

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни

«Основи мехатроніки»

для студентів спеціальності 133

«Галузеве машинобудування»

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

Частина 1 - змістовий модуль 1.

Промислова робототехніка

2020

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни «Основи мехатроніки» для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» («Колісні та гусеничні транспортні засоби») усіх форм навчання. Частина 1 - змістовий модуль 1. Промислова робототехніка / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. 86 с.

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

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

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

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

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

ЗМІСТ

Частина 1

Вступ	5
Тематичний план лекційних занять	7
Лекція № 1. Вступ до курсу.....	10
Лекція № 2. Історія розвитку механічних, електронних і мехатронних систем	23
Лекція № 3. Сучасні мехатронні системи в різних сферах людської діяльності	48
Рекомендована література	82
Базова	82
Допоміжна.....	82
Інформаційні ресурси	85

Частина 2

Вступ	90
Тематичний план лекційних занять	92
Лекція № 4. Структура і принципи побудови мехатронних систем..	95
Лекція № 5. Мехатронні модулі	120
Лекція № 6. Мехатронні системи	142
Лекція № 7. Інформаційні технології в мехатроніці	166
Рекомендована література	180
Базова	180
Допоміжна.....	180
Інформаційні ресурси	183

Частина 3

Вступ	188
Тематичний план лекційних занять	190
Лекція № 8. Автомобіль як складна мехатронна система	193
Лекція № 9. Системи керування автомобільними двигунами.....	206
Лекція № 10. Системи керування трансмісією автомобілів	224
Лекція № 11. Системи керування підвіскою автомобілів.....	234
Рекомендована література	248
Базова	248
Допоміжна.....	248
Інформаційні ресурси	251

Частина 4

Вступ	256
Тематичний план лекційних занять	258
Лекція № 12. Системи керування гальмовими системами автомобілів	261
Лекція № 13. Системи управління мікрокліматом в салоні та рульового керування автомобілів	276
Рекомендована література	294
Базова	294
Допоміжна	294
Інформаційні ресурси	299

Частина 5

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

ВСТУП

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

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

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

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

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

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

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

Даний лекційний курс «Основи мехатроніки» є вступом до такої

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

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

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

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

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

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

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

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

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

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

Змістовий модуль 1. Промислова робототехніка.

Тема 1. Вступ до курсу (2 год.)

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

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

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

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

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

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

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

Тема 5. Мехатронні модулі (2 год.)

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

Тема 6. Мехатронні системи (2 год.)

Інформаційні пристрої мехатронних систем: датчики положення, швидкості і технологічних параметрів. Завдання управління координованими рухами машин. Ієрархія управління в мехатронних системах. Системи управління виконавчого, тактичного і стратегічного рівнів. Інтелектуальні методи управління.

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

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

ЛЕКЦІЯ № 1. ВСТУП ДО КУРСУ

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

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

Коли Ви приступаєте до вивчення нової навчальної дисципліни й, тим більше, вперше знайомитеся із цілим науково-технічним напрямком, обов'язково виникають три ключові питання:

Що є предметом мехатроніки, де науково-технічна «ніша» мехатроніки і яким чином вона взаємодіє з іншими областями спеціальних знань?

ЧОМУ цей напрямок настільки швидко розвивається в сучасному світі, які його ціль і перспективи?

ЯК відбувається створення мехатронних систем або, інакше кажучи, в чому полягає суть методу мехатроніки і які процеси лежать в основі мехатронних технологій?

В цій лекції представлені тільки короткі відповіді на поставлені питання, щоб відразу ввести студента в коло обговорюваних проблем, і розглянуті лише деякі - але досить характерні, сучасні мехатронні рішення. У наступних лекціях введені базові поняття будуть розібрані більш докладно й проілюстровані на додаткових прикладах мехатронних модулів і систем з аналізом їх технічних характеристик і конструктивних рішень.

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

Цей термін був їм уведений для позначення робочих органів, що здійснювали надавання руху машин і агрегатів, електромеханічних пристроїв з електродвигунами, керованими електронними напівпровідниковими перетворювачами й представляв комбінацію слів «механіка» і «електроніка».

У СРСР, Німеччині й у деяких інших країнах пристрої перетво-

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

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

З методичної точки зору доцільно усвідомити подібність і відмінності системи електропривода в традиційному розумінні й мехатронної системи. Із цією метою розглянемо функціональні схеми електропривода (рис. 1.1), й мехатронної системи.

Усвідомимо загальні ознаки й відмінності системи електропривода в традиційному розумінні й мехатронної системи, виходячи з їхніх функціональних схем.

На рис. 1.1 представлена схема електропривода, який по визначенню є електромеханічною системою, призначеною для перетворення електричної енергії в механічну й керування рухом відповідно до вимог технологічного процесу.

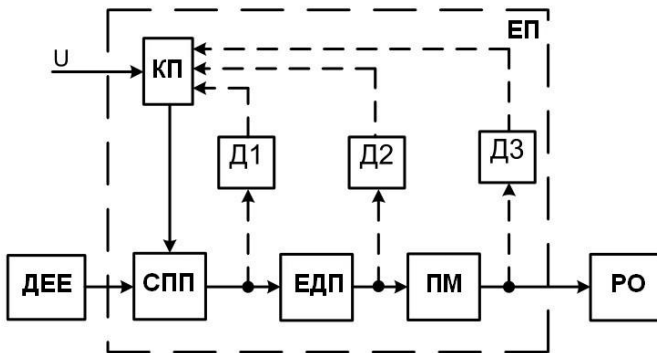


Рисунок 1.1 - Функціональна схема системи електроприводу

Електричний привод складається з наступних елементів:

- електродвигунного пристрою (ЕДП), призначеного для пере-

творення електричної енергії в механічну. Роль ЕДП звичайно виконують різного виду електродвигуни;

- силового перетворювального пристрою (СПП), призначеного для перетворення параметрів електричної енергії: напруги, струму, частоти, джерела електричної енергії (ДЕЕ) до значень, необхідних для живлення ЕДП. У сучасних електроприводах СПП виконують на базі напівпровідникових приладів - тиристорів і транзисторів різних типів;
- передавального механізму (ПМ), що здійснює перетворення параметрів механічної енергії ЕДП до заданого виду (обертальний, поступальний) і необхідним значенням (крутного моменту, сили, частоти обертання, швидкості), необхідним для функціонування робочого органа (виконавчого механізму) машини або агрегату;
- датчиків параметрів (координат) Д1-Д3, що характеризують поточний стан ЕП, інформація з яких використовується для формування зворотних зв'язків, необхідних для керування рухом відповідно до технологічних і технічних вимог. Координатами є струм й напруга СПП й ЕДП рухливі та пружні моменти, швидкість, кутове й лінійне переміщення та ін.;
- керуючого пристрою (КП), який на підставі заданого сигналу U_3 і сигналів від датчиків зворотних зв'язків виробляє необхідний сигнал керування, що подається на силовий перетворювальний пристрій. Керуючі пристрої у своєму розвитку пройшли шлях від релейних, лампових, транзисторних схем посилення й логіки, регуляторів на операційних підсилювачах до сучасних комп'ютерних пристроїв - мікропроцесорів. Сигнал завдання надходить від оператора, програмного блоку або від комп'ютеризованої системи більш високого рівня ієрархії, й контролює хід технологічного процесу в цілому.

У ГОСТ СРСР електропривод визначався як «пристрій». Робочий орган РО (виконавчий механізм) і джерело електричної енергії до його складу не включалися.

Однак створення електропривода, дослідження динамічних та сталих режимів, синтез системи ЕП, що забезпечує необхідні показники регулювання, неможливе без знання статичних і динамічних характеристик навантаження.

При живленні від джерела електричної енергії обмеженої потуги

жності слід враховувати і його параметри. Тому на практиці система ЕП розглядалася як єдина електромеханічна система, що включає до свого складу вищевказані компоненти. Це знайшло відбиття в більш пізніх визначеннях ЕП як *електромеханічної системи*.

Розглянемо функціональну схему мехатронної системи, представленої на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 - Функціональна схема мехатронної системи

У даній схемі:

- *мікропроцесор* виконує роль керуючого пристрою, формуючи на виході в цифровій формі сигнал керування, виходячи із надходячих до нього сигналу завдання від «системи керування й індикації» і сигналів від датчиків інформації через вхідні перетворювачі;
- *датчики інформації* фіксують поточні значення координат руху виконавчого механізму у вигляді електричних сигналів;
- *вхідні перетворювачі* перетворюють значення електричних сигналів до виду, сприйманого мікропроцесором, тобто до цифрової форми;
- *вихідні перетворювачі* перетворюють цифрове значення вихідного сигналу мікропроцесора в електричний сигнал керування мехатронним модулем;
- *мехатронний модуль* забезпечує перетворення електричної енергії джерела живлення в механічну, зі значеннями крутного моменту й швидкості, необхідними для роботи виконавчого механізму.

У даній схемі відсутнє джерело електричної енергії, що може бути зрозуміло для автономних роботів, якщо вважати, що воно входить до складу мехатронного модуля. Однак для мехатронних систем промислових роботів і верстатів з ЧПУ, роль джерела виконує електрична мережа, тобто передбачається що, як і в електроприводі воно не входить до складу мехатронної системи.

Укажемо на **загальні ознаки й відмінності розглянутих систем електропривода й мехатронної системи.**

Головною загальною ознакою обох систем є те, що вони є електромеханічними системами і їх завданням є перетворення електричної енергії в механічну й керування рухом робочого органа (виконавчого механізму) відповідно до вимог технологічного процесу. Це значить, що й **мехатронні системи, і електропривод відносяться до одного класу - електромеханічних систем.**

Розглянута на рис. 1.2 мехатронна система може бути підсистемою більш **складної мехатронної системи**, що включає в себе кілька мехатронних модулів, що в теорії електроприводу відповідає **багатодвигунному взаємозалежному електроприводу.**

Перелічимо відмінності, що впливають із зіставлення обох функціональних схем.

У мехатронній системі роль керуючого пристрою виконує мікропроцесор, а в електроприводі це можуть бути й інші, у тому числі аналогові пристрої.

У функціональній схемі мехатронної системи відсутні блоки СПП - силового електронного пристрою, що живить електродвигун, ЕДП - електродвигунного пристрою, ПМ - передавального механізму. Це можливо лише в тому випадку, якщо виконуючі їхні функції блоки зосереджені в мехатронному модулі. Ця обставина обмежує межу потужності мехатронних систем, тому що створення мехатронних модулів потужністю в сотні й тисячі кВт досить складне.

Таким чином, системи електропривода, що випускаються в діапазоні потужності від часток Ватт до десятків тисяч кВт є більш широким класом електромеханічних систем (ЕМС), до яких слід віднести й мехатронні системи (МС), які, однак, в силу своїх особливостей, переваг і сфер застосування слід розглядати як спеціальний клас ЕМС. Отже, системи електроприводу й мехатроніки відносяться до одного класу керованих електромеханічних систем.

Історично, вищевказані властивості МС були обумовлені тим,

що в період, починаючи з 60-х років XX століття, ішов швидкий розвиток засобів електроніки, напівпровідникових перетворювальних пристроїв, комп'ютерної техніки, програмування й інтелектуальних методів керування.

Це, у свою чергу, забезпечило умови створення автоматичних систем керування із широкими функціональними можливостями. При цьому в напівпровідниковій техніці відбувалося збільшення перетворюваної одним елементом електричної потужності, поліпшувалися динамічні характеристики напівпровідникових приладів: швидкодія, керованість.

У комп'ютерній техніці можливості керування надзвичайно розширила поява мікропроцесорних пристроїв, скорочення їхньої ваги й габаритів при одночасному підвищенні швидкодії й об'ємів пам'яті.

Розвиток програмного забезпечення й удосконалення комп'ютерної техніки дозволив реалізувати інтелектуальні методи керування: нечітка логіка, нейронні мережі, а також генетичні алгоритми.

Розвиток техніки створив передумови для об'єднання (інтеграції) вищевказаних пристроїв (повністю або частково) у єдиному конструктивному виконанні мехатронного модуля.

Таке виконання забезпечує ряд переваг у порівнянні із традиційним розділним компонуванням електричних приводів: зменшуються габарити, вага, довжина електричних і механічних зв'язків, виключаються проміжні інтерфейси, скорочуються виробничі площі, підвищується надійність роботи.

Важливою перевагою в ряді випадків є також підвищення твердості пружних кінетичних ланок внаслідок скорочення їх довжини, що, у свою чергу, сприяє зниженню динамічних навантажень і підвищенню точності відпрацьовування координат руху.

Вищевказане дає підставу говорити про синергетичний ефект інтегрального виконання пристрою, при якому позитивний ефект множиться в порівнянні з розділним виконанням тих же компонентів.

Синергія (грец.) - це спільна дія, спрямована на досягнення загальної мети. Наприклад, на футбольному полі гравці поєднуються в команду в ім'я загальної мети - забити максимальну кількість голів і перемогти суперника. У мехатроніці всі енергетичні й інформаційні потоки спрямовані на досягнення єдиної мети - виконати програмний рух із заданими показниками якості.

Важливо підкреслити, що при синергетичному об'єднанні дося-

гається результат більший, ніж арифметична сума внесків окремих частин системи. У спортивній команді різняться як функції спортсменів (воротар, захисник, нападник), так і їхні фізичні кондиції. Елементи мехатронних модулів і машин мають різну фізичну природу, що визначає міждисциплінарну сутність предмета мехатроніки та її науково-технічну проблематику.

Найбільш яскраво синергетичний ефект виявився при створенні певних видів машин і механізмів, що визначили напрямки широкого використання мехатронних систем:

- роботи й робототехнічні комплекси;
- технологічні машини-гексаподи;
- транспортні мехатронні системи.

Далі в курсі лекцій більш докладно будуть розглянуті мехатронні системи різних видів. Відзначимо лише, що в процесі їх розвитку вони знайшли широке застосування в багатьох галузях промисловості: машинобудівній, електротехнічній, гірничодобувній, текстильній, будівництві, та ін., а також охороні здоров'я.

Слід зазначити що найбільш яскравим прикладом мехатронних пристроїв є роботи й маніпулятори, які завдяки гнучкості й пристосованості до технологічних процесів, знайшли широке застосування у зварювальному, лакофарбовому виробництві, у виконанні складальних операцій, пайці електронних плат, вибірці й комплектації виробів, прокладці труб, укладанню текстилю, лазерної, ножової і водної порізки матеріалу, шліфуванні, складуванні, дослідженні морського дна, космічних дослідженнях, тощо. У цей час активні широкомасштабні роботи з їхньої розробки здійснюються в основному в трьох країнах, на які доводиться 77 % усього світового випуску (Японія - 38 %, США - 26 %, Німеччина - 10 %).

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

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

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

Функціональний рух мехатронної системи передбачає її цілеспрямоване механічне переміщення, яке координується з паралельно

керованими технологічними й інформаційними процесами. Таким чином, поняття «рух» трактується в даному визначенні мехатроніки широко.

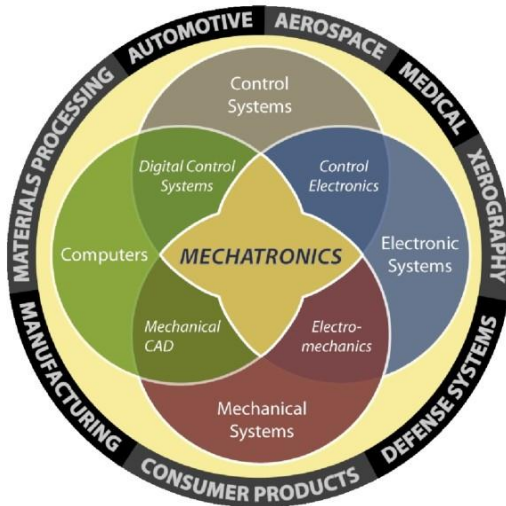


Рисунок 1.3 - Міжнародний графічний символ мехатроніки

Давньогрецькі філософи розуміли під рухом тіла всяку його зміну взагалі: від зміни розмірів, кольору й температури до виникнення й знищення. Але все-таки основою функціональних рухів у мехатроніці служить механічне переміщення системи в просторі й у часі. Вимоги до показників якості виконання функціональних рухів (по точності, швидкості) визначаються службовим призначенням машини.

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

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

Мехатронні технології містять у собі маркетингові, проектно-конструкторські, виробничі, технологічні й інформаційні процеси, які

забезпечують повний життєвий цикл мехатронних виробів. Розкриття зв'язків і закономірностей, характерних для цих процесів, дозволяє створювати мехатронні модулі, машини й системи, які здатні найбільш ефективно виконувати задані вимоги.

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

Сьогодні мехатронні модулі й системи знаходять широке застосування в наступних областях:

- верстатобудування й устаткування для автоматизації, технологічних процесів у машинобудуванні;
- промислова й спеціальна робототехніка;
- авіаційна й космічна техніка;
- військова техніка, машини для поліції й спецслужб;
- електронне машинобудування й устаткування для швидкого прототипування;
- автомобілебудування (привідні модулі «мотор-колесо», антиблокувальні пристрої гальм, автоматичні коробки передач, системи автоматичного паркування);
- нетрадиційні транспортні засоби (електромобілі, електровелосипеди, інвалідні візки);
- офісна техніка (наприклад, копіювальні апарати);
- периферійні пристрої комп'ютерів (наприклад, принтери, плоттери, дисководи DVD-ROM);
- медичне й спортивне устаткування (біоелектричні й екзоскелетні протези для інвалідів, тонусні тренажери, керовані діагностичні капсули, масажери й вібратори і т.д.);
- побутова техніка (пральні, швейні, посудомийні машини, автономні пилососи);
- мікромашини (для медицини, біотехнології, засобів зв'язку й телекомунікації);
- контрольно-вимірювальні пристрої й машини;
- ліфтове й складське устаткування, автоматичні двері в готелях і аеропортах;
- фото- і відеотехніка (програвачі відеодисків, пристрої фоку-

- сування відеокамер);
- тренажери для підготовки операторів складних технічних систем і пілотів;
- залізничний транспорт (системи контролю й стабілізації руху поїздів);
- інтелектуальні машини для харчової й м'ясомолочної промисловості;
- поліграфічні машини;
- інтелектуальні пристрої для шоу-індустрії, атракціони.

