

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ РОБОТОТЕХНІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

Навчальний посібник

*За редакцією доктора технічних наук,
професора В. С. Блінцова*

Миколаїв
«Іліон»
2022

РЕЦЕНЗЕНТИ :

В. М. КАЗАК, професор кафедри автоматизації та енергоменеджменту Національного авіаційного університету, Заслужений діяч Транспортної академії України, д-р техн. наук, професор;
Д. В. КОСТЕНКО, завідувач кафедри електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, канд. техн. наук, доцент

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова як навчальний посібник
для студентів вищих навчальних закладів*

Системи керування промисловими робототехнічними
С 40 комплексами : навчальний посібник / В. С. Блінцов,
Ж. Ю. Буруніна, А. В. Надточий, В. А. Надточій ; за ред.
В. С. Блінцова. — Миколаїв : Іліон, 2022. — 156 с.

ISBN 978-617-534-684-6

У навчальному посібнику викладено загальнотеоретичні та прикладні питання побудови промислових робототехнічних комплексів та структури й функціонування систем керування такими комплексами. Наведено відомості про алгоритми роботи систем керування, про сенсори та виконавчі механізми систем керування промисловими роботами та робототехнічними комплексами.

Для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальностями 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» та 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

УДК 681.5:004.896

ISBN 978-617-534-684-6

© Блінцов В. С., Буруніна Ж. Ю.,
Надточий А. В., Надточій В. А., 2022

З М І С Т

СКОРОЧЕННЯ, ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ	5
ВСТУП	7
Розділ 1 ПРОМИСЛОВІ РОБОТИ ТА РОБОТОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ	
1.1 Короткі історичні відомості щодо становлення та розвитку робототехніки	9
1.2 Класифікація промислових роботів	37
Контрольні питання	49
Література до розділу 1	49
Розділ 2 СИСТЕМИ ПРОГРАМНОГО КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ РОБОТАМИ	
2.1 Системи дискретного циклового керування.....	52
2.2 Системи дискретного позиційного керування	57
2.3 Системи контурного керування	60
Контрольні питання	64
Література до розділу 2	64
Розділ 3 СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ РОБОТАМИ	
3.1 Загальні поняття про адаптацію та невизначеність.....	65
3.2 Рівні адаптації	67
3.3 Узагальнена структура системи адаптивного керування промислового робота	70
3.4 Приклади адаптивних систем керування промисловими роботами	78
Контрольні питання	92
Література до розділу 3	93

Розділ 4	СИСТЕМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ РОБОТАМИ	
4.1	Сучасні інформаційні технології як основа створення інтелектуальних систем керування	95
4.2	Узагальнена структура інтелектуальної системи автоматичного керування безекіпажним надводним судном-роботом	98
4.3	Система автоматичного керування траєкторним рухом безекіпажного надводного судна на базі нечіткої логіки	106
	Контрольні питання	119
	Література до розділу 4	120
Розділ 5	СИСТЕМИ ГРУПОВОГО КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ РОБОТОТЕХНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ	
5.1	Сучасні підходи до групового керування промисловими роботами	121
5.2	Автоматичне керування гнучкою виробничою системою	128
5.3	Групове керування роботизованим автомобільним транспортом	141
5.4	Кооперативні інтелектуальні транспортні системи	151
	Контрольні питання	153
	Література до розділу 5	154

СКОРОЧЕННЯ, ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

A-P – автомобіль-робот.

БНС – безекіпажне надводне судно-робот.

ГВС – гнучка виробнича система.

РСК – рушійно-стерновий комплекс.

САК – система автоматичного керування

ЦКК – центр керування та контролю.

ЧПК – числове програмне керування.

САПР – система автоматизованого проєктування, що реалізує інформаційну технологію виконання функцій проєктування; являє собою організаційно-технічну систему, призначену для автоматизації процесу проєктування, що полягає з персоналу й комплексу технічних і програмних засобів.

CAD (Computer aided design) – системні комплекси для проєктування, за допомогою яких автоматизують завдання на різних стадіях виготовлення промислової продукції.

CAM (Computer aided manufacturing) – автоматизована система або модуль, призначений для підготовки керуючих програм для верстатів зі числовим програмним керуванням; під терміном розуміються як сам процес комп'ютеризованої підготовки виробництва, так і програмно-обчислювальні комплекси, використовувані інженерами-технологами.

CAE (Computer aided engineering) – загальна назва для програм і програмних пакетів, призначених для розв'язку інженерних завдань: розрахунків, аналізу й симуляції фізичних процесів; розрахункова частина пакетів найчастіше

заснована на чисельних методах розв'язку диференціальних рівнянь (в т.ч. метод кінцевих елементів, метод кінцевих обсягів, метод кінцевих різниць і ін.).

Автоматичний маніпулятор – пристрій, призначений для імітації рушійних та (чи) робочих функцій руки людини і керований оператором (різновид біотехнічних маніпуляторів) або діючий автоматично.

Маніпулятор – це механізм для керування просторовим положенням знарядь та об'єктів праці.

Промисловий робот – автоматична машина, що програмується та використовується у виробничому процесі для виконання рушійних функцій, аналогічних функціям людини, при переміщенні предметів виробництва та (чи) технологічного оснащення.

Робототехнічний комплекс – сукупність промислових роботів, основного технологічного виробничого обладнання, пристроїв накопичування, орієнтації, транспортування та завантаження об'єктів виробництва.

Сенсор – пристрій, який вимірює чи оцінює певні характеристики технічного засобу чи довкілля.

ВСТУП

Робототехніка – це прикладна наука, яка займається розробкою автоматизованих технічних систем і є найважливішою технічною основою розвитку виробництва.

Робототехніка опирається на такі дисципліни, як електроніка, механіка, кібернетика, телемеханіка, мехатроніка, інформатика, а також радіотехніка й електротехніка. Виділяють будівельну, промислову, побутову, медичну, авіаційну й екстремальну (військову, космічну, підводну) робототехніку.

Типові сфери застосування промислових роботів включають зварювання, фарбування, збирання, розбирання, підбір і розміщення друкованих плат, пакування та маркування, палетування, транспортування, перевірка продукції та тестування.

Згідно з даними Міжнародної федерації робототехніки (IFR), у 2020 році у всьому світі працювало близько 1,64 мільйона промислових роботів.

У сучасному виробництві заміна людей на роботів очевидна і виражена в наступних перевагах робота над людиною:

- досить швидка окупність;
- виключення впливу людського чинника на конвеєрних виробництвах під час проведення монотонних робіт, які потребують високої точності виконуваних операцій;
- підвищення точності виконання технологічних операцій та, як наслідок, забезпечення високої якості та продуктивності робочих процесів у цілому;
- можливість використання технологічного обладнання у три зміни без вихідних на протязі року;
- раціональність використання виробничих приміщень;
- виключення впливу шкідливих факторів на персонал на виробництвах із підвищеною небезпекою.

Посібник «Системи керування промисловими робототехнічними комплексами» є засобом методичного забезпечення однойменного курсу, який входить до комплексу навчальних дисциплін підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» за спеціальністю 141 «Електро-енергетика, електротехніка та електромеханіка» та 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Посібник містить методичні матеріали по історії промислової робототехніки, системам програмного, адаптивного, інтелектуального та групового керування промисловими роботами.

Набуті студентами знання та навички у результаті вивчення повного курсу дисципліни повинні стати основою інструментальних засобів виконання спочатку курсових, дипломних, а згодом і робочих інженерних проєктів з використанням засобів промислової робототехніки.

Розділ 1

ПРОМИСЛОВІ РОБОТИ ТА РОБОТОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ

1.1 Короткі історичні відомості щодо становлення та розвитку робототехніки

1.1.1 Вступ

Промислова робототехніка – це галузь робототехніки, яка набула надзвичайного значення в минулому столітті. Присутність роботів спричинила революцію в промисловому середовищі лише за кілька десятиліть. Однак, основи революційних змін у промисловості ХХ століття були закладені винахідниками та науковцями задовго до появи електротехніки, електромеханіки та електроніки. При цьому першими спробами розробки роботів були намагання створити механізми, які б були схожими на людей як зовні, так і за виконуваними ними рухами.

Прийнятий зараз у всьому світі термін «робот» був вперше був уведений у вживання чеським письменником Карелом Чапеком та його братом Йозефом і вперше використаний у 1920 в п'єсі К. Чапека «Р.У.Р.» (чеськ. *R.U.R.*; скорочення від чеськ. *Rossumovi univerzální roboti*). Так він назвав механічні істоти, які зовні нагадували людей. Спочатку для означення такого типу технічних об'єктів було використане слово, похідне від латинського «labor» (робота), але потім Карел Чапек прислухався до поради свого брата Йозефа й зупинився на похідній від чеського «robota». Чеською це слово означало «важка робота», «каторжна робота», що відповідало змістові п'єси, у якій роботи виконували замість людей усю найважчу або рутинну працю.

Однак, ідея штучних істот, які були б схожими на людей та які могли б виконувати замість них роботу, здавна цікавила

людей. З давньогрецької міфології відомий міф про засновника міста Фіви Кадма, який, убивши дракона та заоравши його зуби у землю, отримав солдатів, та міф про давньогрецького бога вогню та ковальства Гефеста, який зумів виготовити собі з металу прислугу, яка могла ходити, говорити і виконувати доручення.

Поява промислових роботів була передбачена ще в 350 році до нашої ери давньогрецьким науковцем-енциклопедистом і філософом Аристотелем. Він писав, що з'являться машини, які замість людини будуть виконувати всю рутинну, монотонну роботу; ними не треба буде керувати, стежити за виконанням завдань – вони самі будуть розуміти, якій послідовності дій належить слідувати.

Приблизно у той же час давньогрецьким філософом, і математиком Архітом Тарентським було побудовано «Літаючого голуба» (рис. 1.1, а). Пристрій мав легкий порожнистий корпус циліндричної форми, з обох боків розташовувалися основні крила, а в задній частині містилися невеликі підкрилки. Отвір у задній частині «птаха» вів до внутрішнього міхура і з'єднувався з герметичним котлом нагрівання. При накопиченні в котлі пари її вихід з отвору під тиском забезпечував голубу політ на відстань до кілька сотень метрів.

1.1.2 Перші механічні автомати

За часів Середньовіччя великою популярністю користувалися різного роду автомати, основою яких були годинникові механізми. Було створено годинники з рухомими фігурами людей, ангелів тощо. До цього періоду належить інформація про створення перших рухомих людиноподібних механічних фігур – андроїдів.

Так, андроїд німецького філософа і науковця Альберта Великого був лялькою в зріст людини, яка, коли стукали в двері, відкривала їх з поклоном. У XIII столітті Альберт Великий створив автомат, який став згодом відомим як «голова, що розмовляє», здатна відтворювати людський голос.

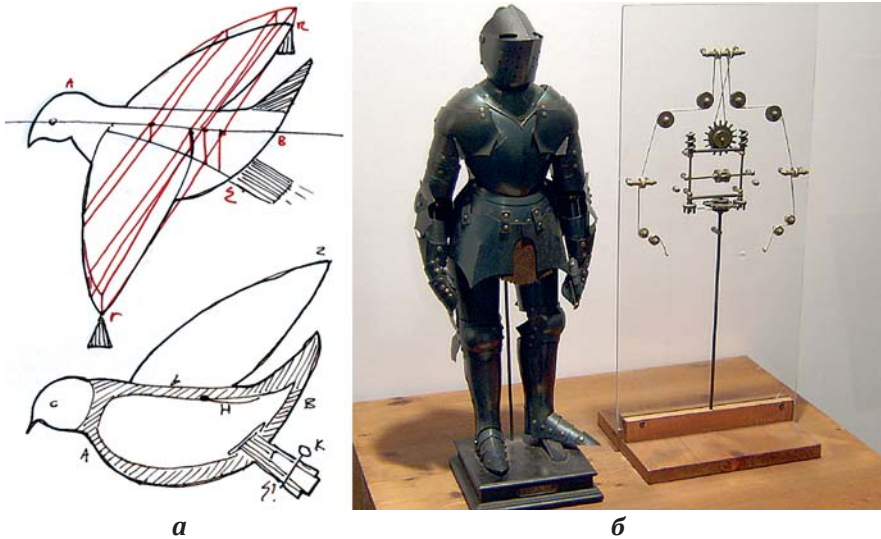


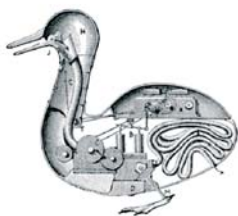
Рисунок 1.1 – Креслення «Літаючого голуба» Архіта Тарентського (а) та модель робота-лицаря Леонардо да Вінчі (б) зі схемою внутрішньої будови, відтвореною за кресленнями автора

Перше відоме креслення людиноподібного робота (андроїда) було зроблене італійським генієм – художником, науковцем та винахідником Леонардо да Вінчі близько 1495 року. Записи Леонардо, знайдені в 1950-х, містили детальні креслення механічного лицаря, здатного сидіти, розводити руки, рухати головою і відкривати забрало (рис. 1.1, б). На каркас робота були надягнуті германо-італійські лицарські лати, він міг імітувати людські рухи (підводитись і сідати, рухати руками та шиєю) і мав анатомічно правильну будову щелепи. В основі винаходу лежало використання системи шестерень і шківів. Невідомо, чи була розробка здійснена на практиці.

Роботи зі створення андроїдів досягли найбільшого розвитку в XVIII ст. одночасно з розквітом годинникової майстерності. Першого працюючого робота-андроїда, що грає на флейті, створив у 1738 році французький механік і винахідник Жак де Вокансон (рис. 1.2, а).



а



б



в

*Рисунок 1.2 – Моделі механічних роботів Жака де Вокансона:
а – робот-флейтист; б – робот-качка (фото з музеїв)*

Всередині робота були влаштовані пружини і міхи, що подавали повітря в різні частини механізму так, що губи робота і його пальці здійснювали правильні рухи по флейті. Рухливими пальцями він міг виконувати 11 мелодій за допомогою закладеної в нього програми.

Відомими також були його мідна качка, яка складалась з понад 400 деталей, була вкрита справжніми пір'ям, яка могла ходити, рухати крилами, крякати, пити воду, клювати розсипане зерно і перемелювати його маленьким внутрішнім млином (рис. 1.2, б).

Створенням автоматів також займалися швейцарські годинникарі П'єр-Жак Дро (1721–1790) та його син Анрі Дро (1752–1791). П'єр-Жак Дро разом з синами Анрі-Луї та Жаном-Фредеріком Лешо в проміжку з 1768 по 1774 рік створив кілька механічних автоматів, з яких найбільшу популярність здобули музикант, художник і каліграф (рис. 1.2, в).

