

# 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

**Мехатроніка** (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 агрегаті 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 складникам.

**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.

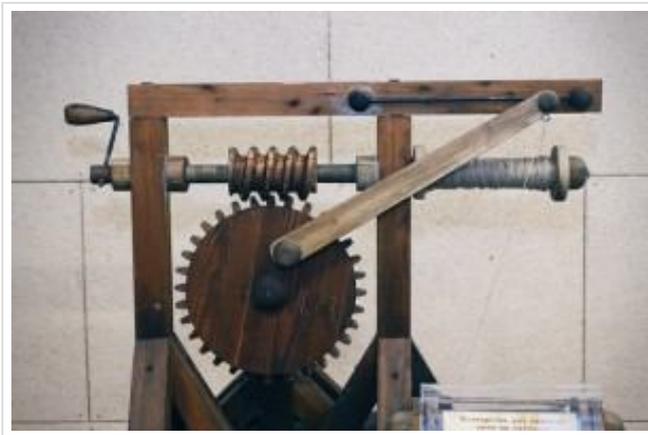
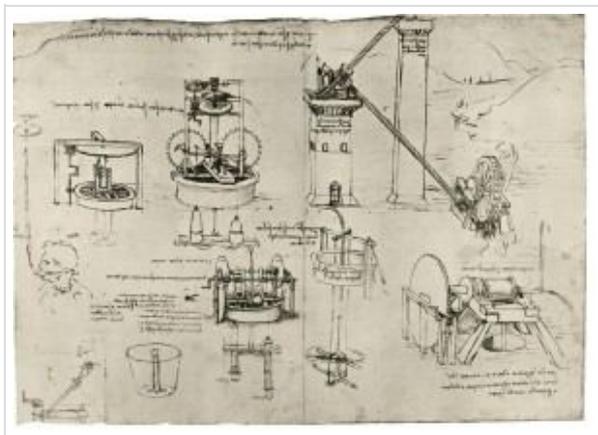


Рисунок 1.1 – Фрагменти стародавніх мехатронних машин і систем

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, Цюлковський 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 статички 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 високої якості 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 самотійно 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 керованій координаті. З таких модулів, як з функціональних кубиків, компонуються складні системи модульної архітектури.

6. Мехатронні системи призначені, як впливає 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 під час механообробки, 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.

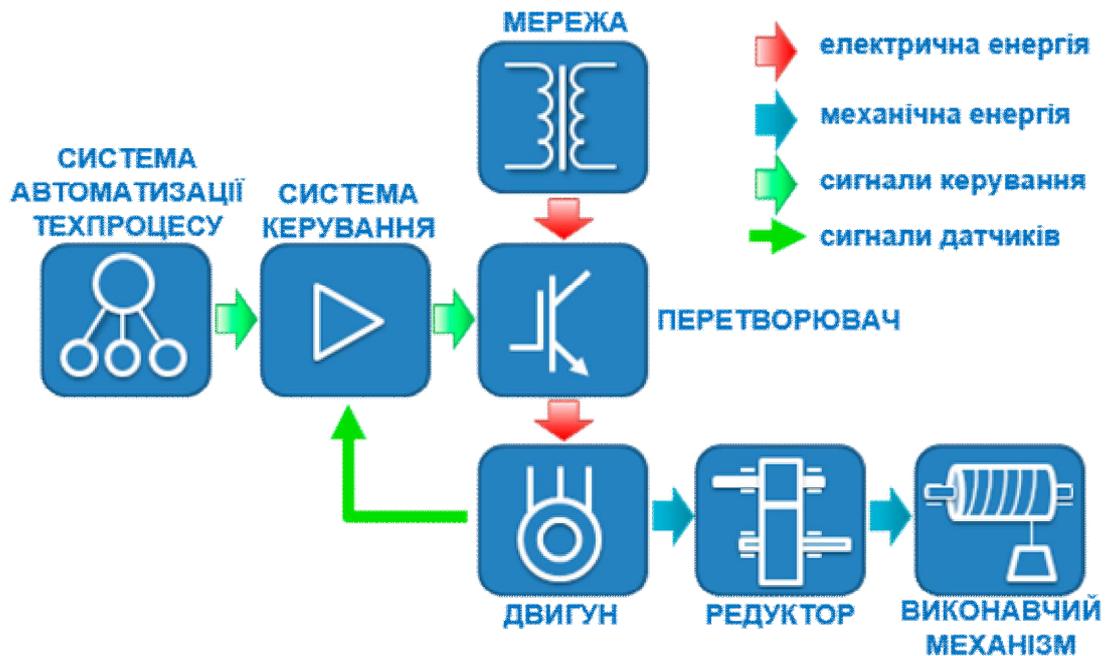


Рисунок 1.4 – Структура сучасного електропривода промислового механізму

**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 дозволяє здати 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 налаштовувати 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 перепрограмуються 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 індустриальний механічний редуктор. Його використання значно спростило розробку та виготовлення машини, її надійність.

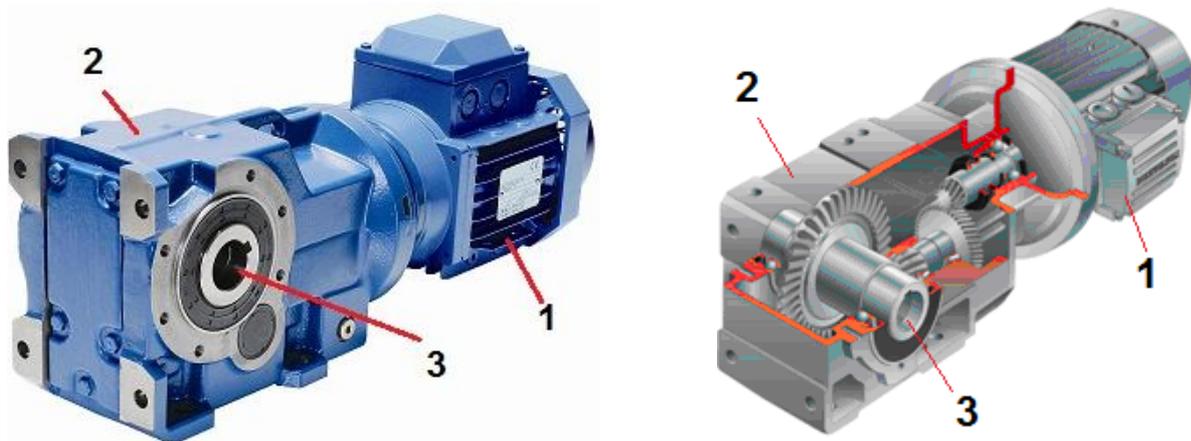


Рисунок 1.6 – Мотор-редуктори:

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.

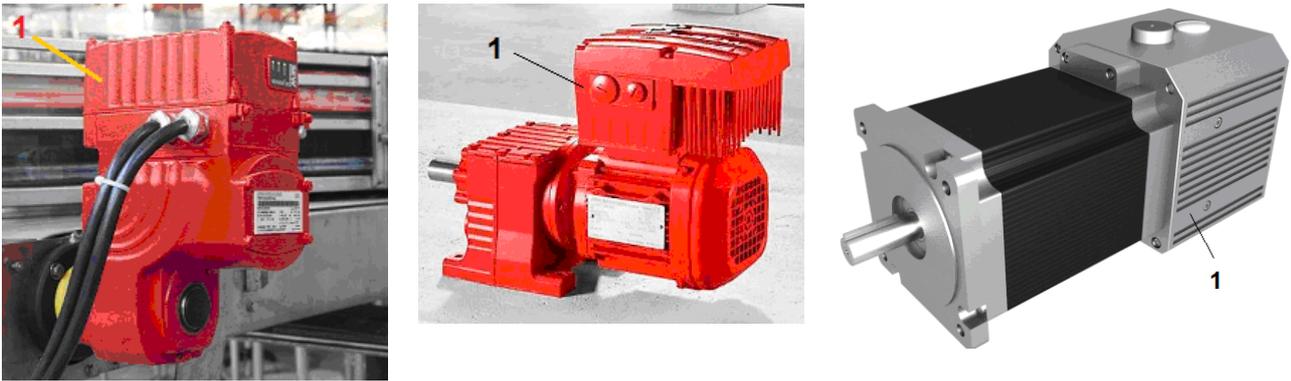
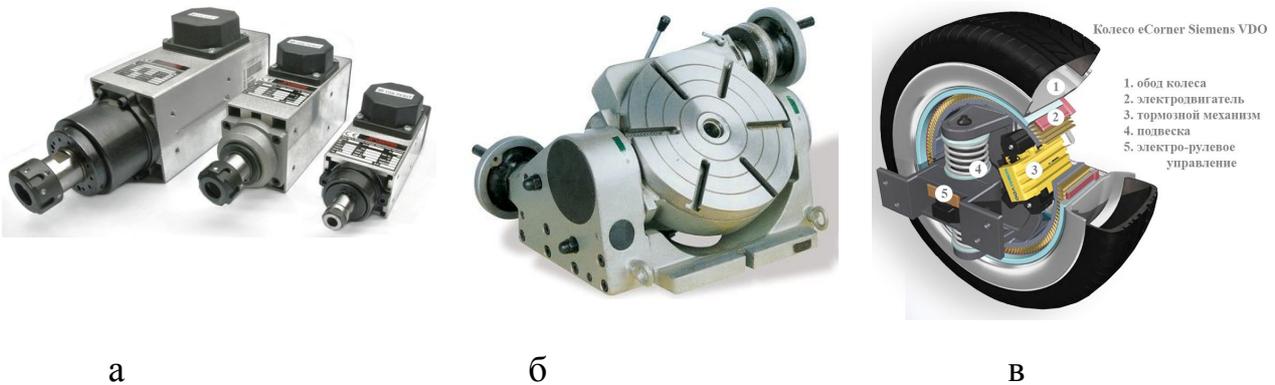


Рисунок 1.7 – Двигуни та мотор-редуктори із вмонтованими перетворювачами частоти (1)

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:

- електрошпindel (електродвигун + шпindelний 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.



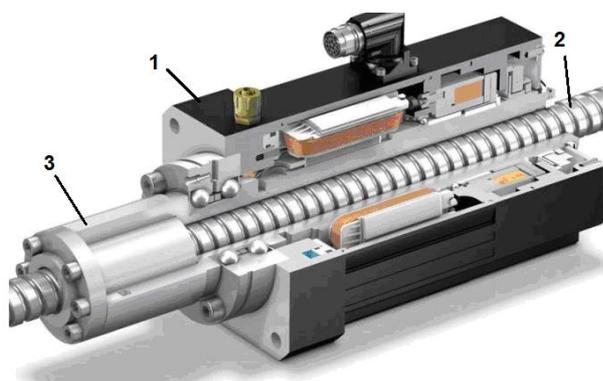
а

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.



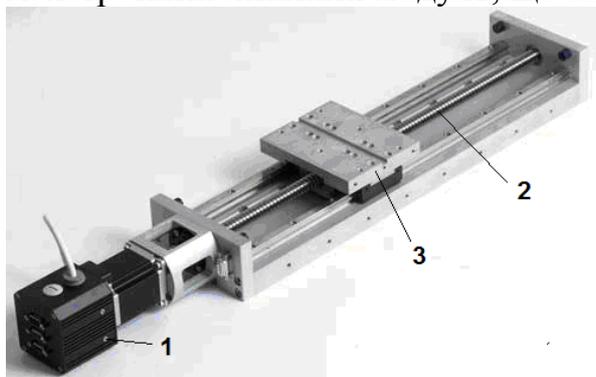
а



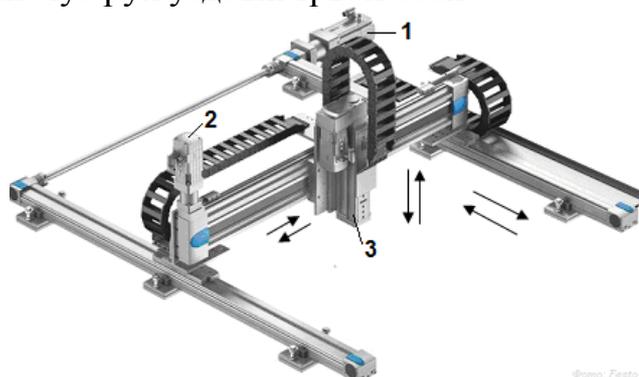
б

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 нерухокої частини (2) із постійними магнітами, яка виконує роль напрямних, та забезпечує поступальне переміщення рухомої частини.

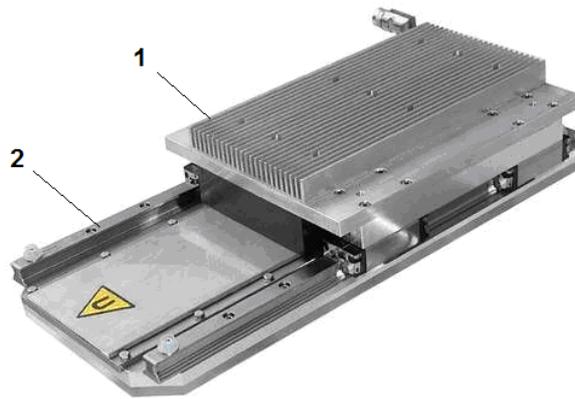


Рисунок 1.11 – Мехатронний модуль із лінійним двигуном

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 датчиком положення (енкодером, рис. 1.12). Електропривод, обладнаний таким датчиком, 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].

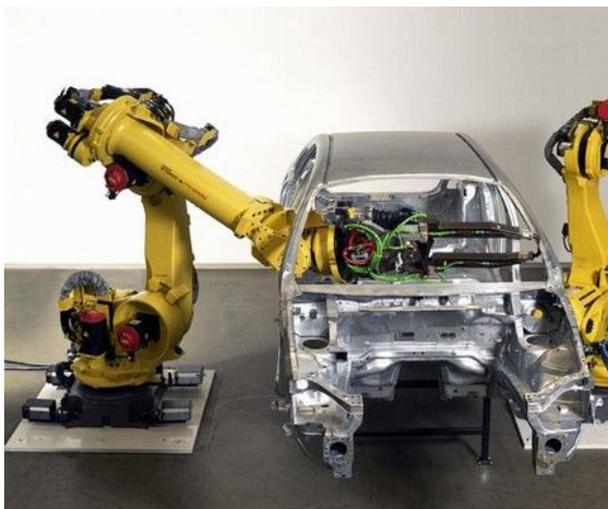


Рисунок 1.12 – Енкодери



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 – Робочар (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.

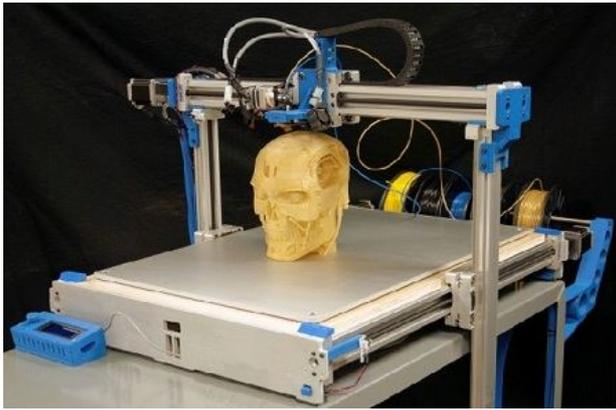


Рисунок 1.17 – 3D-принтер



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 передували стрімкий науково-технічний прогрес у середині ХХ-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 гідравтоматика – 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 синергетичному 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].

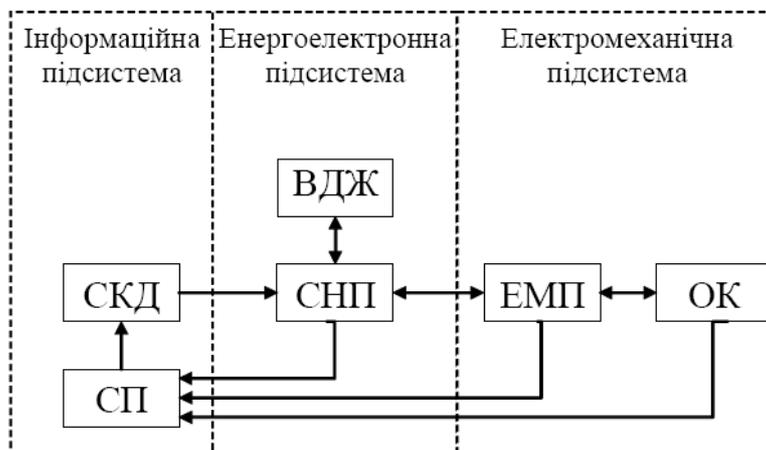


Рисунок 1.20 – Функціональна схема мехатронної системи

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 та 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 – синергетична сукупність механічних (гідромеханічних, пневмо-механічних), електротехнічних, електронних компонентів та інформаційних і програмних засобів, які реалізують досягнення заданого 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 задалегідь 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 під час операцій металообробки, контактні сили й моменти сил під час збирання, гідродинамічні сили під час операцій гідравлічного різання.

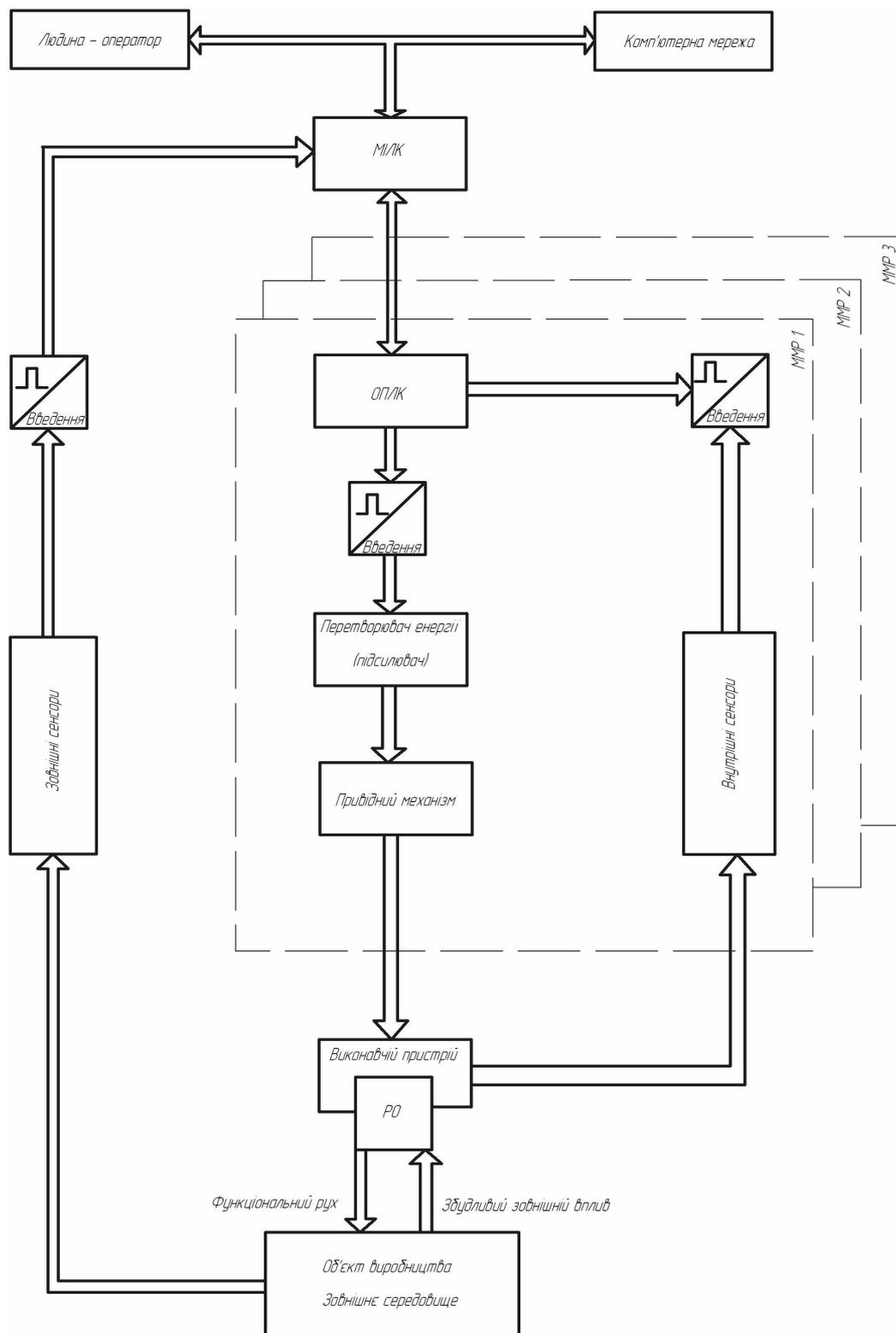


Рисунок 2.1 – Узагальнена схема робочої машини на базі мехатронних модулів руху

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 розрізняють 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 розрізняють 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 борту 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).

