став свого часу мотор-редуктор (рис. 1.6), що поєднав у собі приводний електричний двигун та індустріальний механічний редуктор. Його використання значно спростило розробку та виготовлення машини, її надійність.

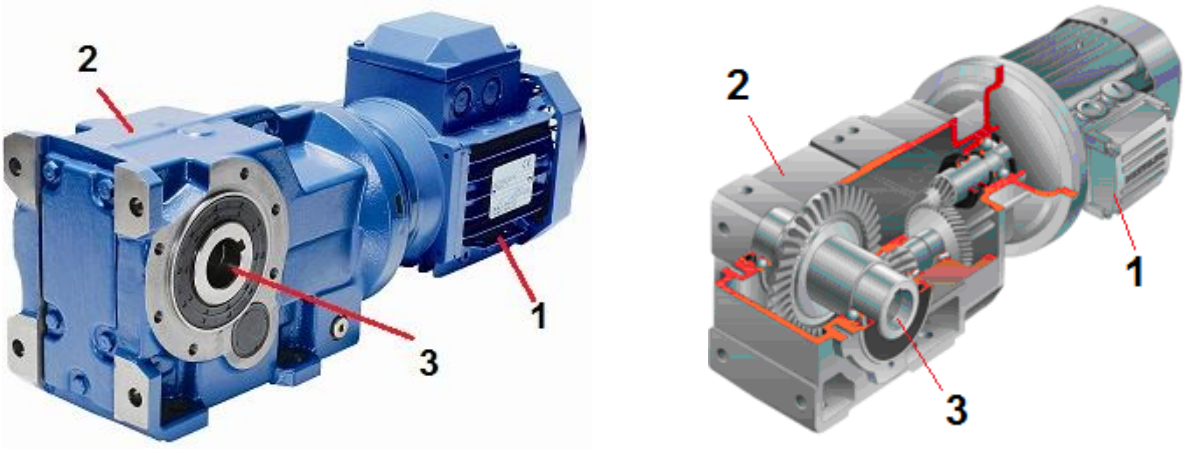


Рисунок 1.6 – Мотор-редуктори:
1 – електричний двигун; 2 – редуктор; 3 – вихідний вал редуктора

Подальша мініатюризація засобів силової та керуючої електроніки дала змогу конструктивно об’єднати з електромеханічними вузлами ще й електронні. З’явилися **інтелектуальні мехатронні модулі** (ІММ) у вигляді двигунів та мотор-редукторів із силовими перетворювачами (перетворювачами частоти) на борту (рис. 1.7). Подібні пристрої завдяки наявності в їхньому складі обчислювальних пристроїв здатні автономно виконувати переміщення робочих органів машин без постійного контролю з боку системи автоматизації верхнього рівня.

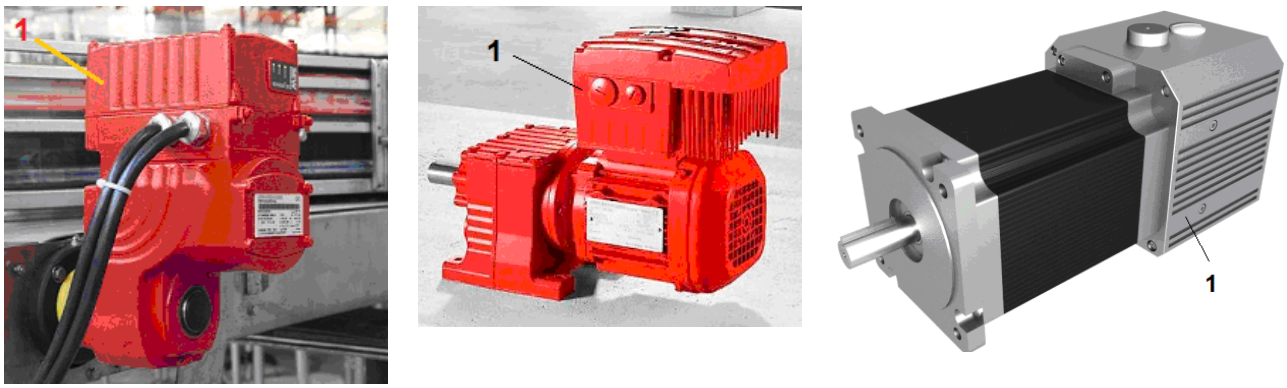


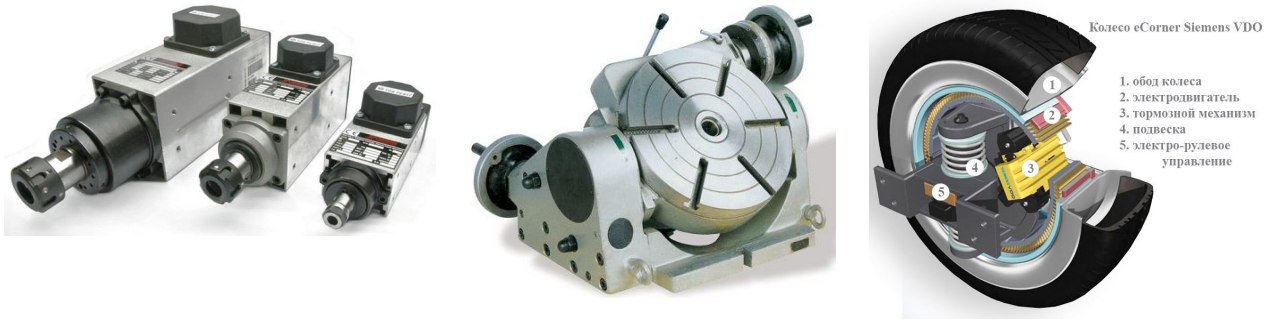
Рисунок 1.7 – Двигуни та мотор-редуктори із вмонтованими перетворювачами частоти (1)

