

2. МОДУЛІ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ АВТОМОБІЛЕМ

Оскільки первинними ознаками мехатронних систем є наявність трьох обов'язкових частин – механічної (електромеханічної), електронної і комп'ютерної, зв'язаних енергетичними та інформаційними потоками, то впровадження на автомобільному транспорті телематики, елементів та ланок мехатронних систем є процесом мехатронізації, що спрямований на інтелектуалізацію модуля, агрегату або систем.

Мехатронна система – вищий рівень мехатронності – складається з кількох агрегатів або агрегата і низки окремих модулів, тобто з об'єктів однакових або різних нижчих рівнів (вузол, модуль). Мехатронна система – це сукупність компонентів, що яким-небудь чином пов'язані між собою; підпорядковані певному відношенню, залежності або закономірності; функціонують як одне ціле. Вона повністю відповідає цьому визначенню як сукупність механічних, електронних і керуючих компонентів, що утворюють синергетичну єдність, яка функціонує як одне ціле. Наприклад, сучасна система керування двигуном.

Завданням мехатронної системи є перетворення вхідної інформації, яка надходить з верхнього рівня керування, у цілеспрямований рух з керуванням на основі принципу зворотного зв'язку.

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

Особливість мехатронного підходу до проектування полягає в інтеграції у єдиний функціональний модуль двох або більше елементів, можливо навіть різної фізичної природи.

Керування – це цілеспрямований вплив на об'єкт керування, який компенсує дію зовнішнього середовища і приводить робочі процеси об'єкта до необхідного стану.

Мехатронний модуль конструктивно і функціонально самостійний виріб, який включає в себе механічну (гідравлічну, пневматичну), електромеханічну, електронну й інформаційну частину і може бути використаний індивідуально та в різних комбінаціях з іншими модулями. На відміну від механічних модулів в мехатронних модулях з'явилися електронні та інформаційні пристрої. Мехатронні модулі є базовими функціональними пристроями, з яких можна компонувати складні мехатронні системи, які знаходять все ширше застосування у різних транспортних системах.

Мехатронні модулі руху – це синергетична сукупність механічних, електромеханічних, електронних компонентів, а також інформаційних і програмних засобів, які реалізують досягнення заданого керування рухом.

Сучасний автомобіль так начинений мехатронними пристроями, що його можна вважати мехатронною системою, до якої входять:

- зовнішні датчики системи безпеки;

- антирадар;
- керування паливним насосом;
- керування аудіосистемою;
- електронний компас;
- датчики системи безпеки;
- керування апаратурою заднього сидіння;
- приймач GPS;
- керування світлом;
- запалювання;
- керування швидкістю;
- гальма;
- двірники;
- панель керування;
- проекційний дисплей;
- керування дзеркалами;
- кондиціонер;
- керування сидінням;
- автопідкачування коліс;
- активна підвіска;
- керування замками;
- керування трансмісією;
- запобігання зіткненню;
- система запобігання занесенню.

Функціонування різних агрегатів і вузлів автомобіля пов'язане з використанням електричних, електромеханічних, електронних пристроїв і приладів з програмним забезпеченням.

Сучасна автомобільна мехатронна система містить, як правило, цілу низку підсистем, які виконують, наприклад, такі функції:

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

Система оптимізації внутрішнього середовища автомобіля та система адаптації до умов зовнішнього середовища пов'язані між собою. Це, наприклад, система керування роботою двигуна, електронна система живлення автомобіля, керування коробкою передач, система гальмування, забезпечення комфорту тощо. Об'єднання мереж усіх систем автомобіля надає можливість розглядати автомобіль як транспортний засіб з мережею та передачею телематичних даних від системи до системи. Така взаємодія ґрунтується на реалізації процесів керування з допомогою мікрокомп'ютерів, обчислювальних пристроїв.

Інтерфейс – сукупність кіл, що об'єднують різні пристрої та

алгоритми, яка визначає порядок передачі інформації між цими пристроями. Кола інтерфейсу поділяються на три групи: інформаційні, адресні та керуючі. Розрізняють також програмні та фізичні інтерфейси.

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

На сьогодні триває розробка нових мехатронних принципів і технологій виготовлення високоточних і компактних вузлів, а також нових типів електродвигунів (високомоментних, безколекторних і лінійних), датчиків зворотного зв'язку й інформації.

Синтез нових прецизійних, інформаційних і вимірювальних наукомістких технологій дає підґрунтя для проектування й виготовлення інтелектуальних мехатронних модулів і систем.