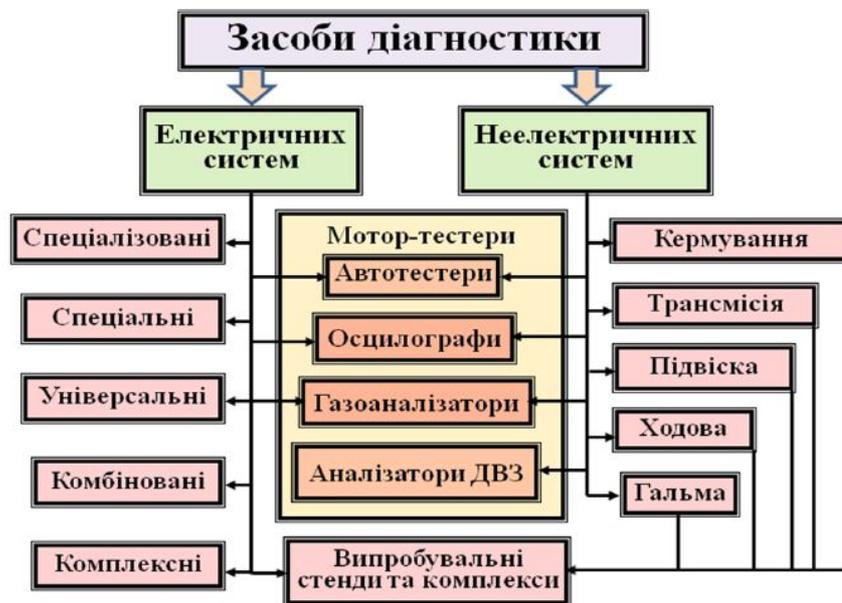


Рисунок 2.2 – Класифікація засобів діагностики транспортних засобів за призначенням та функціональним наповненням

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 розрізняють *спеціалізовані прилади* та установки призначені для діагностування та регулювання окремих цілком визначених елементів систем електрообладнання (реглюскоп, 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.

## ЛЕКЦІЯ 3

# СТРУКТУРА ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ. СПОСОБИ ДІАГНОСТИКИ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

### План

1. Структура діагностичних систем.
2. Способи діагностики мехатронних систем.

### 3.1 Структура діагностичних систем

Розрізняють системи тестового й функціонального діагностування. У системах тестового діагностування на об'єкт подаються спеціально організовані *тестові впливи* від засобів діагностування. У цьому разі, зазвичай об'єкт діагностики не використовується за головним призначенням, а працює тільки для завдань діагностики. У системах функціонального діагностування на об'єкт надходять *робочі впливи*, передбачені його алгоритмом функціонування за призначенням. У системах обох видів, системи діагностування сприймають і аналізують *відгуки* об'єкта на вхідні (тестові або робочі) впливи (*стимули*) й видають результат діагностування, тобто ставлять діагноз (об'єкт справний або несправний, працездатний або непрацездатний, функціонує правильно або неправильно, має певний дефект або в об'єкті ушкоджена окрема його частина).

Отже, діагностична система складається з активізуальної (діагностичної установки) та вимірювальної (діагностичного приладу) частин.

Діагностичні системи залежно від рівня керованості можуть бути виконані як неавтоматичні, *автоматизовані* (керування подачею палива) або *автоматичні* (керування запалюванням). Для реалізації автоматизованого чи автоматичного процесу діагностування зазвичай використовують комп'ютеризовані або комп'ютерні діагностичні системи [1, 3].

*Некомп'ютерна діагностична система* не виключає застосування персонального комп'ютера оператором із метою отримання довідкової діагностичної інформації про об'єкт діагностики, занесення та обробки результатів діагностування. При цьому персональний комп'ютер не має безпосереднього інформаційного зв'язку з засобами та об'єктами діагностики (рис. 3.1, а).

*Комп'ютеризована діагностична система* передбачає застосування у своєму складі комп'ютерних засобів для отримання інформації про технічний стан об'єкта діагностики. У таких системах програмно-апаратні засоби системи (давачі, актуатори, перетворювачі сигналів, комп'ютери) цілком розташовані за межами автомобіля (не є штатним обладнанням автомобіля). Зазвичай комп'ютеризована система створюється на базі звичайної електромеханічної діагностичної системи шляхом її комп'ютеризації та цілком підпадає під

категорію «діагностичне устаткування» (рис. 3.1, б). Для узгодження цифрових сигналів діагностичного комп'ютера з електромеханічними перетворювачами діагностичної установки використовуються цифроаналогові перетворювачі (ЦАП). Для вимірювання аналогових сигналів електричних приладів вимірювальної частини системи діагностичним комп'ютером застосовуються аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП).

Комп'ютерна діагностична система передбачає обмін інформацією між діагностичним комп'ютером зовнішнього підключення та бортовим комп'ютером, на базі якого інтегрована бортова діагностична система. У таких системах основні діагностичні функції реалізуються на базі елементів штатного обладнання автомобіля (рис. 3.1, в).

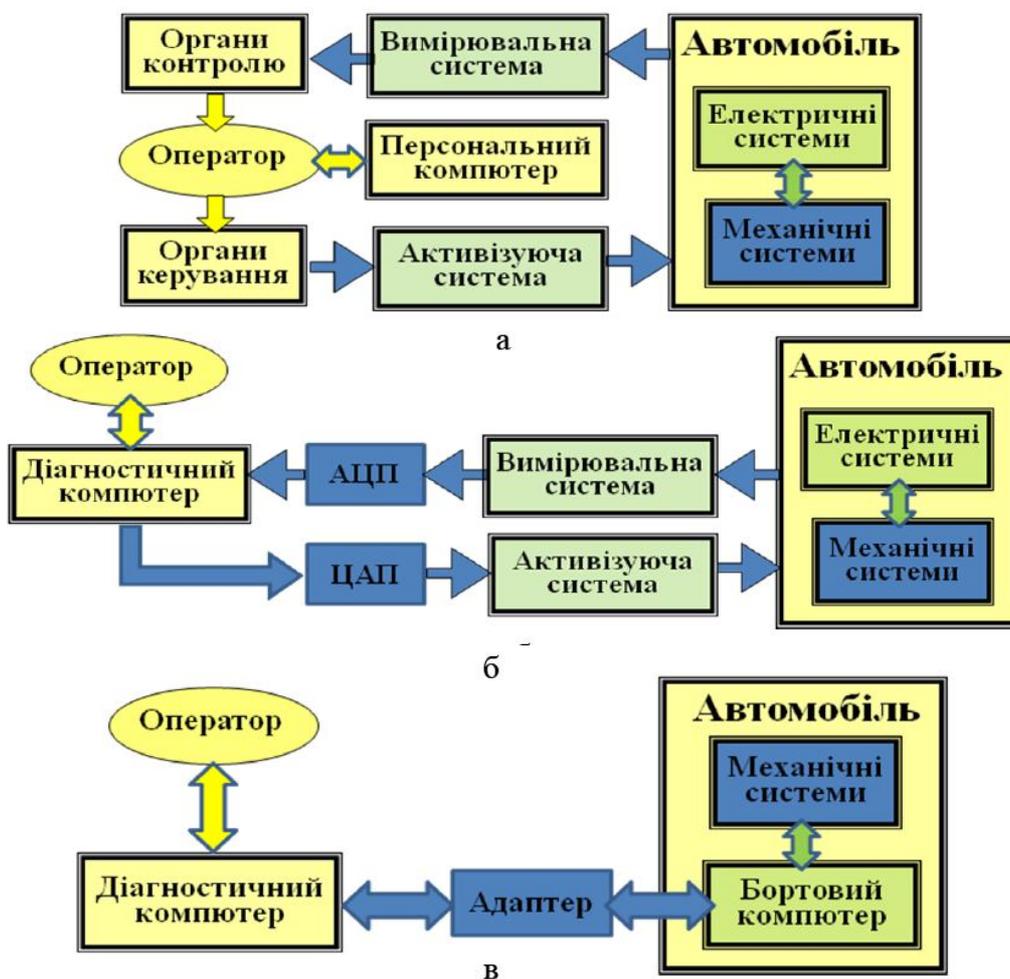


Рисунок 3.1 – Узагальнені структури діагностичних систем:  
а – некомп'ютерної; б – комп'ютеризованої; в – комп'ютерної

У такому разі діагностична система за категорією засобу поділяється на «діагностичне обладнання» і «діагностичне устаткування». При цьому діагностичний комп'ютер (прилад), що підключається до бортового комп'ютера зазвичай виконує тільки функції операторської периферії (клавіатури та

монітора). Узгодження рівнів цифрових сигналів, утвореної у такий спосіб локальної комп'ютерної мережі, здійснюється за допомогою адаптера.

*Інтегровані діагностичні системи* належать до класу вмонтованих засобів діагностики, які втілені у мехатронні системи на програмному та апаратному рівнях і виконують декілька пасивних (спостереження, інформування) та активних (резервування, адаптація) функцій, реалізація яких базується на використанні програми експертної системи.

*Експертна система (ЕС)* – програма, що використовує експертні знання (знання спеціалістів) для забезпечення ефективного рішення неформалізованих задач в інтерактивному режимі [4,7,8]. *Неформалізованим задачам* властиві певні ознаки: завдання не можуть бути задані в числовій формі; мету не можна виразити в термінах точно визначеної цільової функції; не існує алгоритмічного рішення задачі; наявність ознак помилковості, неоднозначності й суперечливості вихідних даних.

В основі функціонування *ЕС* лежить використання знань, а маніпулювання ними здійснюється на базі евристичних правил, які сформовані експертом. Експертні системи видають поради, проводять аналіз, виконують класифікацію, дають консультації та ставлять діагноз. На відміну від звичайних програм, які використовують процедурний аналіз, *ЕС* вирішують задачі у вузькій предметній сфері на основі дедуктивних міркувань.

Окрім функціонального призначення, *ЕС* класифікують за декількома структурними ознаками [5,6]:

- способом формування рішення (аналізувальні або синтезувальні);
- часового обліку (статичні або динамічні);
- видом даних та знань (детерміновані або невизначені);
- кількістю джерел знань.

Під час розробки *ЕС* для певних предметних сфер використовують існуючі програмні оболонки:

1) SHELL – базовий елемент операційної системи, що визначає інтерпретацію команд і дій користувача;

2) CLIPS – система, що використовує висновок від фактів до мети;

3) DYNACLIPS – включає дошку оголошень, механізм динамічного обміну знаннями та інструментальні засоби для CLIPS;

4) FuzzyCLIPS – використовується для представлення та управління нечіткими фактами та правилами, використовує дві базисних концепції про неточність, нечіткість і невизначеність;

5) OPS5 – містить механізми подання знань та управління, дає змогу програмісту використовувати символи та представляти відношення між символами, за правилами, які пропанує програміст;

6) WindExS – повнофункціональна ЕС на базі Windows; містить механізм логічного висновку, диспетчер файлів, інтерфейс користувача, адміністратор повідомлень та модулі бази знань; підтримує висновок від фактів до мети та графічне представлення бази знань;

7) RT-EXPERT – експертна система загального призначення, що дає змогу програмістам інтегрувати правила експертної системи в прикладні програми.

Основу ЕС становить база знань (формалізовані емпіричні знання), яка призначена для зберігання довгострокових даних, що описують об'єктну сферу і правила доцільних перетворень даних цієї області. Аналіз об'єктної сфери в ЕС здійснюється шляхом вибору адекватного рішення із бази знань при надходженні бази даних, які визначають окремі факти, що характеризують об'єкти, процеси та явища в предметній сфері.

Стосовно діагностики автомобіля, як об'єктна сфера розглядається мехатронна система, а як предметна – її технічний стан. У такому разі, як база знань розглядаються допустимі (еталонні) значення діагностичних параметрів і алгоритми функціонування справної системи (далі по тексту – база даних), а як база даних – поточні (фактичні) значення діагностичних параметрів і алгоритми функціонування системи за фактом їх реалізації (далі по тексту – поточні дані). Зрозуміло, що вся поточна інформація про стан мехатронної системи, яка надходить та зберігається в ЕС, становить параметри електричних величин (сигналів), які аналізуються в інтерпретованому (кодовому) виді шляхом порівняння. При цьому можна розглядати й апаратний складник ЕС (рис. 3.2).

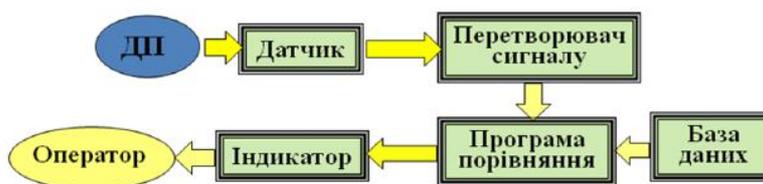


Рисунок 3.2 – Структурна схема діагностичної експертної системи

Залежно від призначення та режиму функціонування, інтегровані діагностичні системи мають різну структуру та поділяються на інформаційні системи, системи самодіагностики, адаптації та резервування (рис. 3.3).

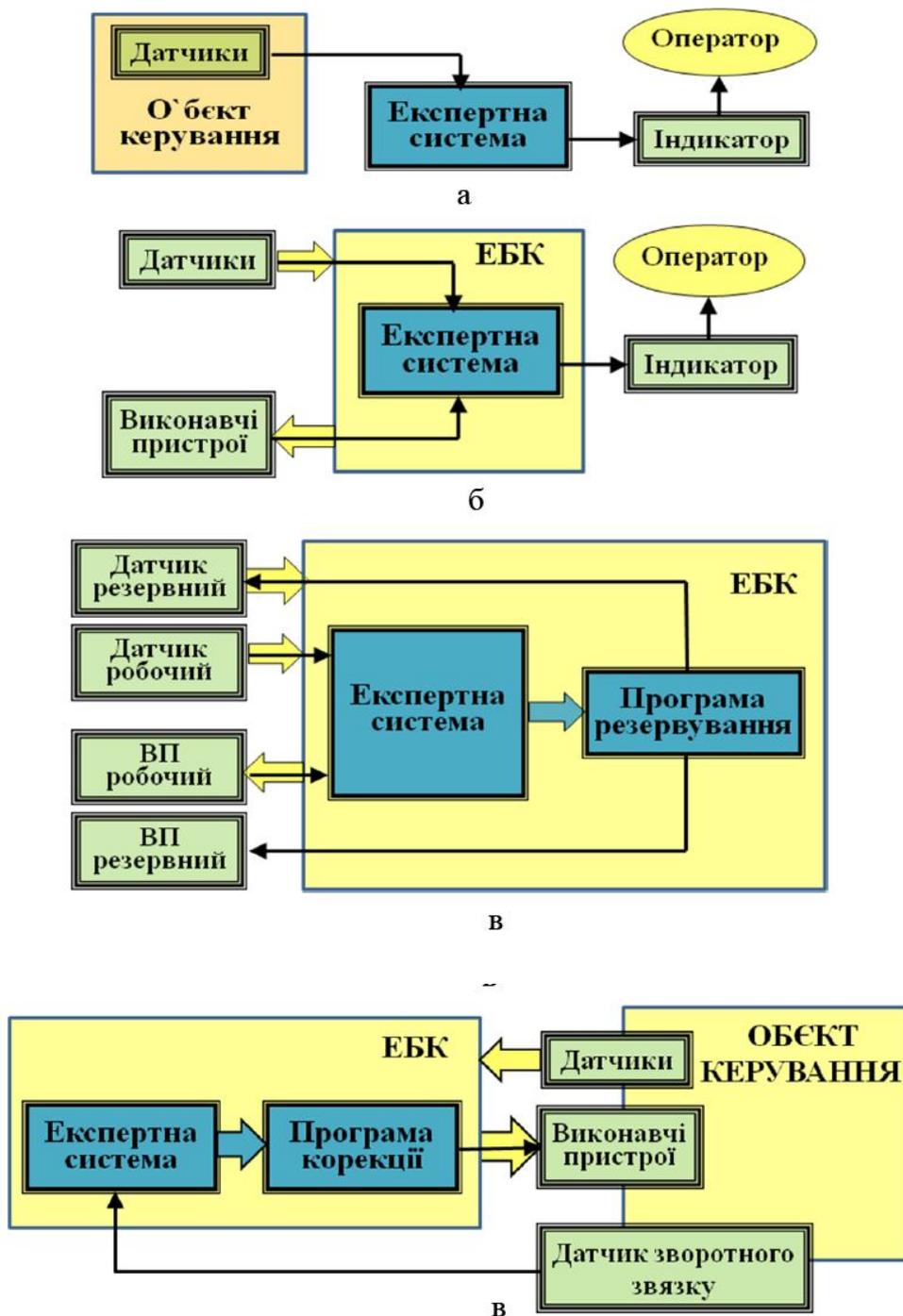


Рисунок 3.3 – Структурні схеми інтегрованих діагностичних систем:  
 а – інформаційна; б – самодіагностики; в – резервування; г – адаптації

*Інформаційна діагностична система* (рис. 3.3, а) – інтегрована система, побудована на базі експертної системи, призначена для контролю ДП об'єкта керування та виконує пасивні функції діагностики (реєстрація відхилень ДП за межі допустимих значень). Сигнали давачів інформаційної системи не використовуються для реалізації процесу керування об'єктом і розглядаються

тільки як діагностичні параметри. У базі даних *ЕС* зберігаються допустимі значення параметрів сигналів переліку давачів інформаційної системи.

*Система самодіагностики* (рис. 3.3, б) – інтегрована діагностична система, побудована на базі експертної системи, призначена для діагностики елементів системи керування (давачів, виконавчих пристроїв, ЕБК) та виконує пасивні функції діагностики (реєстрація факту та локалізація несправності). Інформаційні сигнали давачів і сигнали керування виконавчими пристроями системи самодіагностики використовуються для реалізації процесу керування об'єктом. Отже, режимні (робочі) сигнали системи керування (об'ємні стрілки зв'язків) одночасно розглядаються і як діагностичні параметри (тонкі стрілки зв'язків).

*Система резервування* (рис. 3.3, в) – інтегрована діагностична система, побудована на базі експертної системи, призначена для підтримки працездатності мехатронної системи в разі виходу з ладу окремих її елементів та виконує активні функції діагностики (апаратна заміна елемента або програмне заміщення сигналу). Система резервування, як і система самодіагностики, базується на аналізі поточної інформації, що надходить із робочих сигналів системи керування.

*Система адаптації* (рис. 3.3, г) – інтегрована діагностична система, побудована на базі експертної системи, призначена для підтримки оптимального керування об'єктом у разі впливу на мехатронну систему дестабілізуючих факторів (зовнішніх, структурних) та виконує активні функції діагностики (корекція функцій перетворення у середовищі ЕБК). Використовується в гнучких (зі зворотними зв'язками) системах керування. Система адаптації відтворює функції системи автоматичного керування (стабілізації вихідного параметру) де в контурі зворотного зв'язку використовується давач вихідного сигналу (параметру), а як опірний рівень розглядається зразкове значення цього параметра, що зберігається в базі даних *ЕС*.

### **3.2 Способи діагностики мехатронних систем**

Під назвою способу діагностики зазвичай розуміють декілька ознак, які можуть визначати: вид перевірок технічної системи; спосіб постановки діагнозу; вид діагностичного параметра, на підставі якого ставиться діагноз; принцип побудови діагностичної системи; місце та умови проведення діагностичних операцій; засіб діагностики, який використовується. Інакше кажучи, спосіб постановки діагнозу визначається методами діагностування та засобами за допомогою яких вони реалізуються для визначеного об'єкта діагностики (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Класифікаційна структура способів діагностування механічних систем

Методи діагностування технічних систем за видом перевірок можна класифікувати за такими ознаками: характером участі людини у процесі діагностування; способом виявлення несправності; способом відтворення при перевірках методами заміни; типом пошуку; гнучкістю реалізації алгоритмів діагностування; глибиною локалізації несправності [4, 6].