Для потреб машинобудування (насамперед для верстатів з числовим програмним керуванням та промислових роботів) розроблені мехатронні модулі, які поєднують у собі не лише електромеханічні вузли, а й сам робочий орган машини:

– електрошпиндель (електродвигун + шпиндельний вузол для закріплення різального інструмента, рис. 1.8, а);

– поворотний стіл для закріплення оброблюваної деталі (рис. 1.8, б);

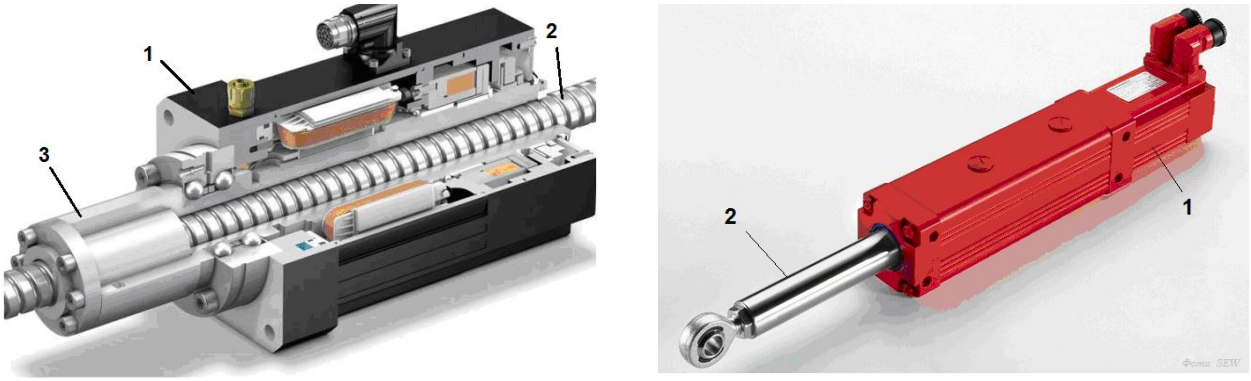
– мотор-колесо (поєднання двигуна та колеса транспортного засобу, рис. 1.8, в) тощо.



а б в

Рисунок 1.8 – Мехатронні модулі з інтегрованим робочим органом

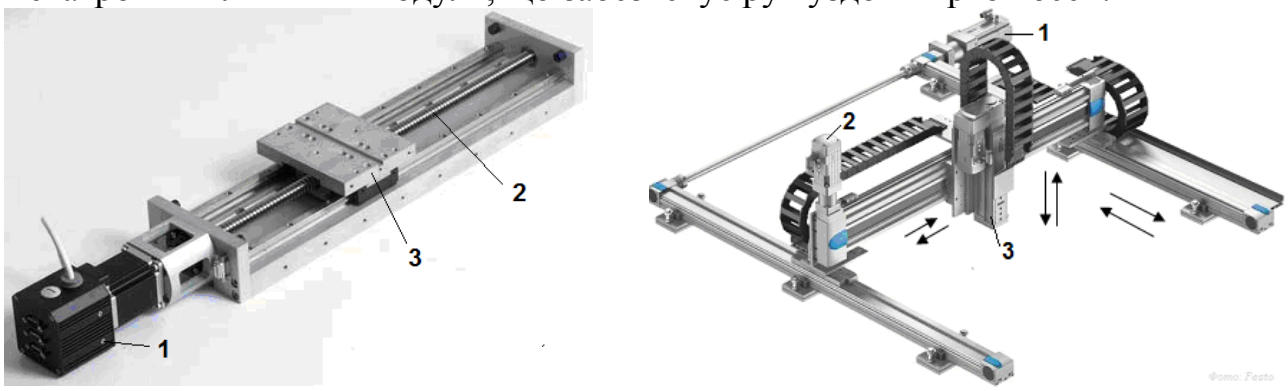
Велика кількість механізмів має поступальний рух робочого органу (механізми подач верстатів, деякі промислові роботи тощо). Для них розроблені мехатронні модулі поступального руху. На рисунку 1.9, а зображено розтин електроциліндра, що складається з електродвигуна (1), гвинта (2) (одночасно є ротором двигуна) та нерухомої гайки (3). Два останні утворюють кулько-гвинтову передачу, у якій обертання гвинта призводить до його поступального руху. На рисунку 1.9, б зображено електроциліндр у зборі.



а б

Рисунок 1.9 – Електроциліндри

Тієї самої мети можна досягти за допомогою так званих «лінійних осей». На рисунку 1.10, а зображено комплектний модуль, до складу якого входить серводвигун (1) із перетворювачем частоти та електромагнітним гальмом, гвинт (2) та супорт із гайкою (3). Обертання валу двигуна та гвинта призводить до поступального переміщення супорта. На рисунку 1.10, б можна бачити мехатронний лінійний модуль, що забезпечує рух уздовж трьох осей.