Цей список може бути розширений. Ринок мехатронних модулів і систем динамічно розбудовується й в індустріально розвинених країнах за останні п'ять років має стійку тенденцію до зростання. При цьому на частку робототехніки доводиться приблизно десята частина обсягу продажів.

Стрімкий розвиток мехатроніки у світі є закономірним процесом, який викликаний принципово новими вимогами ринку до показників якості технологічних машин й систем що рухаються.

Хід розвитку мехатроніки цілком відповідає вченню про «великі цикли кон'юнктури», автор якого видатний російський економіст М.Д. Кондратьєв. У його працях визначені необхідні економічні й господарські умови, при яких відбувається перехід на принципово нові виробничі машини й технологічні процеси.

Індустріальному суспільству властиві циклічні кризи й пов'язані з ними періоди радикального відновлення технічного способу виробництва. У листі із суздальського політизолятора М.Д. Кондратьєв дав математичний опис залежності розміру доходу від рівня техніки виробництва як розв'язок диференціального рівняння.

Підкреслимо наступне ключове положення цього економічного навчання. «Було б, звичайно, помилкою заперечувати в науково-технічних відкриттях і винаходах елемент творчості. Але з наукового погляду було б ще більшою помилкою думати, що напрямки й інтенсивність цих відкриттів і винаходів зовсім випадкові. Ймовірніше припустити, що напрямки й інтенсивність науково-технічних відкриттів і винаходів є функцією запитів практичної дійсності й попереднього розвитку науки й техніки».

Довгі хвилі, які описують економічну динаміку господарства, одержали назву «кондратьєвських циклів». Кожний цикл характеризується новою технологічною, ресурсною й енергетичною базою, що

приводить до створення принципово нової продукції. Тривалість життєвого циклу технічного способу виробництва становить приблизно 50-60 років.

В ХХ ст. було прийнято виділяти два основні цикли в розвитку промисловості європейських країн. У нашій країні промисловість групи А, що створює засоби виробництва, сформувалася після війни в 1950-х роках. Її наступний розвиток до кінця 80-х років у цілому відповідав другому «кондратьєвському циклу».

Характерним для цього циклу є розвиток механіки, електроніки й інформатики як окремих, практично автономних напрямків. Це стосується й системи фундаментальних і прикладних досліджень, і галузевої структури промисловості, і класифікаторів наукових і інженерних спеціальностей, і організаційної структури машинобудівних підприємств. Технології машинобудування базувалися в основному на методах механообробки, де був накопичений великий теоретичний і експериментальний матеріал.

Однак у цей час переважають завдання, для розв'язку яких потрібні якісно нові технологічні процеси й засоби виробництва. Створення мехатронних машин і технологій, особливо починаючи з 1990-х років іде на стику декількох науково-технічних напрямків і є відповіддю виробників устаткування на поставлені ринком (часом) техніко-економічні й функціональні вимоги.

Фундаментальна відмінність нового покоління виробничих технологій і машин полягає в тому, що в їхній основі лежать *інтегровані знання* з таких раніше відособлених областей, як прецизійна механіка й комп'ютерне керування, інформаційні технології й мікроелектроніка. Враховуючи принципову відмінність нових машин і технологій, сучасну фазу розвитку машинобудування можна віднести до нового (третього) «кондратьєвського циклу».

Згідно з навчанням Н.Д. Кондратьєва, саме криза розчищає місце новим технологіям і засобам виробництва. Відзначимо наступне положення. «Депресивний стан господарського життя штовхає до пошуку шляхів здешевлення виробництва, до шукання нових технічних винаходів, що сприяють цьому здешевленню. Саме протягом довго-строково-знижувальної хвилі кон'юнктури технічні відкриття й винаходи особливо численні».

Дуже хочеться сподіватися, що справедливості даної теорії в нинішніх економічних реаліях стимулює науково-технічний прогрес і

призведе до інновацій у вітчизняне машинобудування, зокрема - у розвиток мехатроніки.

Цільовим завданням мехатроніки є проектування й виробництво якісне нових модулів, й машин що рухаються. Фундаментальне поняття «якість машини» було введено в працях основоположників вітчизняної школи технології машинобудування - проф. Б.С. Балакшина, Ю.М. Соломенцева, Є.А. Сателя й ряду інших видатних вчених.

Якість машини оцінюється сукупністю спеціально підібраних показників (або критеріїв), вибір яких визначається її службовим (функціональним) призначенням. Машини нового покоління повинні відповідати таким загальним критеріям, як відношення ціна/якість, висока надійність і безпека функціонування, гнучкість і швидка реконфігурація при переході на новий виріб.

До нових сучасних вимог до функціональним і технічним показникам модулів і машин у першу чергу слід віднести:

- виконання машинами й системами якісно нових службових і функціональних завдань;
- надвисокі швидкості руху кінцевої ланки машини - її робочого органа, що визначає новий рівень продуктивності технологічних комплексів;
- ультрапрецизійні рухи модулів з метою реалізації нових прецизійних технологій аж до мікро- і нанотехнологій;
- компактність модулів й систем що рухаються, мініатюризація конструкцій у мікромашинах;
- нові кінематичні структури й конструктивні компонування багатокоординатних машин;
- інтелектуальна поведінка систем, що функціонують у мінливих і невизначених зовнішніх середовищах;
- виконання просторових рухів по криволінійних траєкторіях і реалізація складних законів переміщення в часі.

Питання для самоперевірки

1. Коли вперше з'явився термін мехатроніка?
2. Хто є автором терміна мехатроніка?
3. Як у СРСР та країнах Європи називали пристрої перетворення електричної енергії в механічну до появи терміна мехатроніка?
4. Назвіть загальні ознаки й відмінність системи електропривода в традиційному розумінні й мехатронної системи, виходячи з їхніх

функціональних схем.

5. Користуючись схемою назвіть функціональні елементи системи електроприводу.
6. Назвіть функціональні елементи мехатронної системи.
7. Яке призначення силового перетворювального пристрою?
8. Яке призначення датчиків в системі електроприводу?
9. Без знання яких характеристик неможливе створення електропривода?
10. Яка роль мікропроцесора в мехатронній системі?
11. Що таке мехатронний модуль?
12. Яка загальна ознака систем електропривода й мехатронної системи?
13. Що таке синергія?
14. Де найбільш яскраво проявляється синергетичний ефект?
15. Назвіть найбільш поширені приклади мехатронних пристроїв.
16. В яких областях знаходять широке застосування мехатронні модулі й системи?
17. На чому заснований метод мехатроніки?
18. Що таке мехатронні технології?
19. Що є предметом мехатроніки?
20. Яке цільове завдання мехатроніки?

ЛЕКЦІЯ № 2. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ МЕХАНІЧНИХ, ЕЛЕКТРОННИХ І МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

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

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

З доісторичних часів люди в своїй уяві створювали різні «розумні» пристрої, які могли здійснювати недоступні, нездійсненні, з точки зору людини, дії. Спочатку з'явилися пристрої, що зображують птахів і тварин: дерев'яний голуб, який міг обертатися на кінці жердини, орел що злітає, плаваючий дельфін. Потім стали створювати статуї богів. Статуї богів з рухомими частинами тіла (руки, голова) з'явилися ще в Давньому Єгипті, Вавилоні, Китаї.

Герон Олександрійський у своєму «Трактаті про пневматику» писав про різні рухомі фігури та механічних птахів. Арістотель згадує про ляльок-маріонеток що приводяться в рух за допомогою ниток, з яких створювалися цілі механічні театри (рис. 2.1).

Ідея створення і використання двійника людини зародилася дуже давно. Спочатку це були цікаві дерев'яні і металеві ляльки танцюристів, музикантів, потім з'явилися більш складні пристрої рухомих механічних людиноподібних фігурок-андроїдів. У середні століття навіть існувала думка, що можна засобами алхімії створити гомункула - живого чоловічка, здатного творити дива.

Вперше людиноподібні позолочені жіночі фігури встановили на Олександрійському маяку, побудованому на острові Фарос (рис. 2.2.). Вночі їх яскраво висвітлювали і їх було добре видно на великих відстанях. Статуї, періодично повертаючись, показували руками на циферблатах напрямок і силу вітру, а вночі переривчасто гуділи, попереджаючи про близькість берега. Альберт фон Больштедт створив першу повнорозмірну механічну людину-андроїда (в перекладі з грецької «людиноподібний»), який міг ходити, рухати руками, сидати, вставати,

говорити, підходити до дверей, відкривати їх, запрошувати відвідувача увійти в приміщення.

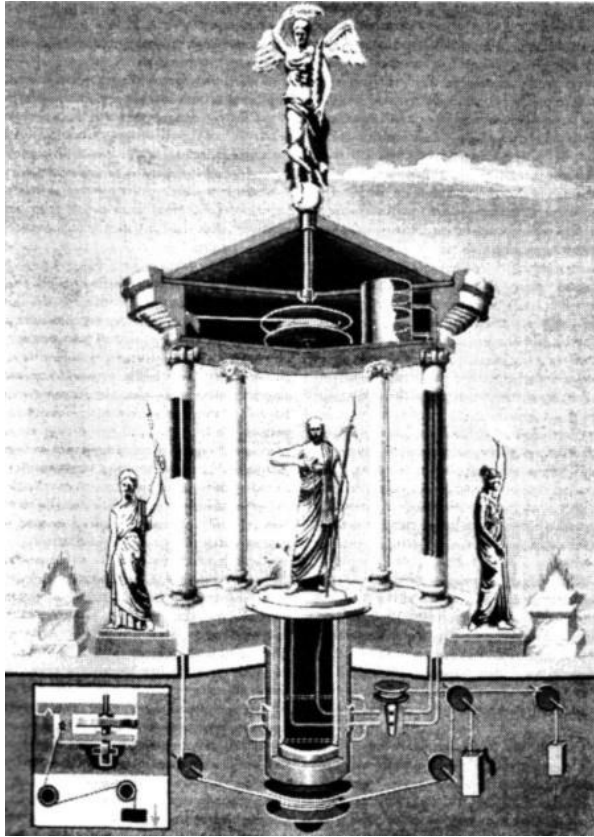


Рисунок 2.1 - Механічний театр згадуваний Арістотелем

Його передали в монастир, одягли в металеві лати і він ніс службу воротаря (рис. 2.3). В історії техніки він відомий під ім'ям «залізного воротаря». Джуанело Турріано побудував дерев'яного механічного слугу для закупівлі товарів на ринку (рис. 2.4).

Корпус і кінцівки андроїда поверталися за допомогою важелів, які приводилися в рух від кулачків, встановлених на барабані. Барабан обертався з допомогою годинникового механізму, що мав потужний пружинний завод. Але андроїд не міг ходити.



Рисунок 2.2 - Позолочені жіночі фігури на Олександрійському маяку, побудованому на острові Фарос

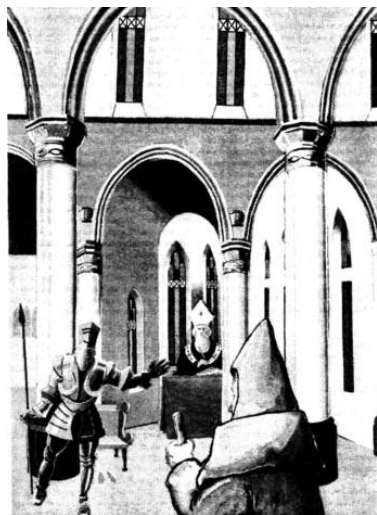


Рисунок 2.3 - «Залізний воротар» Альберта фон Больштедта



Рисунок 2.4 - Дерев'яний слуга



Рисунок 2.5 - Флейтист Вокансона

Він робив кілька кроків і падав, тобто він мав статичну стійкість, а динамічною стійкістю не володів. Мрію Турріано вдалося здійснити лише через 400 років японським ученим.

Французький механік Жак Вокансон (1709-1782) розробив фігуру «флейтиста» в зріст людини, який за допомогою пальців за програмою виконував 11 мелодій (рис. 2.5).



Рисунок 2.6 - Ляльки-автомати швейцарських годинників Дро



Рисунок 2.7 - Механічний писар



Рисунок 2.8 - Механічний музикант

Швейцарські годинникарі П'єр-Жак Дро (1721-1796) і його син Анрі Дро (1752-1791) на виставці в Парижі продемонстрували трьох ляльок-автоматів (рис. 2.6): писар (рис. 2.7) вмів писати ряд слів, музикант (рис. 2.8) грав на клавесині, кланявся перед публікою, художник вмів малювати пейзажі. Припускають, що саме від імені Анрі Дро і було утворено слово «андроїд». Ці андроїди представляли собою складні керовані автомати, в яких програми їхнього руху задавалися за допомогою змінних кулачків, встановлених на барабані, що обертається. Приведення андроїдів в рух здійснювали від годинникового механізму.

У 1739 році Жак Вокансон, створив механічну-качку, що складалася з 400 елементів, яка могла ходити, крикати, плавати та їсти рибу.

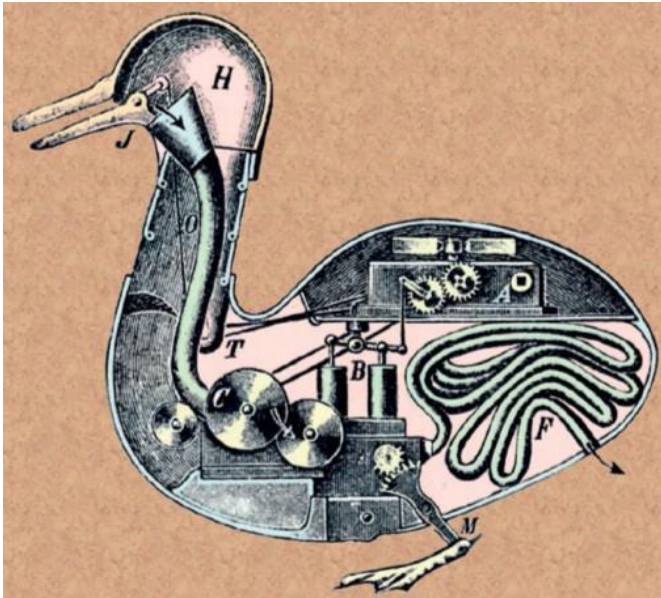


Рисунок 2.9 - Схема механічної-качки Вокансона наведена у журналі «Scientific American» (January 21, 1899)

Американський нейролог Пол Глімчер писав: «У 1738 році, 29-річний французький годинниковий майстер Жак де Вокансон (1709–1782), виставив у саду Тюльєрі, один з найвідоміших роботів усіх часів. Качка де Вокансона мала сотні рухомих частин і пір'я. Вона руха-

ла головою, баламутила воду своїм дзьобом, хлопала крилами, крикала, хапала протягнуту їй їжу з руки людини та здійснювала ще багато реалістичних дій.

Через кілька хвилин залишки перетравленої їжі були виведені знизу. Звичайно, качка насправді не перетравлювала їжу, а хвостовий кінець качки був таємно попередньо завантажений імітованими ескрементами. Тим не менш, такий універсальний автомат викликав дискусії про межу між живим і суто механічним, а також про час, коли такі межі можуть бути розмитими, коли роботизовані сутності стануть ще більш універсальними».

У 1769 році з'явився шаховий автомат угорського механіка В. Кемпелена. Він представляв собою «шахіста», одягненого в турецький наряд і сидячого за шахівницею (рис. 2.10).

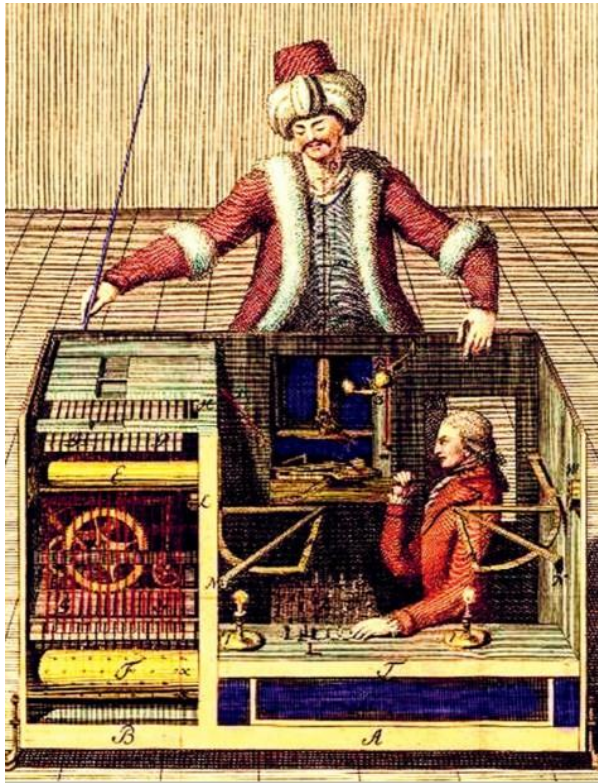


Рисунок 2.10 - Шаховий автомат угорського механіка В. Кемпелена

Ним було зіграно 300 партій, з яких він програв лише шість. Секрет автомата був розкритий тільки в 1834 році. В одному з виступів в Росії, російський пан після програшу автомату, нахилив голову турка назад і висипав з табакерки на його обличчя тютюн. Почулося чхання і тихий голос з ящика під шахістом з проханням його випустити. Кемпелен відкрив дверцята і всі побачили людину без ніг і кисті правої руки. Ним виявився польський дворянин Вронський чудовий шахіст.

За весь час існування автомата всередині нього знаходився один з провідних шахістів Європи, який і давав вказівки турку здійснювати відповідні ходи.

З російських механіків слід відзначити І.П. Кулібіна (1735-1818) який розробив годинник «яєчної» форми з фігурками, які розігрували різні театральні сценки; А.М. Гамулецького - відкрив в 1820 році в Петербурзі «Храм чарівності», який обслуговувався механічними слугами; Г.І. Мезгіна, який створив в 1866 році «астрономо-історичний» годинник, що показував час, а також чотири сценки з історії міста Томська.

Поява і розвиток систем автоматичного керування зі зворотним зв'язком.

Сам термін «автоматичне» має на увазі, що управління здійснюється без втручання людини. Термін «зворотний зв'язок» мабуть вперше був використаний в 1920 р персоналом компанії Bell Telephone Laboratories.