Мехатронні модулі реалізовані здебільшого на основі двигунів внутрішнього згоряння або електродвигунів кутового і лінійного руху. Електродвигун – перетворювач електричної енергії в механічну.

Механічний перетворювач – пристрій, який перетворює параметри руху двигуна в потрібні параметри руху вихідної ланки. Механічними перетворювачами руху є гвинтові, черв'ячні, рейкові, планетарні, хвильові передачі з гнучким зв'язком, безредукторні мехатронні модулі руху.

Мехатронним модулем руху механічних систем машин є двигун внутрішнього згоряння – багатофункціональний перетворювач енергії.

До складу механічного перетворювача можуть входити:

- механічний перетворювач руху (передача) – механізм, призначений для перетворення одного виду руху в інший, для узгодження швидкостей та крутильних моментів двигуна і вихідної ланки мехатронного модуля (рейкові передачі, передачі «гвинт-гайка», планетарні та хвильові передачі, передача з гнучким зв'язком, гальмівні пристрої, вибору люфтів та зазорів тощо);

- інтелектуальні мехатронні модулі процесів керування функціональними режимами руху з інтеграцією усіх трьох компонентів – електромеханічного, електронного та комп'ютерного (інтегровані інтерфейси, що зв'язують керуючий контролер із спільним комп'ютером);

- інтелектуальні силові модулі керування (з електродвигуном та силовими перетворювачами високої швидкодії);

- інтелектуальні датчики, інкрементні датчики, сенсори, віртуальні датчики тощо – пристрої, які, крім функцій оцінювання параметрів, здійснюють комп'ютерну обробку і перетворення сигналів, обчислюють за математичними моделями швидкості, положення моментів та інші параметри процесів і рухів у єдиному інформаційному модулі;

- виконавчі пристрої, які дають можливість виконувати рух за гнучкими алгоритмами зі зворотним зв'язком (форсунки, клапани, соленоїди тощо).

Виконавчий пристрій – це складова частина (елемент) мехатронної системи, що здійснює перетворення інформаційного сигналу на механічні,

теплові або електричні зміни стану мехатронних керованих елементів.

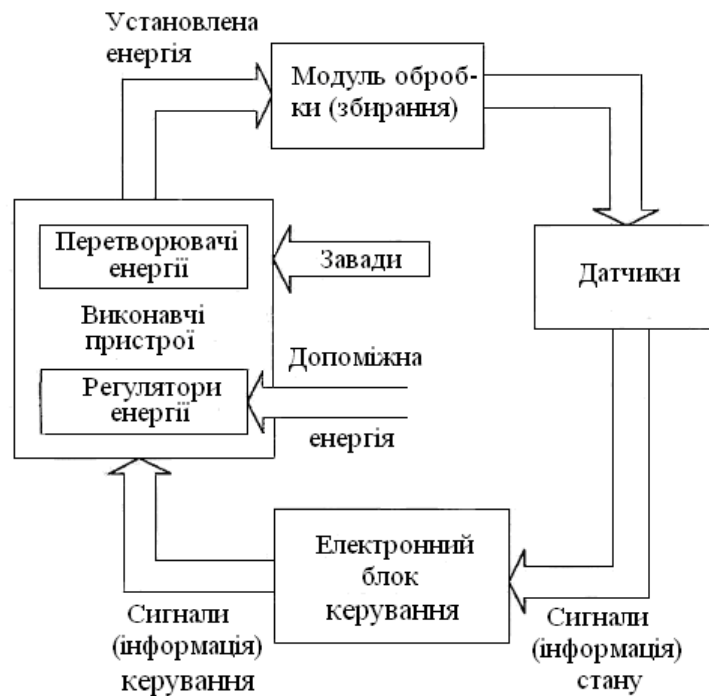


Рис. 2.1. Виконавчі механізми в мехатронній системі

Виконавчі механізми (пристрої) мехатронних систем (рис. 2.3) – це електричні машини, електромагнітні приводи, апарати запалювання, гідравлічні й пневматичні приводи, нагрівальні пристрої тощо. Гідромеханічні та пневматичні виконавчі механізми найчастіше базуються на принципах гідростатичних перетворень енергії. Вони виконують перетворення, перетворюючи енергію тиску середовища в механічну роботу і навпаки.

До виконавчих механізмів мехатронних систем належать пропорційні й дискретні приводи, керовані розподільники й насоси, пропорційні клапани, форсунки, соленоїди, регулятори та пристрої, здатні відповідно до сигналів електронного блока керування дозовано перетворювати один вид енергії в інший.