а б

Рисунок 1.10 – Лінійні осі:
а – однокоординатна; б – трикоординатна

Значного спрощення механічної частини можна домогтися шляхом використання лінійних двигунів замість звичайних двигунів обертального руху (рис. 1.11). Лінійний двигун не має обертальних частин. Його рухома частина (1) має обмотку, яка створює магнітне поле. Це поле відштовхується від нерухомої частини (2) із постійними магнітами, яка виконує роль напрямних, та забезпечує поступальне переміщення рухомої частини.

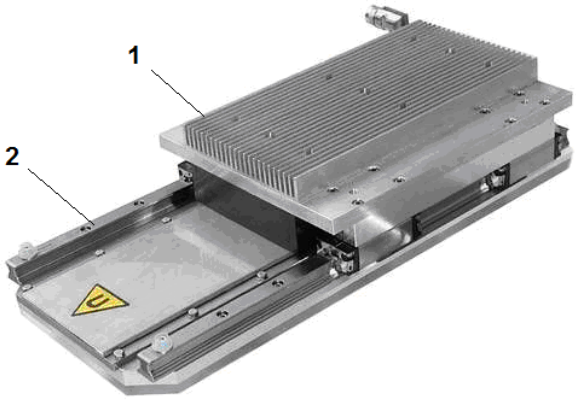


Рисунок 1.11 – Мехатронний модуль із лінійним двигуном

Головні переваги використання інтелектуальних мехатронних модулів:

– здатність ІММ виконувати складні рухи самостійно, без звернення до контролера верхнього рівня керування, що підвищує автономність модулів, гнучкість та живучість мехатронних систем;

– спрощення комунікації між модулями та центральним пристроєм керування (аж до переходу до бездротових комунікацій);

– підвищення надійності та безпеки мехатронних систем завдяки комп'ютерному діагностуванню несправностей та автоматичному захисту в аварійних ситуаціях;

– створення на основі ІММ розподілених систем автоматизації, для яких характерне делегування повноважень «зверху» до «низу» (тобто перехід від «монархії» до «демократії»), широке використання мережних технологій обміну інформацією;

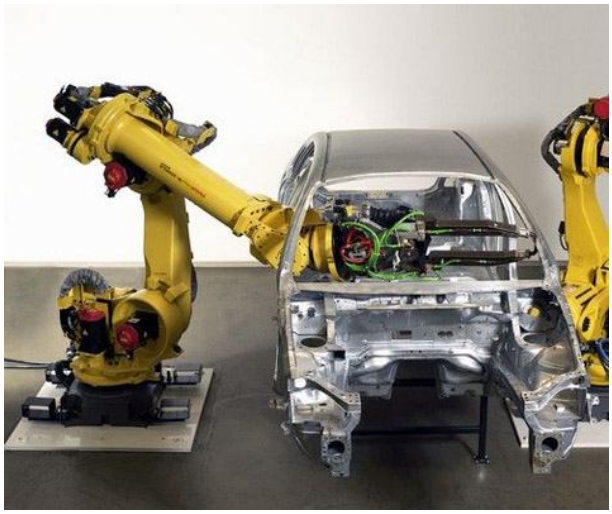
– використання інтелектуальних сенсорів в ІММ призводить до підвищення точності вимірювань завдяки первинній обробці інформації, фільтрації шумів тощо.

Для реалізації точних рухів мехатронний модуль комплектується давачем положення (енкодером, рис. 1.12). Електропривод, обладнаний таким давачем, називають сервоприводом. До складу систем керування рухом, що поєднують кілька сервоприводів (ІММ), входять контролери керування рухом (сервоконтролери, рис. 1.13). До головних функцій сервоконтролерів належать координація рухів окремих сервоприводів (мехатронних модулів) та формування для них завдань на переміщення з метою реалізації складних просторових траєкторій руху [1,2].

Рисунок 1.12 – Енкодери

Рисунок 1.13 – Сервоконтролери

Яскравим прикладом мехатронної системи є роботи та маніпулятори (рис. 1.14). Вони все частіше використовуються для зварювальних та фарбувальних робіт, збиральних операцій, виготовлення електронних друкованих плат, металообробки, у космічних дослідженнях і навіть у побуті.



а

б

Рисунок 1.14 – Промислові роботи: а – зварювальний; б – пакувальний

Деякі різновиди роботів (зокрема зображені на рис. 1.14) чимось подібні до людської руки як за конструкцією, так і за призначенням. Завданням інших є автоматичне переміщення вантажів цехом, тому вони виглядають, як візки (рис. 1.15).

Типовою мехатронною системою є верстат із числовим програмним керуванням (ЧПК), який використовують для механічної обробки виробів з металу, деревини, пластмас (рис. 1.16). Роботу модулів руху (осей) координує цифрова система ЧПК, до якої попередньо завантажено програму обробки.

Рисунок 1.15 – Робокар (автоматичний візок)

а б

Рисунок 1.16 – Верстати з ЧПК: а – токарний; б – фрезерувальний

Сьогодні мехатронні модулі й системи широко застосовуються також у таких галузях:

– автомобілебудування (наприклад, антиблокувальні системи гальм, системи стабілізації руху автомобіля й автоматичного паркування, автопілоти);

– 3D-принтери (рис. 1.17);

– нетрадиційні транспортні засоби (електровелосипеди, сегвеї, інвалідні візки, дрони, рис. 1.18);

– офісна техніка (наприклад, копіювальні й факсимільні апарати);

– елементи обчислювальної техніки (наприклад, принтери, плотери, дисководи);

– технологічні лінії та пакувальні машини харчової та обробної промисловості;

– поліграфічні машини;

– побутова техніка (пральні, швейні, посудомийні та інші машини);

– фото- і відеотехніка;

– медичне обладнання (реабілітаційне, клінічне, сервісне);

– тренажери для підготовки пілотів й операторів тощо.