Автомат-музикант була виготовлена у вигляді дівчини, яка грає на клавесині. Дівчина дійсно грала, натискаючи на клавіші маленького клавесина, ворушила губами, її плечі піднімались і опускались під час «дихання», вона дивилась на клавіші, в ноти, а іноді кидала погляд на публіку, після завершення «номера» вставала і кланялась». Також точно і правдиво було виконано й інші механічні автомати.

Ці людиноподібні іграшки являли собою багатопрограмні механічні автомати з хорошою швидкодією. Сьогодні андроїди (тоді вони називались автоматами) сім'ї Жак-Дро, як і раніше справні: їх можна побачити в одному з музеїв Швейцарії.

З розвитком технології люди все частіше бачили в механічних істотах щось більше, ніж просто іграшки.

1.1.3 Зародження промислових робіт

Промислова революція другої половини XVIII століття, пов'язана з переходом від ручного виробництва до машинного, змусила винахідників створювати нові машини і пристрої. Саме

в цей час почали закладатися основи промислової автоматики, особливо в текстильній промисловості.

Ще у 1725 р. французький ткач із Ліона Безиль Бушон придумав перфоровану паперову стрічку для запису програми, яку в подальшому використовував для програмування ткацьких верстатів для виробництва шовкової тканини з малюнком. Верстат Бушона керувався перфорованою паперовою стрічкою, де кожному проходу ткацького човника відповідав один ряд отворів стрічки. Однак отворів було мало, тому пристрій змінював положення лише невеликої кількості окремих ниток.

В 1728 р. Жан-Батист Фалькон удосконалив винахід Безила Бушона. Він замінив перфоровану паперову стрічку перфорованими картками, з'єднаними з кути в ланцюжок. Він замінив стрічку невеликими листами картону, пов'язаними за кути в ланцюг; на кожній перфокарті отвори розташовувалися вже в кілька рядів і могли керувати великою кількістю ниток, що дозволило легко замінювати окремі фрагменти програми.

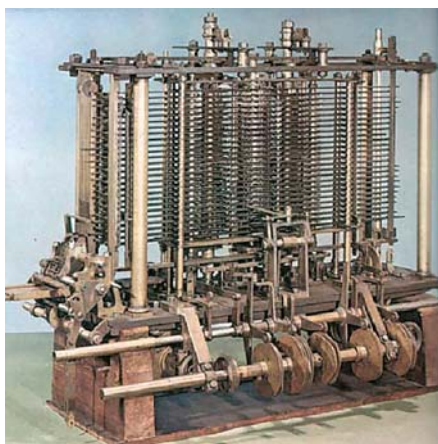
Надалі ці верстати були вдосконалені французом Жозефом Марі Жаккардом, який у 1805 р. створив автоматичний верстат. На верстаті можна виготовляти тканини із заздалегідь запрограмованим малюнком за допомогою перфокарт (рис. 1.3).

Сам принцип машини Жаккарда – можливість змінювати послідовність роботи верстата, завантажуючи нові карти, був революційним. Зараз це називається програмуванням. Черговість дій для машини Жаккарда задавалася двійковою послідовністю: є отвір – немає отвору. Цей винахід став однією з найважливіших подій, які визначили подальший технічний прогрес промисловості і стали поштовхом розвитку робототехніки.

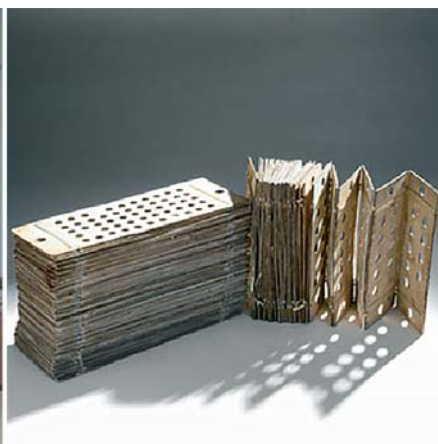
Ще однією важливою подією, яка сприяла становленню сьогоденної робототехніки, стало створення першої обчислювальної машини. На основі способу програмування Жаккарда англійський математик і економіст Чарльз Беббідж у 40-х роках XIX століття запропонував конструкцію «Аналітичної машини» – обчислювальну машину загального призначення з програмним керуванням.



Рисунок 1.3 – Автоматичний ткацький станок Жозефа Мари Жаккара, керування яким здійснюється за допомогою перфокарт



а



б

Рисунок 1.4 – Модель аналітичної машини Баббіджа, 1870 р.:
а – арифметичний пристрій; *б* – перфокарти для аналітичної машини

Структурні особливості цієї машини на ціле століття визначили напрямок розвитку обчислювальної техніки (рис. 1.4).

Однак, низький рівень технологій того часу та брак фінансування не дали змоги Беббіджу побудувати «Аналітичну машину» та впровадити її у практику.

1.1.4 Ера електричних роботів

У XX столітті завдяки розвитку електротехніки та електроніки з'явилися можливості реалізації потреб суспільства і виробництва в різних автоматичних пристроях, у тому числі й у побудові робототехнічних пристроїв різного призначення.

Власне, термін «робототехніка» увів Айзек Азімов у своєму науково-фантастичному оповіданні «Liar!» у 1941 році. Він також є автором трьох законів робототехніки:

1. Робот не може заподіяти шкоду людині, або своєю бездіяльністю дозволити, щоб людині була заподіяна шкода.
2. Робот повинен підкорятися наказам людини, за винятком тих, котрі суперечать першому пункту.
3. Робот повинен захищати самого себе, якщо тільки його дії не суперечать першому і другому пунктам.

Ці три закони Айзека Азімова до сьогодні залишаються стандартами при проектуванні і розробці роботів.

Виникнення сучасних роботів слід віднести до 1959 р. У цьому році в США були створені перші промислові маніпулятори з програмним керуванням, які отримали загальноприйняту назву промислових роботів (ПР) і поклали початок їх комерційного виробництва.

У 50-х рр. XX століття група американських інженерів розпочала роботу над проблемою застосування теорії керування у вирішенні спільних завдань оптимального переміщення обладнання. Піонерами стали Джордж К. Девол і Джозеф Ф. Енгельбергер.

У 1954 р. Девол запатентував у США спосіб переміщення предметів між різними ділянками підприємства на основі керуючої програми на перфокартах, подібний до запропонованого

колись Беббіджем. Винахід був покликаний вирішити, в першу чергу, саме проблему гнучкості, тобто створення універсального транспортувального пристрою, який легко переналаштовується для виконання інших операцій.

У 1956 р. Девол разом з Енгельбергером організували першу в світі робототехнічну компанію «Unimation», у якій був створений перший в світі промисловий робот «Unimate» за патентом Девола (рис. 1.5, а). Цей «програмований пристрій для передачі предметів» і став прототипом наступних розробок.

Робот мав 5 ступенів рухливості з гідроприводом та двохпальцевий захватний пристрій з пневмоприводом. Він міг переміщати об'єкти масою до 12 кг з точністю 1,25 мм. У системі керування використовувався програмоносій, що мав вигляд кулачкового барабана з кроковим двигуном, розрахованим на 200 команд керування, і кодові датчики положення в просторі.

У режимі навчання оператор задавав послідовність точок, якими повинні пройти ланки маніпулятора протягом робочого циклу.

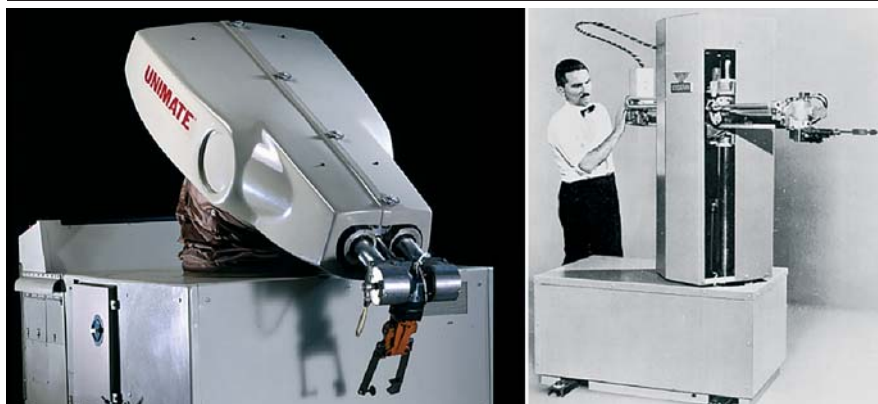
Робот запам'ятовував координати точок і міг автоматично переміщатися від однієї точки до іншої у заданій послідовності, багаторазово повторюючи робочий цикл. На операції розвантаження машини для лиття під тиском «Unimate» працював з продуктивністю 135 деталей на годину при 2% браку, тоді як продуктивність ручного розвантаження становила 108 деталей на годину при браку до 20%.

Інший робот «Versatran» фірми «American Machine and Foundry» (рис. 1.5, б), який мав три ступеня рухливості та керування від магнітної стрічки, міг у випалювальну піч завантажувати та розвантажувати до 1200 розпечених цеглин на годину.

Тоді співвідношення витрат на електроніку і механіку у вартості робота становило 75 % і 25 %, тому багато завдань керування вирішувалися з допомогою механіки.

Зараз це співвідношення змінилося на протилежне, причому вартість електроніки продовжує знижуватися.

СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ
РОБОТОТЕХНІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ



а

б



в

Рисунок 1.5 – Перші промислові роботи (США):
а – робот «Unimate»; б – робот «Versatran»; в – робот «Shakey»

Застосування промислових роботів в автомобільній і металургійній промисловості було економічно вигідним: витрати на придбання роботів «Unimate» або «Versatran» окупалися за 1,5–2,5 роки.

Вже в перших роботах «Unimate» і «Versatran» був реалізований принцип програмованого навчання.

Перші комерційні успіхи застосування промислових роботів стали потужним імпульсом для їх подальшого вдосконалення.

При створенні промислових роботів все ширше почав використовуватися штучний інтелект. Так, у 1969 році у центрі досліджень в галузі штучного інтелекту при Стенфордському дослідницькому інституті (США) був створений перший робот, який здатний самостійно функціонувати та оцінювати власні дії – робот «Shakey» (рис. 1.5, в).

Поява в 70-х роках мікропроцесорних систем керування та заміна спеціалізованих пристроїв керування на програмовані контролери дозволили знизити вартість роботів утричі, зробивши рентабельним їхнє масове впровадження в промисловості. Цьому сприяли об'єктивні передумови розвитку промислового виробництва. У ці роки створюються роботи, керовані комп'ютерами.

Наприкінці 1971 р. американською фірмою «INTEL» було створено перший мікропроцесор, а кількома роками пізніше з'являються роботи з мікропроцесорним керуванням, що зумовило істотне підвищення їх якості при одночасному зниженні вартості.

Перший міні-комп'ютер, керуючий роботом, було випущено в 1974 р. фірмою «Cincinnati Milacron», однією з провідних фірм-виробників роботів у США.

У наступні роки після створення і виходу на промисловий ринок перших роботів у всьому світі почався стрімкий розвиток робототехніки.

Змінюється і сам принцип використання промислових роботів – від одиничного до комплексного. У провідних робототехнічних країнах (Японія, США, ФРН, СРСР і ін.) в кінці 1960-х –



Рисунок 1.6 – Гнучка виробнича система, яка містить 16 узгоджено працюючих роботів маніпуляційного типу

початку 1970-х рр. розробляються і створюються гнучкі виробничі системи, так звані «безлюдні» виробництва (рис. 1.6).

1.1.5 Роботи для космосу та океану

Науково-технічні досягнення робототехніки дозволили в 1960–1980-х роках створити ряд складних наукових і спеціальних робототехнічних комплексів для дослідження космічного простору. Найбільш відомі з них: станції типу «Луна», апарати «Луноход» – СРСР; станції типу «Маринер», «Вікінг» – США (рис. 1.7).

З появою апаратів-роботів отримав розвиток потужний напрямок – вивчення та освоєння Світового океану. Для цього було розроблено низку унікальних ненаселених підводних апаратів-роботів: «TV», «Москито», «Долфін» – Японія; «KURV», «RCV» – США; «Манта», «OCA» – СРСР; «ROV», «RM» – Франція; «ARCS» – Канада (рис. 1.8).

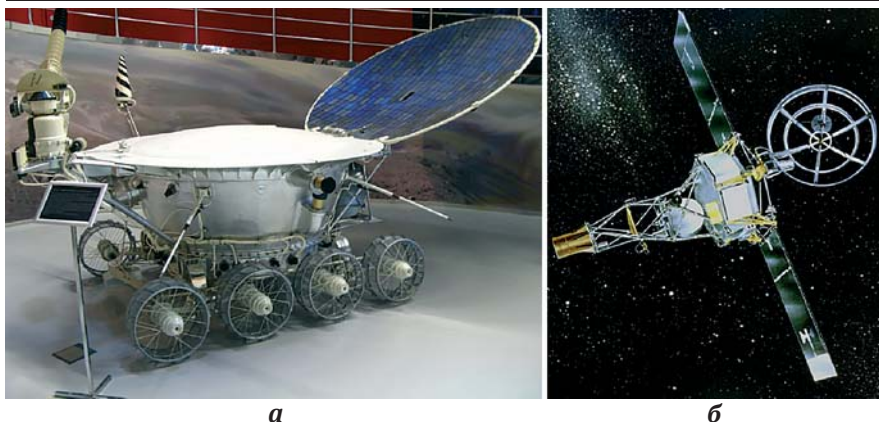


Рисунок 1.7 – Роботи для дослідження космічного простору:
а – «Луноход-1», (СРСР); б – «Марінер-2», (США)

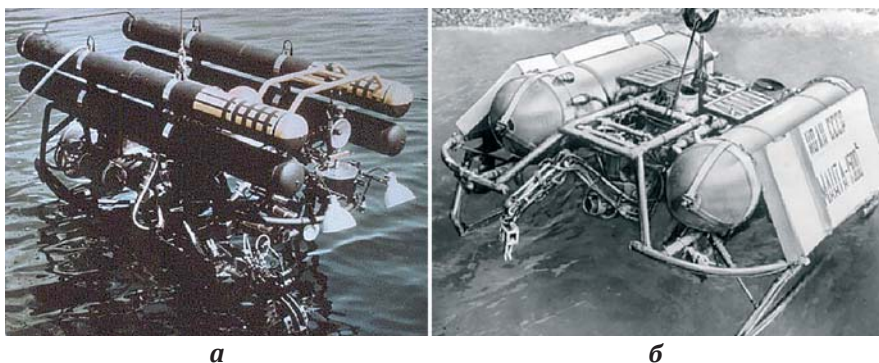


Рисунок 1.8 – Підводні апарати-роботи для дослідження
Світового океану: а – «KURV» (США); б – «Манта» (СРСР)

Ці та інші підводні апарати-роботи були використані при проведенні унікальних за складністю підводних операцій. Так, за допомогою підводного апарата-робота «KURV» у січні 1966 року було знайдено та піднято на поверхню термоядерну бомбу, яка затонула у Середземному морі біля берегів Іспанії (селище Паломарес). Підводний апарат-робот «Манта» багато років залучався до океанологічних досліджень Охотського моря.