Найперший з відомих пристроїв зі зворотним зв'язком відноситься до другого століття до нашої ери. Це так званий водяний годинник. Час вимірювався за допомогою крапель води, падаючих з постійною швидкістю через сопло з резервуара. Щоб забезпечити постійну швидкість витікання води, необхідно було підтримувати постійний рівень води в резервуарі, а для цього було потрібне автоматичне регулювання. Цікаво, що завдання підтримки постійного рівня рідини в резервуарі до сих пір зберігає актуальність, а отже досі займаються проектуванням відповідних систем регулювання. Одна з можливих конструкцій водяного годинника показана на рис. 2.11. Плаваючий клапан у верхньому резервуарі, одночасно виконує роль датчика і виконавчого пристрою системи регулювання, служить для підтримки постійного рівня води в цьому резервуарі. Коли рівень води відповідає заданому значенню, клапан закриває живильну магістраль.

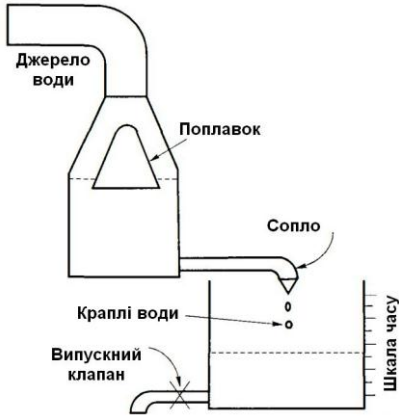


Рисунок 2.11 - Найпростіший водяний годинник

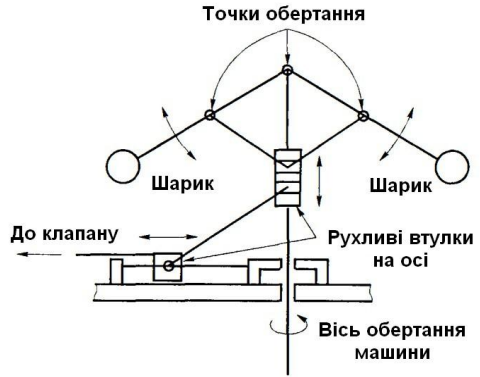


Рисунок 2.12 - Регулятор швидкості обертання парової машини

Якщо ж рівень менше заданого, то клапан відкриває магістраль, що призводить до підвищення рівня. Зверніть увагу, що дія цього механізму аналогічна роботі зливного бачка в туалеті. Вода через сопло капає в нижній резервуар, забезпечений проградуйованою шкалою. Рівень води в ньому точно вказує проміжок часу з того моменту, коли резервуар був порожній.

Фактично накопичення води в нижньому резервуарі є операцією інтегрування (підсумовування). Аналогічна процедура (підсумовування) використовується при чисельному інтегруванні в цифрових комп'ютерах. Ця процедура використовувалася 22 століття назад, і в наші дні цей принцип лежить в основі роботи сучасних комп'ютерів. Дійсно, тут важко винайти щось нове.

Голландський механік і хімік Корнеліус Дреббель (1572-1633) винайшов регулятор температури, який він використовував у своїх хімічних дослідів і в інкубаторах для виведення курчат. Цей регулятор містив пристрій, що дозволяв випускати нагріте повітря з камери, коли температура в ній досягала бажаного значення. Його можна порівняти з уже відомою нам системою автоматичного регулювання температури в житловому приміщенні; різниця лише в тому, що в цій системі нагріте повітря починало циркулювати, коли температура опускала нижче заданого значення.

Американець Вільям Генрі (1729-1786) винайшов регулятор те-

мператури, в якому використовувалася заслінка, яка автоматично керувала згорянням палива і, отже, температурою. Принцип дії датчика температури і виконавчого пристрою був заснований на тиску нагрітого повітря при його розширенні. Розширення повітря приводило до закриття заслінки і зменшення згоряння палива, а стиснення повітря прагнуло відкрити заслінку.

Багатьма винахідниками були внесені удосконалення в конструкцію поплавцевих регуляторів рівня рідини. Це зробили Джеймс Бріндлі в 1758 р., Саттон Томас Вуд в 1784 р. (обидва - в США) і І. Ползунов в 1763 р. в Росії. Удосконалення регуляторів тиску для парових котлів зробили Дені Папен (1647-1712), Роберт Делап в 1799 р. і Метью Мюррей в 1799 р.

Головним винаходом в області управління швидкістю вітряних млинів і парових машин був відцентровий регулятор Томаса Міда (1787р.). У 1788 р. Метью Болтон і Джеймс Уатт запропонували конструкцію відцентрового регулятора швидкості, зображену на рис. 2.12.

При збільшенні швидкості обертання машини кульки за рахунок відцентрової сили розходилися, що, в свою чергу, призводило до переміщення втулки вгору по осі машини. При цьому за допомогою клапана, керованого важільним механізмом, зменшувалася подача пари і, отже, швидкість обертання. Зменшення швидкості обертання приводило до зворотного ефекту.

Розглянуті вище пристрої працювали приблизно так, як було описано. Однак у багатьох випадках регулятор замість того, щоб підтримувати постійне значення вихідної змінної, дозволяв їй робити невеликі коливання щодо заданого значення. Цей ефект часто називали «рисканням».

Щоб усунути подібну нестійкість, треба було створення математичних моделей фізичних пристроїв, тобто рівнянь, рішення яких описувало б поведінку цих пристроїв. В результаті з'явилися сучасні математичні методи моделювання, аналізу та синтезу систем управління.

У розробку цих методів внесли свій вклад дуже багато вчених. П'єр Симон Лаплас (1749-1827) винайшов перетворення (назване потім його ім'ям), що є основою більшості методів аналізу і синтезу систем управління. З інших вчених відзначимо Ісаака Ньютона (1642-1727) - математичне моделювання та аналіз; Брука Тейлора - математичний аналіз (ряди Тейлора); Джеймса Клерка Максвелла (1831-1879) - математичне моделювання та аналіз; Едварда Джона Рауса

(1831-1907) - критерій Рауса; Олівера Хевісайда (1850-1925) - математичний аналіз; Чарльза П. Стейнметца (1865-1923) - аналіз частотних характеристик за допомогою комплексних змінних; Гаррі Найквіста (1889-1976) - критерій Найквіста; Хендріка У. Бодє (1905-1982) - діаграма Бодє; Гарольда С. Блека (1898-1981) - підсилювачі з негативним зворотним зв'язком; У. Р. Еванса - кореневий годограф; і Джона фон Неймана (1903-1957) - принцип дії цифрового комп'ютера.

Цей список ні в якій мірі не є вичерпним як в персональному плані, так і в плані досягнень в окремих областях. Він лише покликаний дати відомості про те, які ідеї і в який час розробляли перераховані вище вчені. Список сучасних вчених, які внесли вагомий вклад у розвиток теорії автоматичного управління, був би занадто довгим і, звичайно, далеко не безперечним.

Розвиток транспортних мехатронних систем.

У другій половині XVIII століття парову машину одночасно спробували встановити на безрейковий візок, застосувати на рейковому і водному транспорті; деякий час парові автомобілі розвивалися паралельно з локомотивами, потім - з бензиновими автомобілями, конкуруючи і разом з тим допомагаючи один одному.

Першим практично діючим паровим автомобілем вважається «паровий візок» француза Нікола-Жозефа Кюньо (1715-1804). Він хотів створити потужну тягову силу для артилерійських знарядь і перевезення снарядів. Але з управлінням його возом ледве справлялися дві людини. Первозачи до 3 т вантажу, віз пересувався зі швидкістю пішохода - 2-4 км/год. Кюньо побудував ще один віз, але він, як і перший, не знайшов практичного застосування. Однак усі побачили, що механічний візок - це вже не фантазія.

На початку XIX століття виникли і отримали розвиток залізні дороги. Але вони не могли проникнути всюди. Їм допомагав гужовий транспорт. Тому з'явилася безліч конструкцій безрейкових парових возів, найбільше в Англії, де парові машини, так само як і ткацькі верстати, були основою промислового перевороту.

Потужність екіпажних парових машин вже збільшили у 8-10 разів у порівнянні з машиною Кюньо, зменшили їхні розміри і витрати палива. Машину ставили, як правило, позаду воза. Шток, що передавав рух поршня храповикам на осі коліс, замінили хитким шатуном. Склався так званий кривошипний механізм, який згодом майже повні-

стю перейшов на автомобільний двигун.

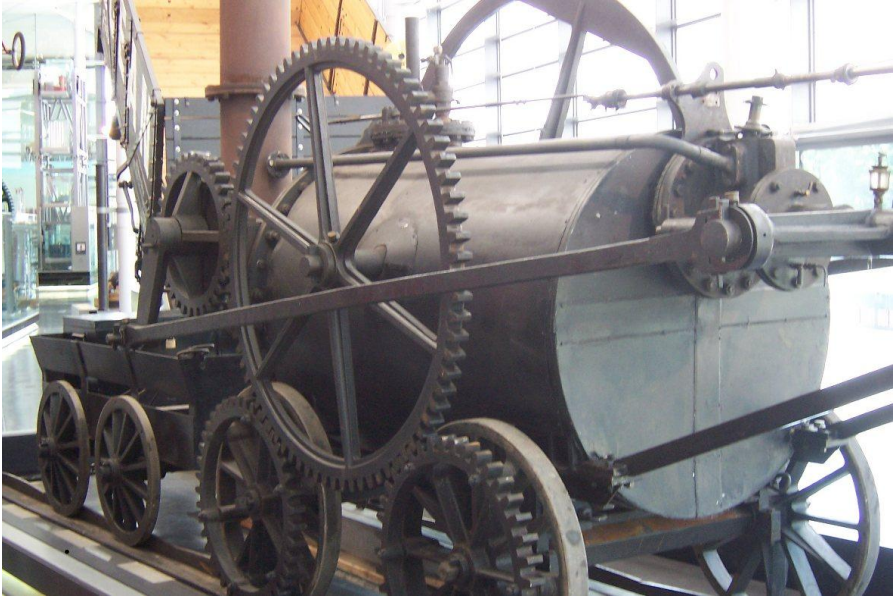


Рисунок 2.13 - Паровоз Річарда Тревітіка - прообраз сучасних локомотивів (Trevithick's 1802 locomotive - The full-scale reconstruction in the National Waterfront Museum, Swansea)

Однак розвиток безрейкового парового транспорту на відміну від залізничного йшов далеко не гладко. То якийсь пастор запідозрив винахідника Вільяма Мердока в спілкуванні з нечистою силою, і Мердок залишив досліди з візком. То винахідник парової машини Джеймс Уатт звинуватив свого колишнього співробітника Річарда Тревітіка в крадіжці ідей фірми «Болтон і Уатт» і намагався провести в парламенті закон про заборону «небезпечних» парових екіпажів...

На щастя, старання Уатта не увінчалися успіхом. Але Тревітік все ж змушений був припинити роботу над візком з іншої причини: дороги, на околиці Лондона, були такі, що доводилося розчищати трасу для воза - прибирати величезні камені, повалені дерева. Витрати по роботах з візком розорили Тревітіка, і він помер у злиднях. Тільки в 20-30-х роках XIX століття, після деякого поліпшення доріг, парові вози знову з'явилися. Так чотири «паровика» Голсуорсі Гернея здійс-

нювали регулярні рейси і наїздили в 1831 році 6 тис. км (нагадаємо, що це приблизно в 7 разів менше річного пробігу чотирьох кінних диліжансів).

Більш успішно організував рух парових диліжансів Уолтер Хенкок. Правда, рейс довжиною 120 км тривав близько 12 годин, з яких ходових було тільки 7-8 год. Решта часу йшла на заправку водою. Потім здогадалися причепити до диліжанса тендер з водою і коксом. Хенкок використовував високий тиск пара в казані і застосував ланцюгову передачу від колінчастого вала машини до коліс. Дев'ять 15-місцевих возів Хенкока зробили близько 700 рейсів і наїздили 7 тис. км зі швидкістю до 30 км /год.

Після того як парові диліжанси почали потроху справлятися з дорогою, виникла нова перешкода. Їх власникам доводилось платити мита в 8-9 разів більші, ніж платили за кінний диліжанс: і за число місць в диліжансі, і за потужність машини, і за число коліс. А коліс було багато через те, що тоді ще не знайшли гарного способу управління візком і постачали її «Гайдом» - поворотним двоколісним візком, висунутим вперед на довгому дишлі. Віз ставав шестиколісним; до нього нерідко причіпляли два-три вагончика, і число коліс ще зростало.

У 1865 році, коли залізні дороги вже покрили всю Англію, і тому в Англії такий вид транспорту як парові диліжанси був знищений. А паровози безперешкодно, з вигодою для їх власників, котилися по рейках; до того ж і паровози, і вагони, і рейки належали одному власнику. На якийсь час парові автомобілі відродилися у Франції. Їх двигуни вже були оснащені газовими пальниками замість вугільних топків, не потребували важкого запасу вугілля і часу на розігрів, стали більш легкими і потужними.

Леон Серполле (1858-1907) замінив котел довгою багаторазово вигнутою трубою - зміївиком. Запас води міг бути зменшений, змійовик швидко розігрівали, безупинно виникала необхідна для роботи машини кількість пари (без її скупчення, яке іноді призводило до вибоїв котлів).

На парових візках почали застосовувати еластичні шини, рульову «трапецію», механізм для обертання коліс однієї осі з різними оборотами - диференціал, ланцюговий і навіть карданний привод від парової машини до ведучих коліс. Карданний привод складався з валу з шарнірами на кінцях. Один кінець був з'єднаний з валом

парової машини, інший - з шестернями головної передачі задньої осі.

Шарніри забезпечували передачу обертання від закріпленої на рамі парової машини, до осі що хитається на ресорах. Карданний шарнір, названий по імені його винахідника італійця Джероламо Кардано (XVI століття), був запозичений їм від пристрою для установки компасу на кораблях: корабель гойдається на хвилях, а компас залишається в одному - горизонтальному - положенні.

Тим не менш, незважаючи на удосконалення, парові автомобілі другої половини XIX століття залишалися дуже незручними для експлуатації. Машиністу потрібні були майже такі ж знання і вправність, як його колегам на залізниці. Закінчуючи поїздку, не можна було просто поставити машину в гараж, заглушити двигун і піти додому. Машиніст задував головну горілку, випускав частину води з котла і знову заповнював його. Пусковий палик залишали палаючим до ранку, щоб не мучитися знову з запалюванням.

Парова машина була недостатньо надійна і практично недоступна для масового споживача, але все ж вона зіграла важливу роль у розвитку автомобільної техніки. Була доведена сама можливість механічного пересування, випробувані і вдосконалені механізми майбутнього автомобіля. Від парових автомобілів залишилося і слово «шофер» (його раніше писали через два «ф»), що по-французьки означає «кочегар». І хоча давно немає на автомобілі котла і топки, водія і донині називають шофером.

До початку «автомобільного століття» процвітав залізничний транспорт, а механізований безрейковий був відсутній. І це в обстановці, коли в колах промисловців, комерсантів, великих землевласників, лікарів, адвокатів особистий транспорт набував все більшого значення. Їм доводилося задовольнятися все тією ж легкою кінною коляскою, а людям професій «дрібніших» - велосипедом. Тим самим ще до винаходу практично придатного автомобіля визначилося поділ безрейкового транспорту на громадський і особистий; якщо для першого ще годився паровий автомобіль, то для другого не було гідної заміни кінного екіпажу, не існувало легкого, потужного, простого в обігу і завжди готового до дії двигуна.

Поява нового науково-технічного напрямку - робототехніки.

Ідея створення «розумних» автоматів розбурхує уми і сучасної людини. Так у 1920 році чеський письменник Карел Чапек у своїй п'є-

сі «R.U.R» («Россумські універсальні роботи») вперше написав слово «робот» (від чеського слова «robota» - панщина, каторжна праця). Воно увійшло в міжнародний лексикон і стало загальноживаним.

Американський інженер Венслі побудував керований на відстані за допомогою свистка автомат «Телевокс», який міг крім виконання деяких найпростіших операцій вимовляти за допомогою звуковідтворювальної апаратури кілька фраз.

Англієць Гаррі Меєм в 1932 році створив людиноподібний автомат «Альфа», який по командам, що подаються голосом, сідав, вставав, рухав руками, говорив. Австрієць Август Губер створив кілька радіокерованих автоматів під загальною назвою «Собор», які могли ходити, говорити, виконувати різні рухи руками.

З'явилося багато науково-фантастичних творів, в яких автори намагалися передбачити майбутнє роботів.

Так у романі «Я - робот» американський письменник Айзек Азімов сформулював так звані три закони робототехніки:

1. Роботи не повинні завдавати шкоди здоров'ю і життю людини ні своїми діями, ні своєю присутністю.

2. Роботи зобов'язані підкорятися будь-яким наказам людини, за винятком тих, які вступили б у суперечність з першим законом.

3. Роботи повинні захищатися від будь-якої загрози своєму існуванню, якщо такий захист здійснюється за правилами, що не суперечить другому закону.

Отже в середині XX століття виник і сформувався новий науково-технічний напрям - робототехніка.

Перші роботи, з яких почалася сучасна робототехніка, з'явилися відразу після Другої світової війни. У США були розпочаті науково-дослідні роботи зі створення дистанційно керованих механічних маніпуляторів копіювального типу для роботи з радіоактивними матеріалами. Потім з'явилися більш складні системи, здатні виконувати багаторазово повторювані операції в автономному режимі, а також функціонування яких задавалося програмою.

У 1959 році Джорджем С. Деволом і Джоєфом Ф. Енгельбергером був розроблений, і фірмою «Юнімейшн» випущений перший програмований робот. Він включав в себе маніпулятор і комп'ютер, що дозволяло навчати робот автоматичного виконання різних операцій і в разі необхідності здійснювати його перепрограмування на виконання інших операцій.