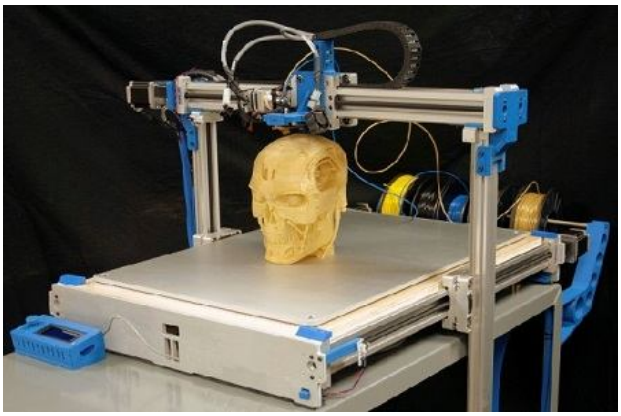


Рисунок 1.17 – 3D-принтер

Рисунок 1.18 – Дрон

Цифрові системи керування мехатронними системами залежно від ступеню складності та традицій певної галузі можуть бути реалізованими у вигляді:

- мікроконтролерів;
- сервоконтролерів;
- програмованих логічних контролерів (ПЛК);
- систем ЧПК (для роботів та верстатів);
- промислових комп'ютерів тощо.

Мехатронні системи, як і системи електроприводу, належать до електромеханічних систем. Проте до відмінностей мехатронних систем варто віднести:

- порівняно малу потужність (оскільки поєднання в одному конструктивному модулі механічних, електричних та електронних підсистем за великої їхньої потужності реалізувати неможливо);
- виключно цифрову природу систем керування (в електропривод можливий і аналоговий принцип побудови);
- переважно більшу точність та швидкодію.

1.3 Складники мехатронної системи. Функціональне призначення

Термін «мехатроніка» з'явився у результаті внаслідок системної інтеграції науково-технічних досягнень із механіки та електротехніки зі знаннями таких галузей науки, як електроніка й кібернетика, розвиток яких на сьогодні й найінтенсивніше. Його появі передував стрімкий науково-технічний прогрес у середині XX-го століття, до головних етапів якого відносяться механізація та автоматизація виробничих процесів.

Ретроспективний аналіз етапів науково-технічного прогресу, у наслідок якого з'явився термін мехатроніка, зроблено в роботі [1,2].

Механізація – заміна ручних знарядь праці машинами й механізмами із застосуванням для їхньої дії різних видів енергії в процесі трудової діяльності [2].

Автоматизація – застосування технічних засобів економіко-математичних методів і систем керування, які частково або повністю звільняють людину від безпосередньої участі в процесах отримання, перетворення, передачі та використання енергії, матеріалів або інформації [2].

Складником автоматизації є автоматика – галузь теоретичних і прикладних знань про автоматично функціонуючі пристрої та системи; розділ технічної кібернетики, який вивчає теорію створення та оптимізації використання технічних засобів автоматичного керування та автоматичного регулювання (наприклад, пристроями керування обчислювальних машин, пристроями керування на базі мікропроцесорної техніки, вимірювальних перетворювачів, виконавчих механізмів, регуляторів технологічних процесів, пристроїв реєстрації та відображення інформації тощо) [76].

Одним зі складників систем автоматики є гідроавтоматика – сукупність гідравлічних (електрогідравлічних, механогідравлічних) механізмів, приладів та пристроїв, що діють автоматично відповідно до заданого алгоритму для досягнення поставленої мети та в яких інформація та енергія подається та передається у вигляді гідравлічних сигналів (витрати, перепаду тиску).

Термін мехатроніка (mecha-tronics) отримано сполученням слів «механіка» та «електроніка», що спочатку означало використання комп'ютера для керування механічною системою. Головною рушійною силою широкого впровадження мехатронних систем у промисловість став розвиток обчислювальної техніки, мікросхемотехніки, мікропроцесорів та мікроконтролерів, що зумовило нове осмислення процесів передачі й перетворення інформації в електромеханічних системах. У літературних джерелах наведено різні визначення терміну «мехатроніка». Наведемо його визначення згідно з [1,2].

Мехатроніка – це галузь науки та техніки, що базується на синенергетичному об'єднанні вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними та комп'ютерними компонентами, що забезпечують проектування та виробництво якісно нових модулів, систем, машин та систем з інтелектуальним керуванням їхніми функціональними рухами. Графічним символом мехатроніки можна вважати чотири овали листоподібної форми, що перетинаються (рис. 1.20) і розміщені в зовнішній оболонці «Наука – виробництво – менеджмент – маркетинг».

Рисунок 1.19 – Графічний символ мехатроніки

Застосування мехатронного підходу під час створення машин із комп'ютерним керуванням визначає їхні головні переваги порівняно з традиційними засобами автоматизації [1,2]:

– порівняно невелику ціну, унаслідок високого ступеня інтеграції, уніфікації та стандартизації усіх елементів й інтерфейсів;

– високу якість реалізації складного та точного руху виконавчих механізмів унаслідок застосування методів інтелектуального керування;

– високу надійність, довговічність та захищеність від збурень;

– конструктивну компактність модулів (аж до мініатюризації в мікромашинах);

– покращення масогабаритних та динамічних характеристик машин шляхом спрощення кінематичних і комунікаційних ланок;

– можливість інтегрування функціональних модулів у складні системи та комплекси під конкретні завдання замовника.