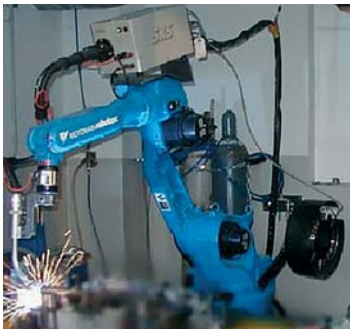
1.1.6 Три покоління промислових роботів

Технічний прогрес у розвитку роботів різного призначення був спрямований, перш за все, на вдосконалення їх систем керування.

Промислові роботи першого покоління мали програмне керування, в основному запозичене у ткацьких верстатів. Тобто, такі роботи працювали під керуванням жорстких програм, які були складені заздалегідь і визначали жорстку послідовність їх рухів при реалізації конкретної виробничої технології.

Друге покоління роботів характеризується додаванням чутливості виконавчим механізмам роботів. Це було забезпечено сенсорними системами, головними з яких були системи технічного зору. Тобто, ці роботи були оснащені системами чутливості, завдяки яким мали оперативний зворотний зв'язок з технологічним процесом.

Перші промислові роботи з розвиненою сенсорною системою і мікропроцесорним керуванням з'явилися на ринку і отримали практичне застосування у 1980–1981 рр. перш за все на збірці, дуговому зварюванні, для контролю якості деталей, для взяття неорієнтованих предметів, наприклад, з конвеєра чи на складі готової продукції (рис. 1.9).



а



б

Рисунок 1.9 – Промислові роботи другого покоління: а – промисловий зварювальний робот; б – робот-вантажник на складі готової продукції

Третє покоління – інтелектуальні роботи. Інтелектуальний робот – це робот конкретного призначення, в основних функціональних системах якого використовуються методи штучного інтелекту. Виникнення інтелекту у роботів пов'язане з розвитком ЕОМ.

У 1972–1975 рр. в Київському Інституті кібернетики під керівництвом академіків АН СРСР М. М. Амосова та В. М. Глушкова було створено макет транспортного автономного інтегрального робота (ТАІР). Робот демонстрував цілеспрямований рух в природному середовищі, обхід перешкод. Конструктивно ТАІР являв собою триколісний самохідний візок, забезпечений системою датчиків: оптичним далекоміром, навігаційною системою з двома радіомаяками і компасом, контактними датчиками, датчиками кутів нахилу візка, таймером тощо.

Особливістю, яка відрізняє ТАІР від багатьох інших систем, створених в той час, є відсутність в його складі комп'ютера в тому вигляді, до якого ми звикли. Основу системи керування становила апаратно реалізована нейронна мережа, у якій були реалізовані різні алгоритми обробки сенсорної інформації, планування поведінки та керування рухом робота.

Сьогодні інтелектуальні роботи широко застосовуються у промисловості – машинобудівній (наприклад, в автомобільній промисловості), у медицині тощо (рис. 1.10).

1.1.7 Роботи на основі принципів біоніки

У другій половині ХХ століття у технічно розвинених країнах світу також було розгорнуто дослідження в новій спеціфічній галузі робототехніки, яка ґрунтується на біомітриці – науці про використання біологічних методів і структур для розробки інженерних рішень та технологій.

Зокрема, були створені крокуючі машини як принципово новий транспортний засіб підвищеної прохідності, зразком для якого є ноги тварин і людини. Були створені експериментальні зразки чотири і шестиногих транспортних машин, протезів ніг людини, так званих екзоскелетонів, для паралізованих і тяжкохворих.

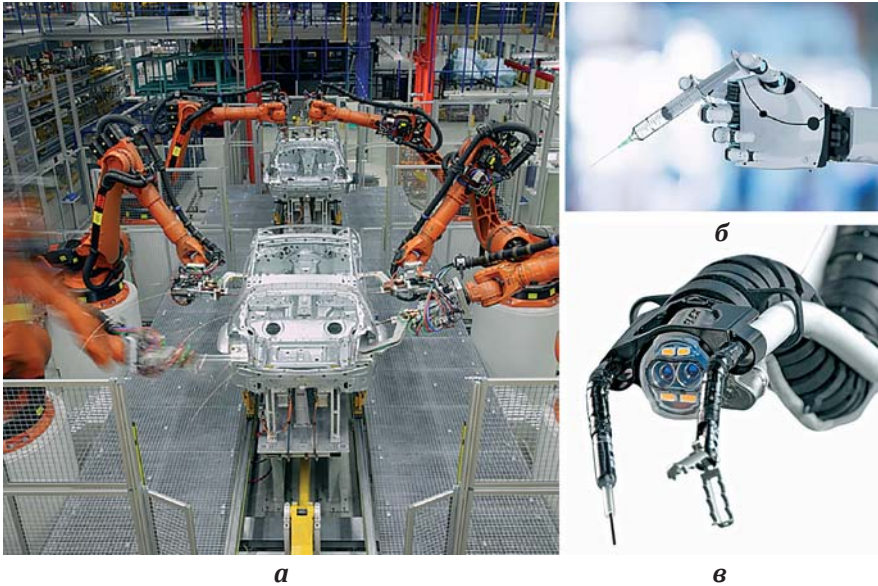


Рисунок 1.10 – Інтелектуальні промислові роботи третього покоління:
а – роботизована лінія збирання автомобілів;
б – робот-рука для ін'єкцій;
в – робот для лапароскопії без хірургічного втручання

Так, компанія «Boston Dynamics» побудувала двох роботів-мулів LS3, призначення яких – перевезення вантажів для морської піхоти США (рис. 1.11, а). Цей робот проходить на одній заправці 32 км і здатний перевозити вантаж вагою в 180 кг.

Вбудована система GPS-навігації дає змогу роботу-мулу самостійно вибирати маршрут руху, а інтелектуальна система керування – розпізнавати жести і голоси людей.

Японська компанія «Sony» створила двоногого робота-андроїда QRIO (рис. 1.11, б). Зріст робота становить 58 сантиметрів, вага – 8 кілограм. Вбудовані 38 сервомоторів наділяють дають змогу роботу швидко пересуватися, брати предмети, підніматися по сходах, танцювати і тримати рівновагу, стоячи на одній нозі. Робот знає 60 000 слів на різних мовах світу, вміє



а

б

в

*Рисунок 1.11 – Промислові роботи третього покоління:
а – чотириногий робот-мул LS3 компанії «Boston Dynamics» (США);
б – двоногий робот-андроїд QRIO компанії «Sony» (Японія);
в – робот-екзоскелет «UniExo» (Україна)*

розпізнавати обличчя, слухатися команд і задавати розумні питання в залежності від ситуації.

Ще одним новим напрямком розвитку робототехніки є розробка і застосування роботів-екзоскелетів. Робот-екзоскелет – це роботизований пристрій, який дозволяє збільшувати можливості людського організму. Роботи такого типу повторюють біомеханіку рухів людини, розширюють їхню амплітуду за рахунок зовнішнього каркаса і приводів, знижують вплив на опорно-рухову систему через передачу навантаження на опорну частину пристрою.

Екзоскелети поділяються на два види: активні та пасивні. Пасивні пристрої лише знімають навантаження з користувача і не вимагають джерела енергії, в той час як активні збільшують можливості людини. Останні оснащуються сервоприводами та одержують енергію від акумуляторів, передбачених конструкцією.

Прикладом пасивного робота-екзоскелета є розробка київського студента Антона Головаченка (рис. 1.11, в). Його робот UniExo – це прототип роботизованого екзоскелета, який дає інвалідам та людям із захворюваннями опорно-рухового апарату можливість знову повноцінно пересуватися. У ньому використовується модульна система, яку можна застосовувати як реабілітації після переломів, так реабілітації повністю паралізованої людини. Робот-екзоскелет керується за допомогою нейрошолома або нейробраслетів.

Ідеї запозичення принципів функціонування живих організмів (принципи біоміметрики) також успішно застосовуються при створенні підводних роботів, призначених для вивчення та освоєння Світового океану. На протязі останніх років у світі побудовано велику кількість підводних апаратів-роботів, які для свого руху використовують різноманітні гідробіонічні принципи руху.

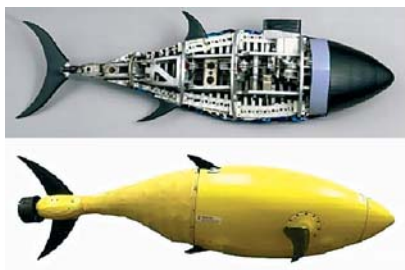
До основних принципів гідробіоніки, що використовуються при побудові таких роботів, належать:

- хвилеподібний (морські тварини та риби);
- реактивний, за рахунок викидання струменя води (наприклад медузи, кальмари);
- крокуючий (морські ракоподібні).

Приклади технічної реалізації таких підводних апаратів-роботів наведено на рис. 1.12.

Розглянемо наведені приклади більш детально.

Дослідники з Національного університету Сінгапуру створили робота MantaDroid, який призначений для підводного спостереження та дослідження морського біорізноманіття (рис. 1.12, б). Цей робот важить 0,7 кг, його ширина становить 63 см, довжина 35 см і він здатний плавати зі швидкістю 0,7 м/с протягом 10 годин. Робот практично не виділяється під водою від морських мешканців, і тим самим є альтернативою звичайним підводним апаратам, що використовуються в даний час. Робот MantaDroid функціонує завдяки гнучким грудним плавникам,



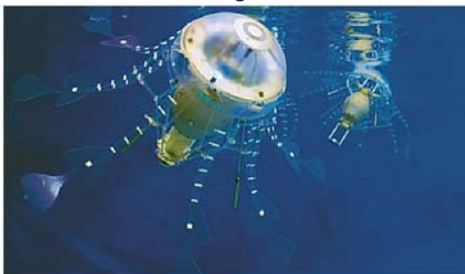
а



б



в



г



д

Рисунок 1.12 – Приклади підводних роботів, які побудовані з використання принципів гідробіоніки

виготовленим з листів полівінілхлориду. Вони використовуються замість пропелерних двигунів, які використовуються у традиційних підводних апаратах, і мають потенціал для роботи у ширшому діапазоні упорів.

Ці плавці прикріплені до плоского та широкого тіла, завершуючи імітацію справжнього скату манта. Тіло вміщує ряд датчиків і може використовуватися для різних цілей, таких як вивчення морського біорізноманіття, вимірювання гідрографічних параметрів водного середовища та виконання пошукових операцій.

У Каліфорнійському університеті Сан-Дієго (США) створили робота-кальмара «Squidbot», який здатний плавати під водою зі швидкістю від 18 до 32 сантиметрів за секунду, підбиратися дуже близько до своїх живих сусідів і виконувати їх фото та відеозйомку (рис. 1.12, в).

Інженери з Вірджинського політехнічного інституту удосконалили робота Robojelly, який імітує граційні рухи медуз (рис. 1.12, г). Розроблений для Керування військово-морських досліджень у 2009 році, цей робот призначений для підводного спостереження в глибинах океанів, зокрема пошуку розливів хімічних речовин, виявлення кораблів та підводних човнів, стеження за міграцією риби. Форма Robojelly майже повністю відповідає реальному живому організму – медузі Aurelia AURITA. Робот виготовлений з м'якого силікону і повністю повторює рухи свого живого прототипу завдяки зміні форми дзвону за допомогою спеціальних тяг з пам'яттю форми.

Фахівці одного з корейських інститутів розробили і побудували найбільший на сьогоднішній день глибоководний крокуючий підводний робот Crabster CR200, який призначений для виконання складних робіт на дні океану (рис. 1.12, д). Маса робота становить 560 кг. Він оснащений 6 механічними ногами, гідролокатором, 11 фото- і відеокамерами, включаючи й призначеними для роботи в каламутній воді. Екіпаж робота складається з 4 чоловік – 2 пілоти, навігатор та інженер.

1.1.8 Роботи для спільної роботи з людиною

Подальший розвиток робототехніки пов'язаний з появою коботів (collaborative robot, cobot). Такі пристрої призначені для прямої взаємодії між роботом і людиною в спільному просторі або там, де люди та роботи знаходяться в безпосередній близькості.

Як і промислові роботи, кобот складається з маніпулятора і пристрою, що забезпечує необхідні рухи виконавчих органів маніпулятора. Їх застосування найбільш ефективно на виробництві при вирішенні завдань, які не можна повністю автоматизувати, але наявність поруч з людиною-оператором механічного пристрою-асистента суттєво підвищує продуктивність і якість праці людини.

Розробка такого пристрою вперше почалась у 1995 р. у Північно-західному університеті (США) спільно з корпорацією General Motors (США). Необхідність такої розробки була обумовлена тим, що на етапі кінцевого складання автомобіля на заводському конвеєрі було багато трудомістких процесів: виявлення дефектних деталей, складання вузлів з деталей, що розрізняються, та інше. Автоматизувати їх було неможливо, але автоматичний прилад-асистент міг би полегшити працю людей.

У результаті проведених досліджень у 1999 року інженери цього університету Е. Колгейт і М. Пешкін винайшли першого кобота – «апарат і метод безпосередньої фізичної взаємодії між людиною та маніпулятором загального призначення, керованим комп'ютером».

Програми керування коботами відрізняються від традиційних програм керування для промислових роботів, оскільки традиційні промислові роботи ізольовані від контакту з людьми. Безпечне функціонування кобота може залежати від легких конструкційних матеріалів, закруглених країв його рухомих елементів і внутрішнього обмеження швидкості та сили, або від датчиків і програмного забезпечення, які забезпечують безпечну поведінку.

Завдяки датчикам та іншим конструктивним особливостям, таким як легкі матеріали та закруглені краї, колаборативні роботи (коботи) можуть безпосередньо та безпечно взаємодіяти з людьми у виробничому процесі без загрози життю і здоров'ю людей (рис. 1.13).



*Рисунок 1.13 – Колаборативні роботи як учасники
спільного виробничого процесу*

Міжнародна федерація робототехніки (IFR) – ця глобальна промислова асоціація виробників роботів і національних асоціацій роботів, визнає дві основні групи роботів:

- промислові роботи, що використовуються в автоматизації промислового середовища;
- сервісні роботи для домашнього та професійного використання.

Сервісних роботів можна вважати коботами, оскільки вони призначені для роботи разом з людьми. Промислові роботи традиційно працювали окремо від людей за огорожами чи іншими захисними бар'єрами, але коботи усувають це відділення.