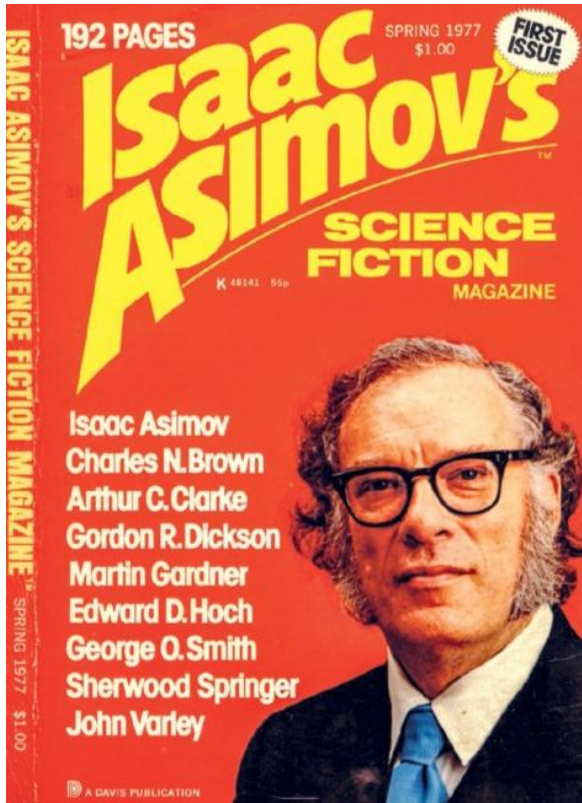


Рисунок 2.14 - Обкладинка науково-фантастичного журналу, в якому Айзек Азімов розвиває ідею штучного інтелекту згідно «Трьох законів робототехніки» (Three Laws of Robotics), 1977-й рік

У 1961 році Ернст розробив керовану за допомогою комп'ютера механічну руку з тактильними датчиками, що отримала назву МН-1 або «рука Ернста» за прізвищем творця. Це був прообраз чутливого робота з адаптивним керуванням, здатного знаходити і брати довільно розташовані об'єкти. У 1962-63 роках з'явилися перші роботи «Юнімейшн - 1900» (рис. 2.15) і «Версатран» (рис. 2.16), призначені для промислового застосування на заводах фірми «General Motors», «Ford» та «General Electric». Потім роботів стали випускати в Англії - 1967 р., в Швеції і Японії - 1968 р., у ФРН - 1971 р., у Франції - 1972р., в Італії - 1973 р. У 1969 році, в США в Стенфордському науково-

дослідному інституті був розроблений експериментальний макет рухомого робота «Шейкі» з розвиненою системою сенсорного забезпечення, включаючи технічний зір, елементи штучного інтелекту - все це дозволяло йому цілеспрямовано пересуватися в невідомій обстановці, самостійно приймати необхідні для цього рішення (рис. 2.17).

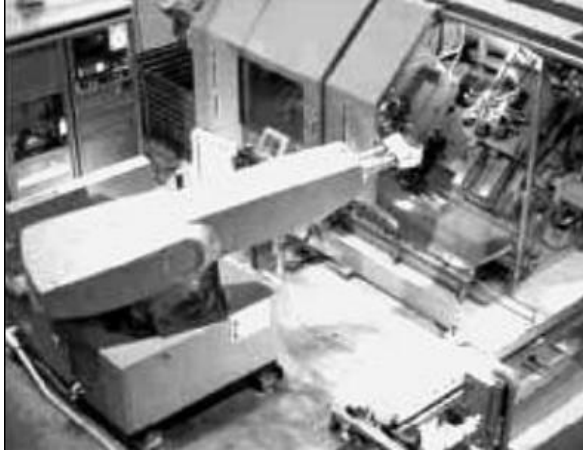


Рисунок 2.15 - Перші промислові роботи-маніпулятори Unimation на заводах автоконцерну General Motors в Нью-Джерсі



Рисунок 2.16 - Робот Versatran



Рисунок 2.17 - Робот Шейки (Shakey)

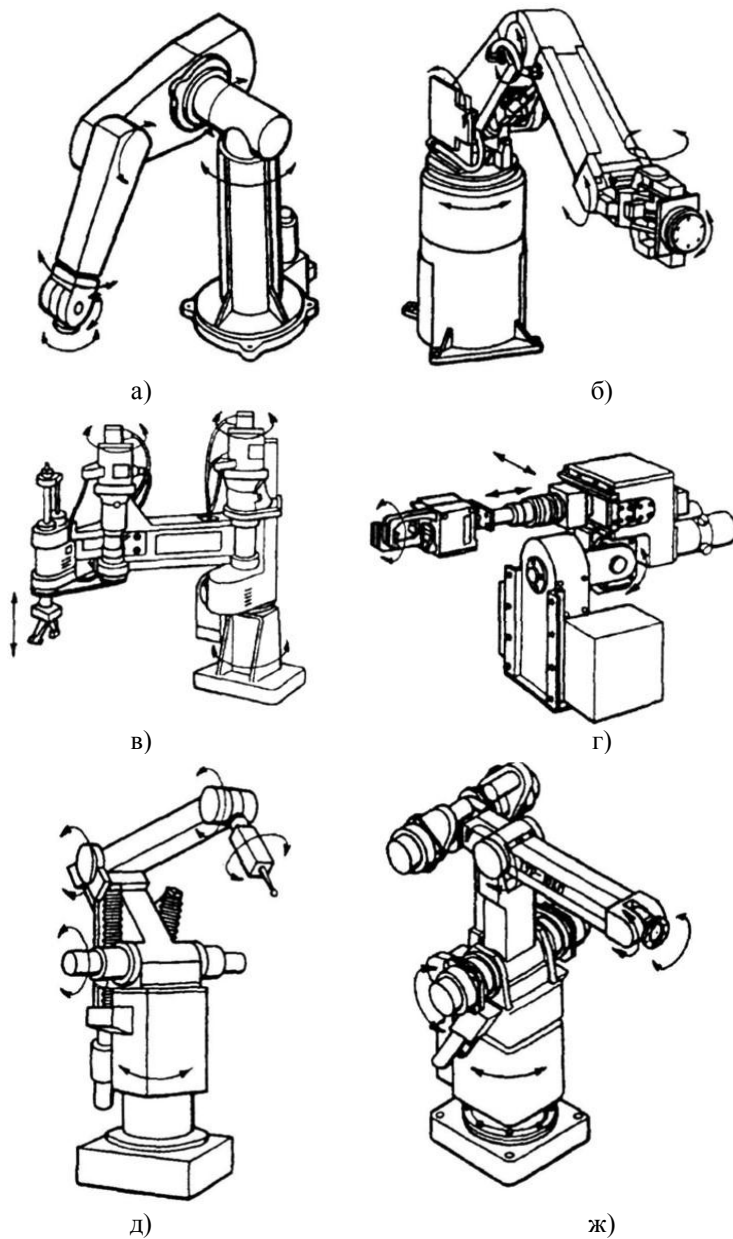


Рисунок 2.18 - Промислові роботи 80-х років XX століття

У 1971 році в Японії був створений експериментальний робот з технічним зором і елементами штучного інтелекту «Хівін», здатний самостійно здійснювати механічне складання простих об'єктів за наданими кресленнями.

У 80-і роки XX століття з'явилися промислові роботи з розвиненим відчуттям, включаючи технічний зір, і з мікропроцесорним управлінням. Це роботи «Пума-500» (рис. 2.18, а) і «Шинцинаті» (рис. 2.18, б) - США, SR-2 (рис. 2.18, в) і Fanuc-0 (рис. 2.18, г) - Японія, IRB-6 (рис. 2.18, д) - Швеція, ТУР-10КМ (рис. 2.18, ж) - СРСР та ін.

Знадобилося понад 40 років наполегливої праці вчених та інженерів, щоб створені пристрої стали розробляти і використовувати для полегшення фізичної і розумової праці людини, збільшення її продуктивності, заміни людини в побутовій сфері: прання білизни, прасування, миття посуду і т.п., а також для передачі інформації про стан і роботу різного технологічного устаткування, штучних супутників Землі і Місяця, підводних апаратів.

У статті з журналу «Machinery magazine», присвяченій появі роботів на заводах США, повідомлялося, що в американській металообробній промисловості з'явився новий тип робітника. Він не перебуває в профспілці, не п'є кави в обідню перерву, працює 24 години на добу і не цікавиться пільгами або пенсійною оплатою. Він освоює нову роботу за кілька хвилин і завжди виконує її добре. Він ніколи не скаржиться на спеку, пил і запахи і ніколи не вимагає підвищення на роботі. Він - промисловий робот.

Спочатку основне застосування роботи знайшли в машинобудуванні. Але поступово сфера їхньої діяльності розширилася. В даний час їх застосовують в різних областях промислової сфери: будівництві, медицині, металургії, гірничій справі, в космосі, під водою, тощо. Вони виконують різні операції:

- основні - пов'язані безпосередньо з виконанням основних технологічних операцій (складання, зварювання, фарбування, механообробка і т.п.);
- допоміжні - не пов'язані безпосередньо з виконанням основних технологічних операцій, тобто виконують підйомно-транспортні операції (установка заготовок на обробне обладнання та зняття готових деталей, завантаження і розвантаження складів і т.п.).

Залежно від призначення робота, середовища, в якому він пра-

цює, необхідного контакту з людиною, сучасні промислові роботи, в порівнянні з образом, створеним за останнім часом засобами масової інформації, здаються примітивними. Так роботи, які використовуються в атомній промисловості схожі на танки, забезпечені свинцевим захистом, а роботи, призначені для роботи під водою, мають обтічну форму.

Основним напрямком застосування роботів є гнучкі автоматизовані виробництва, початок яким було покладено в 1955 році з появою верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПУ). Однак тільки в 1970 році з появою нового обладнання з ЧПУ, оснащеного процесором і керованого безпосередньо від ЕОМ, гнучкі автоматизовані виробництва стали застосовуватися в промисловості. І тільки об'єднання технологічного обладнання з програмним управлінням, мікропроцесорів, як універсальних гнучких засобів для обробки інформації, і роботів, як універсальних гнучких засобів для маніпуляційних дій, необхідних для виконання основних технологічних операцій і різних допоміжних операцій з обслуговування основного технологічного устаткування, призвело до широкого поширення гнучких автоматизованих виробництв в світі.

Наступним етапом втілення в життя гнучких автоматизованих виробництв є включення їх до складу автоматизованої технологічної підготовки виробництва, коли вони об'єднані спільною системою управління і планування виробництва в цілому.

В СРСР перші результати по створенню і практичного застосування роботів відносяться до середини 60-х років. Одним з піонерів вітчизняної робототехніки є В.С. Кулешов. Починаючи з 1962 року, вся його наукова і педагогічна діяльність пов'язана зі становленням і розвитком цього найважливішого напрямку сучасної науки і техніки. Дипломний проект В.С. Кулешова був присвячений створенню дистанційно керованих маніпуляторів для космічних кораблів «Восток».

Ця принципово нова задача була поставлена Головним Конструктором академіком С.П. Корольовим перед групою дипломників на початку 60-х років. В.С. Кулешовим вперше сформульовані і розроблені принципи побудови систем дистанційного і дистанційно-автоматичного керування маніпуляторами. Він є творцем наукових основ проектування систем двосторонньої дії, найбільш ефективних при виконанні маніпуляційних операцій в недетермінованих умовах екстремальних середовищ.

У 1966 році у Воронежі, в інституті ЕНІКмаш, був створений автоматичний маніпулятор з циклових управлінням, який міг переносити і укладати металеві листи. У 1968 році в інституті океанології Академії наук СРСР було створено перший підводний маніпулятор, керований від ЕОМ. У 1971 році з'явилися перші промислові роботи з позиційним керуванням: УМ-1, створений під керівництвом П.М. Беляніна і Б.Ш. Родина, «Універсал-50» - під керівництвом Б.М. Сурніна, УПК-1 - під керівництвом В.І. Аксьонова.



Рисунок 2.19 - Робот на даху Чорнобильської АЕС,
під час ліквідації наслідків аварії, 1986 рік

В цьому ж році в Ленінградському політехнічному інституті був створений експериментальний зразок інтегрального робота, забезпеченого розвинуеною системою відчуття.

Ряд великих науково-виробничих об'єднань і заводів стали випускати промислові роботи серійно:

- РМ-01 - Мінське НВО «Гранат»;
- ТУР-10км - Могильовський завод «Техноприбор»;
- Електроніка НЦТМ-01 - Зеленоградському НВО «Елеон»;
- М-10П - Московський завод «Червоний пролетар».

У ці й наступні роки проблемою робототехніки стали займатися

наукові і конструкторські організації: МВТУ ім. Баумана, Інститут машинознавства, Інститут прикладної математики, Інститут проблем управління, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, Горьковський автомобільний завод, Московський завод «Хромотрон» та ін.

До 1990 року було освоєно виробництво близько 50 типів промислових роботів загальним обсягом понад 8 тисяч. У ряді галузей були створені роботизовані ділянки по металообробці, штампуванню, фарбуванню, складанню та ін.

З розпадом СРСР виробництво роботів в СНД практично припинилося. Поодинокі підприємства випускають роботів для своїх потреб, але серійного виробництва роботів немає.

Термін «мехатроніка» був введений японською фірмою Yaskawa Electric в 1969 році і зареєстрований як торгова марка в 1972 році. Цю назву отримано від комбінації слів «МЕХАніка» і «елеКТРОНІКА».

У вітчизняній технічній літературі ще в 1950-х роках використовувався подібним же чином утворений термін «механотрони». Так називалися електронні лампи з рухомими електродами - які застосовувалися в якості датчиків малих переміщень, швидкостей і вібрації.

Починаючи з 80-х років у світовій технічній літературі починають застосовувати термін «мехатроніка» як назву класу машин з комп'ютерним управлінням руху. Спочатку мехатронними пристроями вважали тільки регульовані електроприводи.

Потім сюди стали відносити автоматичні двері (рис. 2.20), торгові автомати (рис. 2.22), мобільні пристрої і фотокамери з автофокусуванням (рис. 2.21). У 1980-х роках клас мехатронних пристроїв поповнився верстатами з числовим програмним управлінням (рис. 2.23), промисловими роботами.

В останнє десятиліття дуже велику увагу приділяють створенню мехатронних пристроїв для сучасних автомобілів, нового покоління технологічного обладнання (верстатів з паралельною структурою, роботів з інтелектуальним управлінням), мікромашин, жорстких дисків комп'ютерів (рис. 2.24) та офісної техніки (рис. 2.26) .

Мехатроніка також знайшла активне застосування в сфері побутової електроніки. Мехатронними пристроями є програвачі дисків Blu-ray (рис. 2.25), установки для оформлення концертів і масових виставищ (рис. 2.27), швейні (рис. 2.28) і пральні машини (рис. 2.29).



Рисунок 2.20 - Автоматичні двері



Рисунок 2.21 - Цифровий фотоапарат



Рисунок 2.22 - Торговий автомат



Рисунок 2.23 - Станок з ЧПУ



Рисунок 2.24 - Жорсткий диск

У медичній техніці теж широко застосовують мехатронні при-

строї. Так яскравим прикладом медичного мехатронного пристрою є комп'ютерний томограф (рис. 2.30).



Рисунок 2.25 - Програвач дисків Blu-ray



Рисунок 2.26 - Офісна техніка



Рисунок 2.27 - Проектор



Рисунок 2.28 - Швейна машина



Рисунок 2.29 - Пральна машина



Рисунок 2.30 - Комп'ютерний томограф

У ньому здійснюється переміщення столу з пацієнтом по двох

координатах із заданою швидкістю і в залежності від обсягу обстежуваної ділянки тіла, обертання кільцевого рентгенівського випромінювача, сканування та обробка отриманих кольорових рентгенівських зображень.

Важливо підкреслити, що поштовхом для становлення мехатроніки стали не загальні теоретичні ідеї, а технічні досягнення інженерів-практиків в різних галузях. В кінці 1980-х років зацікавлені в розвитку мехатроніки організації стали об'єднуватися в науково-технічні співтовариства.

У Росії координацію науково-технічних робіт в області мехатроніки здійснює Асоціація інноваційного машинобудування і мехатроніки. Вона об'єднує понад 30 російських наукових і виробничих підприємств. Основне завдання асоціації - організація та сприяння в реалізації науково-виробничих проєктів, в тому числі міжнародних, зі створення перспективного промислового обладнання і легких видів транспорту на базі мехатронних модулів. Аналогічні організації існують у багатьох країнах Європи. Найавторитетніша з них UK Mechatronics Forum (Великобританія).

У світі активно видають наукову і навчальну літературу в області мехатроніки. Перша монографія російською мовою японських фахівців Т. Ісії, І. Сімоєма, Х. Іноуе «Мехатроніка» була видана в 1988 році ще в Радянському Союзі.

Останніми роками вчені США, Європи та Азії щорічно випускають у світ по кілька книг з аналогічною назвою. Багато з цих книг витримали вже кілька видань, що говорить про великий інтерес читачів до мехатроніки. Невеличка бібліографія останніх наукових праць з цього напрямку наведена в кінці даного конспекту лекцій.

Окремо слід відзначити видавництво Springer. Адже його європейське відділення публікує щорічні звіти науково-практичних конференцій та збірки наукових праць вчених європейських університетів з напрямків мехатроніки та робототехніки.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть приклади перших «розумних» пристроїв.
2. Що вважається передісторією робототехніки?
3. Коли почали створювати перших людиноподібних роботів?
4. Чим знаменитий французький механік Жак Вокансон?
5. Як було утворено слово «андроїд»?

6. Що являли собою перші керовані автомати?
7. Назвіть видатних російських механіків 18-19 ст. та їхні розробки.
8. Що означає термін «автоматичне керування»?
9. Коли був вперше використаний термін «зворотний зв'язок»?
10. Назвіть найперший з відомих пристроїв зі зворотним зв'язком.
11. Поясніть принцип дії водяного годинника як системи з автоматичним регулюванням.
12. На чому був заснований принцип дії датчика температури американця Вільяма Генрі?
13. Що стало головним винаходом в області управління швидкістю вітряних млинів і парових машин?
14. Поясніть принцип дії регулятора швидкості обертання парової машини.
15. Чим була обумовлена необхідність створення математичних моделей фізичних пристроїв?
16. Назвіть вчених які внесли великий вклад у розвиток математичних методів моделювання, аналізу та синтезу систем управління.
17. Чим характеризується розвиток транспортних мехатронних систем у другій половині XVIII століття?
18. Назвіть технічні рішення які спочатку застосовували на парових візках а потім і на автомобільному транспорті.
19. Ким і коли був вперше запропонований термін «робот»?
20. Назвіть «три закони робототехніки».
21. Коли з'явилися перші роботи з яких почалася сучасна робототехніка?
22. Де і коли був вперше розроблений експериментальний макет рухомого робота з розвиненою системою сенсорного забезпечення?
23. В яких областях сьогодні вже застосовують роботів?
24. Кого вважають одним з піонерів робототехніки в СРСР?
25. Коли і ким був вперше введений термін «мехатроніка»?
26. Наведіть приклади побутових мехатронних систем.