Загалом функціональна схема мехатронної системи (рис. 1.20) складається з трьох підсистем: інформаційної, енергоелектронної та електромеханічної [6].

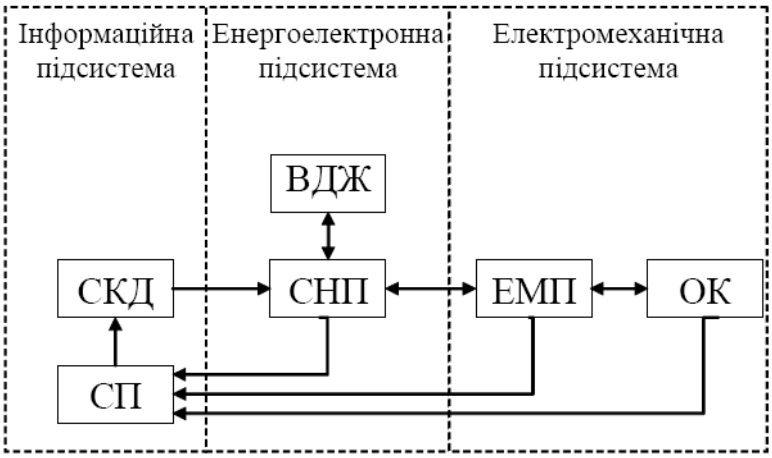


Рисунок 1.20 – Функціональна схема мехатронної системи

Електромеханічна підсистема містить об’єкт керування (ОК), зазвичай виконаний у вигляді привода, та електромеханічний (електрогідравлічний) перетворювач (ЕМП).

Енергоелектронна підсистема складається з силових напівпровідникових перетворювачів (СНП) та вторинного джерела живлення (ВДЖ).

Інформаційна підсистема містить систему керування іта діагностики (СКД) і блок сенсорних пристроїв (СП).

До особливостей мехатронних систем варто віднести те, що їхні ОК мають змінні параметри, а їхні математичні моделі створені на основі методів ідентифікації. ЕМП зазвичай є конструктивною ланкою об’єкта керування, що має оригінальне конструктивне виконання. Керування потоком енергії від ВДЖ до ЕМП здійснюється СНП. Об’єднання ВДЖ, СНП і ЕМП створюють мехатронну енергетичну підсистему (МЕП), яка має нові властивості, які відсутні в окремо взятих блоках. Мехатронна енергетична підсистема зазвичай є нелінійною, імпульсною підсистемою з параметрами, що змінюються дискретно.

Тому її аналіз, а також синтез системи керування потребує застосування методів, що базуються на сучасних комп’ютерних технологіях.

Розрахунок та проектування мехатронної системи складається з такого:

– побудови спільної моделі цифрової, імпульсної та аналогової частин;

– дослідження динамічних характеристик аналогової та імпульсної частин регулятора;

– дослідження динамічних характеристик усієї системи;

– дослідження статичних характеристик усієї системи.

Вимоги високої точності регулювання та високої швидкодії, що висуваються до мехатронних систем, обумовлюють застосування замкнутих систем, які дають змогу здійснити реалізацію двох головних принципів:

1) вихідна величина, що регулюється (швидкість, момент, кут тощо), повинна з максимальною точністю відтворювати вхідний (керувальний) сигнал;

2) вихідна величина, що регулюється, за можливості не повинна залежати від збурень, що діють на систему. При цьому збуреннями можуть бути напруга живлення, температура, момент навантаження, часові залежності параметрів тощо.

Отже, головним принципом керування мехатронних систем є принцип зворотного зв’язку, який дає змогу здійснювати контроль якості регулювання за відхиленням керованого параметра від заданого. В ідеальному для користувача варіанті мехатронна система, отримавши на вхід інформацію про мету керування, буде виконувати з бажаними показниками якості та точності

заданий функціональний рух. Отже, мехатронна система по суті повинна мати якості системи, що самоналаштовується.

Контрольні питання

1. Що таке мехатроніка? Головні завдання мехатроніки.
2. Назвіть принципи синергетики та мехатроніки.
3. Проаналізувати діаграму взаємоперетину різних галузей науки та техніки, на основі яких формується мехатроніка.
4. Роль і місце мехатронних систем в роботі транспортних засобів.
5. Складники мехатронної системи. Функціональне призначення.

ЛЕКЦІЯ 2
СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ. ПРИНЦИПИ ПОБУДУВАННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ПРИЛАДІВ І СИСТЕМ

План

1. Сучасні тенденції розвитку мехатронних систем.
2. Принципи побудови діагностичних приладів і систем.
3. Класифікаційні ознаки засобів діагностики.

2.1 Сучасні тенденції розвитку мехатронних систем

Сучасною тенденцією проектування та виробництва промислового обладнання є використання блочно-модульного принципу. Для мехатронних систем такими модулями є мехатронні модулі руху – синенергетична сукупність механічних (гідромеханічних, пневмо-механічних), електротехнічних, електронних компонентів та інформаційних і програмних засобів, які реалізують досягнення заданного керованого руху. Це дає змогу проводити декомпозицію складних систем, зменшуючи кількість степенів вільності, отримати їхню ієрархічну структуру.