Електромеханічні виконавчі механізми (рис. 2.4) класифікують за типом перетворення енергії. Енергія, яку отримують від джерела, перетворюється в енергію магнітного або електричного поля, або ж перетворюється в тепло. Принцип отримання сили впливу визначається цими формами енергії; він ґрунтується на використанні силових полів або деяких специфічних характеристик матеріалів.



Рис. 2.2. Електромеханічні виконавчі механізми (система)

Виконавчі пристрої з електродвигунами. Для подачі пального до форсунок у системах впорскування пального використовуються електричні паливні насоси. В основному це насоси роторного типу. Насоси можуть установлюватися як поза, так і всередині паливного бака. У разі зовнішньої установки насос – це автономний агрегат, який об'єднує насос і електродвигун в одному корпусі. При розміщенні у баку насос - це єдиний агрегат, що містить власне насос, паливопроводи, демпфувальний пристрій, фільтр, проводи електроживлення і т. д.

Малогабаритні електродвигуни постійного струму використовуються для регулювання витрати повітря на холостому ходу шляхом переміщення дросельної заслінки. Вал електродвигуна через редуктор зв'язаний з циліндричним штовхачем, який безпосередньо діє на підпружинений важіль заслінки.

Поворотні електромагнітні виконавчі механізми характеризуються певним положенням полюсів у статорі та роторі. Коли струм прикладається до однієї з котушок, то роторні й статорні полюси притягуються і виникає крутильний момент. Обертальні приводи з простою обмоткою включають пару полюсів на кожній з двох основних секцій, а також котушку статора. Їх максимальне зміщення складає приблизно 45° .

Двигун з великим пусковим моментом є реверсивним електромагнітним обертальним виконавчим механізмом, у якому задаються характеристики стаціонарної робочої точки за відсутності протилежно спрямованих сил. Стан ротора підтримується у стаціонарному положенні з допомогою дії поля постійного магніту в статорі. Магнітне поле, яке генерується однією або двома обмотками статора, створює крутильний момент і забезпечує односторонню компенсацію магнітного

поля збудження. Така схема найбільше пасує для випадків, коли потрібно отримати значні сили при невеликих кутах повороту. Залежність між прикладеною силою струму і моментом двигуна є приблизно лінійною. Принцип дії двигуна з великим пусковим моментом також використовується для виконавчих механізмів з поступальним напрямком руху.

Короткотактний лінійний двигун є виконавчим механізмом з практично круглою дисковою катушкою.

Розрізняють виконавчі механізми з однією або двома статорними обмотками. Обидва типи мають постійний магніт у роторі й одну або дві статорні обмотки. Магніт ротора, намагнічений на обох кінцях, створює у робочому зазорі магнітний потік, який взаємодіє зі струмом якоря і створює крутильний момент. Діапазон переміщень складає менше $\pm 45^\circ$. В однообмотковому поворотному виконавчому механізмі він визначається силовими вимогами та кутовим діапазоном, для якого потрібна певна щільність потоку. Двообмотковий поворотний виконавчий механізм – це поєднання двох поворотних однообмоткових виконавчих механізмів зі зміщенням обмоток на 90° по колу статора. Він призначений для створення зусиль, що протидіють крутильному моменту. Стабільна робоча точка досягається у нульовій точці переходу на результуючій кривій крутного моменту.

Електричний привід модулів. Принцип дії електричного привода оснований на перетворенні електричної енергії на механічну. Електричний привід на базі вентильних, асинхронних двигунів, двигунів постійного струму або крокових широко застосовується в мехатронних системах електромобілів, гібридних автомобілів тощо.

В асинхронних двигунах допускається ступінчасте регулювання частоти обертання шляхом зміни кількості під'єднаних пар полюсів або пропорційне регулювання через зміну частоти напруги змінного керуючого струму. У крокових електродвигунах з частотно-імпульсною системою керування частота обертання визначається частотою керуючих імпульсів, а кут повороту – їх кількістю.

До переваг електричних приводів належать високі значення ККД, використання одного виду енергії в керуючій і силовій частинах, безшумність в роботі, екологічна чистота.

Електричні приводи характеризуються низькими масогабаритними показниками. Питома потужність приводів з асинхронними електродвигунами досягає 100 Вт/кг, а з двигунами постійного струму – 40 Вт/кг.