ЛЕКЦІЯ № 3. СУЧАСНІ МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ В РІЗНИХ СФЕРАХ ЛЮДСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

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

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

Загальна класифікація роботів.

Діючи по заздалегідь закладеній програмі й одержуючи інформацію про зовнішній світ від датчиків (аналогів органів почуттів живих організмів), робот самостійно здійснює виробничі та інші операції, зазвичай виконувані людиною (або тваринами). При цьому робот може, як мати зв'язок з оператором (одержувати від нього команди) так і діяти автономно. Зовнішній вигляд і конструкція сучасних роботів можуть бути досить різноманітними. У цей час у промисловому виробництві широко застосовуються різні роботи, зовнішній вигляд яких (із причин технічного й економічного характеру) далекий від «людського». Роботи класифікуються по різних ознаках, в основному по ступеню участі людини в їхньому керуванні й по характеру виконуваних завдань.

1. По ступеню участі людини в керуванні роботом розрізняють два види:

- біотехнічні;
- автономні (або автоматичні).

Біотехнічні роботи.

Це всі дистанційно-керовані роботи, що копіюють рухи оператора; екзоскелети, роботи, керовані людиною з пульта керування, і напівавтоматичні роботи. Керування біотехнічними роботами базується на наступних принципах.

Копіювальні роботи мають наступну керуючу структуру:

- визначальний орган (звичайно маніпулятор), ідентичний виконавчому (з масштабом по розмірах і зусиллям);

- засоби передачі сигналів прямого і зворотного зв'язку;
- засоби відображення для оператора середовища функціонування робота.

Рух визначального органу задається оператором, копіюється з точністю до масштабного коефіцієнта виконавчим органом, за допомогою відстежуючих систем двосторонньої дії.

Екзоскелети – це антропоморфні конструкції, які звичайно «одягаються» на руки, ноги або корпус людини й служать для відтворення (копіювання) її рухів з деяким масштабним коефіцієнтом по зусиллях. Екзоскелети найчастіше мають кілька десятків ступенів волі. Подібно до копіювальних роботів, вони управляються за допомогою відстежуючих систем двосторонньої дії.

Роботи, керовані з пульта керування. На пульті – система клавіш або рукояток і засоби відображення інформації. Рух роботів задається людиною з пульта керування через систему виконавчих приводів.

У **напіваавтоматичних роботах** ручне керування сполучається з автоматичним. Використовується, коли заздалегідь жорстко запрограмувати всі потрібні операції неможливо, а оснащувати робота штучним інтелектом недоцільно або неможливо. До напіваавтоматичних також відносяться роботи із supervisory керуванням: коли оператор втручається в дії робота шляхом повідомлення йому додаткової інформації (наприклад, за допомогою цілевказівки, вказівки необхідної послідовності дій і т.п.).

Автономні роботи.

Інший важливий клас роботів – це роботи з **автономним**, або **автоматичним керуванням**. Такі роботи після їхнього створення й налаштування можуть, у принципі, функціонувати й без участі людини. Типовий приклад – роботи з елементами штучного інтелекту, андроїди.

По типу розв'язуваних роботом завдань також виділяють два класи роботів:

- виробничі роботи;
- дослідницькі роботи.

Виробничі роботи.

Призначені для виконання важкої, монотонної, шкідливої й небезпечної фізичної роботи. Для таких роботів характерна наявність автоматичних виконавчих пристроїв (маніпулятори які імітують рухи

рук людини, самохідні візки з різними типами шасі, тощо).

Виробничі роботи діляться, у свою чергу на кілька різновидів:

- промислові;
- будівельні;
- сільськогосподарські;
- транспортні;
- побутові;
- бойові.

Промислові роботи призначені в основному для автоматизації всіх видів ручних і транспортних операцій у різних галузях промисловості. Найбільше застосування вони знайшли в машинобудуванні й приладобудуванні, у гірничодобувній, нафтохімічній, металургійній і атомній промисловості.

Будівельні роботи дозволяють автоматизувати величезну кількість ручних операцій як допоміжних, так і основних у будівельній справі. Роботизація будівництва сьогодні досить актуальна.

Сільськогосподарські роботи призначені для автоматизації трудомістких і монотонних процесів у сільському господарстві. У цей час починається інтенсивне впровадження таких роботів, що знаменує початок роботизації сільськогосподарського виробництва.

Транспортні роботи призначені для автоматизації керування різними транспортними засобами. Це самохідні візки, крокуючі апарати, автопілоти й авторульові.

Побутові роботи служать для автоматизації операцій, пов'язаних з побутом людини та зі сферою його обслуговування. Найчастіше тут потрібні більш гнучкі й універсальні системи, ніж звичайні автомати. Ці роботи повинні мити посуд, прати, натирати підлоги, готувати їжу, тощо. До побутових роботів відносяться й роботи-іграшки, які здатні імітувати рухи (а іноді й деякі емоції) живої істоти, соціальні роботи.

Бойові (військові) роботи замінюють людину в бойових ситуаціях для збереження людського життя або для роботи в умовах несумісних з можливостями людини у військових цілях. У цей час існує кілька видів бойових роботів. Це безпілотні або з дистанційним керуванням авіаційні, підводні апарати й надводні кораблі, роботи-мінери, роботи-сапери, роботи-розвідники та робот-патрульні. Слід особливо зазначити, що сьогодні бойові роботи управляються людиною, однак є спроби створити й повністю автономного бойового робота - все це

викликає численні й палкі суперечки.

Дослідницькі роботи - служать для пошуку, збору, переробки й передачі інформації про досліджувані об'єкти. Об'єктами можуть бути космос, поверхні планет, підводний простір, підземні порожнини (шахти, печери й т.п.), Арктика й Антарктика, пустелі, заражена місцевість та інші важкодоступні для людини області.

Програми-роботи. Зовсім окремо стоять програми-роботи, які зазвичай називають *ботами*. Вони призначені для автоматизації рутинних завдань і найчастіше використовуються в Інтернеті: пошукові роботи, чат-боти, ісq-боти, тощо.

Класифікація промислових роботів.

Промислові роботи класифікуються по способу керування, по призначенню, по ступеню спеціалізації, по характеру виконуваних операцій, по типу привода, по вантажопідйомності, по кількості маніпуляторів, по швидкодії й точності рухів, по числу ступенів рухливості, по способу розміщення.

По способу керування розрізняють:

- роботи із програмним керуванням, що працюють по заздалегідь заданій незмінній програмі (роботи першого покоління);
- роботи з адаптивним керуванням, які мають засоби відчуття й тому можуть працювати в заздалегідь не регламентованих і мінливих умовах, наприклад, брати довільно розташовані предмети, обходити перешкоди та інше (роботи другого покоління);
- роботи з інтелектуальним керуванням (зі штучним інтелектом), які поряд з відчуттям мають систему обробки зовнішньої інформації, що забезпечує їм можливість інтелектуальної поведінки, подібної до поведінки людини в аналогічних ситуаціях (роботи третього покоління).

Керування рухом по окремих ступенях рухливості може бути безперервним (контурним) і дискретним (позиційним). В останньому випадку керування рухом здійснюють, задаючи кінцеву послідовність точок і наступне переміщення по цих кроках від точки до точки. Найпростішим варіантом дискретного керування є циклове, при якому кількість точок позиціонування по кожному ступеню рухливості мінімальна й найчастіше обмежена двома – початковою й кінцевою координатами.

По призначенню промислові роботи можуть бути розділені на кілька груп. Розрізняють роботи для автоматизації процесів машинобудування, гірничодобувної й нафтової промисловості (обслуговування бурильних установок, монтажні й ремонтні роботи), металургії, у будівництві (монтажні, оздоблювальні, транспортні роботи), у легкій, харчовій, рибній промисловості. В останні роки роботи були впроваджені на транспорті (включаючи створення крокуючих транспортних машин), у сільське господарство, охорону здоров'я й у військовій галузі.

Найбільше поширення в промисловості промислові роботи одержали насамперед **у машинобудуванні**, де їх розрізняють по наступних групах:

- для обслуговування процесів ливарного виробництва (ливарні);
- для автоматизації штампувального виробництва (пресові);
- для обслуговування процесів механічної обробки;
- для обслуговування процесів зварювальних робіт (зварювальні);
- для обслуговування процесів складального виробництва (складальні).

По ступеню спеціалізації всі промислові роботи незалежно від їхнього призначення діляться на три типи: універсальні, спеціалізовані й спеціальні.

- універсальні (багатоцільові) роботи призначені для виконання різних операцій і в тому числі для роботи разом з різними видами технологічного устаткування;
- спеціалізовані (цільові) роботи мають більш вузьке призначення й здійснюють одну певну операцію (наприклад, зварювання, фарбування, обслуговування устаткування певного виду);
- спеціальні роботи виконують тільки одну конкретну операцію (наприклад, обслуговують конкретну модель технологічного устаткування);

По характеру виконуваних операцій усі промислові роботи класифікуються на 3 групи:

- виробничі (технологічні), які виконують основні операції технологічного виробництва й безпосередньо в ньому приймають участь, у якості виробляючих або обробних машин (зва-

- рювальні, складальні і т.д.);
- підіймно-транспортні (допоміжні), які застосовуються для обслуговування основного технологічного устаткування для виконання допоміжних операцій, а також на транспортно-складських операціях;
- універсальні - виконують різномірні основні й допоміжні операції.

По типу приводу. Приводи, використовувані в роботах, діляться на:

- електричний;
- гідравлічний;
- пневматичний;
- пневмо-гідравлічний.

Часто їх застосовують у комбінації, наприклад, у ланках маніпулятора великої вантажопідйомності використовують гідравлічний привод, а в його захватному пристрої – більш простий і малопотужний пневматичний.

По вантажопідйомності промислові роботи діляться на:

- надлегкі – до 1 кг;
- легкі – до 10 кг;
- середні – до 100 кг;
- важкі – до 1000 кг;
- і надважкі – понад 1000 кг.

Вантажопідйомність робота обумовлюється вантажопідйомністю його маніпуляторів, а при наявності декількох маніпуляторів – вантажопідйомністю найбільш потужного з них.

По кількості маніпуляторів промислові роботи бувають:

- одноманіпуляторні (однорукі);
- дворукі;
- трирукі;
- чотирирукі.

У більшості випадків кількість маніпуляторів у роботів обмежено одним. Звичайно маніпулятори багаторукого робота виконують однаковими, але існують конструкції роботів з різними маніпуляторами. Наприклад, промислові роботи для обслуговування пресів холодного штампування із двома різними маніпуляторами: один основний – для узяття заготовки й установки її на прес, та іншої спрощеної конструкції – для виконання більш простої операції зіштовхування готової

деталі в бункер.

Класифікація робіт по швидкодії й точності рухів. Ці параметри взаємозалежні й характеризують динамічні властивості роботів. У робототехніці вони є головними. Швидкодія маніпулятора визначається швидкістю його переміщення по окремих ступенях рухливості. Швидкодію роботів загального застосування можна розбити на три наступні групи:

- мала – при лінійних швидкостях по окремих ступенях рухливості до 0,5 м/с;
- середня – при лінійних швидкостях понад 0,5 до 1 м/с;
- висока – при лінійних швидкостях понад 1 м/с.

Більшість сучасних роботів мають середню швидкодію й тільки 20 % їх загального парку – високу швидкодію. Швидкодія сучасних роботів є поки недостатньою, її потрібно збільшити принаймні вдвічі. Основні труднощі тут пов'язані з відомим протиріччям між швидкодією й точністю.

Точність маніпулятора характеризується результируючою погрішністю позиціонування (при дискретному русі) або відпрацьовування заданої траєкторії (при безперервному русі). Найчастіше точність роботів характеризують абсолютною погрішністю.

Точність роботів загального застосування підрозділяють на три групи:

- мала - при лінійній погрішності від 1 мм і вище;
- середня - при лінійній погрішності від 0,1 до 1 мм;
- висока - при лінійній погрішності менше 0,1 мм.

По числу ступенів рухливості. Число ступенів рухливості – це сума можливих координатних переміщень об'єкта маніпулювання щодо опорної системи.

По способу розміщення промислові роботи бувають стаціонарні й рухливі (пересувні). Підрозділяються на підлогові, підвісні (переміщаються по піднятому рейковому шляху), такі що вбудовуються в інше устаткування (наприклад, у верстат що обслуговується) і т.д. Рухливість робота визначається наявністю або відсутністю в нього пристрою пересування.

Робототехнічні комплекси.

Термін «робототехнічні системи» (РТС) означає технічні системи будь-якого призначення, у яких основні функції виконують роботи. Це гнучкі виробничі системи, у яких автоматично діючі машини, при-

строї, пристосування реалізують усю технологію виробництва, за винятком функції керування й контролю, здійснюваних людиною.

Незважаючи на безперервне розширення сфери застосування мехатронних систем (МС) основною областю їх застосування поки залишається промисловість і, насамперед, машинобудування й приладобудування. Тут з'явилися перші засоби автоматизації й зосереджено до 80 % усього світового парку робототехнічних засобів. У машинобудуванні промислові роботи підрозділяються на технологічні, які виконують основні технологічні операції, і допоміжні, зайняті на допоміжних операціях по обслуговуванню основного технологічного устаткування. Технологічні комплекси з такими роботами називаються роботизованими технологічними комплексами (РТК).

У машинобудуванні до 80 % продукції відноситься до серійного й дрібносерійного виробництва. Для швидкого переходу з однієї моделі виробу на інший, відповідно до вимог ринку, створюються гнучкі автоматизовані виробничі системи (ГВС). ГВС – це система верстатів і механізмів, призначених для обробки різних конструктивно й технологічно подібних деталей невеликими партіями або поштучно без особистої участі людини. Складовими частинами ГВС є підсистеми: технологічна, транспортно-накопичувальна, інструментального обслуговування й автоматизованого керування за допомогою ЕОМ.

Залежно від кількості верстатів у ГВС розрізняють: гнучкий виробничий модуль (ГВМ); гнучку виробничу лінію (ГВЛ); гнучку виробничу ділянку (ГВД); гнучке виробництво цеху (ГВЦ) і заводу (ГВЗ).

Гнучкий виробничий модуль – це технологічна одиниця устаткування (один-два верстати зі ЧПУ), оснащених механізмами автоматичної зміни інструмента, автоматичної зміни заготовок і транспортування їх зі складу до зони обробки за допомогою різних транспортних засобів, наприклад самохідних роботизованих візків.

Цей комплекс пов'язаний з єдиним математичним забезпеченням, що сприяє роботі устаткування в автоматичному режимі з мінімальною участю людини. Головна особливість ГВМ – можливість роботи без участі людини й здатність вбудовуватися в систему більш високого рангу. **Гнучка лінія** складається з декількох модулів, обладнаних транспортною й інструментальною системами й керованих мікро-ЕОМ. **Гнучка ділянка** – різновид ГВЛ; вона відрізняється складом і взаємозамінністю технологічного устаткування й видом транспорту.

Гнучкі модуль, лінія, ділянка що представляють собою самостійні виробничі підрозділи, із взаємозалежним технологічним устаткуванням, є основними ланками для побудови гнучких виробництв більш високого порядку (цеху, заводу).

Таким чином, у ГВС функціонують два потоки ресурсів: матеріальний та інформаційний. Матеріальний потік забезпечує виконання всіх основних і допоміжних операцій процесу обробки предметів: подачу заготовок та інструмента, установку їх на верстатах; механічну обробку деталей; зняття готових деталей і переміщення їх на склад; заміну інструмента і його переміщення; контроль обробки й стану інструмента; збирання стружки й подачу мастильно-охолодної рідини.

Інформаційний потік забезпечує: черговість, строки й кількість оброблюваних предметів, передбачені планами роботи ГВС; передачу програм обробки безпосередньо виконавчим органам верстатів, програм роботи роботів, настановних і пересувних механізмів, програм забезпечення заготовками, інструментом, допоміжними матеріалами, програм керування всім комплексом і обліку його роботи, а також групове керування верстатами, транспортно-накопичувальними механізмами, системою інструментального обслуговування.

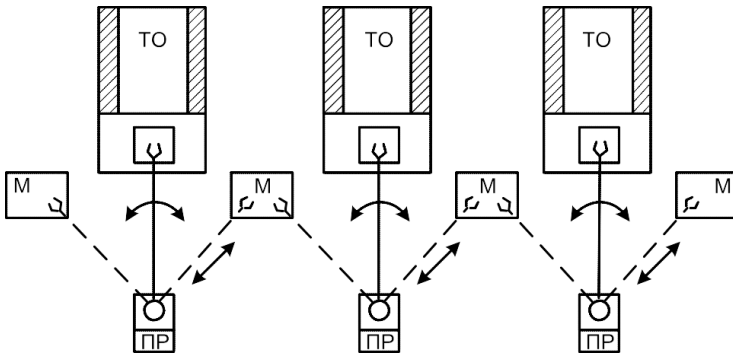
На рис. 3.1 показаний приклад простого лінійного компонування однопотокової роботизованої технологічної лінії холодного штампування з безпосереднім зв'язком між гніздами що утворюють лінію.

У ній відсутня межопераційна транспортна система, а предмети виробництва передаються від одного гнізда до іншого безпосередньо вхідними в них допоміжними ПР. Такі лінії з безпосереднім твердим зв'язком між гніздами прості, однак вимагають певного взаємного розташування основного технологічного устаткування.

Дане компонування характерне для технологічних процесів з малим циклом обробки предметів виробництва на технологічному устаткуванні (одиниці, десятки секунд), що властиво, зокрема, процесам холодно-листового штампування. Для технологічних процесів з більшою тривалістю обробки на технологічному устаткуванні часто застосовують інший тип побудови комплексів з обслуговуванням одним ПР декількох одиниць технологічного устаткування.