За результатами структурного синтезу спростити систему шляхом мінімізації внутрішніх зворотних зв’язків, які можна одержати з інформаційної моделі, підпорядкувати структуру об’єкта процесу функціонування. Використовувати типові модулі при її побудові. Якщо траєкторія процесу експлуатації проста й система нескладна, то її будують в однорідному варіанті, використовуючи досвід попередніх розробок. Якщо траєкторія процесу експлуатації проста та громіздка, то її розділяють на фрагменти за мехатронними модулями руху. Коли траєкторія процесу експлуатації складна та велика, то спочатку проводять її мінімізацію та будують оптимальну ієрархічну структуру. Сучасні технологічні та мобільні машини (верстати з ЧПК, автоматичні лінії, промислові роботи тощо) містять декілька мехатронних модулів руху, які здійснюють переміщення в просторі робочих органів та виконавчих механізмів за заздалегідь заданою програмою траєкторією.

Узагальнена схема робочої машини на базі мехатронних модулів руху (ММР), яка орієнтована на завдання автоматизованого виробництва, зображена на рисунку 2.1 [1,2].

Для цього класу машин зовнішнім середовищем є технологічне, яке містить різне допоміжне обладнання, технологічну оснастку та об’єкти виробництва. Під час виконання мехатронними модулями руху заданих функціональних рухів із боку об’єктів виробництва виникають збурювальні впливи на робочий орган. Прикладом таких впливів можуть слугувати сили

різання ппід час операцій металообробки, контактні сили й моменти сил ппід час збирання, гідродинамічні сили ппід час операцій гідравлічного різання.

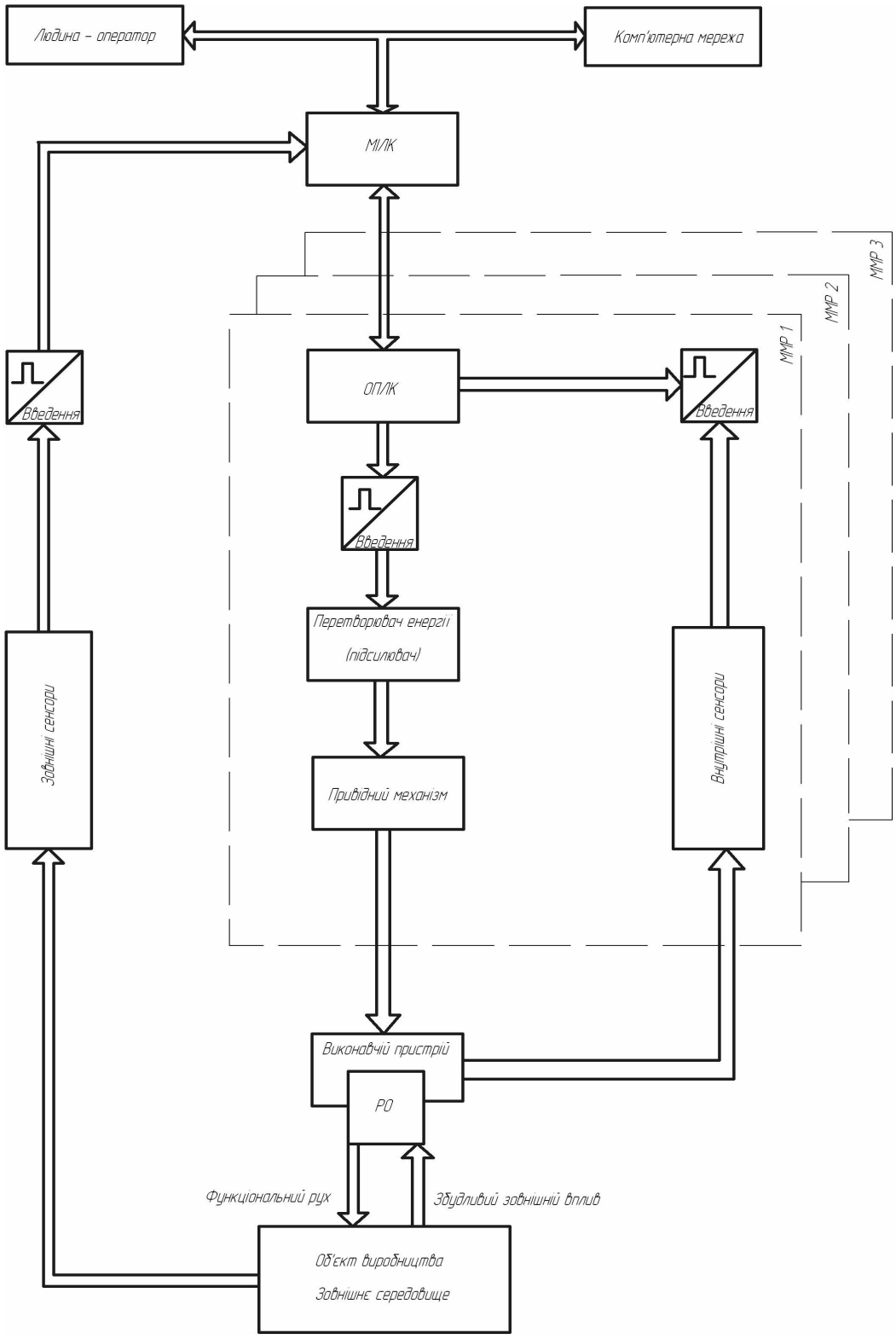


Рисунок 2.1 – Узагальнена схема робочої машини на базі мехатронних модулів руху

Крім того, збурювальні впливи виникають у разі зміни таких параметрів технологічного середовища, як температура, тиск, вологість тощо. Загалом зовнішнє середовище можна поділити на два головні класи: детерміноване та

недетерміноване. До детермінованих належать середовища, для яких параметри збурювальних впливів і характеристики об'єктів виробництва можна визначити з необхідним для проектування та експлуатації мехатронних модулів руху ступенем точності.