За характером участі людини у процесі діагностування розрізняють *органолептичні* (суб'єктивна оцінка за ознаками та симптомами несправностей), *статистичні* (аналіз напрацьованої інформації про відмови) та інструментальні або апаратні (із використанням засобів діагностики) методи визначення технічного стану автомобіля.

Під *інструментальними* будемо розуміти методи, у яких використовуються неелектричні засоби контролю ДП (вимірювальний інструмент, механічне обладнання, прилади безпосередньої оцінки), а під *апаратними* – де застосовуються електричні вимірювальні прилади, які контролюють електричні та неелектричні ДП. Зауважимо, що в межах цього питання під категорією «електричні» методи будемо розуміти методи діагностування механічних систем із застосуванням електричних пристроїв та приладів.

Сучасні апаратні методи діагностики передбачають використання спеціальних випробувальних стендів та комплексів, структура яких складається з електромеханічних приводів (актуаторів), давачів неелектричних величин,

електричні засоби відображення інформації (вимірювальні прилади) та пристроїв перетворення вимірюваних сигналів до інформаційних. Стосовно цього зазначимо, що залежно від рівня будови діагностичного обладнання, для перевірок механічних систем застосовуються або некомп'ютерні (електромеханічні з аналоговими перетворювачами) або комп'ютеризовані діагностичні стенди та комплекси.

Вид обраного ДП визначає метод постановки діагнозу (принцип побудови діагностичної системи) та відповідно і засіб діагностики, у якому ці функції реалізовано. До того ж усі ці позиції відносно щодо об'єкта діагностики можуть бути альтернативними. Наприклад, стан ЦПГ і ГРМ за герметичністю робочих об'ємів можна оцінювати механічним методом із застосуванням приладів безпосередньої оцінки або електричним – за допомогою мотор-тестера із застосуванням давача тиску або давача струму стартерної мережі. Склад мастила (продукти зношення ЦПГ) системи змащування визначають хімічним методом із застосуванням реактивів або спектрографічним – за допомогою спектрографа рідини.

За структурною ознакою розрізняють комплексну діагностику за вихідними характеристиками транспортних засобів (ТЗ) (функціональними параметрами), системну й агрегатну діагностику та діагностику вузлів і складальних одиниць за структурними параметрами. Залежно від цього, обумовлюються місце та умови проведення діагностичних операцій. Зазвичай комплексна діагностика проводиться на посту, системна – на борту ТЗ, агрегатна – в умовах електровідділення або авторемонтного підприємства (АРП). Із огляду на це тестове діагностування зазвичай проводять за статичних умов, а функціональне – під час їздових випробувань автомобіля. Перевірки можуть проводитись з працюючими (активованими) або непрацюючими агрегатами та системами.

Значна увага приділяється системам ходової частини ТЗ, від яких залежить безпека руху автомобіля (гальма, кермо, підвіска). Загальний технічний стан гальмівної системи оцінюють за допомогою *деселерометрів* (вимірювачів уповільнення руху автомобіля) та *деселерографів* (реєстраторів процесу уповільнення). В умовах поста розповсюдження знайшли *роликові стенди* (із біговими барабанами) де використовуються сили зчеплення колеса з опорною поверхнею та стенди де гальмівний момент передається безпосередньо через колесо або через маточину [7, 8].

*Гальмівні стенди* мають пристрій для завдання (контролю) зусилля натискання на гальмівну педаль (*недометр*), гальмівний механізм, канал вимірювання та реєстрації результатів тестування. Системи гальм на роликівих стендах перевіряють силовим або інерційним методом. При цьому вимірюється

гальмівний шлях для кожного окремого колеса, час спрацювання гальмівного приводу й уповільнення (загальне й по кожному колесу окремо).

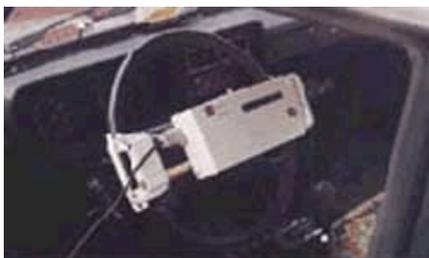
Для систем гідравлічних гальм за допомогою діаграм самописців додатково оцінюють залежність між силою натискання на педаль і гальмівною силою. Синхронність дії гальм перевіряють за допомогою диференціальних електричних секундомірів. Еліптичність гальмівних барабанів визначають за місцями найбільшого тертя за допомогою температурних щупів. Для автоматизації процесу контролю та діагностування системи гальм використовуються комп'ютерні засоби та програми (рис. 3.5).

Діагностування органів керування полягає у перевірках ступеня зношування й люфтів сполучених деталей, деформації важелів і тяг, порушення регулювань. Діагностування рульового керування здійснюється шляхом оцінки сумарного окружного люфту (за шкалою люфтоміра) та значенню сили тертя (за показаннями динамометра).

На сучасному рівні такі вимірювальні системи реалізуються електричними методами із застосуванням статичних давачів кутових відхилень (енкодерів), сили (зусилля), переміщення (повороту) та електричних індикаторів (рис. 3.6, а).



Рисунок 3.5 – Комп'ютеризований гальмівний стенд:  
а – загальний вигляд; б – установка ТЗ на бігові барабани



а



б

Рисунок 3.6 – Комп'ютеризовані контрольні-вимірювальні комплекси для перевірки:

а – системи рульового керування; б – куту установки коліс

Перевірки ходової частини за характеристиками керованості ТЗ полягають у контролі кутів установки керованих коліс за величиною сходження й кутам розвалу та нахилу шворня поворотного кулака в поперечній і поздовжній площинах; співвідношенню кутів повороту; паралельності передньої й задньої осей, зміщенню моста вбік. Для безпосередньої оцінки кутів нахилу коліс відносно базової площини використовують вимірювальні рівні. За конструктивним виконанням стенди для контролю встановлення коліс у статичному режимі поділяють на майданчикові й роликові. У таких стендах вимірювальна система базується на вимірювачах безпосередньої оцінки (динамометрах) бічної сили, що завдає колесо під час його наїзду на вимірювальний елемент (механічні методи), або на давачах бічної сили (тензодавачів, давачів переміщення) та електричних вимірювальних приладах (електричні методи). У сучасних контрольно-вимірювальних комплексах аналогічного призначення використовуються електрооптичні (з використанням лазерних пристроїв) методи вимірювання кутових відхилень та мікропроцесорні засоби автоматизації процесу діагностування, обробки результатів вимірювання, постановки діагнозу та надання рекомендацій щодо проведення регулювальних робіт (рис. 3.6, б).

Діагностування підвіски автомобіля може здійснюватися за змущеними або вільними коливаннями підресореної або не підресореної мас [5, 7, 8]. Існує декілька методів визначення стану амортизаторів:

- візуальний огляд і підрахунок коливань кузова автомобіля (суб'єктивна оцінка працездатності амортизаторів);
- зняття характеристик амортизаторів на спеціальному стенді (агрегатна діагностика апаратним методом);
- вимірювання параметрів коливань кузова або колеса (апаратні методи в умовах діагностичного поста).

Оцінка ефективності роботи амортизатора, знятого з автомобіля, проводиться на спеціальних приводних стендах (рис. 3.6, а) за результатами аналізу кругових діаграм (залежність сили опору від переміщення штока), площа яких відповідає значенню дисипативної сили (енергії), що гасить амортизатор.

Методи, засновані на аналізі параметрів коливаннях кузова (амплітудний, метод «шок-тест», метод гальмування) або коліс (методи BOGE / MAXA, EUSAMA) полягають у діагностуванні не самих амортизаторів, а роботи підвіски загалом.

Амплітудний метод полягає у вимірюванні загасання коливань кузова після його розгойдування. Прилад (рис. 3.6, б) складається із блоку реєстрації (1), який містить ультразвуковий давач переміщення (коливань),

обчислювальний пристрій, органи керування, дисплей і комплектується джерелом ультразвуку (2). ТЗ із закріпленням на крилі блоком, однократно штовхають долілиць. Прилад реєструє коливання й обчислює коефіцієнт загасання за кількістю коливань та спаду їхньої амплітуди.

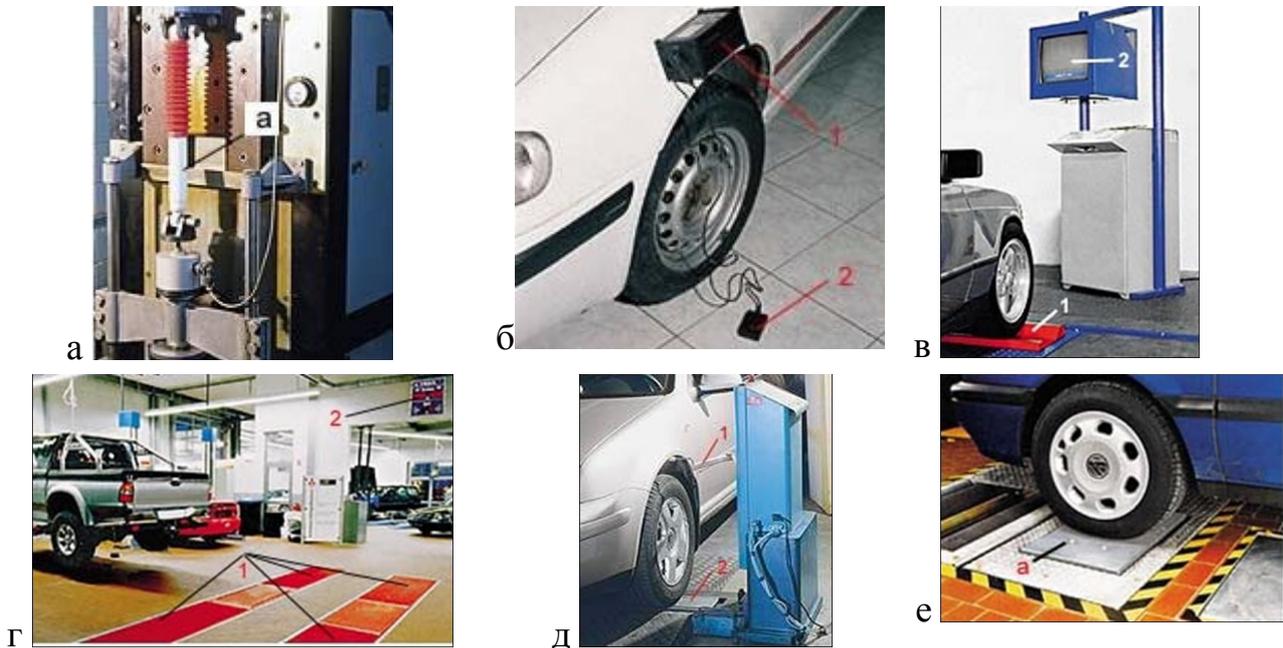


Рисунок 3.6 – Способи перевірок системи підвіски:

- а – стендова перевірка амортизаторів; б – за амплітудним методом;
- в – за методом BOGE / MAXA; г – за методом гальмування;
- д – за методом «шок-тест»; е – за методом EUSAMA

Під час виконання «шок-тесту» випробування проводяться на стенді (рис. 3.6, д), який складається з пневматичного підйомника (2) і пристрою з пружним важелем (1), що відслідковує вертикальні переміщення кузова. Важіль пристрою зачіпають знизу за колісні арки. За допомогою приводу стенда колеса випробуваної осі піднімають, а потім різко відпускають, викликаючи коливання кузова та відповідно і вимірювальних важелів. За результатами тесту комп'ютер стенда видає часову діаграму коливань на екран монітора й обчислює коефіцієнт загасання коливань для кожної випробуваної осі.

Метод гальмування реалізується на стаціонарних стендах лінії експрес-діагностики (рис. 3.6, г), де додатково перевіряються ефективність роботи гальмівних систем і бічне відведення автомобіля при відпущеному кермовому колесі. Стенд складається із вмонтованих у підлогу платформ із давачами (1), обчислювального пристрою й монітора (2). Для проведення вимірів, ТЗ заїжджає на платформи й різко загальмовується. При цьому кузов починає коливатися. Давачі фіксують динамічну зміну навантаження на платформи. За кількістю й інтенсивністю коливань обчислювальний пристрій оцінює ефективність роботи амортизаторів.

Метод виміру за коливаннями коліс також реалізується на лініях експрес-діагностики двома методами – BOGE / MAXA і EUSAMA (European Association

of Shock Absorber Manufacturer – Європейська асоціація виробників амортизаторів). В обох випадках автомобіль установлюється на спеціальні платформи, які по черзі збуджують вертикальні коливання коліс.

Метод BOGE/MAXA полягає у вимірюванні ваги колеса й амплітуди коливань платформи із установленим на неї колесом ТЗ (рис. 3.6, в). Платформа (1) збуджує коливання із частотою, вищою за резонансну частоту підвіски. Під час зниження частоти примушених коливань, настає резонанс. Найбільші значення амплітуди коливань у зоні резонансу, відповідають найгіршому стану амортизатора. Результати тестування виводяться на екран монітора (2). Додатково, комп'ютер стенда перераховує отримані значення амплітуд у відсотковий коефіцієнт ефективності амортизатора.

За методом EUSAMA оцінюється здатність підвіски втримувати контакт колеса з нерівною дорогою. Стенд (рис. 3.6, е) відслідковує силу, із якої колесо автомобіля впливає на платформу. Спочатку вимірювання проводяться на нерухомій платформі, а потім у процесі загасаючих коливань. За результатами тестування комп'ютер обчислює коефіцієнт зчеплення колеса з опорною поверхнею, виражений у відсотках. Він дорівнює відношенню мінімального навантаження під час коливань до навантаження на нерухому платформу.

Силова частина автомобіля складається з ДВЗ і трансмісії. Трансмісія складається з послідовності вузлів, що передають потужність від ДВЗ до коліс автомобіля (зчеплення, коробка передач, карданна передача, ведучий міст). Засоби діагностики трансмісії дають змогу визначати: потужність, затрачувану на прокручування трансмісії та ведучих коліс; кутовий зазор у карданній передачі; биття карданного вала; рівень вібрації; сумарний люфт головної передачі; сумарний люфт коробки передач на різних передачах; зусилля включення передач; сталу температуру та рівень мастила в агрегатах трансмісії; вміст продуктів зношування в маслі агрегатів трансмісії.

Найскладнішим агрегатом силової частини автомобіля є двигун внутрішнього згорання. На практиці використовуються різні методи діагностування ДВЗ засновані на вимірюванні вихідних та структурних індикаторних параметрів, пов'язаних із такими: порушенням герметичності робочих об'ємів; відхиленнями у робочих процесах; зношенням спряжених деталей; втратою фізичних властивостей матеріалів та кінематичних властивостей механізмів.

Методи діагностування ДВЗ засновані на аналізі характеру механічних процесів із прив'язкою до кутового положення колінчастого валу та відповідно і положення усіх елементів, що мають із ним кінематичні зв'язки (ГРМ, ЦПГ, КШМ). Застосування мотор-тестера порівняно з

компресометром або вакуометром дає змогу значно підвищити рівень локалізації (деталізації) несправності ДВЗ.

У цьому разі поряд із застосуванням давача тиску в отворі свічі запалювання (отримання кутової та індикаторної діаграми тиску) може використовуватися віброакустичний метод із застосуванням давача шуму (п'єзоелектричного акселерометра) [7, 8]. Щоб забезпечити необхідну чутливість цього діагностичного параметра, вимірювання шумів механізмів ДВЗ, проводиться під час провертання колінчастого валу стартером, (системи запалювання та паливного живлення відключені).

Такий спосіб дає змогу виявити приховані дефекти (зношування деталей КШМ, ГРМ, форсунок, ланцюгових передач, підшипників), без розбирання двигуна (рис. 3.7).

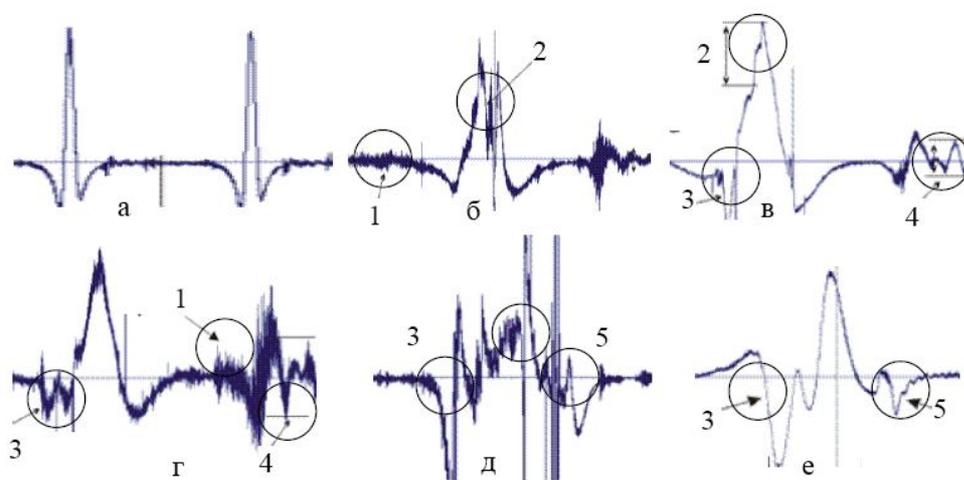


Рисунок 3.7 – Часові (кутові) діаграми шуму у циліндрах ДВЗ:  
а – справного двигуна; б...е – несправного двигуна

Позиціям у кружках на діаграмах шуму несправного двигуна відповідають дефекти: 1 – тертя кулачків ГРМ; 2 – зношення КШМ; 3 – несправність механізму впускного клапану ГРМ; 4 – втрата щільності випускних клапанів ГРМ; 5 – несправність механізму випускного клапана ГРМ; 6 – значне зношення КШМ.

Перевірка тягово-потужних показників і характеристик силової частини автомобіля проводиться на роликкових (із біговими барабанами) стендах [6,7], альтернативу яким становлять динамометричні стенди з безпосереднім вимірюванням силових параметрів на осях ведучих коліс. Прикладом такої технології є стенд Дунарск 6033 4WD (рис. 3.8).

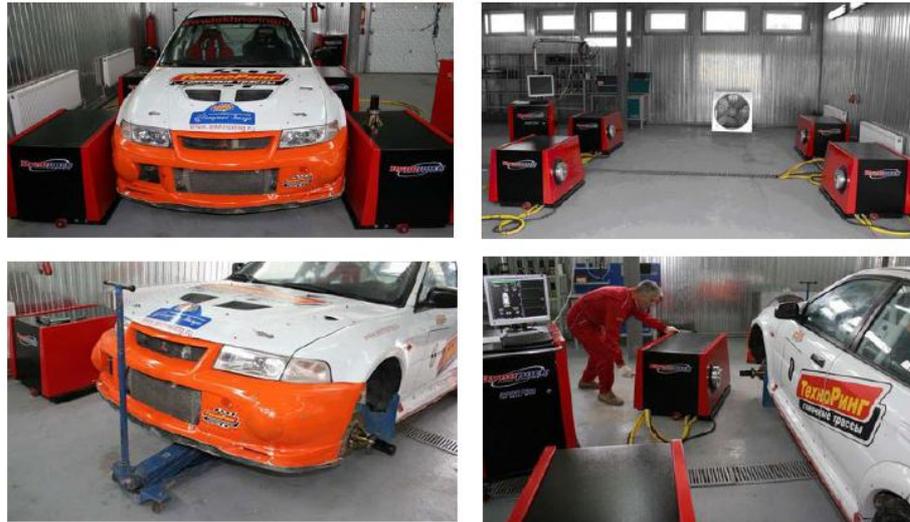


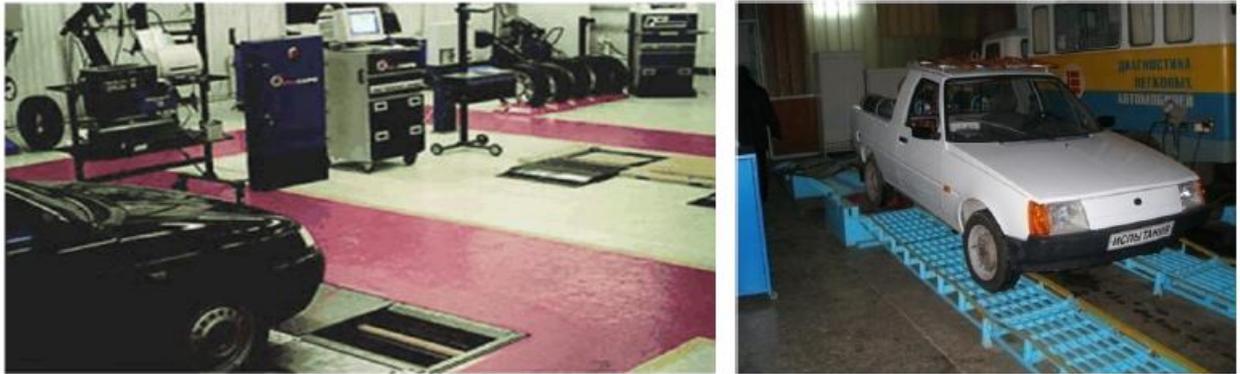
Рисунок 3.8 – Технологія діагностування на комп'ютеризованому стенді типу Dynapack 6033 4WD

Таке обладнання дає змогу істотно підвищити точність вимірів, особливо при проведенні послідовних тестів у процесі налаштувань параметрів роботи та зняття характеристик двигуна та трансмісії: потужнісної; крутного моменту; роботи турбіни; якості суміші; температурних режимів впуску й випуску; детонаційної; швидкісної; динамічної; передатної; роботи кожного диференціала окремо; роботи електронних диференціалів.