Коботи промислового призначення можуть мати багато застосувань – від інформаційних роботів у громадських місцях та

логістичних роботів, які транспортують матеріали в людському середовищі в межах будівлі, і до промислових роботів у традиційному розумінні цього терміну, тобто які допомагають автоматизувати неергономічні завдання.

Наприклад допомагати людям переміщувати важкі деталі або виконувати операції подачі деталей чи складання машини, де людина виконує основні операції.

IFR визначає чотири рівні співпраці між промисловими роботами та людьми:

- співіснування: людина та робот працюють поруч один з одним без огорожі, але без спільного робочого простору;
- послідовна співпраця: людина та робот активні в спільному робочому просторі, але їхні рухи є послідовними; вони не працюють над частиною одночасно;
- співпраця: робот і людина працюють над однією частиною одночасно, і обидва знаходяться в русі;
- чуйна співпраця: робот реагує в режимі реального часу на рух працівника.

Відповідно до міжнародного стандарту ISO 10218 (частина 1-ша та частина 2-га), є чотири типи колаборативних роботів, які відрізняються рівнем співпраці з людиною:

- коботи із захисним механізмом зупинки; такий кобот працює переважно автономно, але людині час від часу потрібно зайти в його робочий простір; при наближенні працівника спрацьовує механізм, який зупиняє кобота (заснований на датчиках руху); коли людина залишає робочий простір кобота, його робота автоматично продовжується;
- коботи з ручним керуванням; цей тип використовується для «ручного навчання» робота; зазвичай, це промисловий робот малого розміру, доповнений спеціальними пристроями, що розпізнають тиск руки людини; коли робот не навчається, а виконує свої прямі функції, людина повинна перебувати за межами його робочої зони;
- коботи, оснащені системою «комп'ютерного зору», які відстежують переміщення працівників-людей; як тільки

людина потрапляє в робочу зону робота, його рухи сповільнюються до безпечної швидкості, а якщо працівник підходить надто близько – кобот зупиняється;

- коботи з обмеженням сили, які можуть відчувати опір під час руху своїх виконавчих механізмів і зупиняються, якщо опір сильний; з міркувань безпеки для людини всі елементи конструкції кобота мають округлу форму і не мають відкрито працюючих двигунів; такі коботи можуть функціонувати у безпосередній близькості з людиною (рис. 1.14).



Рисунок 1.14 – Колаборативні роботи Sawyer і Baxter фірми Rethink Robotics (США)

За оцінками IFR розвиток коботів у найближчому майбутньому призведе до втрати 75 мільйонів робочих місць у традиційному конвеєрному виробництві, але при цьому створить 133 мільйони нових робочих місць, пов'язаних з діяльністю роботів. В основному люди співпрацюватимуть у робочих процесах з роботами, виконуючи новостворені завдання, породжені їх виконанням, для яких вони більше підходять.

1.1.9 Сучасні види роботів

Робототехнічні засоби від перших чисто механічних машин і до комп'ютерно керованих електромеханічних та гідравлічних систем пройшли складний шлях становлення і розвитку. У результаті такого розвитку сформувались основні напрямки їх найбільш ефективного застосування.

На сьогодні можна виділити наступні п'ять видів роботів, які характеризують ринково широке їх застосування:

- промислові роботи;
- транспортні роботи;
- побутові роботи;
- військові роботи;
- андроїди.

Промисловий робот – це багатоцільовий маніпуляційний робот, що складається з механічного маніпулятора, пристрою переміщення, системи комп'ютерного керування та інформаційно-вимірювальної системи (рис. 1.15). Такі роботи застосовуються для виконання різноманітних виробничих процесів (зазвичай, для переміщення об'єктів в просторі трьох і більше координат). Промислові роботи є важливими компонентами автоматизованих гнучких виробничих систем, які дозволяють збільшити продуктивність праці.

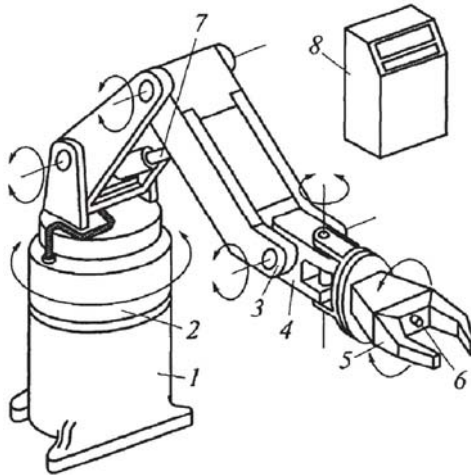


Рисунок 1.15 – Конструкція промислового робота:

1 – опора та пристрій переміщення; 2 – колона; 3 – рука маніпулятора;
4 – кисть; 5 – робочий орган (затискач); 6 – датчик зворотного зв'язку;
7 – привод руки; 8 – керуючий пристрій з пультом ручного керування

Типове застосування промислових роботів стосується таких операцій, як зварювання, фарбування, складання, вибірка та встановлення, пакування, контроль продукції та випробування, які виконуються роботами з високою надійністю, швидкістю, і точністю (рис. 1.16).

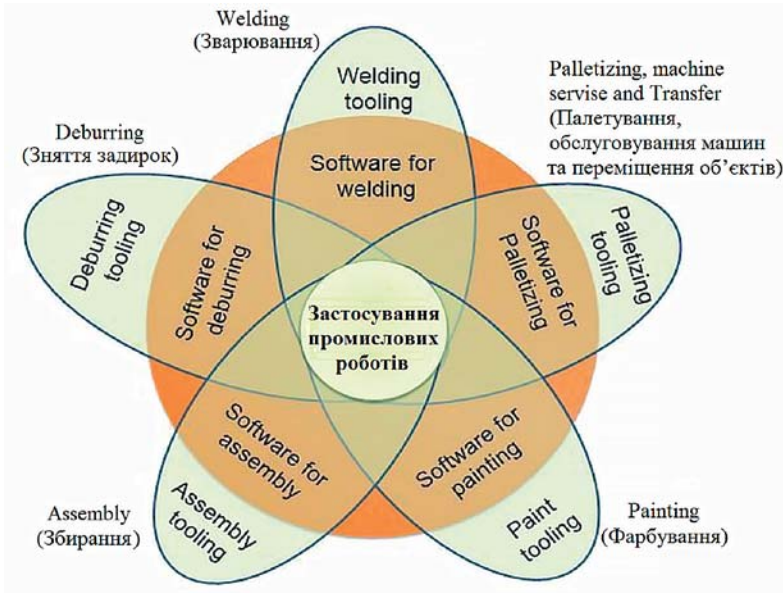


Рисунок 1.16 – Типові застосування промислових роботів

Транспортний робот – це автоматичний електромеханічний або електрогідрравлічний пристрій, що є сукупністю маніпулятора, перепрограмованого пристрою керування та ходового механізму. Сучасні транспортні роботи – це транспортні засоби з автоматизованим керуванням або штучним інтелектом. Існують роботи, які сконструйовані спеціально для перевезення вантажів і адаптовані до їх підняття, перестановки тощо.

Транспортні роботи поділяються на два підкласи: підлогові (безрейкові) та підвісні. Швидкість пересування перших складає 90–100 м/хв.

Побутовий робот – це робот, спеціалізований на допомозі людині в звичайному житті. Вони являють собою електронні роботизовані пристрої, призначені для виконання різноманітних завдань удома чи в офісі. Основні функції, які виконують побутові роботи: прибирання кімнат, допомога людям похилого віку, стеження за діяльністю маленьких дітей, керування кухонною технікою.

Побутові роботи мають великий потенціал, більшість фахівців з робототехніки вважають, що в найближчому майбутньому вони будуть дуже широко використовуватись. Існують різні види побутових роботів: роботи-іграшки, роботи-помічники (роботи-пилососи, роботи-газонокосарки, роботи для очищення басейнів, роботи для миття підлог), соціальні роботи і інші.

Військовий робот призначений для заміни людини в бойових ситуаціях для збереження життя або для роботи в умовах підвищеної складності для людей у військових цілях – розвідка, бойові дії, гуманітарне та бойове розмінування тощо. Бойовими роботами є не тільки автомати, які частково або повністю замінюють людину і здатні виконувати антропоморфні дії, але й такі, що діють у повітряному та водному середовищах (авіаційні безпілотні з дистанційним керуванням апарати, підводні апарати і надводні безекіпажні кораблі).

Андроїд – це людиноподібний робот, який є електромеханічним пристроєм з розвиненою системою інтелектуального керування. Андроїди призначені, що діяти як людина і зовні бути схожими на людину. Часто, для збільшення схожості з людиною в конструкції андроїдів використовують різні органічні елементи (шкіра, тканини, кров і т. д.).

Типові сучасні представники описаних п'яти видів роботів показано на рис. 1.17, де позначено: *а* – роботизована система для сортування різнотипних коробок фірми «PALGO mix» (США); *б* – транспортні роботи для складських приміщень фірми «PIXTA Inc.» (Японія); *в* – побутовий робот-пилосос фірми

СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ
РОБОТОТЕХНІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

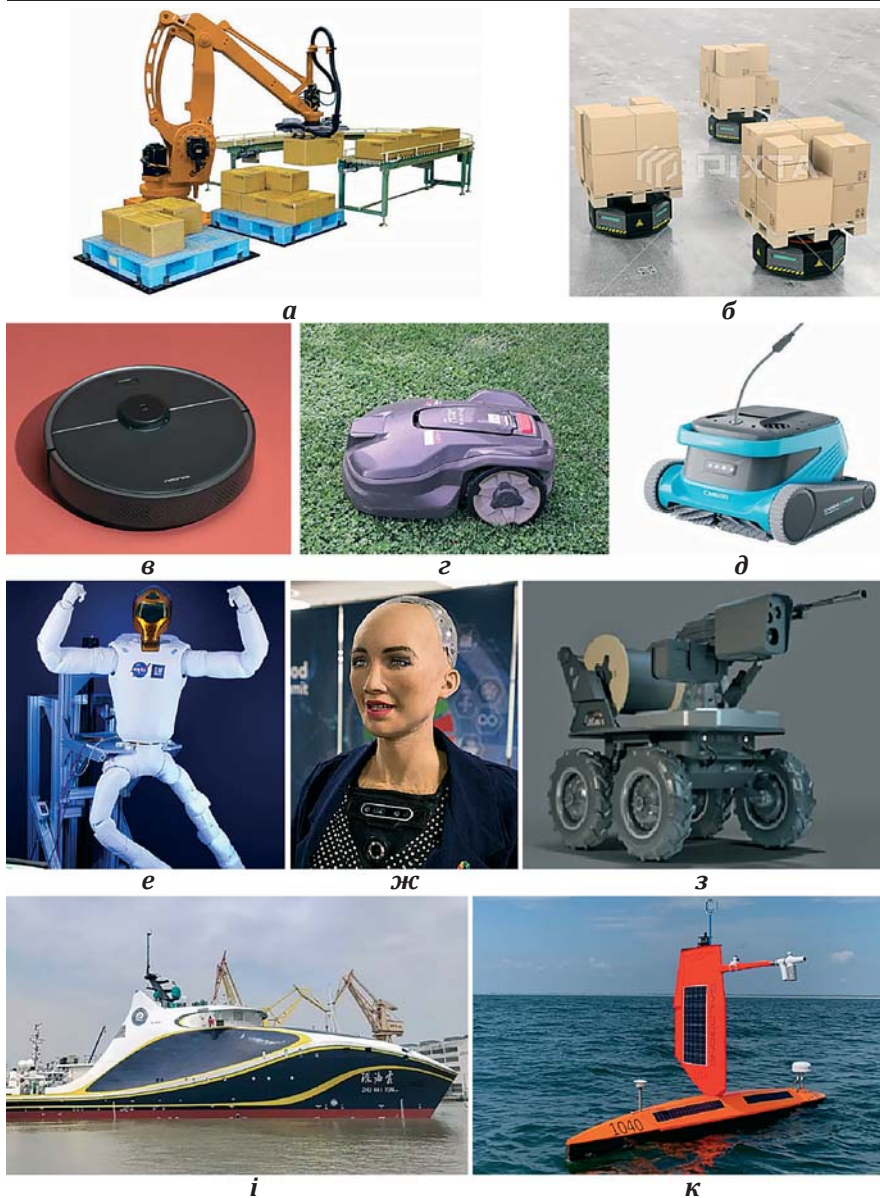


Рисунок 1.17 – Сучасні види роботів

«Wirecutter» (США); *з* – побутовий робот-газонокосилка фірми «Husqvarna» (Швеція); *д* – побутовий підводний робот для очищення басейнів фірми «Hayward», США; *е* – перший робот-космонавт «Robonaut» (США); *ж* – людиноподібний робот (андроїд «Софія») фірми «Hanson Robotics» (Гонконг); *з* – сухопутний бойовий робот виробництва фірми «Temerland» (Україна); *і* – безекіпажний надводний носій автономних літаючих, надводних та підводних апаратів «Zhu Hai Yun», КНР; *к* – робот-вітрильник «Saildrone» з сонячними елементами (США).

Таким чином, сучасні роботи вже зробили суттєвий внесок у технологічний розвиток суспільства, його економіку і культуру. Сучасні роботи, створені на базі останніх досягнень науки і техніки, використовуються, практично, в усіх сферах людської діяльності.

Очевидно, що найбільший ефект від впровадження роботів отримує промисловість, оскільки саме там сконцентрована найбільша кількість трудомістких та небезпечних для людини виробничих операцій.

Розглянемо основні класифікаційні ознаки сучасних промислових роботів.

1.2 Класифікація промислових роботів

Класифікація як система розподілення технічних об'єктів по групах відповідно до наперед визначених ознак є важливою складовою процесу створення та застосування промислових роботів. Знання та урахування класифікаційних ознак у галузі промислової робототехніки спрощує витрати ресурсів (часу, фінансів тощо) як при створенні нових, так і при експлуатації уже існуючих роботів.

Класифікація промислових роботів здійснюється за наступними ознаками:

- характер виконуваних операцій;
- ступінь спеціалізації;
- галузь застосування;

- вид базової системи координатних переміщень маніпулятора;
- число ступенів рухливості;
- вантажопідйомність;
- мобільність (можливість пересування);
- тип силового приводу;
- технічні характеристики маніпуляторів як виконавчих органів промислових роботів;
- спосіб установки робота на робочому місці;
- тип системи керування роботом;
- спосіб програмування робота.

Основні класифікаційні ознаки та відповідні їм типи промислових роботів наведено на рис. 1.18.

Промислові роботи у виробничих процесах машинобудівної промисловості здатні виконувати основні і допоміжні технологічні операції.

До основних технологічних операцій належать операції безпосереднього виконання формоутворення, зміни лінійних розмірів заготовки та ін.

До допоміжних технологічних операціям ставляться транспортні операції, в тому числі операції з завантаження та вивантаження технологічного обладнання.