Характеристики технологічного середовища визначають за допомогою аналітико-експериментальних досліджень та методів комп'ютерного моделювання. Якщо для проведення таких досліджень потрібні складні та дорогі пристрої, вимірювальні технології, то доцільно використовувати методи адаптивного керування, які дають змогу автоматично корегувати закони руху робочих органів безпосередньо в процесі виконання операції за допомогою зовнішніх сенсорів, що розміщені в інформаційній системі машини.

Варто відзначити одну з найважливіших властивостей мехатронної системи – можливість гнучкого перепрограмування на будь-які промислові завдання та об'єкти регулювання. Це забезпечується електронними модулями перетворення сигналів від сенсорів та блоками формування сигналів керування виконавчими механізмами.

2.2 Принципи побудови діагностичних приладів і систем

Діагностичні прилади та обладнання для обслуговування автомобілів поділяють на засоби діагностики електричних та неелектричних (механічних) систем. Прилади для діагностування електричних систем, зі свого боку, також можна поділити на прилади, що вимірюють електричні та неелектричні величини (параметри).

Електричне обладнання автомобілів становить комплекс електро-механічних пристроїв, електричних апаратів, електронних блоків, давачів та виконавчих пристроїв, поєднаних в електричні системи (електромеханічні, електронні, мікропроцесорні). Отже, перелік діагностичних параметрів електрообладнання складається з параметрів електричних сигналів (сила струму, значення напруги, частота, шпаруватість та тривалість періодичних сигналів), електричних кіл (опір, ємність, індуктивність) та параметрів неелектричних величин (зазори між контактними парами, пружність притискних пружин, щільність електроліту, частота обертання). Щодо цього можна відокремити три способи вимірювання діагностичних параметрів.

Електричні вимірювання – виконують контактним (гальванічним) або безконтактним способом, за допомогою перетворювачів електромагнітної енергії (давачів електричних величин) та електричних вимірювальних приладів (вольтметрів, амперметрів, частотомірів, осцилографів, омметрів).

Електричні вимірювання неелектричних величин – виконують тільки за допомогою перетворювачів неелектричної величини (впливу) до електричної

(сигналу, параметру). Такі перетворювачі називають давачами неелектричних величин (давачі температури, тиску, переміщення). Реєстрація неелектричної величини у такому разі здійснюється непрямо на підставі показань електричних індикаторів (вимірювальних приладів).

Неелектричні вимірювання – виконують за допомогою вимірювального інструмента та вимірювальних пристроїв безпосередньої оцінки (щупи, динамометри, термометри, манометри, ареометри).

Неелектричні (механічні, гідравлічні, пневматичні, оптичні) пристрої та системи, здебільшого, діагностуються за допомогою електричних вимірювальних систем з використанням датчиків неелектричних величин.

Засоби діагностики будь-якої технічної системи розрізнюють за загальними класифікаційними ознаками: призначенням, категорією, структурою, функціональним наповненням, конструкційними атрибутами [1].

Функціональне призначення та категорія діагностичного засобу, комплексно характеризують конструкцію або композицію та прив'язку засобу до об'єкта діагностики. Стосовно мехатронних систем розрізнюють декілька категорій діагностичного засобу, які підпорядковані у певний спосіб.

Електричний діагностичний прилад – засіб діагностики, у якому вимірювання та реєстрація (індикація) діагностичного параметра (електричного або неелектричного) реалізується електричним способом (контактним або безконтактним).

Неелектричний діагностичний прилад – засіб діагностики, у якому вимірювання та реєстрація (індикація) неелектричного діагностичного параметра реалізується неелектричним способом за допомогою неелектричних приладів безпосередньої оцінки.

Діагностичний пристрій – засіб діагностики, який входить до складу діагностичного приладу (стенду, комплексу), виконує певні функції перетворення, але не має операторської периферії (органів керування та індикаторів).

Діагностичне обладнання – засоби діагностики, які встановлюються на борту транспортного засобу або інтегроване в його агрегати чи системи (входить до складу транспортного засобу).

Діагностичне устаткування – засоби діагностики, які використовуються за межами борта транспортного засобу (не входить до складу транспортного засобу).

Діагностична установка – засіб діагностики, за допомогою якого активізується (стимулюється) об'єкт діагностики з метою проведення перевірок.

Діагностичний стенд – стаціонарне конструктивне та функціональне поєднання діагностичної установки й діагностичних приладів.

Діагностична система – засіб діагностики в якому реалізоване поєднання діагностичного обладнання та обладнання на функціональному (програмному) та апаратному рівні.

Діагностичний комплекс – функціонально пов'язане діагностичне устаткування до складу якого входять діагностичні стенди та прилади різного призначення. (діагностичні пости, лінії).

2.3 Класифікаційні ознаки засобів діагностики

Діагностичні прилади та обладнання для обслуговування сучасних ТЗ можна поділити на функціональні групи відповідно до призначення об'єктів діагностики (рис. 2.2).