Відсутність шини (колеса) під час тестування виключає її боковий ухил, не виникає опір коченню, немає ризику сходу машини зі стенда на високій швидкості, усуваються дестабілізуючі фактори (температура шини, тиск, зчеплення) які змінюються під час тестування. Крім того, відсутність інерції колеса й бігового барабана дають змогу прискорювати транспортний засіб за обраним законом та підвищити чутливість порівняно з іншими традиційними динамометрами. Це дає змогу реєструвати малі структурні відхилення при зміні зазору свічі запалювання, марки рідини у двигуні й трансмісії, навантаження від генератора при включених фарах.

Комплексний контроль вихідних характеристик (функціональних діагностичних параметрів) автомобіля в обсязі експрес-діагностики проводиться за допомогою переліку спеціалізованих приладів під час випробувань автомобіля на спеціальних або багатофункціональних стендах.

Засоби експрес-діагностики, поєднані мережею центрального комп'ютера, утворюють інформаційно-вимірювальні діагностичні комплекси (рис. 3.9).



а

б

Рисунок 3.9 – Пости експрес-діагностики:  
а – стаціонарний діагностичний комплекс;  
б – мобільний діагностичний комплекс

За результатами експрес-діагностики локалізується несправна система, агрегат чи вузол та призначається місце й умови подальшої (поглибленої) діагностики.

Способи діагностики електричних систем, як і неелектричних, можна класифікувати за загальними ознаками (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 – Класифікація способів діагностування електричних систем

Діагностичні параметри електричних та електронних пристроїв та систем можна поділити умовно на декілька груп: параметри постійних значень, параметри діючих значень, часові параметри, параметри форми. Для електричних систем здебільшого альтернативними ДП є струм споживання, електричний опір кола живлення, напруга на ділянках кола. Для контролю цих параметрів на борту автомобіля застосовують універсальні вимірювальні прилади.

До приладів оцінки параметрів постійних значень належать вимірювачі електричного опору  $R$  (омметри), постійної напруги  $U$  (вольтметри) та струму  $I$

(амперметри). Омметри використовуються для «холодної» перевірки кіл та дискретних елементів схеми. Вольтметри та амперметри використовують для оцінки діагностичних параметрів при ввімкнутому об'єкті діагностування («гаряча» перевірка кіл). Діагностичні параметри діючих значень, до яких належать напруга змінного струму та змінний струм, вимірюють амперметрами та вольтметрами змінного струму. Функції перелічених вимірювальних приладів зазвичай реалізовані в комбінованих приладах універсального (мультиметри) або автомобільного (авто тестери) застосування.

Часові параметри електричних сигналів (частота  $f$ , тривалість імпульсу  $t$  та їхня шпаруватість  $q$ , дають змогу оцінити роботу задавальних, формувальних і релаксаційних кіл, а також каскадів електронних пристроїв систем керування; вимірюються за допомогою частотомірів та осцилографів. Параметри форми сигналу (амплітуда, крутизна фронтів, нерівність вершини імпульсу), використовуються для оцінити значень розподілених реактивних параметрів імпульсних кіл (електронні блоки, система запалювання), вимірюються за допомогою осцилографів.

Фазовий зсув між періодичними гармонійними сигналами однакової частоти (напруги та струму) характеризує реактивну складову опору кола змінного струму, вимірюється за допомогою осцилографів. В імпульсних пристроях фазовий зсув періодичних сигналів взагалі розглядається як функціональний параметр. Інформація про фазові зсуви у робочих процесах ДВЗ зазвичай надається за кутом положення колінчастого валу  $\alpha$  (кути випередження запалювання, подачі палива, випуску газів) і дає змогу оцінити оптимальність функціонування його систем (вимірюються за допомогою стробоскопів).

В електричних системах ТЗ застосовуються перетворювачі електричної енергії різного призначення (прилади освітлювання, нагрівачі, актуатори тощо), тому до переліку діагностичних параметрів можна додати неелектричні параметри: сили та напрямку світлового пучка головних фар, температуру нагрівальних елементів, робочі зазори тощо. До переліку методів вимірювання у такому разі потрібно додати відповідно оптоелектричні, термоелектричні, тензометричні тощо, а до переліку діагностичних приладів – реглоскоп, термометр, динамометр тощо.

Оскільки в мехатронних системах електричні системи пов'язані з механічними, можна вважати, що вихідні параметри мехатронної системи (механічної частини) непрямо визначаються через вихідні, а відповідно і структурні параметри електричної частини. Стосовно мехатронної системи ДВЗ, таке ствердження трактується стосовно тягово-швидкісних характеристик на виході трансмісії (рис. 3.11).

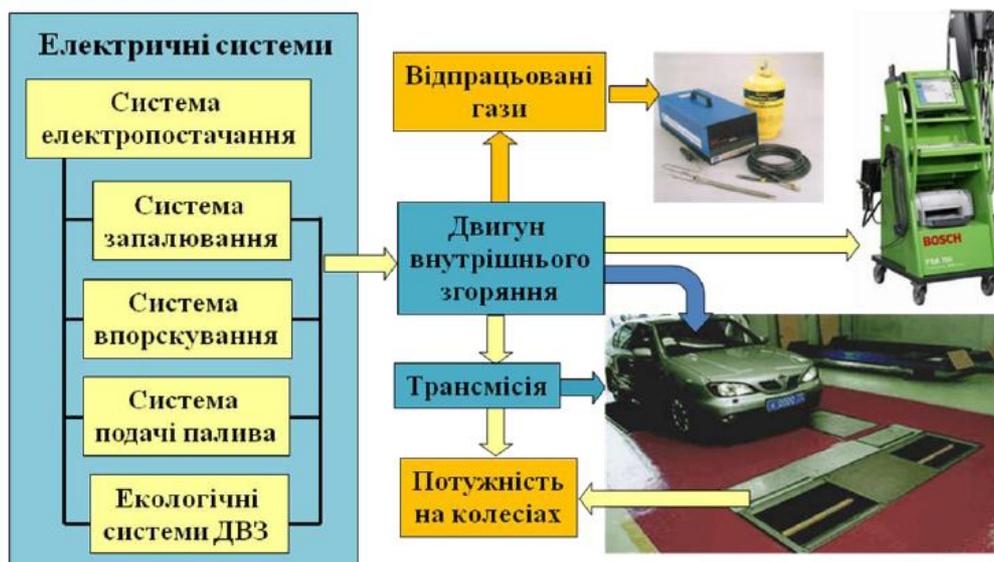


Рисунок 3.11 – Структура комплексної діагностики

Отже, для діагностування електричних систем автомобіля, окрім універсальних приладів вимірювання електричних параметрів, використовують і засоби діагностики неелектричних систем, що застосовуються на діагностичних постах і лініях (регласкоп, мотор-тестер, тяговий стенд).

Після локалізації несправної системи, пристрою або агрегата в автомобілі чи за умов статичності, їх скеровують в електровідділення для усунення несправності (технічне обслуговування та заміна структурних елементів) або для відновлення агрегата (перемотування обмоток, проточування якорів). У першому випадку застосовуються спеціальні стенди та спеціалізовані прилади агрегатної діагностики, у другому – стаціонарне промислове устаткування. Комп'ютерна діагностика мехатронних систем під час їздових випробувань ТЗ здійснюється за допомогою портативних діагностичних сканерів.

### Контрольні питання

1. Проаналізувати узагальнену структуру діагностичних систем.
2. Комп'ютеризовані контрольно-вимірювальні комплекси.
3. Класифікація способів діагностування електричних систем.
4. Пости експрес-діагностики
5. Структура комплексної діагностики.

## ЛЕКЦІЯ 4

# ТЕОРІЯ НАДІЙНОСТІ ПІД ЧАС ВИРІШЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАДАЧ ДІАГНОСТИКИ

### 4.1 Головні поняття та терміни теорії надійності

Теорія надійності встановлює закономірності виникнення відмов у різних виробах, вивчає вплив зовнішніх та внутрішніх впливів на процеси в них, закладає основи розрахунку надійності та прогнозування відмов, визначає способи підвищення надійності у процесі конструювання, виготовлення та експлуатації виробів, встановлює методика збору, обліку та аналізу статистичних відомостей, що характеризують надійність.

**Предмет теорії надійності** становить сукупність математичних методів, що базуються на теорії імовірності та математичній статистиці, організаційних і технічних заходів.

Під час аналізу та оцінки надійності конкретні технічні пристрої називаються узагальненим поняттям «об'єкт».

**Об'єкт** – це предмет певного цільового призначення, що розглядається в періоди проектування, виробництва, експлуатації, вивчення, дослідження та випробувань на надійність. Об'єктами можуть бути системи та їхні елементи, зокрема технічні вироби, пристрої, апарати, прилади, їхні складники, окремі деталі тощо.

**Надійність** – властивість об'єкта зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування.

Надійність є комплексною властивістю, яка залежно від призначення об'єкта та умов його застосування може включати:

- безвідмовність;
- довговічність;
- ремонтпридатність;
- збережаність, або поєднання цих властивостей.

**Безвідмовність** – властивість об'єкта безперервно зберігати працездатний стан протягом деякого часу або напрацювання.

**Довговічність** – властивість об'єкта зберігати працездатний стан до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування та ремонту [6, 7].

**Ремонтпридатність** – властивість об'єкта, що полягає в пристосованості до підтримання та відновлення працездатного стану шляхом технічного обслуговування та ремонту.

**Збережуваність** – властивість об'єкта зберігати в заданих межах значення параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати необхідні функції під час та після зберігання та транспортування.

*Об'єкт може перебувати в таких станах:*

1) *справний стан* – стан об'єкта, при якому він відповідає усім вимогам нормативно-технічної документації;

2) *несправний стан* – стан об'єкта, при якому він не відповідає хоч би одній з вимог нормативно-технічної документації;

3) *працездатний стан* – стан об'єкта, при якому значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати задані функції, відповідають вимогам нормативно-технічної документації;

4) *непрацездатний стан* – стан об'єкта, при якому значення хоч б одного параметра, що характеризує здатність виконувати задані функції, не відповідає вимогам нормативно-технічної і (чи) конструкторської (проектної) документації;

5) *граничний стан* – стан об'єкта, при якому його подальша експлуатація недопустима або недоцільна, або відновлення його працездатного стану неможливе або недоцільно.

Для опис різних пошкоджень об'єктів використовуються такі терміни:

1) *дефект* – кожна невідповідність властивостей об'єкта встановленим вимогам.

2) *ушкодження* – подія, що полягає в порушенні справного стану об'єкта при збереженні працездатного стану.

3) *відмова* – подія, що полягає в порушенні працездатного стану об'єкта.

*Розрізняють такі типи відмов:*

- ресурсна відмова, у наслідок якої об'єкт досягає граничного стану;
- незалежна відмова, що не обумовлюється іншими відмовами;
- залежна відмова;
- раптова відмова;
- поступова відмова;
- збій – відмова, що самоусувається, або одноразова відмова, що усувається шляхом втручання оператора;
- явна відмова (виявляється візуально);
- прихована відмова;
- конструктивна відмова;
- виробнича відмова;
- експлуатаційна відмова.

Часові поняття, що використовуються в теорії надійності.

1. *Напрацювання* – тривалість або об'єм роботи об'єкта. Напрацювання може бути як безперервною величиною (тривалість роботи в годинах, кілометраж пробігу тощо), так і дискретною величиною (кількість робочих циклів, запусків).

2. *Напрацювання до відмови* – напрацювання об'єкта від початку експлуатації до виникнення першої відмови.

3. *Напрацювання між відмовами* – напрацювання об'єкта від закінчення відновлення його працездатного стану після відмови до виникнення наступної відмови.

4. *Час відновлення* – тривалість відновлення працездатного стану об'єкта.

5. *Ресурс* – сукупне напрацювання об'єкта від початку його експлуатації або відновлення після ремонту до переходу в граничний стан.

6. *Термін служби* – календарна тривалість експлуатації від початку експлуатації об'єкта або відновлення після ремонту до переходу в граничний стан [6, 7].

7. *Показник надійності* – кількісна характеристика одного або декількох властивостей, що становлять надійність об'єкта.

Розрізняють такі головні показники надійності:

1. *Одиничний показник надійності* – показник надійності, що характеризує одну з властивостей, що становлять надійність об'єкта.

2. *Комплексний показник надійності* – показник надійності, що характеризує декілька властивостей, які становлять надійність об'єкта.

3. *Розрахунковий показник надійності* – показник надійності, значення якого визначаються розрахунковим методом

4. *Експериментальний показник надійності* – показник надійності, точкова або інтервальна оцінка якого визначається за даними випробувань.

5. *Експлуатаційний показник надійності* – показник надійності, точкова або інтервальна оцінка якого визначається за даними експлуатації.

## **4.2 Методи прогнозування надійності. Класифікація та загальна характеристика**

На сьогодні в різних яферах науки та техніки існує досить багато методів прогнозування показників надійності, що відрізняються сукупністю розв'язуваних завдань і особливостями застосовуваного математичного апарату.

За обсягом інформації, використовуваної для прогнозу, ці методи можна розподілити на три групи:

– методи експертних оцінок, що застосовуються в тих випадках, коли

відсутня достовірна інформація про об'єкт і дані про зміни його стану за час експлуатації;

– методи, засновані на екстраполяції та використовуються в тих випадках, коли є достатньо повні дані, але невідомі загальні закономірності зміни стану об'єкта за час експлуатації;

– методи моделювання, які використовуються при наявності достатнього обсягу статистичних даних про зміну стану однотипних об'єктів у процесі експлуатації.

На сьогодні найпоширенішими під час прогнозування технічного стану об'єктів є методи другої групи.

Основою для прогнозування технічного стану в цих методах є аналітичне прогнозування, при якому за багатовимірним вектором станів  $S (s_1, s_2, \dots, s_n)$  або діагностичних сигналів  $X (x_1, x_2, \dots, x_m)$ , певних або вимірних у моменти часу  $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_k$ , необхідно визначити їх значення в наступні моменти часу  $t_j (j = k + 1, \dots, k + l)$ .

Аналітичне прогнозування стану технічних об'єктів ґрунтується на об'єктивному існуванні певної тенденції в зміні параметрів їхнього стану або діагностичних сигналів під час експлуатації, головні закономірності якої можна охарактеризувати деякою часовою функцією. При цьому вважають, що ця залежність, звана трендом (trend, англ. – тенденція), що виражає усереднену в часі для певного періоду спостереження тенденцію, може бути екстрапольована на наступні періоди часу.

Отже, завдання прогнозування технічного стану об'єкта аналітичними методами полягає в отриманні масиву ретроспективних значень прогнозованого параметра  $X (t_i)$ , його аналізі та виділення тренда у вигляді апроксимуючої тимчасової функції, визначенні прогнозованої величини параметра  $X (t_j)$  і оцінці точності прогнозу.

Знаходження функції регресії  $f (t) = x (t)$ , що апроксимує характер зміни параметра (процесу) у часі, грає важливу роль у завданні прогнозування, оскільки визначає фактично результати екстраполяції тренда.

Для вибору виду апроксимуючої функції використовуються різні методи, зокрема метод послідовних різниць, що визначає ступінь апроксимуючого полінома; а також – критеріальні методи, засновані на оцінці критерію близькості фактичної кривої до розрахункової.

### 4.3 Урахування питань надійності під час проектування та виробництва

На противагу пристроям радіоелектроніки й автоматики електричні машини лише зрідка допускають підвищення надійності за допомогою схемних рішень. Хоча вибір типу та схеми обмотки, кількості пазів, провідників у пазі тощо, надає певний вплив на властивості машини стосовно її безвідмовності та довговічності. Однак головним шляхом цих властивостей є підвищення якості проектування та виготовлення. Недоліки конструкції відображаються переважно на довговічності, тоді як дефекти технології – на інтенсивності раптових і приробіткових відмов.

Забезпечення необхідних характеристик машини є головним завданням проектування. Але під час її вирішення потрібно також проводити попередню оцінку конструкційної надійності машини. Це доцільно виконувати в три етапи.

**На першому етапі** проводиться розрахунок і порівняння показників надійності для різних варіантів виконання машини й вибирається варіант оптимальний з усякого погляду. На цій стадії для розрахунку не потрібно ще знати точних значень показників надійності окремих елементів машини, оскільки проводиться лише порівняльна оцінка розглянутих варіантів [6, 7].

**На другому етапі** виконується поглиблене дослідження надійності обраного варіанта, з тим щоб забезпечити виконання заданих умов. При цьому потрібно вже знати точне значення показників надійності елементів. Виробництво сучасних електричних машин здебільшого має серійний характер, що повідомляє машинам кожної серії значний ступінь подібності й полегшує екстраполяцію показників надійності на нові зразки. Кількісні показники надійності комплектуючих виробів повинні бути видані постачальником.

**Третій етап** контролю надійності включає випробування дослідних зразків і порівняння результатів з розрахунковими значеннями. Практично цей етап реалізуємо лише для машин малої потужності, оскільки випробування на надійність великих машин неприйнятні з економічних міркувань. Результати розрахунків і випробувань дають змогу вносити відповідні корективи в конструкцію, матеріали й обмотувальні дані остаточного варіанта виконання машини.

Найважливішими засобами підвищення надійності електричної машини є спрощення її конструкції та застосування для її виготовлення якісних активних і конструкційних матеріалів.

Водночас необхідно забезпечити також збереження на належному рівні та інших техніко-експлуатаційних показників: питомої витрати активних і конструкційних матеріалів (на одиницю потужності), мінімальних габаритів і вартості. Ці вимоги суперечать умовам вибору засобів для підвищення

надійності. Тому під час проектування необхідний детальний аналіз всіх заходів для отримання заданої надійності машини при мінімальних вагових і габаритних показниках, а також – належних її пускових і робочих характеристик.

Інакше кажучи, у процесі проектування та виготовлення електричної машини необхідно прагнути до виконання таких головних вимог:

- максимальне спрощення конструкції машини загалом, а також її вузлів і деталей;

- вибір електромагнітних навантажень з урахуванням як вимог отримання заданої надійності, так і забезпечення мінімальних вагових і габаритних показників;

- зменшення робочої температури машини шляхом застосування, у разі необхідності й можливості, належних коштів для її охолодження;

- усунення вібрацій машини в діапазоні робочих швидкостей обертання шляхом вибору належних розмірів корпусу та інших частин і ретельної балансування ротора;

- застосування для виготовлення машини якісних активних і конструкційних матеріалів, особливо теплостійких корпусної ізоляції та обмотувальних проводів;

- вдосконалення технології виготовлення машини з належною організацією поопераційного контролю окремих її деталей і автоматизація виробництва;

- ретельне проведення типових випробувань макетних і дослідних зразків на відповідність технічним вимогам за надійністю;

- розробка технічних умов, норм та інструкцій із монтажу, ремонту і експлуатації.