Тому *за характером виконуваних операцій* промислові роботи діляться на:

- виробничі (технологічні), які виконують основні операції технологічних процесів і безпосередньо в них беруть участь в якості виробничих або оброблюючих машин (зварювальні, складальні і т.д.);
- підйомно-транспортні (допоміжні);
- універсальні – виконують різноманітні основні і допоміжні технологічні операції.

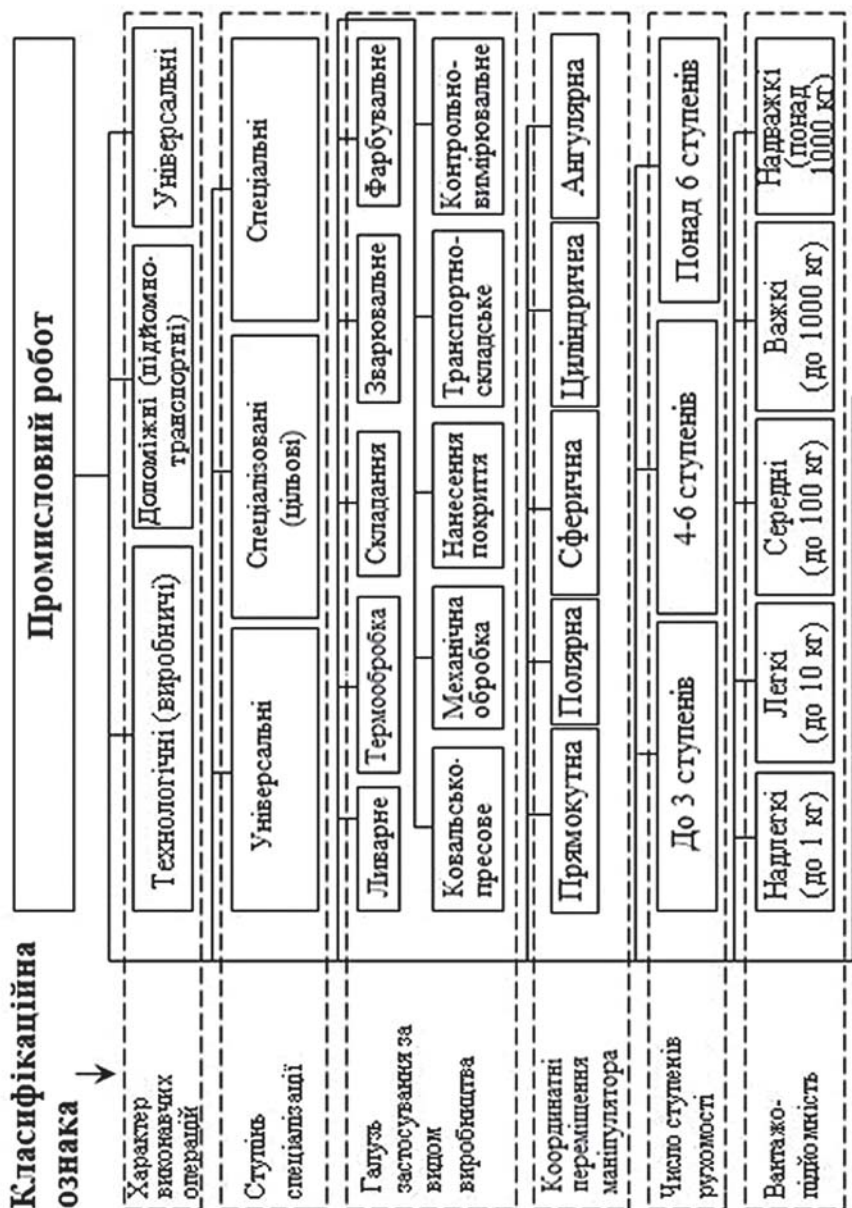
Розглянемо вказані класифікаційні характеристики більш детально, враховуючи, що найбільше застосування промислові роботи отримали у машинобудуванні.

За спеціалізацією промислові роботи, незалежно від їх призначення, поділяються на три типи:

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

За ознакою застосування промислові роботи класифікуються у відповідності до конкретному виду їх використання як основного технологічного обладнання. За цією ознакою промислові роботи, призначені для автоматизації процесів машинобудування, можна розділити на:

- ливарні роботи для обслуговування процесів ливарного виробництва;
- роботи для термообробки деталей;
- складальні роботи для обслуговування процесів складального виробництва;
- зварювальні роботи для обслуговування процесів зварювальних робіт;
- фарбувальні роботи для виконання лако-фарбувальних операцій з металевими, пластмасовими та дерев'яними деталями;
- ковальсько-пресові роботи для виконання обробки важких металевих деталей та для автоматизації штампувального виробництва;
- роботи для обслуговування процесів механічної обробки деталей;
- роботи для нанесення захисних покриттів на деталі;
- транспортно-складські роботи для виконання транспортно-вантажних та сортувальних робіт;
- роботи для виконання контрольно-вимірювальних операцій у процесі ручного, автоматизованого чи автоматичного виробництва.



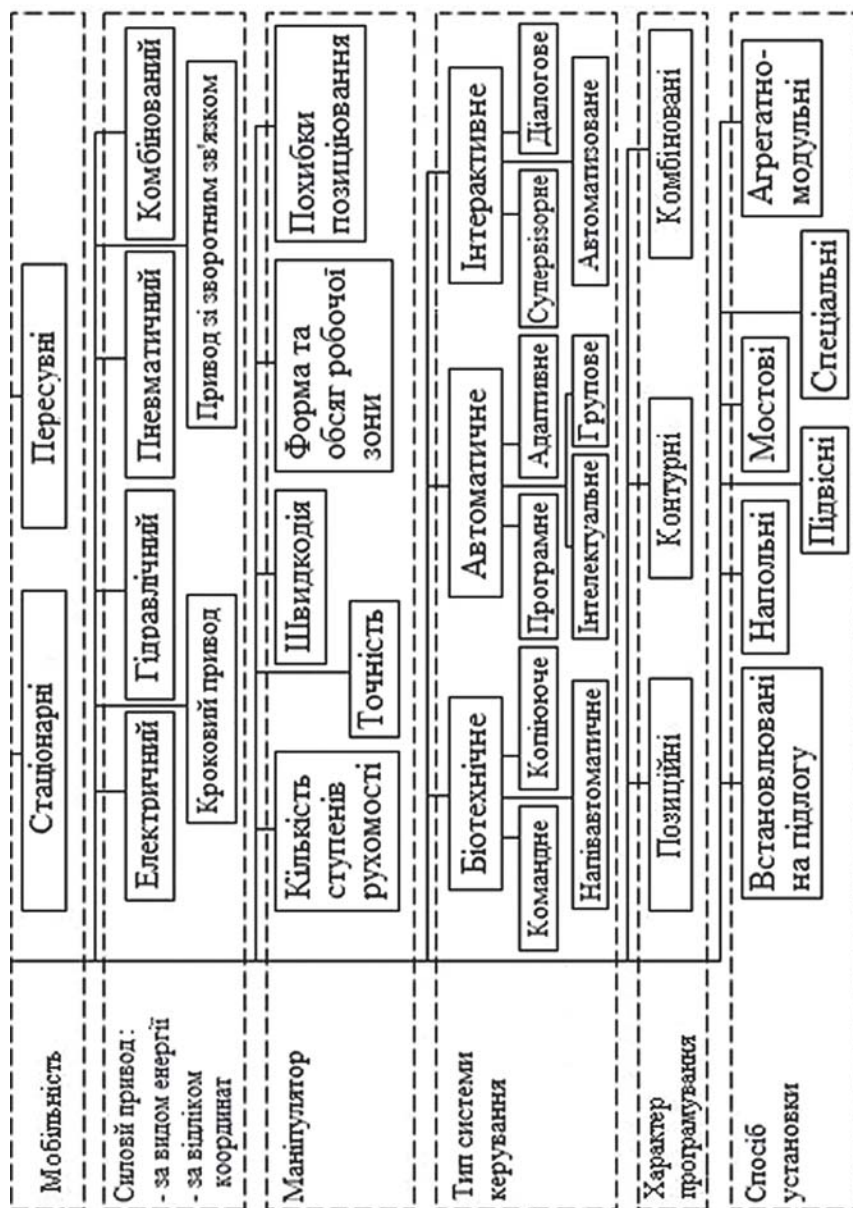


Рисунок 1.18 – Класифікація промислових роботів

За видом базової системи координатних переміщень маніпулятора як основного виконавчого механізму промислового робота останні класифікуються на такі, в яких застосовують:

- прямокутну (плоску та просторову);
- полярну;
- циліндричну;
- сферичну;
- ангулярну (кутову) (плоску, циліндричну та сферичну).

Число ступенів рухливості – це сума можливих координатних переміщень об'єкта маніпулювання щодо опорної системи. Для деяких типів додатково враховують число ступенів рухливості захоплювального пристрою, рівне числу керованих ступенів свободи всіх його ланок щодо вузла кріплення до «руки» маніпулятора.

За ступенем рухливості промислові роботи розділяють на три групи: малої рухливості (до 3-х ступенів рухливості); середньої рухливості (4–6 ступенів рухливості) і високої рухливості (понад 6 ступенів). Сучасні промислові роботи мають зазвичай від 2 до 7 ступенів рухливості: найпростіші – 1–2; найбільш складні – 7, іноді і більше. У структурі сучасного світового парку промислових роботів переважають конструкції з 4 і 5 ступенями рухливості (67%).

Величини і швидкості переміщення робочого органу з кожного ступеня рухливості характеризують геометрію робочого простору промислового робота, а також особливості руху та орієнтації об'єкта, який переноситься.

Величини переміщень по лінійним координатам задаються в метрах, по кутовим – в градусах або радіанах.

Відповідно, швидкості виражаються в метрах за секунду для лінійних координат і в градусах або радіанах за секунду – для кутових координат. За величиною лінійного переміщення (ходу робочого органу) розрізняють промислові роботи з малим (до 300 мм), середнім (понад 300 до 1000 мм) і великим ходом (понад 1000 мм).

Вантажопідйомність промислового робота – це найбільше значення маси об'єкту маніпулювання, включаючи і масу робочого органу, які можуть переміщатися «рукою» при заданих умовах. Для деяких типів промислових роботів важливим показником є зусилля (або крутний момент), яке розвивається виконавчим механізмом. До числа таких показників можна віднести зусилля затиску об'єкта маніпулювання захоплювальним пристроєм, робоче зусилля «руки» промислового робота уздовж її поздовжньої осі, крутний момент при ротації захоплювального пристрою.

За величиною вантажопідйомності промислові роботи поділяють на:

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

Очевидно, що вантажопідйомність робота обумовлюється вантажопідйомністю його маніпуляторів. При наявності декількох маніпуляторів вантажопідйомність робота визначається вантажопідйомністю найбільш потужного з них.

За ознакою мобільності (можливості пересування) промислові роботи розділяють на стаціонарні і рухливі (пересувні), а по закріпленню – на підлогові, підвісні (переміщаються по піднятому рейковому шляху) і вбудовані в інше обладнання (наприклад, у верстат, що обслуговується).

Вибір *типу привода* залежить від функціонального призначення промислового робота, умов експлуатації, вантажопідйомності, динамічних характеристик і виду системи керування.

В залежності від виду енергії, яка використовується для руху робочого механізму привода, використовуються наступні види привода:

- електричний;
- гідравлічний;
- пневматичний;
- комбінований.

За способом відліку координат приводу розрізняють електроприводи:

- з відносним відліком координат – по приростам (кроковий двигун);
- з абсолютним відліком координат (електропривод з зворотнім зв'язком).

Маніпулятор є одним з ключових елементів промислового робота. До головних його класифікаційних ознак належать:

- кількість ступенів рухливості;
- швидкодія;
- точність;
- форма та обсяг робочої зони;
- похибки позиціювання.

Розглянемо наведені ознаки більш детально.

За кількістю ступенів рухливості виконавчого механізму (маніпулятора) промислові роботи поділяють на:

- одноманіпуляторні (однорукі);
- двохманіпуляторні (дворукі);
- трьохманіпуляторні (трьохрукі);
- чотириманіпуляторні (чотирирукі).

Динамічні властивості маніпулятора характеризують його показники – швидкість і точність рухів.

Швидкість переміщень ланок маніпулятора характеризує важливу якість промислового робота – швидкодію, від якого залежить час обслуговування технологічного устаткування.

Швидкодію роботів загального застосування можна розбити на три наступні групи:

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

Зазвичай швидкості лінійних переміщень робочих органів маніпуляторів не перевищують 1,0–1,5 м/с, хоча є окремі робо-

ти зі швидкостями до 9 м/с. Швидкості кутових переміщень робочих органів переважно знаходяться в межах від 15 до 360 град/с (від 0,25 до 6,3 рад/с).

Основні труднощі із забезпеченням необхідної швидкодії маніпуляторів пов'язані з відомим протиріччям між швидкодією і точністю.

Точність маніпулятора характеризується результуючою похибкою позиціонування (при дискретному русі) або відпрацюванням заданої траєкторії (при безперервному русі).

Найчастіше точність роботів характеризують абсолютною похибкою.

Точність роботів загального застосування підрозділяють на три групи:

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

Робоча зона промислових роботів – це простір, в якому може знаходитися робочий орган при його функціонуванні. Вона характеризується своїми формою і обсягом.

Форма робочої зони – це просторова фігура, описувана робочим органом промислового робота при проходженні ним гранично досяжних положень. Вид робочої зони обумовлений призначенням промислового робота і визначається числом ступенів рухливості маніпулятора, типом і взаємною орієнтацією кінематичних пар у просторі і відносними розмірами ланок маніпулятора.

Обсяг робочої зони – це обсяг простору, в межах якого може переміщатися робочий орган промислового робота при його функціонуванні. Цей показник вимірюється в метрах кубічних і дає змогу оцінити масштаб ручної праці, доступної промисловою роботою. За величиною робочого об'єму всі роботи можна розділити на п'ять класів.

Найбільшого поширення в даний час отримали середні промислові роботи (45%), на другому місці малі (30%), потім великі (12%), міні-роботи (9%) і, нарешті, мікророботи (4%).

Похибка позиціювання траєкторії – це відхилення фактичного положення (або траєкторії) робочого органу від заданого програмою при багаторазовому позиціюванні (повторенні руху), яке оцінюється в лінійних або кутових одиницях.

У характеристиках промислового робота точність позиціювання вказується в абсолютних одиницях, однак для порівняльної оцінки різних роботів і визначення їх типів з точки зору ступеня їх точності такий показник неприйнятний, оскільки не пов'язаний з геометричними параметрами робочої зони.

Тому в основу визначення типу промислового робота за показником точності покладена відносна похибка позиціювання, або відпрацювання траєкторії.