Перспективні високомоментні електродвигуни дають змогу довести цей показник до 150 Вт/кг. Роздільна здатність електричних приводів складає одиниці кутових хвилин і десятки долі міліметра. Їм притаманний вузький діапазон регулювання швидкості, складність отримання лінійних переміщень і вузький температурний діапазон.

Вентильний двигун (ВД) містить електронний комутатор, який за

своїми функціями замінює колектор і щітки двигуна. На статорі вентильного двигуна розміщується трифазна обмотка змінного струму, яка живиться через комутатор. Ротор забезпечує збудження двигуна з допомогою постійного магніта (потужністю до 30 кВт).

Комутатор за принципом функціонування – це керований інвертор (КИ), який може живитися безпосередньо від джерела постійного струму (акумуляторна батарея, мережа постійного струму) або від керованого випрямляча (КВ), якщо двигун під'єднаний до мережі змінного струму. У другому випадку комутатор – це перетворювач частоти з ланкою постійного струму.

Керування комутатором відбувається з допомогою датчика положення ротора (ДП), що встановлений на валу двигуна. Датчик формує сигнали, що надходять до системи керування (СК). В результаті цього з допомогою статорних обмоток створюється обертальне магнітне поле, яке взаємодіє з полем ротора, внаслідок чого виникає синхронізуючий момент. Функціональна схема вмикання вентильного двигуна показана на рис. 2.3.

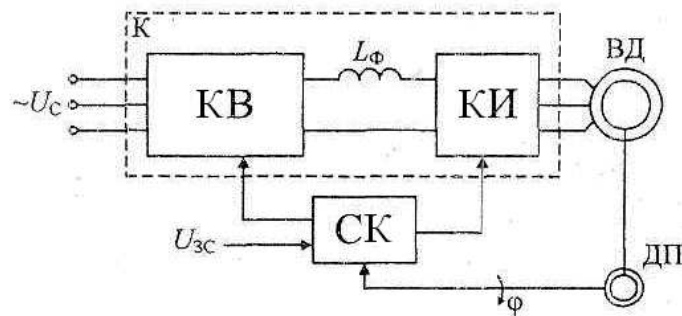


Рис. 2.3. Функціональна схема вентильного двигуна

Регулювання швидкості вентильного двигуна виконується шляхом зміни задавального сигналу U_{zc} , внаслідок чого змінюється вихідна напруга і частота струму УІ. **Електромеханічна частина** включає механічні ланки і передачі, робочий орган, електродвигуни, сенсори та додаткові електротехнічні елементи (гальма, муфти).

Механічний пристрій призначений для перетворення рухів ланок у потрібний рух робочого органа.

Електронна частина складається з мікроелектронних пристроїв, силових перетворювачів і електронних вимірювальних кіл. Датчики (сенсори) призначені для збирання даних про фактичний стан зовнішнього середовища та об'єктів робіт, механічного пристрою і блока приводів з наступною первинною обробкою і передачею цієї інформації в пристрій комп'ютерного керування. До складу цього пристрою звичайно входять: комп'ютер верхнього рівня і контролери керування рухом.

Пристрій комп'ютерного керування виконує такі основні функції:

- керування процесом механічного руху мехатронного модуля або багатовимірної системи в реальному часі з обробкою сенсорної інформації;
- організація керування функціональними рухами мехатронної системи, що передбачає координацію керування механічним рухом

мехатронної системи та супутніми зовнішніми процесами;

- взаємодію з оператором через інтерфейс в режимах автономного програмування (off-line) і безпосередньо в процесі руху мехатронної системи (on-line);

- організація обміну даними з периферійними пристроями, сенсорами та іншими пристроями системи.

Вентильні двигуни порівняно з колекторними мають низку переваг: вища надійність і термін служби; кращі теплові характеристики за рахунок відсутності теплових елементів в роторі; вища швидкодія за рахунок меншого моменту інерції ротора; більша перевантажувальна здатність. Така електрична машина з n -фазною обмоткою на статорі та з ротором у вигляді постійного магніта – це, по суті, синхронний двигун.

Останнім часом розроблена низка методів і пристроїв непрямого вимірювання швидкості електродвигунів. Так, стабілізувати швидкість обертання асинхронного двигуна можна не встановлюючи датчик швидкості на його валу, а підтримуючи в обмотці статора відношення струму до напруги на заданому рівні з допомогою зворотного зв'язку за струмом статора. Для трифазних вентильних двигунів невеликої потужності розроблено метод комутації обмоток за електрорушійною силою обертання, що дало можливість усунути традиційні датчики положення ротора з конструкції двигуна. Усі методи непрямого вимірювання потребують побудови адекватних математичних моделей та їх ефективної комп'ютерної реалізації в реальному часі, включно з алгоритмами фільтрації перешкод, статистичної обробки вимірювань і цифрового кодування інформації.