*Завдання надійності.* Теорія надійності слугує науковою основою діяльності лабораторій, відділів, бюро та груп надійності на підприємствах, у проектних, науково-дослідних і експлуатаційних організаціях. Математичний апарат теорії надійності заснований на таких розділах сучасної математики, як теорія ймовірностей і математична статистика, теорія випадкових процесів, теорія масового обслуговування, математична логіка, теорія графів, теорія оптимізації, теорія експертних оцінок, теорія великих систем

З проблемою надійності в електроенергетиці пов'язані такі практичні завдання [3–5]:

- статистична оцінка та аналіз надійності діючого обладнання та установок;

- прогнозування надійності обладнання та установок;

- нормування рівня надійності;

- випробування на надійність;
- розрахунок і аналіз надійності;
- оптимізація технічних рішень щодо забезпечення надійності у процесі проектування, створення та експлуатації електротехнічного обладнання, установок, систем;
- економічна оцінка надійності.

Теорія надійності вводить у практику інженерного дослідження кількісні оцінки, які дають змогу:

- встановлювати вимоги та нормативи надійності обладнання для установок і систем;
- порівнювати різні види обладнання, установок і систем їхньої надійності;
- розраховувати надійність установок за надійністю їхніх елементів;
- оптимізувати величину необхідного резерву та структуру технічних об'єктів;
- виявляти найменш надійні елементи обладнання, установок і систем;
- оцінювати терміни служби обладнання та установок.

Проблема аналізу й розрахунку надійності систем електропостачання (СЕС) і електроенергетичних систем (ЕЕС) пов'язана з вирішенням низки теоретичних і практичних завдань.

Для цього необхідно:

- вибрати міру надійності;
- дати математичний опис явищ, пов'язаних з ненадійною роботою обладнання та всієї установки або системи загалом;
- розробити математичну модель взаємозв'язку окремих явищ, що визначають виникнення пошкоджень і порушень роботи установки та її відновлення як випадковий процес;
- дати пропозиції щодо врахування надійності в моделях прийняття технічних рішень у проектних і експлуатаційних завданнях [6, 7].

### **Контрольні питання**

1. Предмет та об'єкт надійності. Дайте визначення.
2. Які властивості має надійність? Дайте характеристику кожній з них.
3. Методи прогнозування надійності. Класифікація та загальна характеристика.
4. Проаналізувати часові поняття, що використовуються в надійності.
5. Як враховуються питання надійності у процесі проектування та виробництва транспортних засобів?

## ЛЕКЦІЯ 5

### МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ В МОБІЛЬНИХ МАШИНАХ. КЛАСИФІКАЦІЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

#### 5.1 Мехатронні системи в мобільних машинах

Проблема мехатронних систем на транспорті та в тягових машинах різного призначення виникла в останні роки, коли автоматика почала застосовуватись в автомобілях і тракторах. Насамперед – це закордонні автомобілі та трактори. Легко припустити появу та прогресуючого розвитку на автомобілях і тракторах і вітчизняного виробництва в найближчому майбутньому автоматика, а разом із нею і розвитку на них мехатронних систем.

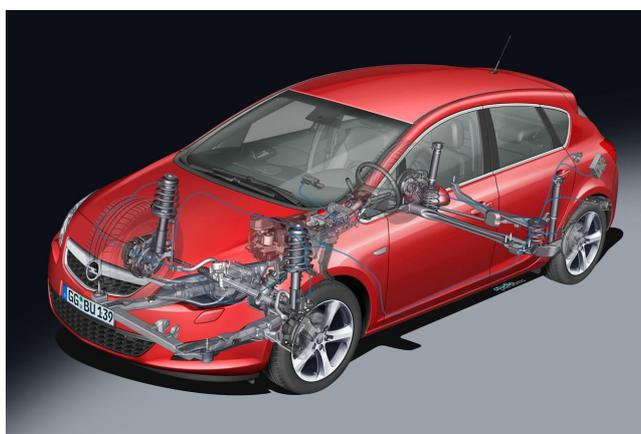


Рисунок 5.1 – Мехатронні системи в мобільних машинах

Уже усталене в технічному світі поняття «мехатроніки» у найзагальнішому тлумаченні полягає в такому: всякий мехатронний об'єкт, або інакше мехатронний комплекс, становить нерозривну єдність трьох компонентів – механічних агрегатів, електро – або електрогідравлічних пристроїв управління ними та автоматика управління.

Ці три складники перебувають у складній синергічній взаємодії та нерозривних функціональному та інформаційному зв'язках. Провідну й визначальну роль серед цих складників переконання грає автоматика, що власне й породила цей технічний напрям.

Поява в світовому авто- та тракторобудування автоматика, особливо комп'ютерної мікропроцесорної автоматика, призвело до перебудови й зарубіжної системи проектування, до переведення її на мехатронні рейки, на методи єдиного комплексного проектування всіх трьох складників мехатронних комплексів.

Методологія проектування в техніці взагалі консервативна, а наші проектувальники, як показує сьогоднішня практика проектування автомобілів і тракторів, не навчені комплексному, системному, «мехатронному» підході до проектування. Мехатронне проектування вимагає від проектувальників кожної

з трьох сфер мехатроніки розширення їхніх знань на суміжні мехатронні сфери, що вимагає від них підвищення кваліфікації, не прийнятою поки в сфері технічної підготовки (як у медицині), а від нашої системи вищої школи – підготовки більш універсальних фахівців, ніж вона готує зараз.

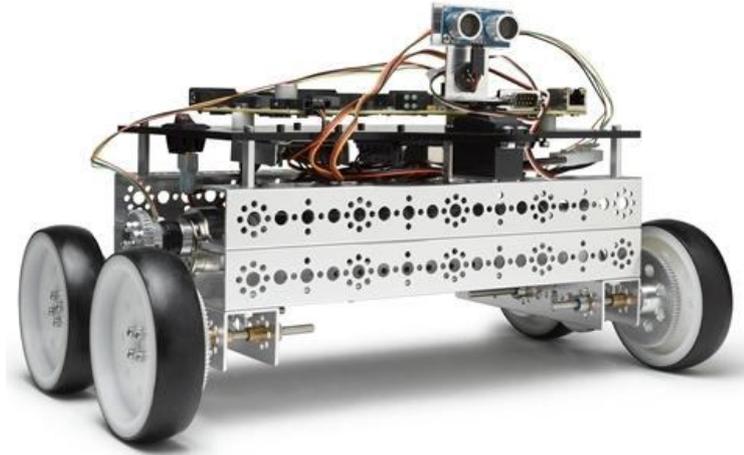


Рисунок 5.2 – Застосування мехатроніки та робототехніки на машинах

Розвиток мехатроніки на ТЗ і на виробничих машинах має свої особливості. На ТЗ експансія автоматизації, а отже, і мехатроніки, переважно почалася в сфері пристроїв комфорту, на тракторах – у сфері силових агрегатів.

Другим – система силового управління навісним пристроєм (EHR), світовим лідером у виробництві якої є фірма Bosch.

Третім – трансмісія. Тут процес почався з появи механічних трансмісій із перемиканням ступенів під навантаженням. На них з'явилися гідравлічні, потім електрогідравлічні пристрої перемикання, а потім і електронна автоматика управління перемиканнями. Західні фірми (Німецька ZF та інші) почали постачати їх на автомобільні й тракторні заводи і виробляти на продаж трансмісії теж у повному комплекті. З появою потім у зарубіжному тракторобудуванні безступінчатих трансмісій (поки ще тільки гідрооб'ємних двопоточних) це явище усталилося [2, 8].

Силу та вигоду мехатронного виконання агрегатів особливо яскраво бачимо на прикладі трансмісій, які за наявності й відсутності автоматизації управління при однакових інших компонентах комплексу становлять різкий контраст у характеристиках як їх самих, так і обладнаних ними тракторів і автомобілів. У мехатронному виді вони забезпечують на порядок вигідніші характеристики практично за всіма показниками роботи машин: технічним, економічним і ергономічним.

Порівнюючи мехатронні комплекси з їхніми не мехатронними прообразами за технічною досконалістю, легко побачити, що перші значно перевершують останніх не тільки за загальними показниками, а й за рівнем і

якістю проектування. Це не дивно: синергетичний ефект виявляється не тільки в кінцевому продукті, а й у процесі проектування внаслідок нового підходу до проектування та підвищенням за необхідністю кваліфікації проектувальників.

Порівняння ціни цих об'єктів ще більш різке. Мехатронні комплекси внаслідок застосування в автоматичні мікропроцесорної технології, що дає досить дешеві пристрої автоматички, за ціною дуже небагато дорожче прообразів, зате за сукупним показником ціна - якість перевершують їх на порядок.

Ця обставина знімає питання про економічну ефективність мехатронних агрегатів, залишаючи тільки питання про готовність сучасної промисловості до організації та виконання проектування та виготовлення таких технічних систем.

### **Контрольні питання**

1. Мехатронні системи в мобільних машинах.
2. Особливості розвитку мехатроніки на виробничих машинах.
3. Які основні технологічні принципи діагностування?
4. З яких складників комплектуються мобільні станції діагностики?
5. Який порядок розгортання мобільної діагностичної станції в робоче положення?

## ЛЕКЦІЯ 6

### ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ. МЕТОДИ Й ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ

#### 6.1 Прогнозування технічного стану електромехатронних систем

*Фізичні основи прогнозування технічного стану.* Фізико-хімічні процеси зміни властивостей і розмірів деталей і вузлів підпорядковуються певним законам, і їхній технічний стан можна прогнозувати з певним ступенем точності. Прогнозування технічного стану обладнання, тобто процес передбачення зміни параметрів у майбутньому, є досить важким технічним завданням.

За умовами технології виробництва деталі й вузли рухомого складу, як і інших технічних пристроїв, виготовляють із певними допусками в розмірах, хімічній і структурній властивостях матеріалів. Це також впливає на інтенсивність зношування або старіння деталей і вузлів. Крім цього, на інтенсивність зношування деталей і вузлів обладнання істотно впливає організація та періодичність технічного обслуговування й поточного ремонту. Якщо технічне обслуговування та ремонти здійснюють нерегулярно або їх зовсім не проводять, то швидкість зношування вузлів і деталей значно збільшується і зношування швидко досягають своїх граничних значень. У наслідок цього всі перелічені вище фактори впливають на імовірність прогнозування роботи обладнання [6].

Існуючі методи прогнозування не дають можливості передбачати раптові відмови, які характеризуються стрибкоподібною зміною параметрів стану деталі або вузла обладнання до граничного значення. Прогнозувати з певним ступенем точності можна поступові відмови, які характеризуються поступовою зміною параметрів технічного стану й зумовлені зношуванням або старінням матеріалу деталей або вузлів обладнання. Процеси зношування й старіння деталей і вузлів переважно містять детермінований (визначальний) і випадковий складники, кожен із яких може мати переважальний вплив для кожного конкретного випадку, що відбивається на характері процесів зношування або старіння.

Головним завданням прогнозування є визначення залишкового ресурсу елементів систем і агрегатів рухомого складу. Завданнями прогнозування під час експлуатації обладнання є скорочення трудоемкості й вартості робіт при поточних ремонтах, бо їх проводять тільки за необхідності, тобто у разі повного вичерпання ресурсів деталей і вузлів; визначення строків регульовальних і ремонтних робіт, у разі повного виробітку ресурсу – строків заміни обладнання;

визначення потрібної кількості запасних частин; скорочення строків перебування обладнання в ремонті, бо будуть відомі елементи й вузли, які підлягають ремонту або заміні; встановлення строків (періодичності) проведення діагностування; перевірка якості виконання регулювальних і ремонтних робіт. Під ресурсом розуміють напрацювання об'єкта від початку експлуатації або її поновлення після ремонту до настання граничного стану, коли подальша експлуатація повинна бути припинена, ураховуючи вимоги техніки безпеки або економічні міркування. У техніці найчастіше для визначення ресурсу користуються такими термінами, як *доремонтний, міжремонтний, залишковий і використаний ресурс*. Доремонтний ресурс характеризується напрацюванням нового обладнання від початку експлуатації до першого ремонту, а міжремонтний – напрацюванням між ремонтами. Під час прогнозування зазвичай визначається залишковий ресурс, тобто напрацювання обладнання від моменту діагностування (контролю) до граничного стану, обумовленого технічною документацією. Використаний ресурс характеризується напрацюванням обладнання після виготовлення або ремонту до моменту діагностування (контролю).

Для орієнтовного порівняння технічного стану елементів діагностованої машини або апарата, які характеризуються різними діагностичними параметрами, можна користуватися поняттям коефіцієнта технічного ресурсу, за допомогою якого оцінюють залишковий ресурс деталі, спряження або вузла. Для параметрів, абсолютні значення яких збільшуються під час експлуатації обладнання, коефіцієнт технічного ресурсу визначають за формулою:

$$K_p = (P_z - P_g) / (P_z - P_n), \quad (6.1)$$

де  $P_z$  – граничне значення параметра;

$P_n$  – номінальне значення параметра;

$P_g$  – вимірне значення параметра. Якщо під час експлуатації значення параметра зменшується, то коефіцієнт залишкового ресурсу визначається виразом:

$$K_p = (P_g - P_z) / (P_n - P_z). \quad (6.2)$$

Для нового елемента вузла або машини  $K_p = 1$ , а при повному вичерпанні ресурсу  $K_p = 0$ .

Відмова або загроза відмови зазвичай настає з вини однієї-двох деталей або вузла, що зумовлено нерівномічністю та з різною зносостійкістю деталей або вузлів обладнання. Конструкцією обладнання зазвичай передбачається нескладна заміна частини деталей, які швидко зношуються (щіток електричних машин). Після заміни або ремонту деталей, які вичерпали ресурс роботи, машина знову стає працездатною та отримує певний запас часу роботи до наступної загрози втрати працездатності.

### *Головні способи вирішення завдань прогнозування.*

Розрізняють такі головні шляхи отримання результатів прогнозу, що об'єднують групи методів прогнозування: коли результат прогнозу визначається в одній розмірності з контрольованими параметрами, тобто метою прогнозування зміни технічного стану об'єкта є отримання значення контрольованого параметра, що характеризує протікання процесу в часі; результат прогнозу визначається імовірністю виходу або не виходу характеристик контрольованих параметрів за певні межі; унаслідок прогнозу контрольований об'єкт зараховують до того або іншого класу технічного стану, який встановлюють наперед за критерієм працездатності або довговічності. Відповідно є три методи прогнозування: аналітичний, імовірнісний і статистичної класифікації.

Метод аналітичного прогнозування застосовують для завдань, коли зміна контрольованого параметра інерційна в часі й всі зміни поступово накопичуються. Тоді завданням прогнозування є визначення за відомими значеннями функції контрольованого параметра  $\Pi(t)$  у минулому та теперішньому величини функції в майбутньому, а також визначення моменту часу, коли параметр досягне свого допустимого значення  $\Pi_0$ .

Метод імовірнісного прогнозування застосовують для завдань, коли необхідно визначити імовірність виходу або не виходу контрольованого діагностичного параметра  $\Pi$  за встановлені межі.

Під час вирішення завдань прогнозування методами статистичної класифікації (розпізнавання образів) відомі значення параметра в певні моменти часу зараховують до одного з класів, тобто до своєрідного еталону (образу), а потім, урахувавши закономірності зміни параметрів певного класу, вирішують, як буде змінюватися певний параметр у майбутньому. При цьому розподіл значень параметрів на класи може бути часовим (за часом або напрацюванням) або параметричним (за величинами контрольованих параметрів).

## **6.2 Методи та засоби діагностування електромехатронних систем**

Ефективність технічного діагностування рухомого складу забезпечується за допомогою пристосованості конструкції вузлів і агрегатів до діагностичного обстеження, їхньої високої ремонтпридатності: усунення виявленої несправності не повинне бути складнішим і трудомістким, ніж її пошук. Усе це закладається на стадії проектування. Засоби, за допомогою яких здійснюється технічна діагностика, доцільно проектувати паралельно з розробкою конструкції автомобілів.

Пристосування діючої конструкції до діагностичного обстеження та створення комплексу відповідного обладнання – дуже трудомісткі й дорогі роботи, тому необхідна об'єктивна, строго аргументована оцінка їх техніко-економічної доцільності.

Засобами технічної діагностики є контрольні й вимірювальні прилади, інструменти, стенди та їхні поєднання, що забезпечують збір достатньої

інформації про технічний стан контрольованого вузла або агрегата. Для контрольо-діагностичного обстеження механічного обладнання транспортних засобів можуть бути рекомендовані такі стенди:

- силового типу з біговими барабанами та балансирний підвішеним пристроєм навантаження (рис. 6.1, а);

- інерційний із біговими барабанами й маховиками, що імітують силу інерції поступально рухомої маси автомобіля (рис. 6.1, б); такого типу стенди дають змогу контролювати параметри потужності або сили тяги, а також втрати в агрегатах трансмісії.

Стенди, виконані за схемами рисунку 6.1, дають змогу контролювати потужність і силу тяги, а також втрати в агрегатах трансмісії. За допомогою стендів, виконаних за схемами, наведеними на рисунку 6.2, можна вимірювати осьовий зсув майданчика, барабана або валика під впливом бічних сил і у такий спосіб контролювати правильність установки керованих коліс. З цією метою застосовують і оптичний стенд з дзеркальними відбивачами й оптико-електричними приладами, що укріплюються на колесах відомого моста та проектують кути установки коліс на екрани.

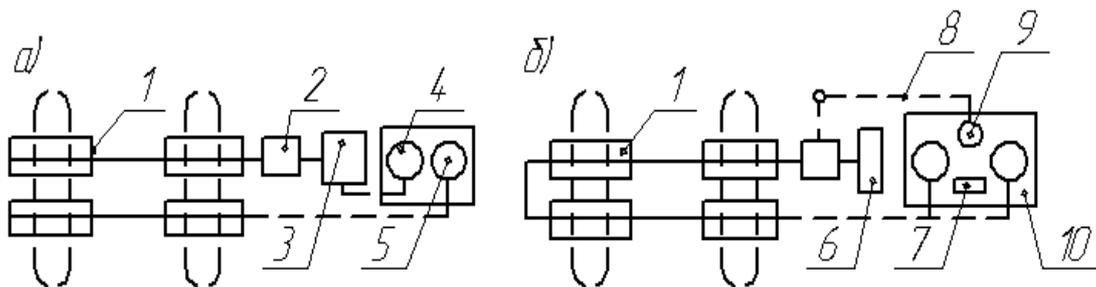


Рисунок 6.1 – Принципові схеми стендів силового типу (а) і інерційного (б):

- 1 – бігові барабани; 2 – редуктор; 3 – балансирно-підвішений (гідравлічний, електричний або індукторний) пристрій навантаження; 4 – вимірники сили тяги; 5 – вимірника швидкості; 6 – інерційні маси (маховик); 7 – вимірник шляху (часу) роботи на пускових позиціях; 8 – вимірник прискорення бігових барабанів; 9 – вимірник реактивного моменту; 10 – тахометр для виміру частоти обертання бігових барабанів

- із двома майданчиками, що вільно переміщуються, в поперечному напрямі (рис. 6.2, а);

- із двома біговими барабанами, що примусово обертаються (рис. 6.2, б);

- з контактним валиком, що знаходиться між біговими барабанами, що примусово обертаються (рис. 6.2, в);

- з майданчиками, які мають можливість переміщатися на відстань, пропорційну гальмівним силам, що виникають при гальмуванні (рис. 6.3, а);

- роликівий силовий для вимірювання опору обертанню коліс під час їх гальмування (рис. 6.3, б);

- гальмівний з біговими барабанами і вимірниками реактивної сили (рис. 6.3, в);
- гальмівний для визначення гальмівного моменту під час розкручування колеса (рис. 6.3, з).