Відносна похибка позиціювання – це величина, що характеризує точність роботів з цикловим і позиційним керуванням. Вона визначається як відношення абсолютної похибки позиціювання до максимального віддалення від осі найближчої до основи робота кінематичної пари до кордону робочої зони, виражена у відсотках.

За типом системи керування промислові роботи поділяють на:

- біотехнічні;
- автоматичні;
- інтерактивні.

У свою чергу, промислові роботи з біотехнічними системами керування поділяють на:

- командні (керування відбувається оператором за допомогою кнопок (важелів) керування окремими ланками робота);
- копіюючі (у яких система виконавчих приводів повторює рухи кінцівок чи тулуба оператора, а система керування може включати сенсори зворотного зв'язку, що передають зусилля навантаження цих приводів);
- напівавтоматичні (керування одним командним органом).

Промислові роботи з автоматичними системами керування поділяють:

- на роботи з програмним керуванням, які працюють за за-
здаlegідь заданою жорсткою або змінюваною програмою
(роботи першого покоління);
- роботи з адаптивним керуванням (роботи другого поко-
ління);
- роботи з інтелектуальним керуванням (зі штучним інте-
лектом, роботи третього покоління);
- роботи з груповим керуванням (роботи, які на думку
авторів, утворюють основи четвертого покоління спеці-
альних промислових роботів, призначених для автомати-
чного виконання надскладних технологічних процесів, які
ефективно реалізуються групою узгоджено працюючих
роботів).

Промислові роботи з інтерактивними системами керування
поділяють:

- на автоматизовані (можливо чергування автоматичних і
біотехнічних режимів);
- supervізорні (автоматичні системи, в яких людина тільки
вказує об'єкт, відносно якого необхідно виконати техно-
логічну операцію);
- діалогові (робот бере участь у діалозі з людиною за вибо-
ром стратегії поведінки, при цьому, зазвичай, робот осна-
щується експертною системою, здатною прогнозувати
результати маніпуляцій і дає поради щодо вибору об'єкта
діяльності).

За характером програмування промислові роботи поділя-
ють на:

- позиційні, у яких маніпулятор рухається від попередньої
його позиції до наступної позиції по жорсткому маршруту,
закладеному у програмі;
- контурні, які відрізняються наявністю слідкуючих систем
керування приводами із замкнутим контуром і з безпе-
рервним керуванням рухом кінцевої точки (затискача
або інструменту) маніпулятора по визначеній траєкторії;
вони дають змогу захоплюючому пристрою маніпулятора

здійснювати безперервні точні і плавні переміщення по заданому контуру із заданими швидкостями, а іноді з прискоренням або уповільненням руху на деяких ділянках траєкторії;

- комбіновані, які використовують обидва вище описаних способи керування.

За способом установки на робочому місці промислові роботи поділяють на:

- встановлювані на підлогу промислові роботи;
- підвісні промислові роботи тельферного типу;
- промислові роботи мостового типу;
- спеціальні промислові роботи (сухопутні крокуючі, підводні, авіаційні, космічні);
- промислові роботи агрегатно-модульного типу, у яких має місце широка уніфікація їхніх елементів як у механічній частині, так і в пристроях керування.

Далі у посібнику більш детально розглядаються системи автоматичного керування (САК) промисловими роботами чотирьох основних типів – системи з програмним, адаптивним, інтелектуальним та груповим керуванням.

Попередньо варто зауважити, що на практиці тільки програмне керування застосовується в чистому вигляді, а інші три типи керування застосовуються комплексно, у залежності від призначення промислового робота. Так, системи адаптивного керування, в основному, будуються на базі програмного як більш високий рівень керування, що забезпечує підвищену якість керування технологічним процесом.

Системи інтелектуального керування реалізуються як надбудова над першими двома рівнями і забезпечують ефективне керування в умовах невизначеностей зовнішніх збурень і нестаціонарності власних параметрів роботів та оброблюваних деталей.

Системи групового керування є відносно новим напрямком розвитку промислової робототехніки спеціального призначен-

ня й утворюють рівень стратегічного керування, який забезпечує узгоджені дії декількох роботів, що виконують спільні місії у складних умовах зовнішнього середовища.

Зазначимо, що назви САК конкретних роботів, зазвичай, визначається основним використаним у них способом керування.

Контрольні питання

1. Дати визначення поняттю промислова робототехніка.
2. Дати характеристику першим механічним роботам.
3. Охарактеризувати стадію зародження промислової робототехніки.
4. Охарактеризувати еру електричних роботів.
5. Закони робототехніки Айзека Азімова.
6. Дати характеристику роботів для космосу та океану.
7. Дати характеристику поколінь промислових роботів.
8. У чому сутність технічних рішень роботів на основі принципів біоніки?
9. Дати характеристику колаборативних роботів.
10. Охарактеризувати типові застосування промислових роботів.
11. У чому відмінності між транспортними, побутовими та військовими роботами?
12. Що таке «робот-андроїд» та в чому полягають особливості його конструкції?
13. У чому призначення та сутність класифікації промислових роботів?

Література до розділу 1

1. Історія розвитку робототехніки. Типологія роботів [Електронний ресурс]. *На урок. Освітній проєкт: веб-сайт*. URL: <https://naurok.com.ua/prezentaciya-na-temu-istoriya-rozvitku-robototekhniki-228055.html>.
2. Лисенко С. М. Напрямки досліджень та розвитку комп'ютерної інженерії [Електронний ресурс]. *Модульне навчання: веб-сайт*.

URL: https://msn.khnu.km.ua/pluginfile.php/373550/mod_resource/content/0/%D0%9B%D0%95%D0%9A%D0%A6%D0%86%D0%AF%201.%20%D0%86%D0%A1%D0%A2%D0%9E%D0%A0%D0%86%D0%AF%20%D0%A0%D0%9E%D0%97%D0%92%D0%98%D0%A2%D0%9A%D0%A3%20%D0%A0%D0%9E%D0%91%D0%9E%D0%A2%D0%9E%D0%A2%D0%95%D0%A5%D0%9D%D0%86%D0%9A%D0%98.pdf.

3. Мокренко П. В., Ядловська В. В. Огляд розвитку робототехніки. Ч. 1: Робототехніка до XX століття. Автоматика, вимірювання та керування. Т. 2. № 1(2). 2020. С. 67–77.

4. Основи робототехніки [Електронний ресурс]. *Vuzlit. Архів студентських робіт: веб-сайт*. URL: https://vuzlit.com/957666/osnovi_robotothetnik.

5. Розвиток робототехніки: майбутнє вже настало [Електронний ресурс]. *Інтернет-магазин металопрокату ТОВ «МЕТІНВЕСТ-СМЦ»: веб-сайт*. URL: <https://metinvest-smc.com/ua/articles/razvitie-robototexniki-budushee-uzhe-nastupilo>.

6. Робот-медуза из Флоридского Атлантического университета (Robotics.ua) [Електронний ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=CZjrPWORHzc>.

7. Examples of industrial robots in the automotive industry [Electronic resource]. *Universal Robots A/S: website*. URL: <https://www.universal-robots.com/blog/6-examples-of-industrial-robots-in-the-automotive-industry>.

8. Key Robot Applications in Automotive Manufacturing [Electronic resource]. *Robotics Business Review: website*. URL: <https://www.roboticsbusinessreview.com/manufacturing/7-key-robot-applications-in-automotive-manufacturing>.

Розділ 2

СИСТЕМИ ПРОГРАМНОГО КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ РОБОТАМИ

Програмне керування – це найпростіший тип системи керування, який використовується для керування маніпуляторами промислових роботів. Під програмним керуванням розуміють зашифровану інформацію про послідовність і час виконання окремих керуючих команд робочого циклу для виконавчих механізмів робота, а також про їх просторове положення.

Системи програмного керування призначені для програмування роботи промислового робота, запам'ятовування та збереження програми керування, генерування керуючих команд та контролю за їх виконанням.

Такі роботи не мають сенсорної підсистеми, всі рухи їх виконавчих механізмів жорстко фіксовані і регулярно повторюються. Функція оператора таких роботів полягає лише у навчанні, запуску і подальшому періодичному нагляді за його роботою.

Нижче наведено відомості про три основні види систем програмного керування, які знайшли найбільше застосування у промислових роботах першого покоління: циклові, позиційні та контурні системи програмного керування.

Зазвичай, порівняння різних САК проводять за наступними характеристиками:

- тип траєкторії руху промислового робота;
- цикл керуванням;
- джерела інформації для синтезу закону керування;
- алгоритм керування промисловим роботом;
- спосіб програмування САК.

Далі розглянемо принципи функціонування систем програмного керування, виходячи з наведених вище характеристик.

2.1 Системи дискретного циклового керування

2.1.1 Циклові системи автоматичного керування

Циклові САК забезпечують лише дискретну траєкторію руху. Кожна дискретна точка траєкторії відповідає одній комбінації із загального числа сполучень крайніх ланок (кінцівок) маніпулятора промислового маніпулятора. Такі системи керування мають розімкнений цикл керування, тобто сигнали керування надходять від програматора безпосередньо на привод робота.

У циклових САК звичайно не використовуються інформаційні датчики. Виняток становлять кінцеві вимикачі, що фіксують знаходження ланок у крайніх положеннях. Алгоритм керування у таких САК формується у вигляді логічної послідовності спрацювання ланок маніпулятора.

Циклові системи програмуються шляхом фізичного налаштування механічних упорів і ручного набору циклограми на програматорі.

Процес керування окремими приводами зводиться до одноразового розгону, руху з постійною швидкістю і гальмування, досягши заданого упору. Програмування робота полягає в установці на кожному приводі таких упорів, які визначають величину переміщення по відповідній ступені рухливості, швидкості цих переміщень, послідовності включень приводів і можливих затримок часу між цими включеннями.

Усі ці операції, окрім установки упорів, проводяться за допомогою перемикачів або інших органів на панелі керування. Внаслідок простоти циклового керування для роботів з таким керуванням, як правило, застосовують облаштування групового керування.

На рис. 2.1, *а* показано один з таких пристроїв 70-х років минулого століття, який має 512 виходи, що управляють приводами маніпуляторів.

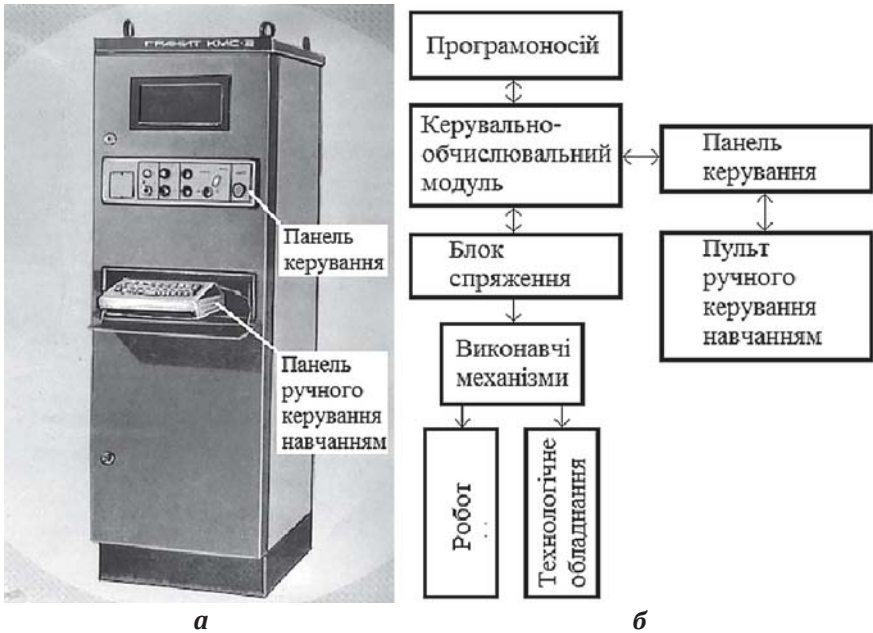


Рисунок 2.1 – Стійка циклового програмного керування (а) та загальна структура системи циклового керування промисловим роботом (б)

Загальна структура системи циклового керування наведена на рис. 2.1, б.

До складу системи циклового програмного керування входить керувально-обчислювальний модуль, програмоносій, блоки спряження з роботом і технологічним обладнанням, панель керування й пульт ручного керування навчанням.

Основою системи є керувально-обчислювальний модуль, функція якого полягає у формуванні мікрооперацій (керуючих імпульсів), відповідних алгоритму керування, для видачі їх в операційні вузли та інші функціональні блоки.

В електронних пристроях циклового програмного керування як керувально-обчислювальний модуль застосовують мікропрограмні автомати різного типу.

Організація керувально-обчислювальних модулів мікропроцесорних систем циклового керування реалізується на базі мікропроцесорних наборів і мікроЕОМ різних конфігурацій.

Для запам'ятовування і зберігання інформації про послідовність виконання команд у системах циклового керування як програмно-задавальні модулі можуть бути використані:

- а) електромеханічні інформаційні носії – штекерні та комутаційні поля, програмні барабани, діодні програмовані матриці, рознімачі, перфокарти і т.п.;
- б) електронні, побудовані на основі запам'ятовувальних пристроїв з електричним перезаписом інформації.

Блок спряження з роботом і технологічним обладнанням виконує функції формування команд керування приводами, опитування стану датчиків, що виробляють сигнали підтвердження відпрацювання, обміну інформацією з обслуговуванням технологічним обладнанням.

Панель керування призначена для задавання режимів роботи, пуску й зупинки програми, індикації ходу відпрацювання програми, стану і правильності функціонування вузлів. Сигнали ручного переміщення ланок формуються за допомогою пульта ручного керування.

Програмування керуючої інформації проводиться по кадрах, склад та число яких визначається командами, що видаються на приводи робота. При автоматичному відтворенні програми інформація про черговість виконання окремих операцій зчитується по кадрах із програмоносія в керувально-обчислювальний модуль, який формує команди керування в блок спряження з роботом та технологічним обладнанням.

2.1.2 Уніфіковані циклові системи автоматичного керування

Більш складним варіантом дискретного циклового керування є уніфіковані циклові системи автоматичного керування промисловими роботами. Такі САК мають ряд модифікацій, що відрізняються в основному числом вихідних сигналів та

допоміжних команд. Системи керування такого типу призначені для промислових роботів, що обслуговують ковальсько-пресове обладнання, ливарні машини, лінії гальванопокриттів та металорізальні верстати в умовах масового виробництва. Такими системами керування комплектують промислові роботи з обмеженими маніпуляційними та функціональними можливостями, що мають невелику кількість точок позиціонування за кожним ступенем рухливості.

Командний сигнал таких САК є потенціалом певної полярності, що з'являється на відповідній вихідній шині системи. Тривалість командного сигналу може бути встановлена за часом або за відповіддю кінцевого вимикача, розташованого на відповідному робочому органі промислового робота.