На рис. 3.2 показаний варіант такого комплексу із круговим компонуванням, у якому один ПР обслуговує 3 металорізальних верстати, розташованих довкола нього. У міру вдосконалювання МС відбувається стійкий ріст частки ПР, застосовуваних на основних техно-

логічних операціях. Хоча впровадження ПР на основних промислових операціях вимагає значно більших (в 3-4 рази) витрат, ніж на допоміжних операціях, саме тут досягається найбільша ефективність застосування ПР при вивільненні робочих місць.



ТО – основне технологічне обладнання; ПР – промисловий робот;
М – магазин поштучної видачі заготовок

Рисунок 3.1 - Схема однопотокової роботизованої технологічної лінії холодного штампування з лінійним компонованням

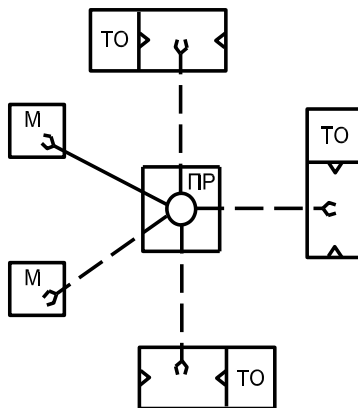


Рисунок 3.2 - Схема роботизованої технологічної ділянки механічної обробки із круговим компонованням

Великий і соціальний ефект у зв'язку зі шкідливістю для людини ряду таких операцій (наприклад фарбування, зварювання) або їх мо-

нотонністю (наприклад, складання на конвеєрі). У машинобудуванні основними типами технологічних комплексів у яких ПР одержали поширення на основних операціях, є комплекси складання, зварювання, нанесення покриттів, шліфування, зачищення, клепки.

Складальні робототехнічні комплекси. Цей тип робототехнічних комплексів за своїм значенням є, мабуть, найбільш важливим. Складальні операції в машинобудуванні становлять до 40 % собівартості виробів, а в приладобудуванні більше – до 50-60 %. Разом із цим, ступінь автоматизації складальних робіт сьогодні досить низька у зв'язку з обмеженими можливостями, які мають тут традиційні засоби автоматизації у вигляді спеціальних складальних автоматів. Тому створення гнучких складальних комплексів на ПР є одним з основних напрямків в автоматизації складальних операцій.

До складальних операцій у приладобудуванні відносяться механічне складання, електричний монтаж, мікроелектронне складання. Процес складання складається з наступних послідовних взаємозалежних операцій:

- завантаження деталей що збираються, у завантажувальній транспортній пристрої (звичайно з їхньою орієнтацією);
- переміщення деталей до місця складання;
- базування, тобто фіксація в строго певній позиції, з орієнтацією деталей на складальній позиції;
- операція складання, тобто сполучення деталей, включаючи закріплення;
- контрольнo-вимірювальні операції в ході складання;
- видалення зібраного вузла зі складальної позиції для переміщення на наступну позицію, якщо складання не закінчене.

Для виконання механічної обробки, не пов'язаної з надвисокими силовими режимами різання, часто застосовують промислових роботів, що безпосередньо виконують процес обробки – тобто «ручна» робота, але у виконанні роботів (рис. 3.3).

Особливо роботи ефективні при роботі з великогабаритними заготовками, складними контурами та іншими завданнями, де антропоморфна кінематика доводить свої максимальні переваги.

Наприклад, обробка пластмасових деталей автомобільної промисловості вимагає ретельної деталізації при проектуванні комплексів, точного виготовлення й монтажу, а також певної гнучкості при введенні в експлуатацію.

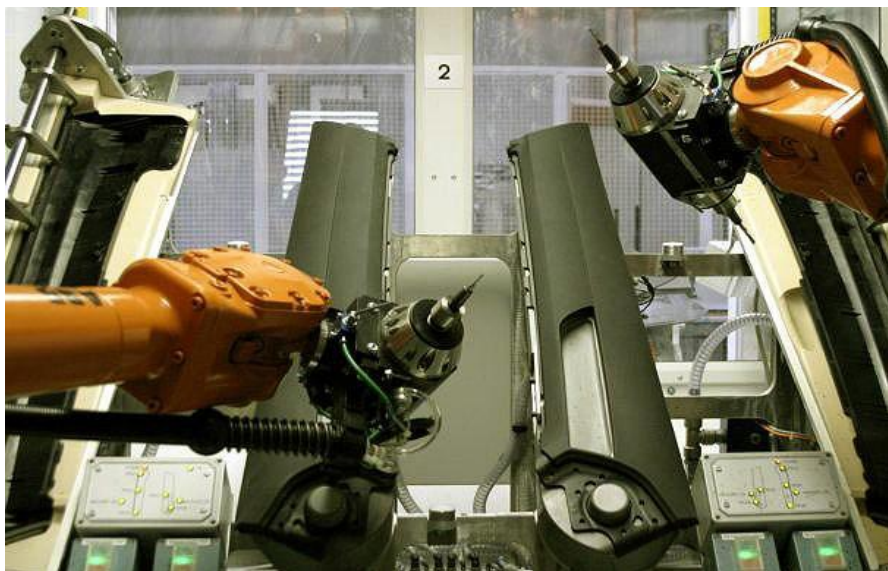


Рисунок 3.3 - Фрезерування лицевальних панелей у робототехнічному комплексі двома роботами

Застосування 3D-системи offline-програмування, планування й моделювання, а також залучення провідних спеціалістів і виробників допоміжного робототехнічного устаткування дає можливість робити робототехнічні комплекси, орієнтовані на потреби й побажання замовників. Робототехнічні комплекси фрезерування відомі своєю еталонною якістю на ринку гнучких рішень процесів різання в робототехніці.

У якості різального інструменту, як правило, застосовують осьовий інструмент, високооборотні фрези, лазерні, плазмові технології. Широко застосовуються робототехнічні комплекси на операціях зварювання, особливо електроконтактного зварювання в автомобілебудуванні. На рис. 3.4 показаний цех зварювання кузова Hyundai Solaris на автоскладальному заводі в Санкт-Петербурзі.

У системі цивільного захисту гнучкі виробничі системи застосовуються для виконання робіт при ліквідації надзвичайних ситуацій в умовах, небезпечних для життя людей. Состав комплексів: шасі, маніпулятор, пересувний пульт керування, система телеспостереження, система підсвічування, система хімічної розвідки (МРК-27Х), система радіаційної розвідки (МРК-45, МРК-46), комплект змінного техноло-

гічного устаткування.



Рисунок 3.4 - Зварювальний цех по складанню автомобільних кузовів

Призначення робототехнічних комплексів, застосовуваних у системі цивільного захисту:

- розвідка території й об'єктів з наявністю вибухонебезпечних предметів (ВНП), ідентифікація й огляд ВНП, визначення їх стану, виконання допоміжних операцій при знешкодженні ВНП та інших небезпечних предметів (радіаційні, хімічні й токсичні речовини);
- проведення піротехнічних робіт, включаючи пошук, знешкодження й транспортування вибухонебезпечних предметів і боєприпасів, ведення розвідки усередині приміщень і на місцевості;
- проведення аварійно-рятувальних і спеціальних робіт в умовах хімічного забруднення, візуальний огляд об'єкта, інструментальна приладова розвідка й визначення рівнів забруднення повітря, відбір проб, у т.ч. ґрунту й води, виконання технологічних операцій по локалізації джерела забруднення;
- ведення радіаційної розвідки, дозиметричного контролю місцевості;
- позначення зараженої зони;

- виявлення й ліквідація джерел підвищеної радіації;
- збір, роздрібнення, контейнування й транспортування небезпечних предметів;
- відбір проб ґрунту й рідини.

На рис. 3.5 показана операція зварювання роботом складального вузла легкового автомобіля на АвтоВАЗі.



Рисунок 3.5 - Виконання роботом операції зварювання

МРК-2 застосовується при дозиметричному контролі на об'єктах зберігання відпрацьованого ядерного палива. Його призначенням є проведення інспекційних перевірок й аварійно-рятувальних робіт. Він здатний виконувати візуальну розвідку; газову, хімічну, радіаційну розвідку місцевості, а також проводити аварійно-рятувальні роботи.

На рис. 3.6 показаний робот-пожежник, що проводить рятувальну операцію під час антитерористичних навчань (працював як з макетами, так і справжніми людьми, що зображують жертв теракту).

Мехатроніка в медицині.

У цей час бурхливо розвиваються високі медичні технології. У багатьох розвинених країнах активно ведуться розробки різних мехат-

ронних пристроїв медичного призначення.



Рисунок 3.6 - Робот робить рятувальну операцію (м. Токіо)

Основні напрямки розвитку медичної мехатроніки – розробка систем для реабілітації інвалідів, виконання сервісних операцій, а також для клінічного застосування. Основні напрямки розвитку медичної мехатроніки представлені на рис. 3.7.

Усе більшу роль відіграють мікророботи, здатні самостійно функціонувати усередині людського організму. Відзначимо, що медичні робототехнічні системи є медичними по своїй суті, поєднуючи в єдине ціле механічні й електронні компоненти, що функціонують у складі інтелектуальної робототехнічної системи.

Нижче розглянуті основні досягнення в області медичної мехатроніки й намічені перспективи її подальшого розвитку.

Роботи для реабілітації інвалідів.

Медичні роботи реабілітації призначені головним чином для вирішення двох завдань: відновлення функцій втрачених кінцівок і життєзабезпечення інвалідів, прикутих до ліжка (з порушеннями зору, опорно-рухового апарата та іншими тяжкими захворюваннями).

Історія протезування нараховує не одне сторіччя, але до мехатроніки безпосереднє відношення мають лише так звані протези з посиленням.

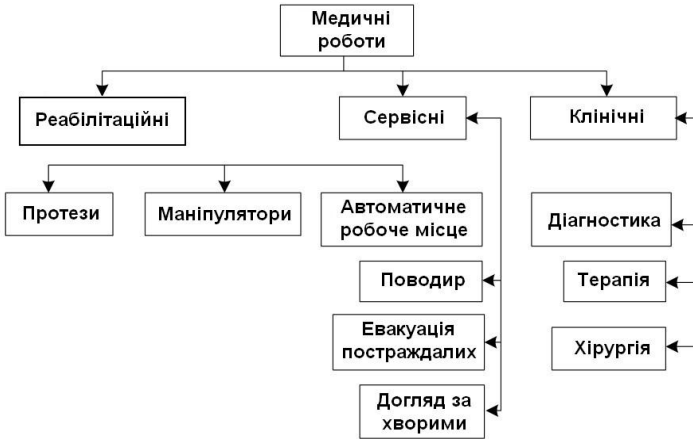


Рисунок 3.7 - Основні напрямки розвитку медичної мехатроніки

Сучасні автоматизовані протези не знайшли широкого застосування через конструктивні й експлуатаційні недосконалості й малу надійність в роботі. Але вже зараз робиться багато чого, щоб поліпшити їхні характеристики за рахунок впровадження в їхню конструкцію нових матеріалів і елементів, таких, як плівкові тензодатчики для керування силою стиску пальців руки-протеза, електронно-оптичні датчики, змонтовані в оправі окулярів для керування протезом руки за допомогою очей пацієнта й т.п.

У Японії розроблена механічна рука, виконавчий орган якої має шість ступенів волі й систему керування протезом. В Оксфорді (Великобританія) створена система керування для маніпуляторів, призначених для протезування, особливістю яких є здатність виконання завдань заздалегідь не запрограмованих. Вони забезпечують обробку сенсорної інформації, включаючи систему розпізнавання мови.

Однією із проблем є формування керуючих сигналів пацієнтом без допомоги кінцівок. Відомі пристрої для допомоги пацієнтам із двома або чотирма ампутованими або паралізованими кінцівками, що приводяться в рух за допомогою електричного сигналу, що виникають у результаті скорочення м'язів голови або тулубу. Розроблена конструкція механічної руки з телесистемою, керування якою здійснюється датчиками на голові хворого, що реагують на рух голови або брів, що й подають сигнали мікропроцесору, що управляє виконавчим ор-

ганом маніпулятора.

Для вирішення завдань життєзабезпечення нерухливих хворих створені різні варіанти роботизованих систем. Якісно новим конструктивним рішенням є антропоморфна рука-маніпулятор, змонтована на інвалідній колясці й керована ЕОМ.

Важливою проблемою, пов'язаною з реабілітацією інвалідів, є створення для них робочих місць. У Великобританії розроблене автоматизоване робоче місце для інвалідів з порушеннями опорно-рухової системи. Робот являє собою маніпуляційну систему, яка управляє мовними командами оператора; він здатний за бажанням пацієнта вибирати музичні диски, книги, перевертати аркуші книги, що читається, перемикає периферійні пристрої комп'ютера, набирати номери телефонів. Такі заходи забезпечують пацієнтам можливість спілкування один з одним і сприяють їхньому усвідомленню себе як повноправного члена суспільства.

У США було розроблено автоматизоване робоче місце з антропоморфною рукою-маніпулятором для інвалідів, що страждають важкою формою порушення опорно-рухової системи. Пацієнт із мінімальним рівнем підготовки може управляти роботом, призначеним для приймання їжі, питва, догляду за волоссям, чищення зубів, читання, користування телефоном, а також для роботи на персональному комп'ютері. Контролер, розміщений під підборіддям пацієнта, для керування автоматизованим робочим місцем може монтуватися на інвалідній колясці або на столі робочого місця. Це робить, зокрема, можливим використання великого числа автоматизованих робочих місць для одночасної годівлі групи пацієнтів.

Сервісні роботи.

Медичні роботи сервісного призначення покликані вирішувати транспортні завдання по переміщенню пацієнтів, різних предметів, пов'язаних з їхнім обслуговуванням і лікуванням, а також виконувати необхідні дії по догляду за хворими, прикутими до постелі.

Впровадження в систему охорони здоров'я роботів цієї групи дозволить звільнити медперсонал від рутинної допоміжної роботи, надавши йому можливість займатися своїми професійними справами.

Розроблений робот, що виконує функції, пов'язані з додаванням великих зусиль – транспортування, укладення хворих і т.п. Робот являє собою електрогідравлічну систему з автономним джерелом живлення. Можливість управляти роботом надається як пацієнтові, так і

медперсоналу. Він оснащений сенсорною системою.

У Великобританії розробляється роботизований пристрій, здатний виконувати операції по перекиданню лежачих важкохворих з метою усунення в них пролежнів. У результаті з'являється можливість усунути змушені втрати й звільнити медсестер від виконання цієї виснажливої роботи. Такі пристрої дозволяють, зокрема, одному медпрацівникові мити у ванні важкохворих, не прибігаючи до допомоги інших співробітників.

У Японії розроблений зразок мобільного робота – поводири Meldog для сліпих, що представляє собою невеликий транспортний чотириколісний повнопривідний візок, система керування якого оснащена системою технічного зору та ЕОМ. В пам'ять ЕОМ записаний маршрут руху в межах даного населеного пункту. Одні датчики робота по місцю розташування стін будинків і обраних опорних точок ідентифікують вуличні перехрестя, інші виявляють дорожні перешкоди. По сигналах з датчиків бортова ЕОМ робота виробляє стратегію подолання перешкод. Робот – поводитир управляє рухом сліпого пацієнта за допомогою елементів зв'язку.

Впровадження транспортних мобільних роботів в інфраструктуру медичних установ значно полегшить вирішення питання про нестачу молодшого медичного персоналу.

Основними видами транспортувальних робіт, які передбачається доручати медичним мобільним роботам, є: централізована доставка медичних матеріалів і устаткування, лотків і піддонів з їжею для пацієнтів, лабораторних аналізів, готових медикаментів, пошти для хворих, а також утилізація й транспортування матеріалів і відходів зі службових приміщень.

У Канаді ведуться дослідження зі створення медичного мобільного робота автономного керування з високими тактико-технічними характеристиками. З метою забезпечення високої функціональної надійності система керування робота оснащена резервною системою керування, а також системою самодіагностики, здатної в автоматичному режимі визначати відмови в системі керування та їх причини.

У Японії для транспортування лежачих хворих у межах госпіталю розробляється медична мобільна робототехнічна система, що представляє собою дистанційно керований транспортний візок. Робот оснащений пристроєм для перекладки хворого з лікарняного ліжка на транспортувальний засіб.

За останні роки підвищився інтерес до мобільних госпітальних роботів і в ряді європейських країн. У Франції та Італії ряд провідних робототехнічних і електронних компаній почали розробку роботизованих систем для транспортування продуктів, як у госпіталі, так і в офісі. Ведуться роботи зі створення роботів для евакуації поранених із зон природних і техногенних катастроф.

Клінічні роботи - призначено для вирішення трьох головних завдань: діагностики захворювань, терапевтичного й хірургічного лікування. Передбачається, що масова поява медичних приладів різного призначення, керованих ЕОМ, вплине на лікарську практику.

Ряд існуючих **діагностичних систем** із зображенням на екрані досліджуваної області (наприклад, томографічний прилад, керований від ЕОМ), уже використовує елементи мехатроніки й робототехніки.

Існує кілька різновидів **комп'ютерних томографів**, що відрізняються видом енергії, використовуваної для одержання зображення внутрішніх органів (тут розглянутий рентгенівський томограф).

Томограф створює цифрове зображення шляхом виміру інтенсивності рентгенівських променів, що пройшли через тіло під час обертання рентгенівської трубки навколо пацієнта. Коефіцієнт поглинання віялового пучка рентгенівських променів в об'єкті вимірюється за допомогою набору з декількох сотень або декількох тисяч рентгенівських детекторів (звичайно твердокристалічних). Детектори збирають інформацію в кожній із проекцій, яка потім оцифровується й аналізується комп'ютером. На основі отриманих даних комп'ютер реконструює поперечне зображення органу. Це зображення має цілий ряд переваг перед звичайним рентгенівським знімком, включаючи можливість вибору потрібної проекції, а також високу здатність до передачі об'єктів з низькою контрастністю, яка в комп'ютерних томографів значно вища, ніж в інших методах побудови рентгенівського зображення.

Рентгенівські томографи складаються з наступних основних частин: скануючого пристрою, рентгенівської системи, механізму повороту рентгенівської трубки, пульта керування й ЕОМ.