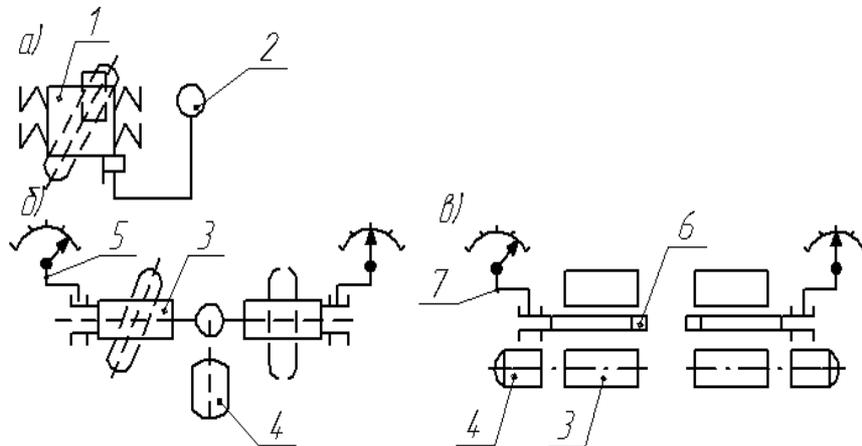


Рисунок 6.2 – Принципові схеми стендів для контролю правильності установки керованих коліс:

- 1 – плаваючі майданчики; 2 – вимірник бічної сили; 3 – бігові барабани;
- 4 – електричний привід; 5 – вимірник бічного зсуву барабанів;
- 6 – контактний валик; 7 – вимірник осьових зсувів валика

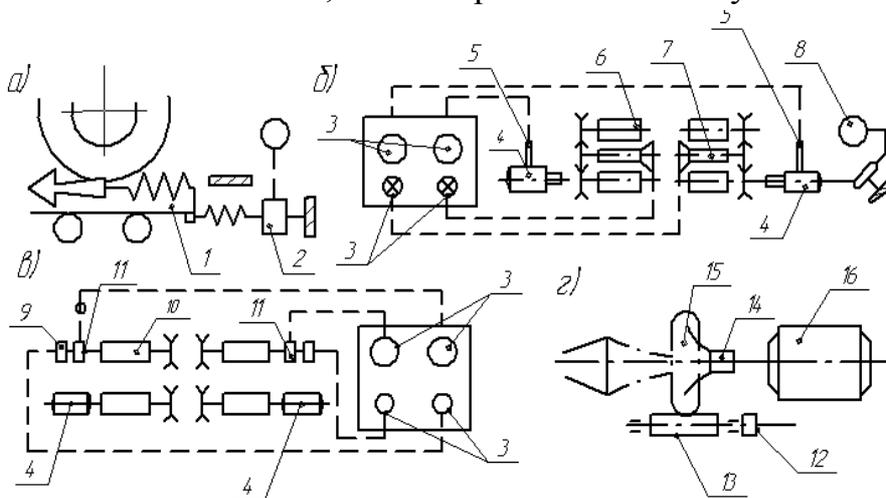


Рисунок 6.3 – Принципові схеми стендів для визначення параметрів процесу гальмування:

- 1 – платформа; 2 – вимірник переміщень; 3 – вимірник гальмівних сил;
- 4 – електричний привід барабанів; 5 – давач інформації; 6 – бігові барабани;
- 7 – контактні валики; 8 – вимірник тиску на педаль гальма; 9 – маховики, що імітують поступальну ходу маси тролейбуса при гальмуванні; 10 – гальмівні барабани; 11 – вимірник реактивної сили; 12 – вимірник шляху гальмування;
- 13 – що підтримує барабан; 14 – приводний пристрій; 15 – колесо тролейбуса;
- 16 – електродвигун

Стенди, схеми яких наведені на рисунку 6.3, слугують для визначення гальмівного моменту, гальмівних сил, кутового уповільнення або реактивного моменту, що виникає під час гальмування [7, 8].

Засоби технічної діагностики, що відповідають вимогам, що висуваються до них експлуатаційними підприємствами, повинні дозволяти контролювати всі головні параметри, що характеризують працездатність вузла або агрегата. Програма діагностування обмежується межами експлуатаційної необхідності та складається так, щоб можна було уникнути значної кількості підключень апаратів, приладів і механізмів. Проте при цьому бажано здійснювати велику кількість перемикань, які можливо не тільки механізувати та автоматизувати, але й запрограмувати, що знижує трудомісткість діагностичного обстеження. Результати (інформація) технічного діагнозу повинні видаватися в зафіксованому вигляді (картограми, перфокарти, таблограми тощо).

Діагностування транспортних засобів може бути загальним або поелементним, тобто може проводитися для досягнення локальної мети (обстеженню піддаються тільки вузли й деталі, що забезпечують безпеку руху) або для оцінки працездатності автомобіля за всіма головними параметрами. Залежно від поставленої мети застосовується та або інша форма діагностичного обслуговування – спеціалізовані пости по об'єктах або комплексні станції для загального обстеження. Спеціалізовані пости можуть бути розташовані окремо або вбудовані в потокову лінію.

Перспективними є бортові системи технічної діагностики (розташовані в кабіні транспортного засобу). При цьому водій може одержувати інформацію про ресурс працездатності вузлів і агрегатів керованої ним одиниці рухомого складу.

### **6.3 Взаємозв'язок діагностики з надійністю та якістю функціонування транспортних засобів автоматизації**

Якість системи автоматизації є сукупність її властивостей, що обумовлюють придатність системи задовольняти певні потреби відповідно до її призначення [6–8]. Одним з показників якості є показник надійності як безвідмовності, довговічності, зберігання, ремонтпридатності. Найважливішими принципами, методами та засобами забезпечення надійності є такі:

- вибір, удосконалення та створення нових матеріалів;
- пошук і реалізація нових фізичних принципів роботи систем автоматизації;
- реалізація нових видів енергії та способів її перетворення;

- створення захисних умов застосування систем в умовах важких зовнішніх впливів;
- удосконалення технологій виробництва;
- застосування різних видів резервування та надмірності;
- реалізація заходів, що підвищують ефективність отримання, обробки й використання інформації (застосування захисних і перешкодозахисних кодів, розробка якісного математичного забезпечення).

Необхідно відзначити, що заходи апаратурного й інформаційного напрямку з підвищення надійності мають на меті усунення дефектів, які призводять до неправильної роботи. Такі заходи «маскують» дефекти через апаратурну та інформаційну надмірності. Виявити дефекти при цьому вельми важко. Унаслідок збільшення кількості дефектів можливе відмовлення системи. При цьому безвідмовність системи буде нижче, ніж безвідмовність за відсутності надмірності. Водночас необхідно здійснювати пошук несправностей в умовах резервування системи з метою підтримки її захисних властивостей.

**Резервування** (від лат. *Reservo* – зберігаю) – метод підвищення надійності системи шляхом застосування структурної, функціональної, інформаційної та тимчасової надмірності стосовно мінімально необхідної та достатньої для виконання системою заданих функцій.

**Надмірність** – наявність у системи можливостей понад мінімально необхідних для нормального функціонування. Під час діагностики систем необхідно вирішити питання визначення технічного стану об'єкта шляхом визначення справності, працездатності, правильності функціонування й пошуку дефектів на всіх етапах виробництва й експлуатації систем.

Діагностичне забезпечення має закладатися на стадії проектування, забезпечуватися на стадії виробництва та підтримуватися на стадії експлуатації. Ідеальна повнота виявлення та глибина пошуку дефектів систем не завжди досяжні внаслідок неможливості отримати необхідну інформацію, або з техніко-економічних міркувань. Особливо небажана безконтрольна неповнота виявлення дефектів, коли невідомо, які можливі дефекти не виявляються.

Сучасним засобом перевірки є моделювання поведінки системи як у справному стані, так і за наявності в ній дефектів. Таке моделювання називається діагностичним.

#### **6.4 Тестове діагностування**

**Тест** (англ. *test* – проба, випробування, дослідження) – завдання з відомим рішенням, призначене для перевірки якості системи. Завдання побудови тесту полягає в тому, щоб знайти таку сукупність і послідовність

вхідних впливів, при подачі якої на об'єкт діагностування одержувані відповіді об'єкта в заданих контрольних точках дають змогу робити висновок про його технічний стан. Перевіряючі тести призначені для перевірки справності або працездатності об'єкта, а тести пошуку дефектів – для зазначення місця і, можливо, причин дефектів, що порушують справність і працездатність об'єкта діагностування.

Для дискретних об'єктів тести (їхні алгоритми) будуються або за структурними, або за функціональними моделями. Тести можуть бути як строго визначеними (детерменірованими) так і імовірнісними. Як тестові можна використати вхідні впливу, які є робочими у разі застосування системи за призначенням. Такі тести називають функціональними. Однак необхідно пам'ятати, що функціональні тести придатні тільки для перевірки працездатності об'єктів, оскільки повнота виявлення та глибина пошуку дефектів, що забезпечується ними недостатні для перевірки справності та пошуку дефектів.

Іншим аспектом тестового діагностування є завдання вибору й розробки засобів реалізації тестів. Засоби тестового діагностування містять дві головні частини – генератор тестових впливів і аналізатор відповідей об'єкта на тестові впливу. Зазвичай генератор і аналізатор функціонально та конструктивно виконують окремо один від одного. Генератор зберігає і створює (генерує) тести й подає їх на об'єкт діагностування. Аналізатор зберігає отримані відповіді, порівнює фактичні відповіді з очікуваними й видає результат – діагноз. Нерідко аналізатор становить сукупність еталона (справна копія об'єкта) і схему порівняння. Також нерідко частина функцій генератора й аналізатора покладається на людину.

## **6.5 Функціональне діагностування**

Функціональне діагностування може здійснюватися як безперервно, так і періодично або епізодично. У разі функціонального діагностування необхідно чітко визначити:

- поняття справності, працездатності, правильності функціонування стосовно конкретних функцій і умови застосування об'єкта;
- типи й переліки дефектів, що підлягають виявленню та пошуку під час діагностування;
- розподіл завдань діагностики за періодами життєвого циклу об'єкта;
- алгоритм функціонального діагностування та його види;
- глибину функціонального діагностування;

– кошти (апаратурні, програмні, автоматичні або ручні, спеціалізовані або універсальні, зовнішні або вбудовані) функціональної діагностики.

Для формування алгоритмів систем функціонального діагностування (СДФ) використовуються математичні моделі як самого об'єкта, так і його несправностей. Установлюється зв'язок між ступенем розвитку несправностей і дефектів і поведінкою вимірюваних корисних властивостей. Зазвичай математичні моделі (ММ) елементів системи – це сукупність диференціальних і алгебраїчних рівнянь, емпіричні формули, таблиці, графіки, що описують елемент, а також зв'язку між внутрішніми та зовнішніми керувальними й збудувальними параметрами. Розрізняють ММ із закладеною в них інформацією про несправності, так і без неї.

## 6.6 Технічні засоби діагностики

Засоби, за допомогою яких здійснюється діагностування технічного стану об'єкта, називаються технічними засобами діагностування [7,8]. Кошти можуть бути апаратурними або програмними, зовнішніми або вбудованими, ручними, автоматизованими або автоматичними, спеціалізованими або універсальними.

Як засоби діагностування може виступати оператор – людина, контролер, наладчик. Вибір і розробка засобів тестового діагностування повинні здійснюватися з урахуванням багатьох факторів: наявності серійного випуску необхідних коштів, наявності відповідних коштів на заводі-виробнику, масовості випуску об'єкта та його складності, необхідних якостей кошти (точності, продуктивності, надійності тощо). Засоби функціональної діагностики є зазвичай вбудованими та створюються одночасно з об'єктом. Для складних об'єктів істотними стають проблеми підвищення контролепридатності.

**Контролепридатність** – властивість об'єкта, що характеризує його пристосованість до проведення контролю заданими засобами. Рівень контролепридатності об'єктів визначає ступінь ефективності вирішення завдань тестового діагностування їхнього технічного стану, впливає на продуктивність процесу їхнього виробництва та якість. У процесі експлуатації рівень контролепридатності визначає їхній коефіцієнт готовності й витрати, зумовлені ремонтом.

**Коефіцієнт готовності** – показник надійності ремонтіваних об'єктів, що характеризує ймовірність того, що об'єкт буде працездатний у довільно обраний момент часу в проміжках між виконаннями планового технічного обслуговування.

$$K_z = T/(T+T_g),$$

де  $T$  – напрацювання на відмову;

$T_с$  – середній час відновлення працездатності.

Водночас з тим додаткові технічні засоби діагностування роблять об'єкт дорожчим і менш надійним і теж повинні діагностуватися.

Контролепридатність забезпечується шляхом перетворення структури об'єкта, що перевіряється до вигляду, зручного для проведення діагностування. Для цього в об'єкт ще на етапі його проектування та конструювання вводять додаткові елементи (апаратуру) – вбудовані засоби тестового діагностування. До вбудованих засобів тестового діагностування можна віднести:

- додаткові контрольні точки;
- додаткові входи для блокування сигналів і завдання необхідних значень сигналів;
- апаратні засоби, які під час діагностики змінюють структуру об'єкта;
- апаратні засоби, які генерують тести й аналізують результати.

Технічні засоби для діагностики (ТЗД) складного автоматизованого технологічного обладнання залежно від призначення поділяються на вбудовані й зовнішні.

Зовнішні системи (кошти) діагностики зі свого боку можуть бути мобільними та стаціонарними.

Мобільні засоби призначені для контролю параметрів і діагностування об'єктів під час приймально-здавальних випробувань, під час експлуатації та ремонту.

Стаціонарні (стенди) використовуються переважно для дослідження та випробування об'єктів у процесі їх створення. Під час розробки та використання технічних засобів діагностики (ТЗД) далі важливе значення має метрологічна підготовка та забезпечення метрологічного обслуговування засобів, що включають перевірки (атестацію), юстирування й ремонт цих засобів.

**Юстування** (від нім. *Justieren* – вивіряти, регулювати, від лат. *Justus* – правильний) – сукупність операцій із доведення похибок засобів вимірювань, приладів, механізмів до значень, що відповідають технічним вимогам. Отже, головна мета застосування ТЗД – забезпечення якості обладнання систем автоматизації під час його випуску й експлуатації шляхом своєчасного та достовірного контролю технічного стану, якості збірки, наладки та регулювання, якості виконання основних функцій під час експлуатації, а також виявлення, локалізація й подальше виправлення дефектних станів агрегатів, модулів, вузлів і елементів та встановлення причин їхньої появи.

**Призначення ТЗД** – визначення із заданою імовірністю, реєстрація та прийняття рішення про відповідність або невідповідність поточного технічного

стану контрольованого обладнання номінальному. Найчастіше ТЗД використовуються для реалізації таких методів діагностування:

- метод тимчасових інтервалів;
- метод контрольних осцилограм;
- метод контролю параметрів.

*Метод тимчасових інтервалів* спрямований на контроль часу циклу роботи системи автоматизації, а також його окремих складників. Для діагностування складних систем автоматизації застосовують *метод контрольних (еталонних) осцилограм*. Метод заснований на використанні графіків функцій різних параметрів у часі, на підставі аналізу яких робиться висновок про працездатність і технічний стан системи та її окремих елементів. *Метод контролю параметрів* зводиться до визначення (виміру) тих чи інших параметрів, перебування яких у встановлених межах визначає працездатність системи або її окремих елементів.

### **Контрольні питання**

1. Фізичні основи прогнозування технічного стану.
2. Який взаємозв'язок діагностики з надійністю та якістю функціонування транспортних засобів автоматизації?
3. Призначення технічних засобів діагностування.
4. Порівняйте тестове та функціональне діагностування.
5. Найчастіше ТЗД використовуються для реалізації яких методів діагностування?

# ЛЕКЦІЯ 7

## КОМП'ЮТЕРІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

### План

1. Автоматизовані діагностичні системи.
2. Система температурного контролю на основі NI CompactRIO.

#### 7.1 Автоматизовані діагностичні системи

У промисловості широко й успішно застосовуються пневматичні приводи. Сучасне виробництво висуває до них різноманітні й все жорсткіші вимоги. При цьому зростає потреба в електропневматичних позиційних і стежать приводах, здатних переміщувати механічний об'єкт управління, пов'язаний зі штоком пневмоциліндра, за бажаним законом та з високою точністю зупиняти його в будь-якій необхідній позиції. Наявність таких приводів дає змогу, використовуючи переваги промислової пневматики, вирішувати нові класи задач, створювати ефективні технологічні машини й успішно автоматизувати різноманітні технологічні процеси [6].

Існує кілька типів комплектних електропневматичних позиційних і приводів, призначених для застосування в різноманітних галузях промисловості та створених на базі сучасних принципів мехатроніки. Такі приводи відрізняються компактністю, механічною міцністю, високою надійністю й великим ресурсом, здатні працювати в жорстких умовах експлуатації, володіють хімічною стійкістю. Ці властивості досягнуті внаслідок ретельного підбору й органічного поєднання прецизійних пневмомеханічних і мікроконтролерних елементів, застосування сучасних інформаційних і обчислювальних технологій і методів автоматичного управління. Безперечними перевагами пропонованих мехатронних приводів є висока гнучкість комп'ютерного управління рухом і здатність забезпечити ефективну інтеграцію приводів у складні автоматично діючі технологічні системи.

Для жорстких умов експлуатації застосовуються позиційні приводи з пристроями дистанційного керування. Вони виконані на основі високотехнологічних і надійних пневмоциліндрів, що відповідають вимогам стандартів DIN/ISO 6431 (рис. 7.1, а і 7.1. б). Циліндри мають спеціальне покриття, яке захищає їх від шкідливої дії факторів навколишнього середовища. Штоки виконані з неіржавної сталі й додатково захищені гофрованими чохлами. Безпосередньо на циліндрі розташований прецизійний давач положення та первинний перетворювач його вихідного сигналу в сигнал

струмового петлі 4-20 мА. Це дає змогу підвищити перешкодозахищеність і спростити інтеграцію приводів в АСУ ТП.



Рисунок 7.1 – Електропневматичні позиційні приводи з пристроями дистанційного керування

Управління рухом поршня організовано за принципом зворотного зв'язку, і приводом є система, що відстежує. Реалізація алгоритму управління покладено на мікроконтролер, який виконує кілька функцій (рис. 7.2).

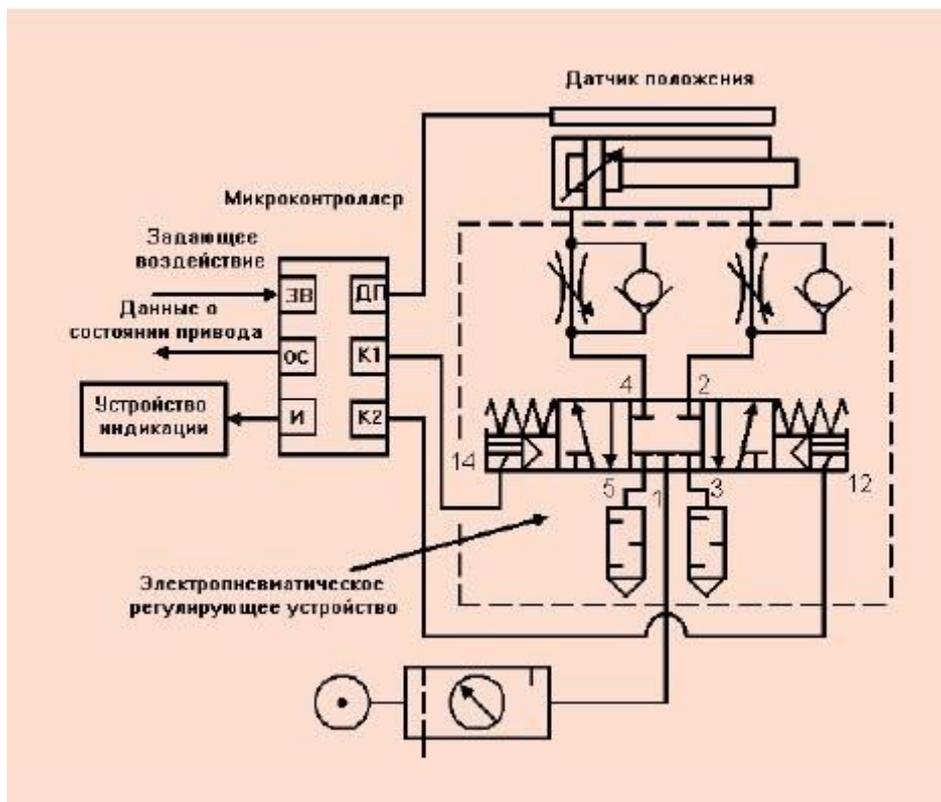


Рисунок 7.2 – Схема електропневматичного відстежувачого приводу

Мікроконтролер задає вплив, що несе інформацію про бажаний стан поршня, опитує давач положення, обчислює неузгодженість, у функції від цієї неузгодженості формує команди на електропневматичний регулювальний пристрій приводу і видає дані про стан приводу на пристрій управління вищого рангу та на пристрій цифрової індикації. Залежно від необхідної точності й швидкодії як електропневматичного регулювального пристрою може виступати п'ятиканальний трипозиційний електропневматичний розподільник дискретної

дії із закритою центральною позицією, група клапанів або пропорційні електропневматичні пристрої. Команди контролера перемикають регулювальний пристрій у такий спосіб, що поршень завжди рухається в бік зменшення неузгодженості [6–8].