Такі САК характеризуються наступними особливостями:

- реалізують алгоритми гальмування ланок робота при наближенні до упора;
- використовують збільшену кількість команд;
- формують технологічні програми зі змінною послідовністю кадрів;
- застосовують розвинену систему аварійних блокувань.

Як приклад, на рис. 2.2 показано структурну схему уніфікованого пристрою циклового керування УЦМ-663, який широко використовується для програмного керування промисловими роботами у багатьох галузях промисловості.

Пристрій УЦМ-663 побудований за принципом синхронного програмного автомата із жорстким циклом управління. Пристрій має досить розвинуту мову програмування (систему команд). Кожна з команд являє собою 8-розрядне слово, що складається із коду операції (старші розряди), не обов'язкової в загальному випадку інформаційної частини (молодші розряди) і контрольного розряду.

У якості програмоносія в системі використовується «енергонезалежний» оперативно-запам'ятовувальний пристрій на інтегральних мікросхемах, що дозволяє зберегти записану

СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ РОБОТОТЕХНІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

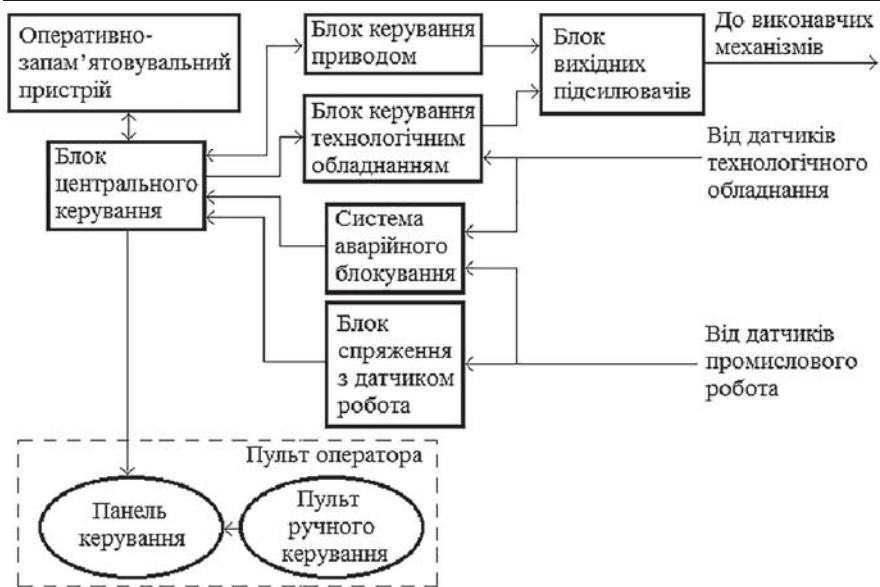


Рисунок 2.2 – Структурна схема уніфікованого пристрою циклового керування УЦМ-663

інформацію при відключенні джерела живлення. Керуюча інформація формується блоком центрального керування відповідно до програми, що записана в оперативно-запам'ятовувальному пристрої.

З пульта керування задаються режими роботи пристрою, індикація номера кадру, що обробляється, і змісту кадру програми, включення-вимикання електроживлення і гідропневмомережі як джерел енергії для виконавчих механізмів. За допомогою клавіатури набираються буквено-цифрові команди та записуються в оперативну пам'ять пристрою у режимі навчання.

Система видачі команд на робот, що має в своєму складі програмовані діодні матриці, які реалізують різні алгоритми керування, забезпечує спряження пристрою з приводами циклових робіт.

Можливе програмування різних команд:

- позиціонування робочого органу ПР та керування обладнанням (керівні команди);
- витримки часу, спільного відпрацювання керуючих команд, звернення до підпрограми, кінця підпрограми, управління робочим циклом, кінця робочого циклу, зупинки (допоміжні команди).

Сигнали керування, котрі виробляються блоками керування роботом і технологічним обладнанням, безпосередньо надходять на відповідні приводи через блок вихідних підсилювачів.

Блок спряження з датчиками робота і спеціальна схема в блоці керування технологічним обладнанням формують сигнал відпрацювання поточного кадру технологічного процесу.

Для попередження аварійних ситуацій у пристрої передбачена програмована за допомогою спеціальних діодних матриць система аварійного блокування, що видає на блок центрального керування сигнали дозволу на виконання команд.

Програмування пристрою здійснюється шляхом покомандного набору програми на пульті оператора.

Пристрій забезпечує спільне відпрацювання до восьми одиничних операцій шляхом організації кадрів змінної довжини. Режими роботи пристрою – автоматичний, цикловий, покадровий, покомандний, ручний, завдання програми, регенерація програми. Пристрій може працювати за окремими підпрограмами з варіаціями їхнього логічного взаємозв'язку («вкладені» цикли вибірки та розкладки заготовок у впорядковану тару, типові цикли взаємодії з допоміжними пристроями тощо).

2.2 Системи дискретного позиційного керування

Системи дискретного позиційного керування використовуються в промислових роботах, які виконують точкове зварювання, складання і обслуговування різного технологічного обладнання.

Позиційні САК забезпечують квазінеперервну (майже неперервну) траєкторію. Це значить, що траєкторія неперервна, але

позиціювання можливе тільки в дискретних значеннях неперервної функції. Число дискретних значень залежить від можливостей пристрою керування і становить від кількох сотень до кількох тисяч точок.

У позиційних САК цикл замкнутий по точках позиціювання і розімкнутий для руху між точками позиціювання, який проходить за заданим законом. У таких системах кожна ланка маніпулятора обладнується датчиком положення, сигнал якого надходить на пристрій порівняння для формування сигналу розузгодження між заданим і поточним положенням ланки.

У позиційних САК поряд з логічною послідовністю рухів ланок існує ще закон інтерполяції, що визначає рух між точками позиціювання. Такі системи програмуються у режимі безпосереднього навчання з використанням мови машинних кодів або із застосуванням мов програмування високого рівня.

Використовуються також спеціальні мови програмування, які розроблені з урахуванням специфіки функціонування промислового робота.

Роботи з системами дискретного позиційного керування мають велику кількість (десятки) точок позиціонування робочого органу маніпулятора. На відміну від систем циклового керування тут точність позиціонування забезпечується не упорами, а точністю відпрацювання приводами заданих позицій зі зворотним зв'язком по положенню відносно точок позиціонування.

Винятком є розімкнені системи керування з приводами виконавчих механізмів, які використовують крокові приводи.

Процес дискретного позиційного програмного керування маніпулятором виглядає таким чином.

В системі керування, зазвичай, на магнітному носії зберігається керуюча програма, яка складається із занесених на окремі паралельні доріжки програм для окремих приводів. Ці програми є послідовністю чисельних значень кроків позиціонування приводу цієї ступені рухливості. Відпрацювання керуючої про-

грами полягає в одночасному надходженні на усі приводи виконавчих механізмів значень чергового кроку і відпрацюванні приводами цього завдання. Після того, як усі приводи зупиняться, робочий орган маніпулятора займе відповідну чергову позицію в просторі.

Після цього керуюча програма видає команду на виконання приводами наступного кроку і далі процес керування повторюється. В результаті робочий орган маніпулятора переміщається кроками по запланованій дискретній траєкторії, зупиняючись після кожного кроку.

Програмування, тобто синтез керуючої програми, здійснюється методом навчання на самому роботі або аналітично на ЕОМ.

Перший спосіб програмування має два варіанти. У першому варіанті оператор в режимі ручного керування окремими приводами послідовно встановлює робочий орган маніпулятора в заздалегідь вибрані точки заданої програмної траєкторії. При цьому в кожній такій точці в пам'ять обладнання керування заносяться значення сигналів з датчиків положення усіх приводів. В результаті проходження таким чином усієї траєкторії в системі керування утворюється програма керування, яка відповідає процесу навчання. Після пробного її відтворення і, при необхідності, коригування в окремих точках програма керування готова до роботи.

Розвитком цього способу програмування методом навчання стало використання системи технічного зору і персонального комп'ютера. На час програмування на робочому органі маніпулятора кріпиться передавальна телевізійна камера, яка передає зображення об'єктів (наприклад, деталей чи заготовок), з якими маніпулятору належить працювати, на екран персонального комп'ютера. Керування маніпулятором здійснюється при цьому оператором у ручному режимі за допомогою «миші» шляхом одночасного керування відповідними приводами ланок маніпулятора. Команди керування обчислюються комп'ютером і запам'ятовуються у послідовності, яку реалізує оператор.

Перевагою цього варіанту програмування є суттєве прискорення процесу навчання.

Другий варіант програмування методом навчання полягає в переміщенні робочого органу маніпулятора рукою оператора і запису при цьому показників датчиків положення приводів як в попередньому варіанті. Для виконання такої операції на робочому органі передбачаються спеціальні рукоятки, а в конструкції самого маніпулятора – можливість від'єднання приводів від його механічної частини, щоб дати можливість операторові безперешкодно її переміщати.

Аналітичний спосіб програмування дозволяє синтезувати програми, що управляють, на ЕОМ, не залучаючи до цієї операції робота. По суті, в цьому випадку замість робота використовується його математична модель, за допомогою якої здійснюється процес програмування подібно до того, як це робиться на реальному роботі. При цьому для отримання математичної моделі необхідної точності необхідно регулярно виконувати ідентифікацію відповідних його характеристик. Такий спосіб програмування не вимагає відключення робота на час програмування від технологічного процесу, в якому він задіяний.

2.3 Системи контурного керування

2.3.1 Контурні системи автоматичного керування

Контурні САК (системи безперервного керування) забезпечують неперервні траєкторії руху, тобто можливість позиціонування в будь-якій точці робочої зони робота. Більше того, параметри руху (швидкість, прискорення, уповільнення) можна змінювати в процесі переміщення по траєкторії.

У контурних САК цикл керування замкнутий по внутрішній інформації про динамічні складові ланок робота. Алгоритм у таких САК синтезується у результаті розв'язання диференційного рівняння (системи рівнянь), що описує динаміку робота.

Кожна ланка у таких САК також обов'язково обладнується датчиком положення, сигнал якого надходить на пристрій порі-

вняння для формування сигналу розузгодження між задаючим і поточним положенням ланок.

Структура промислового робота з контурною САК наведена на рис. 2.3.

Контурні САК програмуються у режимі безпосереднього навчання з використанням мови машинних кодів або із застосуванням мов програмування високого рівня. Використовуються також спеціальні мови програмування, що враховують специфіку робота.

Типові роботи з контурним керуванням – це промислові роботи для дугового зварювання і різання, для нанесення різного виду покриттів. Головна відмінність цих роботів від роботів з розглянутим вище дискретним позиційним керуванням полягає в тому, що рух по програмній траєкторії здійснюється без зупинок. Це вимагає від приводів більшої швидкодії та обумовлює їх принципову відмінність їх програмування.

Якщо, наприклад, записати програму, що управляє, для маніпулятора з безперервним керуванням методом навчання, переміщаючи його робочий орган по необхідній програмній траєкторії на невеликій швидкості, а потім відтворити цю програму на істотно більшій швидкості, яку потрібно за технологією, то із-за неминучого динамічного запізнювання робочий орган на усіх вигинах траєкторії сходитиме з неї. Це динамічна помилка зростатиме зі збільшенням швидкості руху. Тому програми, що управляють, при такому методі програмування навчанням необхідно коригувати і відпрацьовувати на заданій реальній швидкості, з якою програмна траєкторія повинна відтворюватися.

Те ж відноситься і до аналітичного програмування: тут потрібна динамічна математична модель робота, тоді як при дискретному позиційному управлінні потрібно кінематичну модель.

При програмуванні систем безперервного керування методом навчання окрім запам'ятовування безперервного переміщення

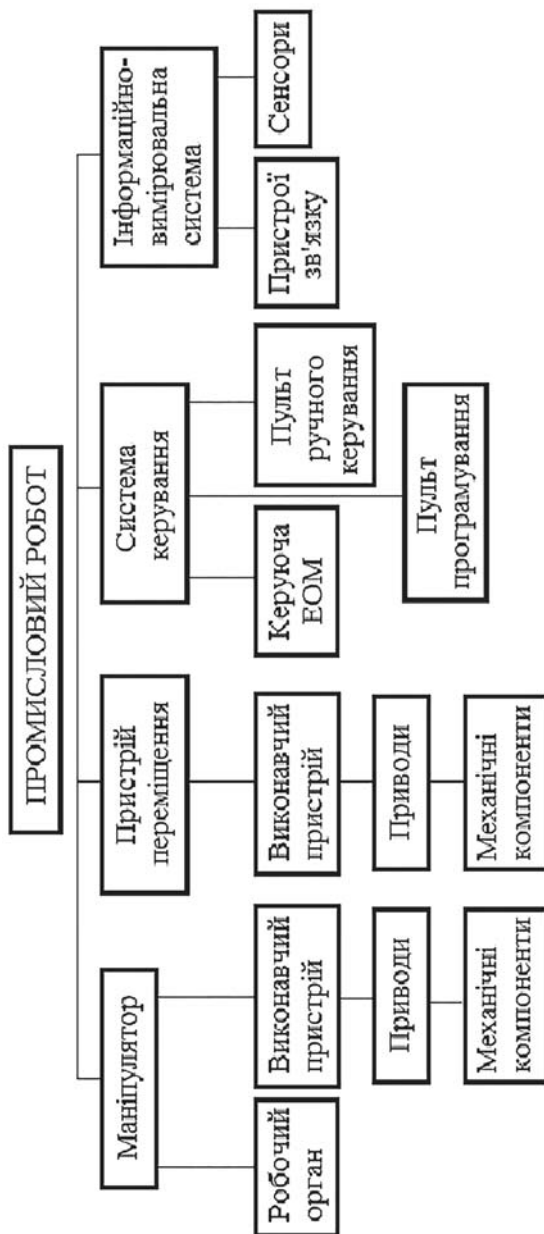


Рисунок 2.3 – Структура промислового робота з контурною системою автоматичного керування

приводів знайшов застосування істотно простіший спосіб, коли запам'ятовується тільки ряд дискретних позицій на програмній траєкторії, а ділянки траєкторії між ними формуються при відтворенні програми за допомогою інтерполятора у вигляді стандартних математичних функцій.

Вибір точок на програмній траєкторії робиться з урахуванням кривизни траєкторії: чим вона більша, тим менше береться відстань між точками. Перевага такого способу програмування полягає у різкому скороченні необхідного об'єму пам'яті системи керування, а недолік – в меншій точності відтворення програмної траєкторії.

Апаратно вказаний вид САК є системою дискретного позиційного керування, доповненою інтерполятором, тобто вона придатна для роботів з будь-яким з цих способів керування.