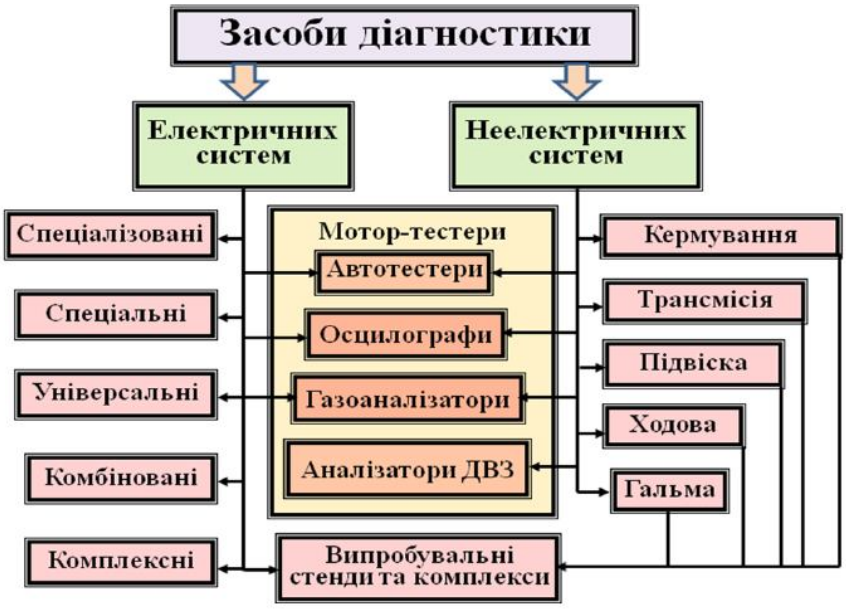


Рисунок 2.2 – Класифікація засобів діагностики транспортних засобів за призначенням та функціональним наповненням

Якщо діагностування електромеханічних агрегатів проводиться в знятому з автомобіля стані (агрегатна діагностика), застосовуються випробувальні стенди для імітації механічних впливів на електричні пристрої (апарати, агрегати) До переліку таких стендів належать стенди спеціального призначення (перевірки елементів систем запалювання, пуску ДВЗ, електропостачання АТЗ) та універсальні стенди комплексних перевірок електрообладнання [1].

Процес діагностування механічних систем автомобіля (керма, трансмісії, підвіски, ходової частини, гальм) зазвичай потребує використання випробувальних стендів для імітації дорожніх умов, у яких перебуває автомобіль (стенди з біговими барабанами, вібростенди, поворотні платформи),

із вимірювальними комплексами для реєстрації неелектричних діагностичних параметрів [1,3].

Варто зазначити, що ДВЗ за функціональним складом становить сукупність механічних та електричних систем, і тому прилади для діагностування ДВЗ (мотор-тестери) розглядаються як комплекс вимірювальних приладів електричних та неелектричних параметрів систем ДВЗ. При цьому передбачається вимірювання діагностичних параметрів на робочих (тестових) режимах ДВЗ.

За ознакою функціонального наповнення розрізнюють *спеціалі-зовані прилади* та установки призначені для діагностування та регулювання окремих цілком визначених елементів систем електрообладнання (реглоскоп, стробоскоп, навантажувальна вилка, дефектоскоп обмоток), *спеціальні стенди* та прилади, що використовуються для діагностування елементів окремих систем у майстернях (на посту), універсальні вимірювальні прилади, комбіновані та комплексні засоби діагностики.

Універсальні вимірювальні прилади загального призначення (осцилографи, мультиметри, вимірювальні генератори електричних сигналів) та автомобільні універсальні прилади (автомобільні осцилографи, автотестери, імітатори сигналів) використовуються для діагностування будь-якої електричної системи за параметрами електричних сигналів та кіл.

Комбіновані засоби діагностики виконують функції декількох спеціальних приладів (мотор-тестери).

Комплексні засоби діагностики (діагностичні комплекси) – програмно-апаратні засоби та діагностичне обладнання, що призначені для контролю комплексу діагностичних параметрів автомобіля (пости та лінії діагностики).

На етапі розробки конструкції засобу діагностики обраної категорії, визначають та узгоджують конструкційні атрибути майбутнього виробу (прив’язка до борту автомобіля, мобільність, тип індикації, тип живлення) або обирають конструктивний прототип (аналог, попередню модифікацію чи базовий зразок) [1, 3]. Синтез конструкції та схемного рішення засобу діагностики починають із вибору типу живлення, класу мобільності та виду індикації з урахуванням умов (місця) проведення діагностичних операцій (рис. 2.3).

Рисунок 2.3 – Конструкційні атрибути засобів діагностики

Відмінною рисою сучасних діагностичних приладів є їхня мікропроцесорна будова, що дає змогу використовувати дисплейні засоби індикації в структурі приладу або універсальні засоби комп'ютерної техніки (монітор, клавіатуру, принтер) як периферійне оточення приладу. Автономність таких приладів надає унікальну можливість використовувати їх під час діагностування систем автомобіля в дорожніх умовах.

Контрольні питання

1. Проаналізувати сучасні тенденції розвитку мехатронних систем.
2. Принципи побудови діагностичних приладів і систем.
3. Проаналізувати узагальнену схему робочої машини на базі мехатронних модулів руху
4. Класифікація засобів діагностики транспортних засобів за призначенням та функціональним наповненням.
5. Конструкційні атрибути засобів діагностики.