Після досягнення необхідного положення поршня розподільник перемикається в центральну позицію, що призводить до зупинки штока пневмоциліндра. Вибір давачів, що вимірюють поточний стан поршня та істотно впливають на якість приводів. Ці давачі можуть бути як контактної, так і безконтактної дії. Великий досвід промислової експлуатації позиційних і відстежувальних приводів свідчить про те, що найвдалішими виявляються безконтактні давачі, дія яких заснована на магнітострикційному ефекті й магнітні зв'язки вимірювального елемента давача з магнітом на поршні. Давачі легко монтуються як у середині, так і зовні пневмоциліндра, мають підвищений ресурс завдяки відсутності пар тертя і малочутливості до ударних навантажень. Важливою перевагою використовуваних у приводах давачів є абсолютний вимір положення поршня. Під час їх використання, на відміну від інкрементальних давачів, не потрібно проводити пошук початкової координати. Привід готовий до роботи відразу після включення та не втрачає позиції у разі переривання електроживлення.

Для забезпечення високого ступеня захисту від дії несприятливих чинників навколишнього середовища мікропроцесорний і електропневматичний пристрій управління приводами, пристрої підготовки повітря, ручного управління та відображення інформації розміщені в окремій електропневматичній шафі (рис. 7.3).

Шафа може бути віддалена від циліндра на відстань до 20 м і має спеціальне покриття для роботи в хімічно агресивних середовищах. Ресурси пристрою управління достатні для управління декількома приводами.

На сьогодні існують електропневматичні позиційні приводи з аналоговими керувальними сигналами по струму й напрузі. можливе використання керувальних впливів у вигляді цифрового коду. Тип сигналу і його характеристики вибираються залежно від вимог до системи, у яку інтегрується привод. Розглянуті приводи при тиску живлення 6 бар здатні переміщати об'єкти управління зі швидкістю до 20 мм/с і мають похибку позиціонування, що не перевищує 1 мм. Максимальний діаметр застосовуваного в складі позиційного приводу циліндра 40 серії становить 320 мм, а 61 серії – 125 мм. Хід поршня може бути будь-яким і вибирає споживач під час формування замовлення. Важливо відзначити, що наявні мікропроцесорні пристрої керування забезпечує інтеграцію приводу або групи приводів до складу єдиної системи управління технологічними процесами, діагностику та віддалений

моніторинг стану приводу. При цьому контролюються стан приводу, значення задає впливу і похибки позиціонування, які для зручності використання та налаштування виводяться на цифровий індикатор чи інший засіб візуалізації даних.

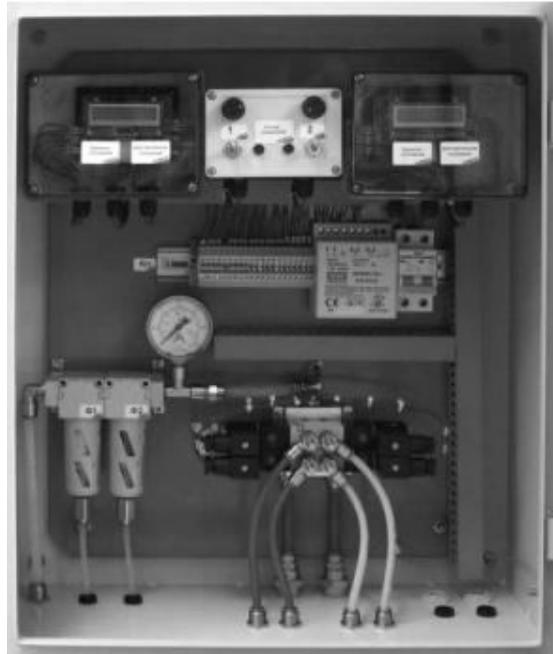


Рисунок 7.3 – Шафа серії VOX для дистанційного керування електропневматичними позиційними приводами

Цікава також серія компактних електропневматичних позиційних приводів у герметичному виконанні, що володіють більш високою швидкістю завдяки реалізації багатошвидкісного режиму роботи (рис. 7.4).

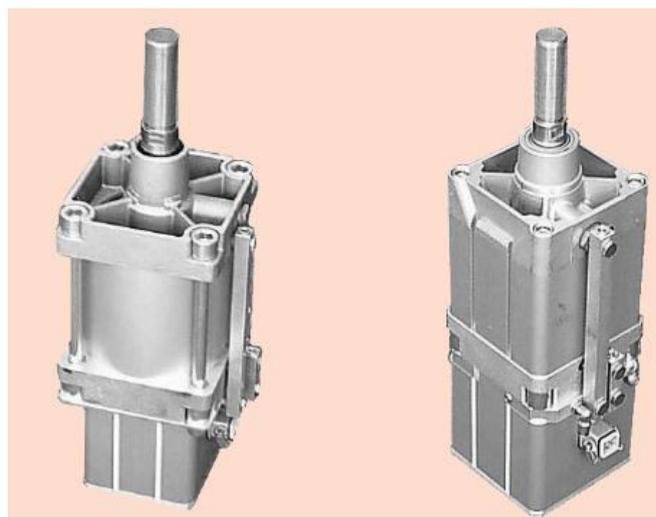


Рисунок 7.4 – Компактні багатошвидкісні електропневматичні позиційні приводи в герметичному виконанні

Відмінною особливістю цієї серії є комплектне виконання приводу. Давач положення вбудований у циліндр, а пристрій управління розміщено в невеликому герметичному контейнері на задній кришці пневматичного циліндра. Це дає змогу використовувати приводи в умовах обмеженого простору та гарантує високий ступінь захищеності IP65.

Крім електропневматичних позиційних приводів лінійного переміщення, існує низка позиційних приводів, виконаних на базі поворотних циліндрів (рис. 7.5).



Рисунок 7.5 – Електропневматичний позиційний привод на базі поворотного пневмоциліндра

Зокрема, вони зручні для прецизійного управління запірнорегулювальною апаратурою і для точного дозування рідких, газоподібних і сипких компонентів такі приводи мають значне обертання та високу точність позиціонування. Залежно від умов експлуатації можна вибрати варіанти виконання з розміщенням пристрою управління як на самому циліндрі, так і у віддаленні від нього із застосуванням шаф управління. Варто зазначити, що рішення в сфері відстежувальних і позиційних приводів залежать не тільки від умов експлуатації, але й від необхідних функціональних можливостей приводів. Їх розширення забезпечується у разі застосування розвиненіших електропневматичних регулювальних пристроїв на базі елементів дискретної дії, що реалізують багатошвидкісне управління рухом поршня.

Досягається швидкість руху до 100 мм/с, час перехідного процесу не більше 1,5 с і похибка позиціонування 0,8 мм. При цьому стежать, успішно справляються з вирішенням задачі відтворення змінюються в часі, наприклад, гармонійних впливів. При амплітуді гармонійного заданого впливу 50 мм і в разі змінювання його кругової частоти від 0,1 до 1 рад/с динамічна похибка перебуває в діапазоні від 2,5 мм до 8 мм. Ще більш високими показниками володіють приводи, побудовані на базі пропорційних компонентів, хоча вони становлять складніші системи. Під час їх використання забезпечується

швидкість руху до 300 мм/с, похибка позиціонування 0,1 ... 0,3 мм, час перехідного процесу не перевищує 0,6 с.

У значущих випадках використовують електропневматичні приводи, незамінні для створення складних комплексів регулювання та стабілізації технологічних параметрів. Типовим прикладом такого комплексу є флотаційна установка, у складі якої відстежуючий привод є частиною системи стабілізації рівня технологічної рідини та здійснює пропорційне регулювання положення запірною пристрою ванни (рис. 7.6).

Завдання системи стабілізації полягає в підтримці необхідного рівня рідини у ванні відповідно до надходять з АСУ ТП сигналом управління незважаючи на дестабілізуючий вплив нерівномірності подачі вихідного матеріалу. Електропневматичний відстежувальний привод становить замкнутий по положенню поршня внутрішній контур регулювання системи стабілізації рівня його завдання – підтримувати з необхідною точністю координату положення поршня та пов'язаного з ним замикаючого пристрою. Важливо підкреслити, що динамічні властивості внутрішнього контуру регулювання, а отже і застосовуваного електропневматичного приводу, істотно впливають на якість виробничої системи загалом. З огляду на цю обставину вибір приводу вимагає застосування типового для мехатроніки системного підходу, що становить непросту задачу.

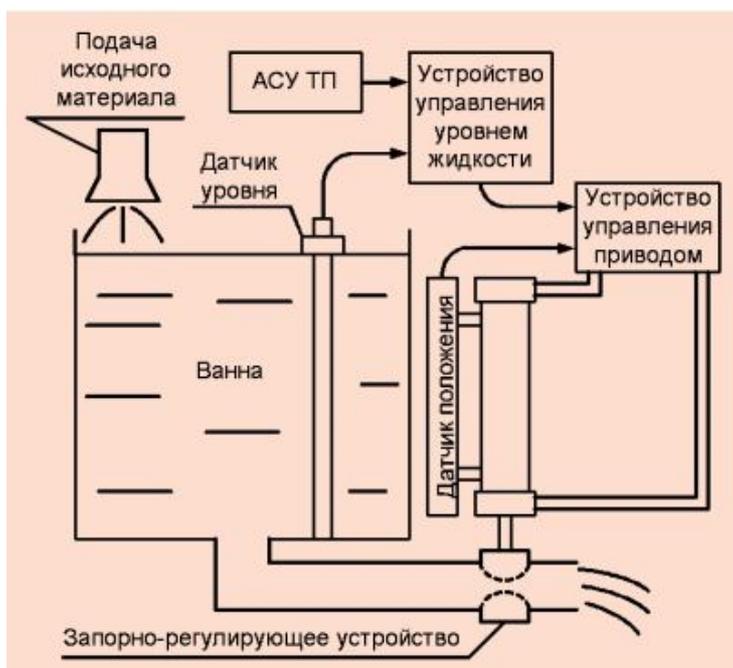


Рисунок 7.6 – Система стабілізації рівня рідини з електропневматичним приводом

Можливість ефективного застосування електропневматичних відстежувальних і позиційних приводів у складних технологічних системах

підтверджена великим позитивним досвідом їх промислової експлуатації. Це дає змогу впевнено рекомендувати такі приводи для широкого використання в новостворених і модернізованих системах автоматизації.

## **7.2 Система температурного контролю на основі NI CompactRIO**

Нові технологічні рішення в сфері автоматизації значно спрощують і прискорюють розробку промислових систем управління. На прикладі створення системи температурного контролю демонструються головні переваги системи реконфігурованих управління та збору даних CompactRIO і середовища розробки LabVIEW.

Тема промислових додатків хвилює багатьох. В умовах жорсткої конкуренції та динамічного ринку, навіть найбільш консервативні підприємства не можуть дозволити собі відмовитися від такого потужного засобу еволюції, як автоматизація. Епоха агітації за автоматизацію давно пройшла, і тепер гостро постає питання: «Як?» На сьогодні запропоновано достатню кількість технологічних концепцій, проте їх упровадження часто спричиняє труднощі. Особливо це стосується низкоуровневої частини повної системи автоматизації – АСУТП (автоматизована система управління технологічними процесами).

АСУТП належать до первинної групи завдань управління промисловим підприємством. У сьогоденній інтерпретації, нижчий щабель в ієрархії управління виробництвом займає контролерну обладнання, яке потім об'єднується з системами типу SCADA (SupervisoryControlandDataAcquisition) або DCS (DistributedControlSystems). Ці системи належать до класу НМІ (Human-MachineInterface – людино-машинний інтерфейс), тобто забезпечують двосторонній зв'язок «оператор – обладнання», а також повну інтеграцію з іншими інформаційними системами підприємства.

Однак у реальному житті справа йде не так просто. На переважній більшості російських підприємств переважають «клаптеві» розподілені АСУТП, що складаються з незв'язаних між собою підсистем, які створювалися в різний час різними людьми з використанням обладнання різних виробників. Загальна, повна й комплексна переробка системи автоматизації зазвичай довго реалізується та вимагає занадто великих витрат. Тому під час створення та особливо при модифікації АСУТП, доцільно використовувати універсальні гнучкі програмні засоби та реконфігуровані апаратні рішення, що володіють широкими комунікаційними можливостями.

З огляду на зазначене вище, поряд із загальними структурними міркуваннями, можна сформулювати технічні вимоги до сучасних підсистем АСУТП [2, 6]:

- вибір оптимального, з точки зору ефективності та надійності, що задовольняє міжнародним стандартам контролерних обладнання;
- вибір оптимального, з точки зору компактності й захищеності від зовнішніх чинників, конструктиву, який задовольняє міжнародним стандартам.
- забезпечення широкого температурного діапазону роботи технічних засобів локальних систем автоматичного управління;
- захист контрольно-вимірювальних та інформаційних каналів від зовнішніх впливів, а також посилення переданих сигналів;
- підтримка стандартних каналів обміну технологічною інформацією між окремими автоматизованими об'єктами й централізованою системою управління та контролю;
- можливість обміну даними по інформаційних каналах у реальному часі;
- забезпечення високоефективного людино-машинного інтерфейсу в системі візуалізації та моніторингу;
- ефективне, з точки зору витрат часу, реконфігурування, налаштування, а також пошук і усунення несправностей.

Технологічна завдання підсистеми – підтримувати задану оператором температуру середовища шляхом зміни параметрів системи охолодження.

Схема установки наведена на рисунку 7.7. На основі показань давача температури та давача швидкості обертання вентилятора, підсистема повинна подати необхідну (для підтримки заданої температури) напруга живлення на вентилятор.

*Обладнання.* Як контролювальний і керувальний пристрій використовувалася реконфігурована контрольно-вимірювальна система NationalInstrumentsCompactRIO. Переважна більшість вимог висунута саме до неї.

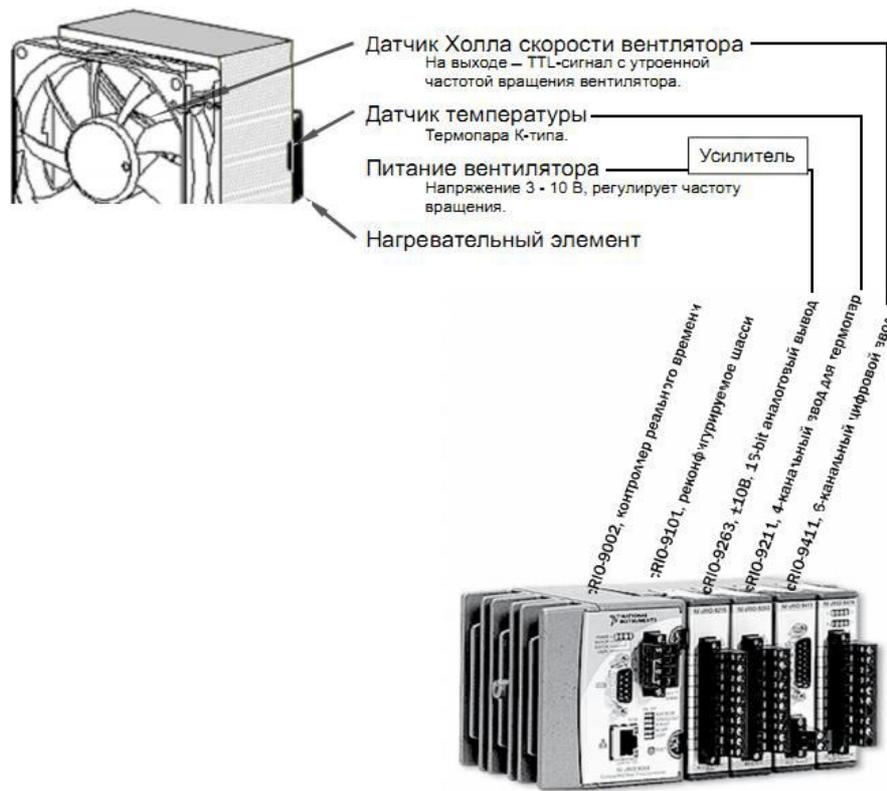


Рисунок 7.7 – Схема установки

CompactRIO є надійною та компактною промисловою системою управління та збору даних, що включає в себе:

- контролер реального часу на базі промислового процесора, що підтримує операції з плаваючою точкою. У контролері використовується промисловий процесор класу Pentium із частотою 200 МГц, на якому виконуються програми LabVIEWReal-TimeModule з детермінованим часом виконання операцій. Велика бібліотека функцій, що поставляється з LabVIEW, доступна для ефективної розробки власних багатопоточних контрольно-вимірювальних систем, що працюють у режимі жорсткого реального часу;

- реконфігурованих шасі з вбудованою ПЛІС (програмована логічна інтегральна схема) на один мільйон логічних вентилів. Ланцюги ПЛІС становлять реформувальну обчислювальну машину, яка паралельно обробляє дані й виконує додатки, створені за допомогою LabVIEWFPGAModule, на апаратному рівні мікросхеми. На базі ПЛІС можна розробляти свої власні схеми управління та збору даних із тактуванням і синхронізацією процесів із точністю до 25 нс. ПЛІС з'єднана з усіма модулями введення – виведення, встановленими в шасі, за топологією «зірка», що забезпечує можливість прямого доступу до кожного з них, і дозволяє здійснювати їх гнучку та точну синхронізацію;

– великий набір модулів введення – виведення різного типу, починаючи від термопарних модулів із діапазоном вимірювання сигналів  $\pm 80$  мВ і закінчуючи 250 VAC/VDC універсальними модулями цифрового введення.

Система CompactRIO розроблена для використання в жорстких умовах і в обмеженому просторі. Вона може використовуватися в діапазоні температур від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+70^{\circ}\text{C}$ , у потенційно небезпечному та вибухонебезпечному середовищі (Class I, Div 2) і витримує ударні навантаження до 50 кг. Контролер реального часу має набір стандартних засобів комунікації з іншими інформаційними системами. У звичайному режимі взаємодія контролера та ПК відбувається за Ethernet-з'єднанням (10/100 Мбіт/с). При цьому на ПК виконується клієнтська частина програми LabVIEWReal-Time. Підтримка шини RS-232 (із технологією VISA), TCP / IP, UDP за Ethernet і головних мережевих служб (таких як SMTPE-mail, DataSocket ...) надає набагато ширші можливості інтеграції з зовнішніми системами.

Контролер має убудовані WEB і FTP серверами. WEB-сервер дають змогу публікувати в мережі лицьові панелі додатків, що виконуються на контролері, реалізуючи у такий спосіб людино-машинний інтерфейс, що надає віддаленим користувачам можливість здійснювати моніторинг і управління додатком.

Як мобільний варіант людино-машинного інтерфейсу та додаткового універсального засобу комунікації використовувався КПК (кишеньковий персональний комп'ютер) HPiPAQhx2410, що підключається по шині RS-232 (COM-порт) до контролера CompactRIO.

Переваги цього рішення:

- компактна переносна система візуального відображення інформації, що підключається до CompactRIO за потребою;
- інтеграція з бездротовими мережами Wi-Fi і Bluetooth із використанням вбудованих можливостей КПК;
- доступність і універсальність обладнання (серійні КПК);
- висока ефективність (з точки зору витрат часу) і відносна простота розробки додатків для КПК із використанням LabVIEWPDAmodule.

Отже, реалізовано три варіанти людино-машинного інтерфейсу (рис. 7.8).