В мехатронних модулях лінійного руху, які застосовуються в деяких видах транспорту, використовується лінійний двигун. Основними перевагами лінійного двигуна порівняно з традиційним двигуном і передачею типу зубчастої рейки або гвинтової передачі, є у кілька разів більша швидкість руху і прискорення. висока точність руху, жорсткість характеристик. Лінійні двигуни можуть бути асинхронними, синхронними та постійного струму. Найбільше розповсюдження отримали вентильні та асинхронні двигуни.

Склад мехатронних систем. У загальному випадку функціональна схема мехатронної системи (рис. 2.4) складається з трьох підсистем: інформаційної, енергоелектронної та електромеханічної.

Електромеханічна підсистема містить об'єкт керування (ОК), звичайно він зроблений у вигляді привода, електромеханічний перетворювач (ЕМП) (або електрогідравлічний чи електропневматичний).

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 слід віднести те, що їх ОК

мають змінні параметри, а їх математичні моделі, створені на основі методів ідентифікації. ЕМП часто є конструктивною ланкою об'єкта керування, що має оригінальне конструктивне виконання. Керування рухом енергії від ВДЖ до ЕМП здійснює СНП. Об'єднання ВДЖ, СНП та ЕМП створює мехатронну енергетичну підсистему, яка має нові властивості, що відсутні в окремо взятих блоках. Мехатронна енергетична підсистема, як правило, є нелінійною, імпульсною підсистемою з параметрами, що змінюються дискретно. Тому її аналіз, а також синтез системи керування потребує застосування методів, які базуються на сучасних комп'ютерних технологіях.

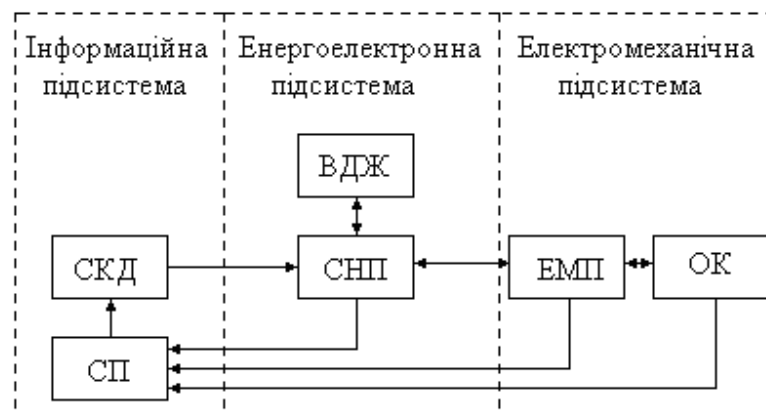


Рис. 2.4. Функціональна схема мехатронної системи

Пневматичний привід. З допомогою пневматичних приводів (ПП) в мехатронних системах можна вирішувати значне коло технічних завдань. ПП застосовують в автомобільних системах гальмування, компресорах, виконавчих силових пневмоциліндрах і підвісках, в циклових вузькоспеціалізованих системах керування, які не часто перепрограмовують. У циклових системах точність позиціонування може досягати десятих часток міліметра.

Для забезпечення повільного гальмування привода при підході до заданої позиції або торцевої кришки зазвичай застосовуються пневматичні або замкнуті гідравлічні гальмівні пристрої. ПП притаманні дуже висока швидкість переміщення і легкість отримання лінійних і кутових переміщень. Вантажність пневматичних приводів звичайно не перевищує 20 кг. Висока стисливість повітря як робочого тіла не дає змоги будувати точні пневматичні приводи з вантажністю понад 10 кг.

Для побудови малопотужних слідкувальних ПП зазвичай використовують широкоімпульсне керування у поєднанні зі швидкодійними двопозиційними електропневматичними клапанами в каналах керування пневмоциліндра. Точність позиціонування в таких приводах у разі робочого тиску до 0,8 МПа не перевищує кількох міліметрів. ПП належать до категорії екологічно чистих приводів і при відсутності маслорозпилювача у блоці підготовки повітря широко використовуються в екологічно чистих мехатронних системах. Недоліки

пневматичних виконавчих механізмів: необхідність додаткового підведення стисненого повітря, великі габарити, обмежена точність позиціонування.