Скануючий пристрій являє собою кругову рамку, у яку вмонтована обертова рентгенівська трубка й велика кількість сприймаючих детекторів. При томографії нерухливого об'єкта, рентгенівська трубка за допомогою спеціального приводу робить круговий рух усередині рамки, при цьому випромінюється тонкий пульсуючий пучок рентгенівського випромінювання, що проходить через об'єкт під різними

кутами. Пройшовши через м'які тканини рентгенівське випромінювання реєструється сприймаючими датчиками, інформація з яких надходить для обробки в ЕОМ. При цьому розраховуються коефіцієнти поглинання рентгенівського випромінювання в кожній точці зрізу. Після складної математичної обробки прийнятої інформації одержують плоске зображення досліджуваного зрізу органа.

Рентгенівська система складається із трубки й генератора. Рентгенівська трубка працює в імпульсному режимі із частотою імпульсів 50 Гц при напрузі 100-130 кВ. Трубка має подвійне охолодження: сама трубка охолоджується маслом, масло у свою чергу охолоджується водою або вентилятором. Трубка живиться від високовольтного генератора, що працює в імпульсному режимі.

Пульт керування є важливою ланкою комп'ютерного томографа. Він безпосередньо зв'язаний зі скануючою системою та ЕОМ. До складу пульта входять два відеомонітори, один з яких текстовий, а інший призначений для зображення зрізів. Програма сканування визначає товщини зрізів, їхню кількість, швидкість та крок сканування, кількість знімків, тощо. За допомогою світлового пера лікар може в цифровому виді одержати інформацію про оптичну щільність ділянки зрізу яка цікавить, виміряти відстані між заданими точками зображення зрізу для оцінки розміру органа або патологічного вогнища.

У Японії запатентований *мікроманіпулятор*, призначений для проведення медичних і біологічних досліджень на клітинному рівні, що дозволяє вимірювати електричний опір клітки, робити мікроін'єкції в клітку медичних препаратів і ферментів, міняти конструкцію клітки й витягати її вміст.

Іншою областю застосування роботів є *радіотерапія*, де вони використовуються при проведенні заміни декількох дорогих стаціонарних радіоактивних джерел у багатопромених установках з метою зниження рівня радіаційної небезпеки для медичного персоналу. Проводяться також роботи зі створення робота-масажера.

Існує ряд складних *хірургічних операцій*, виконання яких стримується відсутністю досвідчених хірургів, оскільки такі операції вимагають високої точності виконання. Наприклад, у мікрохірургії ока існує така операція, як радіальні розрізи рогової оболонки (radial keratotomy), за допомогою якої можна коректувати фокусну відстань ока при усуненні короткозорості. Ідеальна глибина надрізу оболонки ока повинна не перевищувати 20 мкм. Досвідчений хірург при прове-

денні цієї операції може виконувати надрізи на глибину 100 мкм. У Канаді розробляється медичний робототехнічний комплекс, здатний робити високоточні надрізи на очній роговиці й забезпечувати потрібну кривизну ока. Іншим прикладом виконання хірургічних операцій високої точності є мікронейрохірургія. У Великобританії вже розроблений медичний робот для мікрохірургії мозку.

Створений у США медичний робот з маніпулятором «Пума» продемонстрував можливість добування шматочка тканини головного мозку для проведення біопсії. За допомогою спеціального скануючого пристрою із тривимірною системою відображення інформації визначалися місце й швидкість уведення двоміліметрового свердла для забору зразків мозкової тканини.

У Франції розробляється медичний робот-асистент для надання допомоги при проведенні хірургічних операцій на хребті, коли будь-яка помилка хірурга може привести до повної паралізації пацієнта. У Японії створений медичний робот продемонстрував можливість трансплантації роговиці ока, узятій в мертвого донора.

До переваг медичних роботів відноситься їхня здатність відтворювати необхідну послідовність складних рухів виконавчих інструментів. У Великобританії продемонстрований медичний робот – тренажер для навчання лікарів і моделювання процесів хірургічних операцій на простаті, у ході яких проводиться серія складних надрізів у різних напрямках, послідовність виконання яких важка для запам'ятовування й виконання.

У США запатентована роботизована система для допомоги хірургові при виконанні операцій на кістках. Дана система застосовується в ортопедичних операціях, при яких найважливішим є точне позиціонування інструмента щодо колінного суглоба.

Усі зміни на кістці відображаються на екрані монітора. В операційній цей екран покривається стерильною плівкою, що дозволяє хірургові безпосередньо управляти хірургічним операційним процесом. Програми операцій базуються на геометричних співвідношеннях між параметрами протеза, параметрами кісткових розрізів і осями свердлення отворів. Робот буде переміщати інструмент по певних позиціях у відповідних площинах.

В останні роки в області автоматизації хірургічних процесів з'явилися повідомлення про спроби створення роботизованих систем для дистанційної хірургії за допомогою телевізійних установок, коли

хірург і пацієнт розділені великими відстанями.

До числа найбільш актуальних завдань відноситься **діагностика й хірургія судинних захворювань**. У Японії, Італії, Росії ведуться роботи зі створення мобільних мікророботів, призначених для руйнування атеросклеротичних відкладань у кровоносних судинах. Передбачається, що мобільні мікророботи будуть працювати в автоматичному режимі, переміщаючись по анатомічному руслу кровоносної системи. Система включає артеріальний носій – мікроробот, здатний переміщатися по кровоносному руслу й оснащеному ультразвуковим мікродатчиком, а також необхідним робочим інструментом.

У Канаді проводяться експериментальні дослідження телеоператора-робота для лапароскопічних операцій.

На рис. 3.8 показано, як хірурги за допомогою робота по імені Да Вінчі роблять операцію по видаленню грижі в університетській клініці в Женеві, Швейцарія. В 2008 році було відкрите відділення для роботизованої хірургії, де до 80 хірургів з різних країн миру мали можливість випробувати такий метод.



Рисунок 3.8 - Хірургічна операція при участі робота

Відзначимо, що клінічні робототехнічні системи є ергатичними, тобто функціонують при участі оператора. Такі робототехнічні системи дозволяють не тільки відмовитися в ряді випадків від традиційних медичних технологій, але й суттєво полегшити умови праці хірурга й лікаря-діагноста. На рис. 3.9 показаний доктор Кліффорд (уролог) за

штурвалом робота Да Вінчі в лікарні міста Мілтон штату Массачусетс.



Рисунок 3.9 - Доктор-Уролог за штурвалом робота

Система робота складається із трьох основних частин – панель керування для роботи оператора-лікаря, де зосереджене основне керування роботом, приладова дошка й основний модуль – операційна панель із 4-ма маніпуляторами. Медична мехатроніка перебуває в стані швидкого підйому, темпи якого значно вищі, ніж у традиційних областях мехатроніки. Але є фактори, що стримують застосування мехатронних пристроїв у медичній практиці.

Найважливішим серед них є психологічний фактор, що викликає відторгнення ідеї застосування мехатроніки для настільки делікатної сфери, як організм людини. Його подолання вимагає відношення до мехатроніки, у першу чергу, як до засобу, інструмента медичної практики лікаря, хірурга. Необхідно звернути увагу на забезпечення надійності мехатронних систем та їх безпеку для пацієнта.

Іншим стримуючим фактором є роз'єднаність і неповне взаємне розуміння фахівців в області техніки й медицини. Ця обставина вимагає підготовки фахівців нового типу, що володіють не тільки інженерними знаннями, але й добре знайомими з особливостями медичних технологій.

Штучне серце. Сьогодні не вдається повністю задовольнити потребу в донорському серці, тому актуальним залишається завдання по створенню автономних портативних імплантованих пристроїв типу «штучне серце». Такі пристрої складаються із джерела живлення й рушія-перетворювача, до якого часто додається проміжний перетворювач рухів, що забезпечує передачу енергії на робочий або виконавчий орган, і комп'ютерної системи керування, що регулює роботу пристрою.

Периферійні пристрої комп'ютерів як мехатронні об'єкти.

Периферійними пристроями комп'ютера (пристроями введення – виводу або зовнішніми пристроями) називаються пристрої, за допомогою яких в ЕОМ вводиться інформація для її наступної обробки, а також виводяться проміжні й остаточні результати, її обробка у формі, доступній для сприйняття людиною й використання для керування об'єктами. Такі пристрої являють собою блоки, зовнішні стосовно процесора.

Деякі периферійні пристрої комп'ютера містять тільки електронні вузли й компоненти (монітори, модеми, звукові карти, додаткові блоки оперативної пам'яті, інтерфейси для зв'язку з об'єктами керування). Деякі з них крім електронних систем мають найпростіші механічні вузли (клавіатура, миша), а частина має складну механічну систему зі своїм мікропроцесорним керуванням (принтери, плоттери, дискові пристрої, накопичувачі інформації на оптичному диску). Останні для забезпечення точності, і швидкодії роботи механічних вузлів поставлені великою кількістю аналогових і цифрових датчиків і найчастіше інтелектуальними системами керування. Такі пристрої є типово мехатронними об'єктами.

Одним з найбільш складних мехатронних об'єктів серед периферійних пристроїв комп'ютерів є накопичувач інформації на оптичному диску. Типовий DVD-дисковод складається із плати електроніки, шпиндельного двигуна, механічної системи оптичної зчитувальної головки й механізму завантаження диска.

На платі електроніки розміщені всі керуючі схеми дисководу, інтерфейс із контролером, рознімання інтерфейсу й двоконтактне рознімання виходу звукового сигналу. Шпиндельний двигун служить для приведення диска в обертання з постійною або змінною лінійною швидкістю. Збереження постійної лінійної швидкості вимагає зміна кутової швидкості диска залежно від положення оптичної головки.

При пошуку фрагментів він може обертатися швидше, чим при зчитуванні даних, тому двигун має гарну динамічну характеристику.

На осі шпинделя закріплена феромагнітна підставка, поверхня якої звичайно покрита гумою або м'яким пластиком для запобігання проковзування компакт-диска. Після завантаження диск притискається до підставки за допомогою розташованої зверху шайби з постійним магнітом.

Система оптичної головки включає саму головку й механізм її переміщення. У головці розміщені: випромінювач, виконаний на основі інфрачервоного лазерного світлодіода, пристрій фокусування, фотоприймач і попередній підсилювач. Пристрій фокусування являє собою рухливу лінзу, що приводиться в рух електромагнітною котушкою, яка аналогічна застосовуваний в гучномовці. Зі зміною напруженості магнітного поля лінза зрушується й відбувається перефокусування лазерного променя. Завдяки малій інерційності така система ефективно відслідковує вертикальні биття диска. Точність фокусування ± 1 мкм (при діаметрі світлової плями 0,9 мкм).

Механізм переміщення оптичної головки має власний двигун, що приводить у рух каретку з головкою за допомогою зубчастої або черв'ячної передачі. Для виключення люфту передбачене з'єднання з початковою напругою (для черв'ячної передачі це підпружинені половини веденої шестірні). Точність переміщення по координаті трекинга (по радіусу) – 0,1 мкм.

Пристрій завантаження диска може виконуватися з використанням висувного лотка й завантаження шляхом прямої вставки диска в прийомну щілину накопичувача. У всіх цих випадках накопичувач містить двигун для втягування-висування лотка, а також пристрій для переміщення рами, на якій закріплена вся механічна частина разом зі шпинделем і приводом оптичної головки, у робоче положення, коли диск лягає на підставку.

Система керування побудована на однокристальній мікро-ЕОМ, яка контролює й координує роботу всіх пристроїв накопичувача DVD-ROM, видаючи команду на виконання наступної операції тільки після успішного завершення попередньої.

Мехатронні системи в побуті.

Побутові (домашні) роботи призначені для автоматизації різних операцій як безпосередньо в побуті людини, так і в сфері обслуговування. Ці роботи покликані реалізувати найважливіше соціальне за-

вдання суспільства – вивільнення часу людини для духовного життя.

Створення побутових роботів – досить складне наукове й інженерне завдання, тому що тут необхідні гнучкі універсальні системи, тобто чутливі роботи з елементами інтелекту, здатні самостійно виконувати різні, на перший погляд прості роботи – готування їжі, миття посуду, прибирання приміщень, шиття й ремонт одягу, догляд за дітьми, навчання різним навичкам, розвага людей та ін., але вони зовсім не піддаються твердій регламентації. Особливу роль відіграють робототехнічні й кібернетичні системи, що забезпечують безпеку й контроль стану житла (так званий «Розумний будинок»).

До добре розроблених, і таких що міцно ввійшли в наше домашнє життя мехатронних систем, можна віднести пральні машини з мікропроцесорним керуванням, які на основі аналізу забруднення білизни самостійно вибирають режими роботи, музичні центри з безліччю сервісних функцій, інтелектуальні кондиціонери, що вибирають режими роботи залежно від часу доби, кількості людей що перебувають у приміщенні, температури зовнішнього повітря й складу повітря усередині приміщення, фотоапарати й багато чого іншого.

Транспортні мехатронні системи.

До мехатронних систем на рейковому транспорті відносяться: система ефективного управління рухом поїзда, гальмова система, дверні системи, системи кондиціювання повітря, системи діагностики поворотних візків, система розпізнавання сходу з рейок, системи подачі піску, і склоочисні системи та ін.

Система ефективного управління рухом поїзда, наприклад система LEADER® (Locomotive Engineer Assist / Display & Event Recorder) для пасажирських поїздів містить у собі встановлений на пульті керування машиніста дисплей, який управляється потужним комп'ютером. За допомогою цього дисплея машиніст електропоїзда одержує рекомендації з руху, розраховані на основі різних даних. Вони, зокрема, надходять із передбаченої бази даних, у якій утримується необхідна інформація про маршрут, склад поїзда, а також про відповідний розклад руху. GPS-приймач збирає інформацію про поточне положення й швидкість поїзда.

Дана система оптимізує профіль руху й тим самим мінімізує утвор непотрібної кінетичної енергії, а також її перетворення в теплову енергію при гальмуванні. Таким чином, за рахунок економії палива

можна значно знизити рівень викидів CO_2 .

Система забезпечує ефективне управління рухом поїзда. Максимально строгі дотримання передбаченого розкладу руху значно підвищує точність руху поїздів. Залізничне сполучення строго за розкладом підвищує задоволеність клієнтів і не в останню чергу – пропускну здатність певних ділянок. Зменшується зношування гальмової системи, що значно скорочує експлуатаційні витрати.

Дуже відповідальною є гальмова система рейкового транспорту. Вона містить у собі (рис. 3.10) електронну систему керування, пневматичні системи регулювання, систему повітропостачання, гідравлічні гальмові системи й додаткові пристрої (наприклад, системи подачі піску).



Рисунок 3.10 - Гальмова система поїзда

Керування гальмом – це вкрай важлива частина системи поїзда, що впливає на безпеку, тому що вона повинна сприяти надійній зупинці поїзда в будь-яких умовах експлуатації.

Оптимальний процес гальмування досягається, коли на всіх осях або поворотних візках усього поїзда прикладається індивідуальна сила гальмування. І це все при приведенні в дію машиністом локомотива одного єдиного гальмового важеля! Із цієї причини в сучасних системах керування гальмом вбудовується набір додаткових інтелектуальних функцій:

- залежно від навантаження гальмування завантажених і ненавантажених вагонів;
- антиблокувальна гальмова система (запобігання від ковзання);

- контроль уважності машиніста локомотива (пристрій безпеки);
- примусове гальмування з дистанційним керуванням (локомотивна сигналізація, PenaltyBrake);
- екстрене гальмо для пасажирів;
- пристрій, що збільшує зчеплення колеса з дорогою при проковзуванні коліс (захист від буксування).

Не важливо, чи є на поїзді механічне гальмо, магніторельсове гальмо, електродинамічне гальмо-сповільнювач або гальмування генератором за рахунок повороту привода: система керування гальмом у кожному разі опікується про оптимальну погодженість різних систем.

В основі всіх рішень лежить безпека й економічність. Повітропостачання забезпечується компресорною системою, що охоплює виробництво стисненого повітря за допомогою компресорів, а також підготовку повітря. Результатом є постачання системи стисненим повітрям у певній кількості й потрібній якості.

Стиснене повітря – це носій енергії для елементарних функцій поїзда. Крім приведення в дію гальма, воно також застосовується для відкриття дверей, керування пневматичною підвіскою, устаткуванням подачі піску, а також для підйому пантографів (струмоприймачів) і для приведення в дію склоочисника. Існує тенденція до більш компактних, більш легких транспортних засобів зі зростаючим рівнем безпеки й потужності, тому попитом користуються інноваційні концепції для надійного нагнітання стисненого повітря. За рахунок скорочення інтерфейсів можна досягти коротких строків монтажу або демонтажу. За рахунок високої надійності вбудованої системи значно підвищується готовність усієї системи поїзда.

Система розпізнавання сходу з рейок (рис. 3.11) теж має велике значення. Схід з рейок може стати причиною важких нещасних випадків, а при транспортуванні небезпечного вантажу – навіть катастрофи. Тому застосовуються детектори сходу з рейок для поліпшення безпеки рейкового транспорту.

На вибір є електронна й пневматична системи – обидві підходять для великої кількості типів транспортних засобів. Детектор сходу з рейок розпізнає вісь, що зісковзнула, захоплюючи й аналізуючи удари ходових коліс по шпалам. Машиніст локомотива одержує або попереджувальний сигнал, або поїзд сам автоматично зупиняється.



Рисунок 3.11 - Мехатронні системи поїзда

Ціль системи - обмеження непрямих збитків після сходу з рейок.

Система застосовується:

- у пасажирських вагонах;
- у метро й міській залізниці;
- у мотор-вагонних поїздах;
- під час перевезення небезпечних вантажів;
- у вантажних вагонах;
- у вагон-цистернах.

Переваги:

- підвищена безпека для людей і матеріалів;
- обмеження непрямих збитків після сходу з рейок;
- подача повідомлення діагностики або безпосереднє гальмування поїзда при сході осі з рейок;
- просте дообладнання на існуючому вагоні;
- низькі виробничі витрати.

Вхідні дверні системи. Посадка й висаджування пасажирів може привести до затримки. Тому якість і надійність вхідних систем має вирішальний вплив на економічність рейкового транспорту.