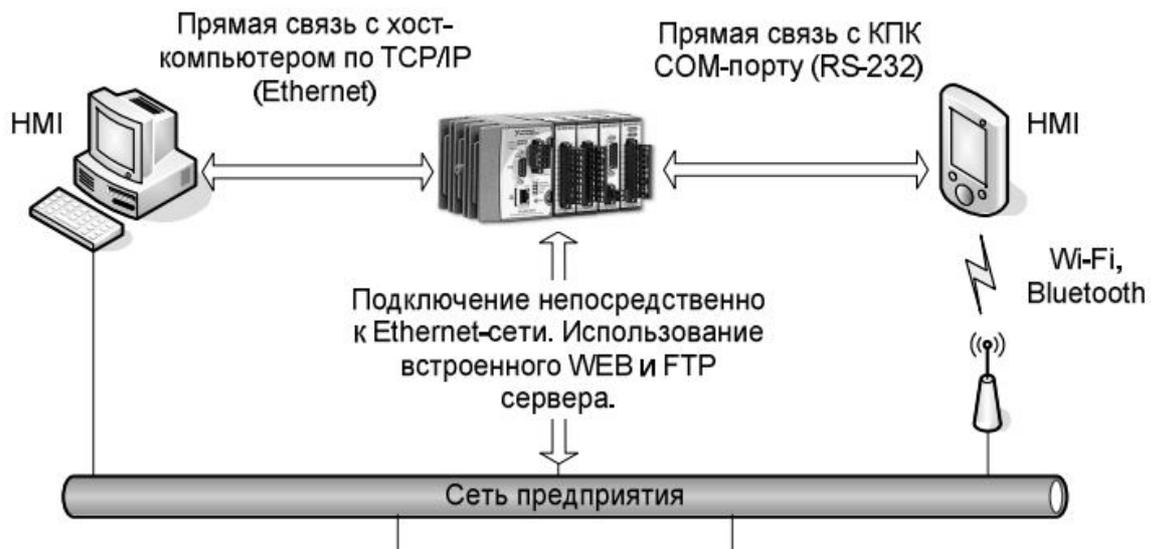


Рисунок 7.8 – Три варианты интеграции подсистемы

*Розробка програмного забезпечення.* Регульований процес нагрівання – охолодження становить стандартну систему зі зворотним зв'язком. Один із найпоширеніших у промисловості алгоритмів управління такими процесами – PID-регулювання (пропорційно-інтегро-диференціальне регулювання). Контролер порівнює виміряну величину з заданою, на основі їхньої різниці, чи «помилки», обчислюється необхідне значення керованого параметра. Ураховується також історія процесу та швидкість зміни величини помилки. Популярність цього алгоритму пояснюється його стійкою продуктивністю за непостійних зовнішніх умов, а також відносною простотою реалізації та налаштування. Програмна архітектура підсистеми наведена на рисунку 7.9.



Рисунок 7.9 – Програмна архітектура підсистеми

Керувальний алгоритм системи температурного контролю організований у циклі реального часу (рис. 7.10) і становить двоетапне PID-регулювання. Використовувалася готова реалізація PID-алгоритмів з пакета NIPID Control Toolset, що входить до складу LabVIEWReal-Time module. На першому етапі контрольованим параметром є температура нагрівача, а керованим – швидкість

обертання вентилятора, на другому етапі – швидкість обертання вентилятора та напруга на вентиляторі відповідно (рис. 7.10).

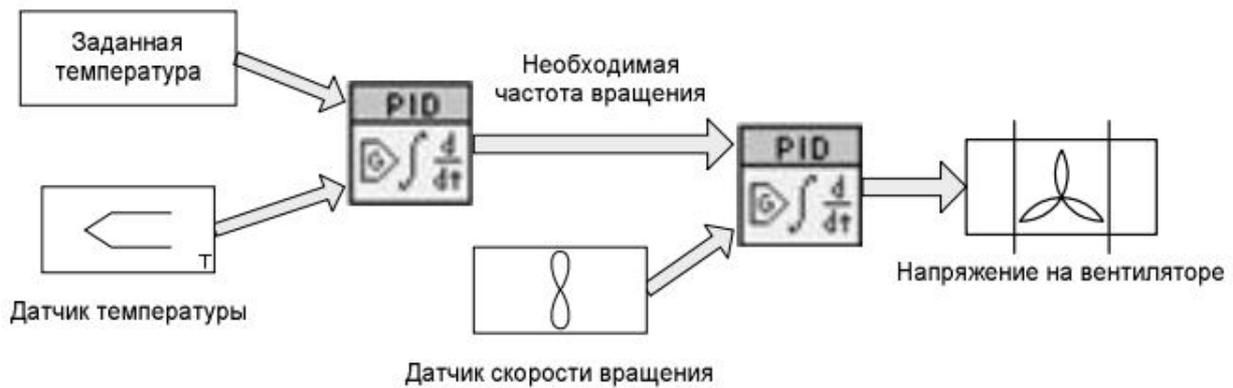


Рисунок 7.10 – Схема керуючого алгоритму

У циклі ПЛІС реалізований паралельний збір даних із давачів температури та швидкості обертання, а також висновок керувальної напруги, яка (через підсилювач постійного струму) живить вентилятор. Показання давача Холла швидкості обертання вентилятора є цифровий TTL-сигнал із потроєною частотою обертання вентилятора.

Вимірювання цієї частоти реалізовано в циклі ПЛІС, а її значення передається в цикл реального часу. Між циклом реального часу та основним циклом організований буферизовані обмін даними. Основний цикл виконує такі функції:

- організація взаємодії з людино-машинними інтерфейсами (із КПК по шині RS-232, із ПК по Ethernetc із використанням програми-клієнта на ПК, із ПК через WEB-інтерфейс);
- ведення статистики та її публікація в людино-машинних інтерфейсах, а також у файлах, доступних за FTP;
- надає можливість швидкого та ефективного модифікації інтерфейсної частини програми, не зачіпаючи керувальну частину (цикл ПЛІС і цикл реального часу).

Додаток-клієнт для КПК розроблено за допомогою LabVIEWPDAModule, із використанням високорівневих функцій для роботи з шиною RS-232, Wi-Fi і Bluetooth, що поставляються з LabVIEW.

Розроблена підсистема температурного контролю АСУТП лише поверхово демонструє переваги використаного обладнання та програмного забезпечення. Проте вже очевидно, що контрольно-вимірювальна система NICompactRIO спільно з середовищем розробки NILabVIEW, задовольняє вимогам найширшого кола промислових завдань і має величезні можливості інтеграції.

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) призначена для розробки прикладного програмного забезпечення, для

організації взаємодії з вимірювальною та керувальною апаратурою, збору, обробки й відображення інформації та результатів розрахунків, а також моделювання, як окремих об'єктів, так і автоматизованих систем загалом. Розробником LabVIEW є американська компанія National Instruments.

LabVIEW – ідеальна платформа для додатків мехатроніки, що дає змогу вести розробку проектів на стику таких сфер інженерних знань, як механіка, електротехніка, електроніка, автоматичне керування та програмування вбудованих систем. Тісна інтеграція LabVIEW і SolidWorks дає змогу створювати та тестувати роботу віртуальних прототипів пристроїв у найкоротші терміни. Крім того, LabVIEW дає змогу економити на витратах на програмне забезпечення, оскільки той самий код використовується як на стадії створення прототипу, так і на стадії впровадження.

Використання LabVIEW забезпечує підвищення кваліфікації користувача в роботі з середовищем, що дає змогу оперативно й легко впроваджувати інноваційні технології протоколювання даних, бездротових вимірювань, автоматизованого тестування та інших. Єдину графічну мову можна використовувати як для проведення типових вимірювань у промисловому додатку, так і для розробки широкомасштабної автоматичної системи проведення випробувань.

LabVIEW дає змогу моделювати системи управління пневмогідросистем, програмувати мікроконтролери й мікропроцесорну техніку.

LabVIEW є графічним пакетом. Програми створюються у вигляді графічних діаграм, подібних до звичайних блок-схем. Графічні пакети легко освоюються не тільки програмістами-професіоналами, але й користувачами, які не мають досвіду програмування. З одного боку, сучасні графічні системи дають змогу створювати програми, що практично не поступаються за ефективністю програм, написаним у текстових пакетах. З іншого боку, графічні програми зазвичай більш наочні, легше модифікуються та налаштовуються, швидше розробляються. Безсумнівною перевагою графічних систем програмування є те, що розробником програми може бути сам постановник завдання – інженер, технолог.

Безсумнівною перевагою LabVIEW є те, що розробнику та користувачеві доступні функціонально ідентичні системи програмування для різних операційних систем, таких як Microsoft Windows 95/98 / NT / 2000 / XP, Linux, MacOS. Наприклад, програма, розроблена під Windows, буде майже без змін працювати на комп'ютері з Linux. Для установки відповідних додаткових модулів можна використовувати LabVIEW як середовище розробки програм для різних цільових систем і операційних систем (ОС).

LabVIEW дає змогу розробляти практично будь-які додатки, які взаємодіють із будь-якими видами апаратних засобів, підтримуваних операційною системою комп'ютера. Використовуючи технологію віртуальних приладів, розробник може перетворити стандартний персональний комп'ютер і набір довільного контрольно-вимірювального обладнання в багатofункціональний вимірювально-обчислювальний комплекс.

Модульні технології обладнання та програмного забезпечення NI дають змогу із мінімальними витратами розробляти вимірювальні та керувальні системи різної конфігурації та складності. Наприклад, системи для проведення стендових випробувань, системи збору даних, автоматизовані системи тестування, системи управління та імітатори, зокрема для мехатронної техніки. На кафедрі АСЕУ СГАУ за допомогою технологій NI створена віртуальна модель системи автоматичного управління двигуна. Вона дає змогу вивчити роботу САУ двигуна на різних режимах (рис. 7.11). Перевага моделі полягає в тому, що вона наочно показує, що відбувається в системі управління під час вимірювання регульованих параметрів.

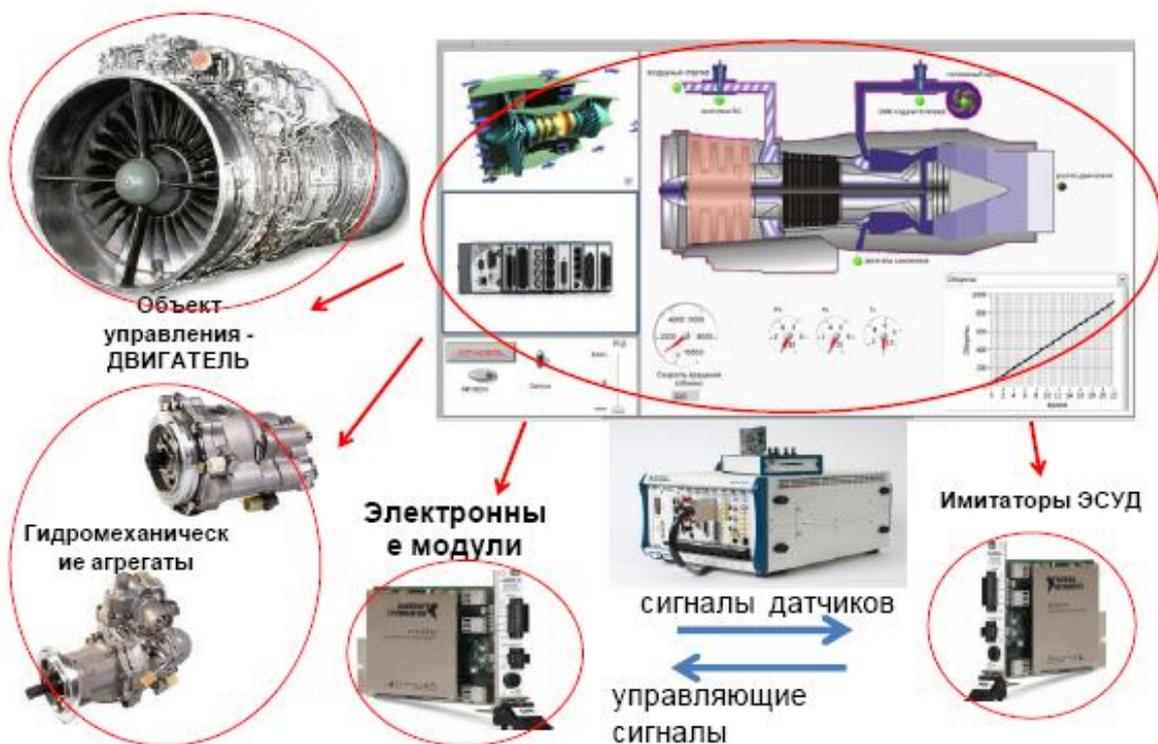


Рисунок 7.1 – Віртуальна модель САК двигуна

За допомогою технологій NI, крім САК двигуна, здійснено такі розробки: роботи й роботизовані системи управління різного призначення, системи керування роботами, аквадісплей (мехатронний пристрій для демонстрації водою графічних зображень і тексту. За допомогою клапанів і програмованого контролера формується зображення з падаючих крапель води шляхом відкриття та закриття клапанів із високою частотою. На аквадісплей можна виводити

текст або чорно-біле зображення, попередньо збережене в одному із стандартних графічних форматів (bmp, jpg). В основу роботи аквадісплея покладена ідея цифрового управління дискретними клапанами, перспективність якої була підтверджена ще під час проектування рульових приводів ракетносія «Енергія») тощо. Розробки кафедри неодноразово займали перші місця на регіональних та міжнародних конкурсах, виставках і конференціях. Переважна більшість алгоритмів для систем управління реалізовано в LabView.

LabVIEW – це середовище графічного програмування, яку використовують технічні фахівці, інженери, викладачі та науковці з усього світу для швидкого створення комплексних програм у задачах вимірювання, тестування, управління, автоматизації наукового експерименту й освіти.

### **Контрольні питання**

1. Проаналізувати автоматизовані діагностичні системи.
2. Електропневматичні позиційні приводи з пристроями дистанційного керування. Призначення та переваги перед іншими приводами.
3. Проаналізувати роботу системи температурного контролю на основі NI CompactRIO.
4. Класифікація діагностичних параметрів та вимоги до них.
5. Що становить віртуальна модель САК двигуна?

## ЛЕКЦІЯ 8

### ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ДІАГНОСТИКИ

#### 8.1 Вплив технічних засобів на ефективність діагностики

Вплив технічних засобів на ефективність діагностування технічних об'єктів урахується множителем  $p_3$  – вірогідністю правильного функціонування технічних засобів у період здійснення діагностування. Спосіб розрахунку величини  $p_3$  змінюється залежно від умов здійснення діагностування. При цьому засоби діагностики можуть розглядатися як об'єкти безперервної дії (технологічні процеси, апаратура бортового обладнання у польоті тощо) або як об'єкти періодичної дії (обладнання рухомих об'єктів перед використанням тощо).

Якщо засоби діагностики розглядаються як об'єкти безперервної дії, то величина  $p_3$  є імовірністю безвідмовної дії та залежно від закону розподілу моментів виникнення несправностей може бути розрахована за формулами, які приведені у таблиці 8.1 [2, 6], де прийняті такі позначення.

Таблиця 8.1 – Закони розподілу й вирази для розрахунку

Закони розподілу	Вирази для розрахунку $p_3$
Експоненціальний	$\dot{a}^{-\lambda t}$
Релея	$\dot{a}^{-t^2 / 2\sigma^2}$
Нормальний	$F\left(\frac{T_1 - t}{\sigma}\right) / F\left(\frac{T_1}{\sigma}\right)$
Вейбула	$\dot{a}^{-\lambda_0 t^k}$
Гамма (при $k$ цілому)	$\dot{a}^{-\lambda_0 t} \sum_{i=0}^{k-1} \left(\frac{\lambda_0 t}{i!}\right)^i$
Логарифмічно нормальний	$0,5 + \Phi[(\mu - \ln t) / \sigma]$

Пояснення до таблиці 8.1:

$\sigma$  – середньоквадратичне відхилення часу між несправностями;

$F\left(\frac{T_1 - t}{\sigma}\right) / F\left(\frac{T_1}{\sigma}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{T_1/\sigma} e^{-x^2/2} dx$  – табульовані значення інтегральної

функції нормального розподілу;

$T_1$  – час роботи технічних засобів до першої несправності;

$\lambda_0$  – параметр  $\gamma$  – розподілу;

$\delta_0$  – параметр, що визначає асиметрію та ексцес-розподілення;

$\Phi[(\mu - \ln t) / \sigma]$  – нормована функція Лапласа;

$\mu$  – параметр логарифмічно нормального розподілу.

Якщо засоби діагностики розглядаються як об'єкти періодичної дії, то величину  $p_3$  можна розраховувати через так званий коефіцієнт готовності:

$$k_2 = T / (T + t_6), \quad (8.1)$$

де  $T$  і  $t_6$  – відповідно середні величини часу напрацювання на відмову та відновлення.

У простому випадку, коли інтенсивності відмов і відновлень постійні

$$p_3 = k_G + (1 - k_G) e^{-t/(k_G t_B)} \quad (8.2)$$

Таблиця 8.2 – Значення  $\Delta p_3$  при різних  $k_2$ .

$k_2$	0,95	0,9	0,8	0,6	0,5
$\Delta \delta_3(\tau)$	1,8	3,8	7,6	12,6	13,0

Аналіз виразу (8.1) і (8.2) показує, що при малому  $t$  імовірність  $p_3$  практично співпадає з імовірністю  $p_\delta$  безвідмовної роботи технічних засобів у період діагностування. Зі збільшенням часу експлуатації  $t$  другий доданок у виразі (8.2) убуває і при  $t \rightarrow \infty$  значення  $p_3 = k_G$ . На рисунку 8.1 наведені залежності імовірності  $p_\delta$ ,  $p_3$  і коефіцієнта готовності  $k_2$  від часу  $t$ . За деяких умов можна стверджувати, що до певного часу  $\tau$  імовірність  $p_3$  співпадає практично з імовірністю  $p_\delta$  після чого співпадає з коефіцієнтом готовності  $k_2$ .

Величина  $\tau$  визначається виразом  $\tau = -T \ln k_G$ .

При цьому максимальна відносна помилка обчислення:

$$\Delta p_3(\tau) = \frac{(1 - k_G) k_G^{1/(1 - k_G)}}{k_G + (1 - k_G) k_G^{1/(1 - k_G)}} 100 \%$$

Економічну ефективність технічної діагностики можна оцінити, зіставляючи витрати на експлуатацію рухомого складу з додатковими витратами на виконання діагностики.

Зниження експлуатаційних витрат у разі впровадженні діагностики обумовлене зменшенням об'єму поточного ремонту, витрати запасних частин, витрат праці, підвищенням продуктивності праці, збільшенням коефіцієнта технічної готовності й довговічності використання рухомого складу; витрати на діагностику обумовлені витратами на діагностичне обладнання та експлуатаційними витратами на його використання [6].

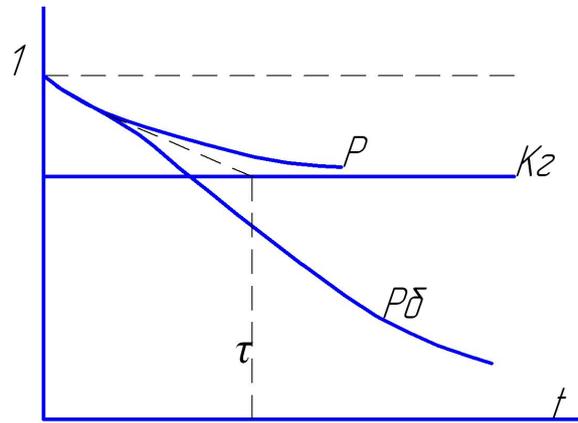


Рисунок 8.1 – Залежності імовірності  $p_{\delta}$ ,  $p_3$  і коефіцієнта готовності  $k_2$  від часу  $t$

Упровадження засобів технічної діагностики в практику експлуатаційних депо забезпечує підвищення ефективності виробництва.

Діагностика технічного стану транспортних засобів як один із найважливіших засобів удосконалення технічного обслуговування має широкі перспективи.

### Контрольні питання

1. Як впливає впровадження засобів діагностики на техніко-економічні показники підприємства?
2. Від чого залежить ефективність діагностування транспортних засобів?
3. Проаналізувати закони розподілу моментів виникнення несправностей
4. Який із законів розподілу більше відповідає визначенню імовірності безвудмовної роботи?
5. Проаналізувати перспективи розвитку технічної діагностики.