За основну класифікаційну ознаку мехатроніки можна взяти рівень інтеграції складових елементів. Відповідно до цієї ознаки можна поділяти мехатронні системи за рівнями або поколіннями, якщо розглядати їх появу на ринку наукомісткої продукції в історичному контексті.

До повністю мехатронних відносять об'єкти, у яких реалізований максимально можливий ступінь інтеграції у поєднанні з найвищим рівнем інтелектуалізації.

На сьогодні у більшості застосовують мехатронізовані об'єкти, чим у значній мірі й визначається сьогоднішній період розвитку мехатроніки.

Мехатронні модулі можуть поєднувати в одному корпусі кілька компонентів, наприклад, привід (двигун), коробка передач і датчики (рис. 2.5).

Мехатронні модулі першого рівня – це об'єднання тільки двох вихідних елементів. Типовим прикладом модуля першого покоління може бути мотор-редуктор, у якому механічний редуктор і керований двигун виготовляють як єдиний функціональний елемент.

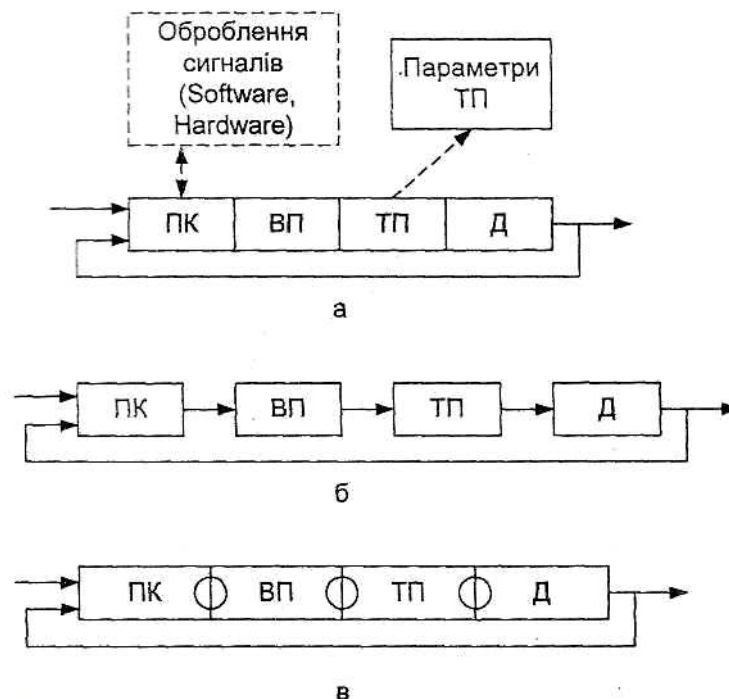


Рис. 2.5. Рівні інтеграції мехатронних систем:

ПК – пристрій керування; ВП – виконавчий пристрій; ТП – технологічний процес (об'єкт контролю та керування); Д – датчики; Software – програмне забезпечення; Hardware – апаратні засоби; О – можливість інтегрування вузлів мехатронних систем

Мехатронні системи на основі цих модулів широко застосовують при створенні різних засобів комплексної автоматизації виробництва та організації руху транспортних засобів.

Мехатронні модулі другого рівня дали змогу утворити мініатюрні датчики й електронні блоки обробки їх сигналів.

Об'єднання привідних модулів із зазначеними елементами привело до створення мехатронних модулів руху, склад яких повністю відповідає наведеному визначенню, коли досягнуто інтеграції пристроїв різної фізичної природи: механічних, електротехнічних і електронних. На базі мехатронних модулів цього класу створено автомобілі й промислові роботи із числовим програмним керуванням.

Розвиток мехатронних систем третього покоління обумовлено появою на ринку порівняно недорогих мікропроцесорів і мікроконтролерів. Його спрямовано на інтелектуалізацію всіх процесів, що мають місце у мехатронній системі, насамперед процесу керування функціональними рухами машин і агрегатів.

Контрольні запитання

1. Наведіть поняття мехатронний об'єкт, вузол, модуль, система.
2. Наведіть приклади мехатронних модулів транспортних засобів.
3. Поясніть поняття мехатронний комплекс.
4. Які бувають механічні перетворювачі?
5. Що може входити до складу механічного перетворювача руху?
6. Які бувають інтелектуальні мехатронні модулі?
7. З яких компонентів складаються мехатронні системи?
8. Яке призначення виконавчих пристроїв?