Розрахунки показують, що економічна користь від високоякісної системи керування дверима перевищує витрати на її придбання майже вдсятеро. Тому при розробці систем визначення й допомоги

при посадці головна увага приділяється безпеці й комфорту пасажирів. Дверні системи знаходять своє застосування як у метро, трамваях, так і в пасажирських вагонах приміських поїздів, поїздів далекого прямування, швидкісних поїздах. У дверні системи входять:

- зовнішні двері, розсувні й відкидні двері (рис. 3.12);
- внутрішні двері, перехідні двері, протипожежні двері;
- двері кабіни машиніста, кришки завантажувальних люків;
- рампи, відкидні й розсувні підніжки (рис. 3.13);
- системи керування дверима, мікропроцесорні пристрої керування (рис. 3.14);
- системи захисту від заклинювання й системи виявлення заземлення для запобігання нанесення пасажирам травм дверима.



Рисунок 3.12 - Зовнішні двері вагона

Дверні системи на перонах. Розсувні дверні системи на перонах (рис. 3.15) виявляють вирішальний внесок у безпеку, кліматизацію й чистоту на пероні. Вони поширюються на всю довжину перону. Поїзд зупиняється на позиції, у якій двері транспортного засобу й двері перону збігаються. Кожні двері перону складаються з автоматичних розсувних дверей із двома стулками. Ці двері вбудовані в скляний елемент стіни. Закритий корпус блоку керування дверима перешкоджає неправомочному доступу.



Рисунок 3.13 - Рампи, відкидні й розсувні підніжки



Рисунок 3.14 - Системи керування дверима, мікропроцесорні пристрої керування



Рисунок 3.15 - Дверна система перону

Пороги перону дають дверям і елементам стіни додаткову опо-

ру. Дверні системи перонів, або в повну висоту, або в половину висоти, утворюють захист між пасажирами й поїздом, а також рейками. За рахунок цього значно підвищується безпека пасажирів.

Використання дверей у всю висоту захищає пасажирів також від бруду, турбулентності повітря й шуму, що виникають через під'їзд і від'їзд поїздів. Дверні системи перонів дозволяють створити кондиціювання перону. Кожна дверна система перону відкривається й закривається синхронно із дверима поїзда. Завдяки застосуванню дверних систем перонів експлуатуюче підприємство користується з поліпшеного дотримання графіка руху й оптимізованої ефективності експлуатації.

Мехатронні системи на водному транспорті.

Мехатронні системи на морському транспорті знаходять усе більш широке застосування для інтенсифікації праці екіпажів морських і річкових судів, пов'язаних з автоматизацією й механізацією основних технічних засобів, до яких відносяться головна енергетична установка з обслуговуючими системами й допоміжними механізмами, електроенергетична система, загально суднові системи, кермові пристрої й двигуни.

У морських умовах неможливе застосування звичайних методів попередньої розвідки (пошукова партія або детальне аерофотознімання), тому найбільш широке поширення одержав сейсмічний метод геофізичних досліджень (рис. 3.16).

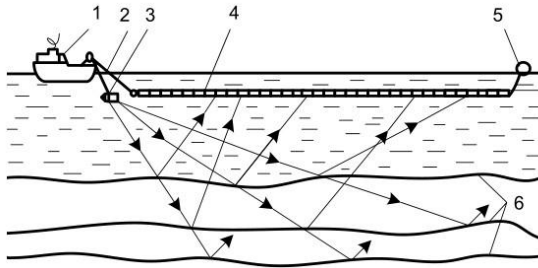


Рисунок 3.16 - Схема проведення геофізичних досліджень

Геофізичне судно 1 буксирує на кабель-тросі 2 пневматичну гармату 3, що є джерелом сейсмічних коливань, сейсмографну косу 4, на якій розміщені приймачі відбитих сейсмічних коливань, і кінцевий буй 5. Профілі дна визначають за допомогою реєстрації інтенсивності

сейсмічних коливань, відбитих від прикордонних шарів 6 різних порід. Для одержання достовірної геофізичної інформації судно повинне втримуватися на заданому положенні щодо дна (лінії профілю) з високою точністю, незважаючи на малу швидкість руху (3-5 вузлів) і наявність буксированих пристроїв значної довжини (до 3 км) з обмеженою механічною міцністю. За допомогою мехатронної системи можна автоматично вивести судно на запрограмовану траєкторію й утримувати на ній.

Питання для самоперевірки

1. Що розуміють під словом «робот»?
2. Як класифікуються роботи за ступенем участі людини в їхньому управлінні?
3. Як класифікуються роботи по типу вирішуваних завдань?
4. Як класифікуються промислові роботи?
5. Як класифікуються роботи по швидкодії і точності рухів?
6. Що розуміється під термінами «робототехнічні системи» і «роботизовані технологічні комплекси»?
7. Що являє собою гнучка автоматизована виробнича система в машинобудуванні?
8. Що являє собою гнучкий виробничий модуль в машинобудуванні?
9. Що являє собою однопоточна роботизована технологічна лінія?
10. На яких операціях в машинобудуванні набули поширення роботизовані технологічні комплекси?
11. Чи можливе створення складальних робототехнічних комплексів?
12. Чи можуть роботи виконувати безпосередньо основні технологічні операції, оперуючи інструментом?
13. На яких операціях найбільш широко використовуються робототехнічні комплекси на автоскладальних заводах?
14. Яке призначення робототехнічних комплексів, що застосовуються в системі цивільної захисту?
15. Які основні напрямки розвитку медичної мехатроніки?
16. Роботи для реабілітації інвалідів - для вирішення яких завдань вони призначені?
17. Для вирішення яких завдань призначені медичні роботи сервісного призначення?
18. Для вирішення яких завдань призначені клінічні роботи?
19. З яких основних частин складаються рентгенівські томографи?

20. Який принцип дії рентгенівського томографа?
21. Яка роль роботів при проведенні складних хірургічних операцій?
22. Які чинники стримують застосування мехатронних пристроїв в медичній практиці?
23. Які мехатронні пристрої є в комп'ютерах?
24. Які мехатронні системи знайшли застосування в побуті і як широко використовуються побутові роботи?
25. Які системи поїзда можна віднести до мехатронних?
26. Як досягається оптимальний процес гальмування поїзда?
27. Що входить в дверні системи поїзда?
28. Навіщо створюють дверні системи на перонах?
29. Що відноситься до легких транспортних засобів і чи можна їх віднести до мехатронних систем?
30. У чому полягає особливість електровелосипедів?
31. Що собою являють електроролери?
32. Які переваги створює комплексна автоматична система утримання судна на заданій траєкторії?
33. Як в загальних рисах функціонує система дистанційного управління польотом ДПЛА - НІМАТ?
34. Яку користь приносять мехатронні системи транспортування, пакування і складування?
35. Як проводиться ремонт підземних трубопроводів за допомогою мобільних роботів?
36. Якими можливостями володіє мобільний робот військового призначення BigDog?
37. Які вимоги висунуті до бойового варіанту робота BigDog?
38. Які функції виконують безекіпажні патрульні катери?
39. Які функції виконують незаселені підводні апарати?
40. Які функції виконують безпілотні літальні апарати?
41. Навіщо в Ізраїлі розробили мініатюрний літальний апарат у вигляді бабки?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Базова

1. Грабченко А. И., Клепиков В. Б., Доброскок В. Л. Введение в мехатронику. Харьков : НТУ «ХПИ», 2014. 264 с.
2. Кашканов А. А. Інформаційні комп'ютерні системи автомобільного транспорту. Вінниця : ВНТУ, 2010. 230 с.
3. Konrad Reif. Automotive mechatronics. Automotive networking, driving stability systems, electronics. Wiesbaden : Springer Fachmedien, 2015. 549 p.
4. Levent Güvenc, Bilin Aksun Güvenc, Burak Demirel. Control of mechatronic systems. London : The Institution of Engineering and Technology, 2017. 217 p.
5. Patrick Kaltjob. Mechatronic Systems and Process Automation. Boca Raton : CRC Press, 2018. 468 p.

Допоміжна

6. Andrew J. Kurdila. Dynamics and control of robotic systems. Hoboken : John Wiley & Sons Ltd, 2020. 517 p.
7. Mohammad H. Abedin-Nasab. Handbook of robotic and image-guided surgery. Cambridge : Elsevier, 2020. 724 p.
8. Ambarish Goswami. Humanoid robotics: a reference. Dordrecht : Springer Nature B.V., 2019. 2676 p.
9. Clifford A. Pickover. Artificial intelligence. An illustrated history. New York : Sterling Publishing Co., Inc., 2019. 268 p.
10. Сторожев В. В. Системотехника и мехатроника технологических машин и оборудования. М. : Дашков и К°, 2016. 412 с.
11. Юревич Е. И. Основы робототехники. Спб. : БХВ-Петербург, 2017. 284 с.
12. Карташевич А. Н. Тракторы и автомобили. Тормозные системы автомобилей. Пневматические тормозные приводы. Горки : БГСХА, 2014. 52 с.
13. Кусяк В. А., Руктешель О. С. Проектирование автоматизированных мехатронных систем управления силовым агрегатом грузовых автомобилей и автопоездов. Минск : БИТУ, 2015. 295 с.
14. Сергеев Н. Н., Хонелидзе Д. М. Электрооборудование и электрон-

- ные системы автомобиля. Тула : ТулГУ, 2015. 156 с.
15. Болштянский А. П. Электронные системы автомобилей. Омск : ОГТУ, 2010. 125 с.
 16. Коваленко О. Л. Электронные системы автомобилей. Архангельск : ИПЦ САФУ, 2013. 80 с.
 17. Котельников А. П. Мехатронные системы тормозного управления автомобилем. Екатеринбург : УрГУПС, 2011. 80 с.
 18. Горбенко Т. И., Горбенко М. В. Основы мехатроники и робототехники. Томск : Томский государственный ун-т, 2012. 126 с.
 19. Виноградов В. М. Проектирование технологических машин и комплексов. Введение в специальность. М. : МАМИ, 2014. 188 с.
 20. Ревин А. А. Автоматика и автоматизация рабочих и производственных процессов. Волгоград : ВолгГТУ, 2015. 388 с.
 21. Черепанов Л. А. Автоматические системы автомобиля. Тольятти : Тольяттинский государственный ун-т, 2006. 132 с.
 22. Подураев Ю. В. Основы мехатроники. М. : МГТУ, 2000. 80 с.
 23. Подураев Ю. В. Мехатроника основы, методы, применение. М. : МГТУ, 2006. 256 с.
 24. Егоров О. Д., Подураев Ю. В. Расчет и конструирование мехатронных модулей. М. : МГТУ, 2012. 422 с.
 25. Егоров О. Д., Подураев Ю. В., Бубнов М. А. Робототехнические мехатронные системы. М. : МГТУ, 2015. 326 с.
 26. Лукинов А. П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств. Спб. : Лань, 2012. 608 с.
 27. Готлиб Б. М. Введение в мехатронику. Екатеринбург : Изд-во Уральского государственного ун-та путей сообщения, 2007. 782 с.
 28. Пупков К. А. Мехатроника. М. : РУДН, 2008. 132 с.
 29. Хомченко В. Г., Соломин В. Ю. Мехатронные и робототехнические системы. Омск : ОмГТУ, 2008. 160 с.
 30. Свербилов В. Я. Основы мехатроники. Самара : Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева, 2011. 58 с.
 31. Храменко С. А. Основы мехатроники. Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2013. 782 с.
 32. Сырямкин В. И. Информационные устройства и системы в робототехнике и мехатронике. Томск : Томский гос. ун-т, 2016. 524 с.
 33. Сырямкин В. И. Интеллектуальные робототехнические и мехатронные системы. Томск : Томский гос. ун-т, 2017. 256 с.
 34. Бектайл Дж. Конструируем роботов. Дроны. Руководство для на-

- чинающих. М. : Лаборатория знаний, 2018. 226 с.
35. Гололобов В. Н., Ульянов В. И. Беспилотники для любознательных. СПб. : Наука и техника, 2018. 256 с.
 36. Петров М. А., Шейпак А. А., Петров П. А. Мехатронные системы в машиностроении и их моделирование. М. : МАМИ, 2015. 115 с.
 37. Экзоскелеты : анализ конструкций, принципы создания, основы моделирования. Курск : Юго-Зап. гос. ун-т., 2015. 179 с.
 38. Рассадкин Ю. И., Синецын А. В. Компьютерное управление в мехатронных системах. М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. 61 с.
 39. Robert H. Bishop. Mechatronics. An Introduction. Boca Raton : CRC Press, 2006. 285 p.
 40. Robert H. Bishop. Mechatronic System Control, Logic, and Data Acquisition. Boca Raton : CRC Press, 2008. 755 p.
 41. Robert H. Bishop. Mechatronic Systems, Sensors, And Actuators. Boca Raton : CRC Press, 2007. 656 p.
 42. William Bolton. Mechatronics : electronic control systems in mechanical and electrical engineering. Harlow : Pearson, 2015. 663 p.
 43. David G. Alciatore. Introduction to mechatronics and measurement systems. New York : McGraw-Hill Education, 2018. 609 p.
 44. Erika Ottaviano. Mechatronics for cultural heritage and civil engineering. Cham : Springer International Publishing, 2018. 372 p.
 45. Fijalkowski B.T. Automotive mechatronics: operational and practical issues. Heidelberg : Springer, 2011. Volume I. 612 p.
 46. Fijalkowski B.T. Automotive mechatronics: operational and practical issues. Heidelberg : Springer, 2011. Volume II. 538 p.
 47. Edwin Kiel. Drive Solutions. Mechatronics for production and logistics. Berlin : Springer-Verlag, 2008. 545 p.
 48. Uwe Kiencke, Lars Nielsen. Automotive control systems for engine, driveline, and vehicle. Berlin : Springer-Verlag, 2005. 521 p.
 49. John Billingsley. Essentials of mechatronics. Hoboken : John Wiley & Sons, Inc., 2006. 267 p.
 50. Frank Lamb. Industrial Automation. Hands On. New York : McGraw-Hill Education, 2013. 369 p.
 51. Günter Ullrich. Automated guided vehicle systems a primer with practical applications. Berlin : Springer-Verlag, 2015. 237 p.
 52. Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations. Washington, DC : The national academies press, 2005. 257 p.
 53. Driver Reactions to Automated Vehicles. A Practical Guide for Design

- and Evaluation. Boca Raton : CRC Press, 2018. 177 p.
54. Road Vehicle Automation. Lecture notes in mobility / Gereon Meyer, Sven Beiker (editors). Switzerland : Springer, 2014. 257 p.
 55. Road Vehicle Automation 2. Lecture notes in mobility / Gereon Meyer, Sven Beiker (editors). Switzerland : Springer, 2015. 226 p.
 56. Road Vehicle Automation 3. Lecture notes in mobility / Gereon Meyer, Sven Beiker (editors). Switzerland : Springer, 2016. 292 p.
 57. Road Vehicle Automation 4. Lecture notes in mobility / Gereon Meyer, Sven Beiker (editors). Switzerland : Springer, 2018. 255 p.
 58. Road Vehicle Automation 5. Lecture notes in mobility / Gereon Meyer, Sven Beiker (editors). Switzerland : Springer, 2019. 246 p.
 59. Road Vehicle Automation 6. Lecture notes in mobility / Gereon Meyer, Sven Beiker (editors). Switzerland : Springer, 2019. 146 p.
 60. Hans-Leo Ross. Functional safety for road vehicles. New challenges and solutions for E-mobility and automated driving. Switzerland : Springer International Publishing, 2016. 276 p.
 61. Huaqun Guo. Automotive informatics and communicative systems: principles in vehicular networks and data exchange. New York : Information Science Reference, 2009. 364 p.
 62. Jan Fischer-Wolfarth. Advanced microsystems for automotive applications 2014. Smart systems for safe, clean and automated vehicles. Switzerland : Springer International Publishing, 2014. 305 p.
 63. Kimon P. Valavanis. Advances in Unmanned Aerial Vehicles. State of the Art and the Road to Autonomy. Dordrecht : Springer, 2007. 551 p.
 64. Hassan Rashidi, Edward Tsang. Vehicle Scheduling in Port Automation. Advanced Algorithms for Minimum Cost Flow Problems. Boca Raton : CRC Press, 2016. 260 p.
 65. Steffen Heinrich. Planning universal on-road driving strategies for automated vehicles. Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2018. 141 p.

Інформаційні ресурси

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

68. Mechatronics, Informatics and Control Group (MICG) - incorporates the Mechatronics Forum, which has been actively promoting mechatronics internationally for the past 20 years.
<https://www.imeche.org/get-involved/special-interest-groups/mechatronics-informatics-and-control-group> (дата звернення: 27.12.2019).
69. Robotics. <https://curlie.org/Computers/Robotics> (дата звернення: 27.12.2019).
70. IEEE Robotics and Automation Society. <http://www.ieee-ras.org> (дата звернення: 27.12.2019).
71. Investigation of social robots – Robots that mimic human behaviors and gestures. <http://www.ai.mit.edu/projects/humanoid-robotics-group/index.html> (дата звернення: 27.12.2019).
72. Wired's guide to the '50 best robots ever', a mix of robots in fiction (Hal, R2D2, K9) to real robots (Roomba, Mobot, Aibo).
<https://www.wired.com/wired/archive/14.01/robots.html> (дата звернення: 27.12.2019).
73. Automotive Electronic Systems Clemson Vehicular Electronics Laboratory Website <http://www.cvel.clemson.edu/auto/systems/auto-systems.html> (дата звернення: 27.12.2019).
74. Seattle Robotics «What is a Servo?». <http://www.seattlerobotics.org/guide/servos.html> (дата звернення: 27.12.2019).
75. Different types of servo motors. <http://www.servotronix.com/servomotors.html> (дата звернення: 27.12.2019).
76. Automotive Manufacturing Engineering Overview.
<http://www.automotiveengineeringhq.com/automotive-manufacturing-engineering/> (дата звернення: 27.12.2019).
77. Engineering Synergy. <http://myengineeringsystems.co.uk/> (дата звернення: 27.12.2019).
78. The Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE), formerly the Institute of Industrial Engineers, is a professional society dedicated solely to the support of the industrial engineering profession and individuals involved with improving quality and productivity.
<http://www.iise.org/> (дата звернення: 27.12.2019).
79. SME (previously the Society of Manufacturing Engineers) is a non-profit student and professional association for educating and advancing the manufacturing industry in North America. <http://sme.org/> (дата звернення: 27.12.2019).