2.3.2 Системи керування по силі

Разом з керуванням переміщенням в маніпуляторах часто потрібно керування силою, з якою робочий орган маніпулятора (наприклад, затискач) впливає на об'єкти зовнішнього середовища (наприклад, на затиснуту деталь). Це необхідно при виконанні таких технологічних операцій як зачистка, шліфівка і поліровка поверхонь, механічне складання і тому подібне. Для здійснення керування силою робочий орган маніпулятора забезпечується сенсором для виміру сили (наприклад, тензометричним давачем), який зазвичай встановлюється безпосередньо на робочому органі.

Програма керування величиною сили зазвичай полягає в підтримці її постійного значення або в зміні у функції від переміщення. Можливий і зворотний варіант керування переміщенням у функції від сили реакції середовища.

Зазначимо, що керування з використанням інформації про силу займає проміжне положення між програмним та адаптивним керуванням, оскільки інформація від сенсорів відноситься до зовнішнього середовища.

Контрольні питання

1. Дати визначення поняттю «Програмне керування промисловим роботом».
2. За якими характеристиками порівнюють системи автоматичного керування промисловими роботами?
3. Пояснити принцип роботи циклової системи автоматичного керування.
4. Пояснити загальну структуру системи циклового керування промисловим роботом.
5. В чому полягають особливості функціонування уніфікованої циклової системи автоматичного керування промисловим роботом?
6. У чому призначення та які особливості функціонування системи дискретного позиційного керування промисловим роботом?
7. Навести структуру промислового робота з контурною системою автоматичного керування та пояснити її функціонування.

Література до розділу 2

1. Системи керування роботами. Сучасні роботи [Електронний ресурс]. *Учебные материалы он-лайн: веб-сайт*. URL: https://studwood.net/570838/informatika/sistemi_keruvannya_robotami_suchasni_roboti.
2. Лекція 17. Позиційно-контурні системи керування. Адаптивні системи керування [Електронний ресурс]. *Файловый архив студентов: веб-сайт*. URL: <https://studfile.net/preview/5725414/page:23/>.
3. Жорсткопрограмовані та адаптивні системи управління. Види систем управління промисловими роботами: жорстко програмовані, комбіновані, уніфіковані. Лекція № 21. [Електронний ресурс]. *Студопедия. Лекционный материал для студентов: веб-сайт*. URL: https://studopedia.su/5_26856_pozitsiyni-konturni-ta-kombinovani-sistemi-upravlinnya.html.

Розділ 3

СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ РОБОТАМИ

3.1 Загальні поняття про адаптацію та невизначеність

Адаптація (лат. *adapto* — *приспосовую*) – це термін, що вперше був застосований у біології й означає властивість живого організму пристосовуватись до мінливих умов зовнішнього середовища, а також, власне, процес такого пристосування до зовнішніх умов, які змінюються.

З біології термін перейшов до низки соціальних та технічних наук.

У технічних науках термін «адаптація» знайшов широке застосування в теорії керування машинами й механізмами.

Адаптивне керування – це сукупність методів теорії керування, які дають змогу синтезувати системи керування, що мають можливість змінювати параметри регуляторів або їх структуру, а також змінювати алгоритм функціонування системи керування залежно від зміни параметрів об'єкта керування або зовнішніх збурень, що діють на об'єкт керування.

Такі зміни параметрів та зовнішніх збурень називають невизначеностями умов функціонування об'єктів керування, а системи автоматичного керування такими об'єктами в цих умовах називають адаптивними.

На рис. 3.1 показано множину варіантів адаптивних САК, які можуть бути синтезовані для технічних засобів різного призначення, що функціонують в умовах невизначеності.

Широке впровадження обчислювальної техніки у САК технічними об'єктами обумовило можливість включення до структури

Невизначеності Об'єкти адаптації	Зовнішні збурення (ЗЗ)	Параметри об'єкту керування (ОК)
Параметри регулятора (ПР)	САК _{ПР-ЗЗ}	САК _{ПР-ОК}
Структура регулятора (СР)	САК _{СР-ЗЗ}	САК _{СР-ОК}
Алгоритм керування (АК)	САК _{АК-ЗЗ}	САК _{АК-ОК}

Рисунок 3.1 – Множина варіантів адаптивних САК

регуляторів САК потужних мікропроцесорних пристроїв, у яких для генерування керуючих сигналів використовуються математичні моделі об'єктів керування.

Такі моделі, зазвичай, містять спрощення в математичному описі об'єктів керування, пониження порядку диференціальних рівнянь при описі їх динаміки, а також неврахування існуючих нелінійностей.

Таким чином, у технічному розумінні цього слова невизначеність – це властивість об'єкта керування, яка виражається в неточному задаванні математичної моделі об'єкта керування, спрощення в описі його математичної моделі, пониженні ступеня складності моделі з метою спрощування обчислювальних операцій або у неврахуванні існуючих нелінійностей об'єкта керування.

Невизначеності так само можуть виникати в результаті нелінійностей елементів об'єкта при експлуатації, при впливі на об'єкт зовнішніх збурень, неврахованих факторів.

Тому виникає необхідність створення таких автоматичних систем, які при змінних параметрах об'єкта керування та впливі зовнішніх збурень забезпечували необхідну якість їх функціонування.

3.2 Рівні адаптації

Під час проектування автоматичних систем керування розрахунок їх параметрів виконують за припущеннями, що статичні та динамічні характеристики об'єкта керування й усіх елементів системи відомі й не змінюються протягом експлуатації та при зміні зовнішніх умов.

Однак характеристики об'єкта і деяких елементів системи бувають відомі лише приблизно, змінюються через фізичне старіння і, крім того, залежать від зовнішніх умов. Завдяки запасам стійкості система керування буде задовільно працювати й у тому разі, коли практичні характеристики об'єкта трохи відрізняються від розрахункових.

У деяких випадках діапазон змінювання статичних і динамічних характеристик настільки великий, що керування об'єктом за допомогою найпростішої системи з постійними параметрами виявляється або незадовільним, або зовсім неможливим (втрата стійкості).

У таких випадках необхідно застосувати систему керування зі змінними властивостями.

Процес змінювання властивостей системи, який дозволяє їй досягнути найкращого або, у крайньому разі, задовільного функціонування за умов, що змінюються, називається *адаптацією*.

Системи, що здійснюють процес адаптації, називаються *адаптивними*.

Отже, адаптивна САК – це система, яка здатна у процесі виконання основної задачі керування за рахунок зміни параметрів і структури регулятора поповнювати нестачу інформації про об'єкт керування і діючи на нього зовнішні збурення і, тим самим, поліпшувати якість свого функціонування.

У залежності від мети керування адаптивні системи в робототехніці можна умовно розділити на наступні рівні.

Перший рівень характеризується здатністю самоналаштування параметрів регулятора на основі інформації про стан

об'єкта керування, що перебуває під дією збурень зовнішнього середовища. Оцінка стану об'єкта може здійснюватися або прямим виміром необхідних параметрів, або шляхом їхньої ідентифікації. В останньому випадку на об'єкт подаються певні пробні керуючі впливи, фіксується його реакція й на підставі аналізу поведінки об'єкта дається оцінка його параметрам, що змінилися.

Характерним прикладом цього рівня адаптації робототехнічної системи є регулятор, керуючий замкнутим по положенню електрогідравлічним приводом маніпулятора підводного апарата. Особливість експлуатації підводних роботів полягає в необхідності підтримки на заданому рівні параметрів гідроприводів у широкому діапазоні температур і гідростатичного тиску навколишнього водного середовища. Температура води на різних глибинах може значно відрізнятися, що призводить до зміни в'язкості робочої гідравлічної рідини та, як наслідок, до непередбаченого дрейфу характеристик приводу.

Усунути цей дрейф та виключити його вплив на якість роботи маніпулятора можна за допомогою адаптивної системи керування, що ідентифікує зміну характеристик приводу і забезпечує відповідне самоналаштування параметрів регулятора.

Для другого рівня адаптації робототехнічних систем характерне включення до складу керуючого пристрою додаткових інформаційних засобів, що забезпечують збір і обробку даних про стан зовнішнього середовища. На підставі аналізу змін зовнішнього середовища здійснюється корекція керуючої програми робота, що дає змогу в нових умовах досягти поставленої мети. Хоча на цьому рівні адаптації корекція програмних дій допускається лише в невеликих межах, ефект від застосування таких адаптивних систем керування на практиці значний.

Прикладом може служити електродугове роботизоване зварювання великогабаритних виробів. У цьому технологічному процесі важко забезпечити сталість просторового розташування лінії стику частин, що зварюються, від виробу до виробу. Тому зварювальний робот повинен мати змогу коректувати

програмну траєкторію руху електрода відповідно до реального положення лінії стику, яке вимірюється спеціальними сенсорами.

Поняття мети керування для адаптивних робототехнічних систем третього рівня впливає з вимоги реалізації максимальної продуктивності при забезпеченні відсутності браку. Характерними для цього рівня адаптації є розвинені засоби для збору інформації про зовнішнє середовище, само діагностування та саморемонту компонентів керованої виробничої системи.

Так, однією зі складних з позицій автоматизації є операція абразивного очищення литва, особливості якої полягають у криволінійності форми виливків, відсутності на них базових поверхонь, які можна було б прийняти за початок відліку для наступних точних переміщень, а також зношування абразивного інструмента у процесі його використання. Тому виконати абразивне очищення або шліфування виробів, використовуючи робот із програмним керуванням, практично неможливо. Рішення цього завдання можна знайти тільки в класі адаптивних систем, доповнивши керуючий пристрій робота засобами для контролю якості обробки поверхні вилівка, сенсорами сил різання й зношування абразивного інструменту.

Система керування адаптивного модуля абразивного очищення, аналізуючи ступінь шорсткості поверхні, може ухвалити рішення щодо повторного циклу обробки поточної ділянки деталі або дати команду роботів перемістити в зону шліфування наступна її ділянка. Одночасно, використовуючи інформацію про сили різання й оцінюючи зношування абразивного інструмента, адаптивна система керування може організовувати оптимальні з погляду продуктивності режими обробки.

Іншим прикладом адаптації робототехнічної системи, при якій відбувається зміна алгоритму керування, служить гнучка виробнича система, наприклад, механообробки, що включає в себе кілька одиниць або десятків металорізальних верстатів, об'єднаних автоматичною транспортною складською системою.

Така система функціонує по заданій програмі доти, поки не настане відмова одного з верстатів. У цьому випадку система керування гнучкої виробничої системи повинна оперативно оцінити обстановку та видати рішення щодо наступних дій, розробити, можливо ціною зниження продуктивності, нову технологічну схему послідовної обробки виробів, що випускаються даною системою, і забезпечити функціонування верстатів і цехового транспорту по новій маршрутній схемі.

3.3 Узагальнена структура системи адаптивного керування промислового робота

Розглянуті вище системи програмного керування роботами ґрунтуються на найбільш простому способі автоматичного керування без зворотного зв'язку по фактичному стану зовнішнього середовища, з яким взаємодіє робот.

Системи програмного керування більш сучасного рівня використовують сенсори (давачі інформації для зворотного зв'язку), які дають змогу контролювати точність виконання рухів виконавчих механізмів промислового робота. Тому такі системи застосовуються тільки при повністю детермінованих і незмінних упродовж усього процесу керування зовнішніх умовах роботи, а також цілях керування рухом та параметрами самого робота.

Як вказано вище, адаптивне керування роботом здійснюється у функції від параметрів зовнішнього середовища, у якому він функціонує, і тому дає змогу забезпечити досягнення мети керування в умовах зміни параметрів зовнішнього середовища або при неповній апріорній інформації про ці параметри.

Наприклад, принципи адаптивного керування можуть бути покладені у САК керування роботом при захопленні довільно розташованих або рухомих деталей промислового конвеєра шляхом наведення на них захватного пристрою маніпулятора, при виборі й захопленні деталей такого конвеєра за певними ознаками (форма, колір тощо).

Зазначимо, що при адаптивному керуванні максимально використовують також і заздалегідь складені програми для виконання тих частин завдання, які можуть бути реалізовані більш простим способом. Тому в загальному випадку в системах адаптивного керування використовуються обидва способи керування – класичне програмне керування та керування у функції від поточної інформації про зовнішнє середовище (адаптивне).

Прикладом системи адаптивного керування є система керування промисловим роботом для дугового зварювання. Сам процес зварювання ведеться за програмою, проте перед цим автоматично здійснюється пошук місця стику зварюваних деталей, потім рух уздовж стику при визначених орієнтації і відстані електроду відносно стику.

Ці завдання реалізуються за допомогою різного типу сенсорів (наприклад, індуктивних і контактних) кута нахилу робочого інструменту і відстані до зварюваних деталей, які розміщені на зварювальній голівці маніпулятора.

Іншим прикладом робота з адаптивним керуванням є робот забарвлення з простою системою технічного зору, яка служить для визначення контуру чергового забарвлюваного виробу.

На рис. 3.2 показана узагальнена структура промислового робота з адаптивним керуванням.

Структурно такий промисловий робот складається з трьох основних підсистем:

- підсистеми сприйняття зовнішнього середовища, де на основі інформації від блоку сенсорів виконується обробка даних та виконується попередній аналіз (геометричний, просторовий тощо) об'єктів, з якими працює робот, а також загальний аналіз сцен (поточних технологічних ситуацій) у робочій зоні робота;
- підсистеми планування, яка містить блок планування, що генерує алгоритми керування промисловим роботом за результатами математичного моделювання технологічних

процесів з урахуванням артефактних моделей таких процесів, які знаходяться у відповідній базі даних технологічних процесів;

- виконавчої підсистеми, яка містить три рівні керування роботом – стратегічний, тактичний та виконавчий; при цьому стратегічний рівень виробляє узагальнений алгоритм функціонування промислового робота при виконанні ним конкретного технологічного процесу, тактичний рівень генерує алгоритми керування елементарними технологічними операціями, а виконавчий рівень генерує алгоритми і закони керування окремими виконавчими механізмами промислового робота.

Розглянемо коротку характеристику окремих блоків вказаних підсистем.

Підсистеми сприйняття зовнішнього середовища.

Блок сенсорів зовнішнього середовища. Характерним для промислових роботів з адаптивним видом програмного керування є наявність двох груп сенсорів – сенсорів виконавчого рівня і сенсорів зовнішнього середовища (рис. 3.2).

Вказане обладнання виконує роль технічних органів відчуття робота і необхідне для успішного розв'язання наступних двох головних задач:

- підвищення точності роботи робота;
- забезпечення автономності функціонування робота в різних змінних умовах його роботи.

Щоб розв'язати ці головні задачі, необхідно надати промисловою роботу відчуття двох типів:

- робот повинен відчувати «себе», тобто за допомогою сенсорів фіксувати результати своїх рухів і оцінювати їх правильність;
- робот має відчувати навколишню обстановку, тобто співвідносити своє розташування і свої переміщення з розташуванням зовнішніх для нього предметів, їх статичних і динамічних характеристик.

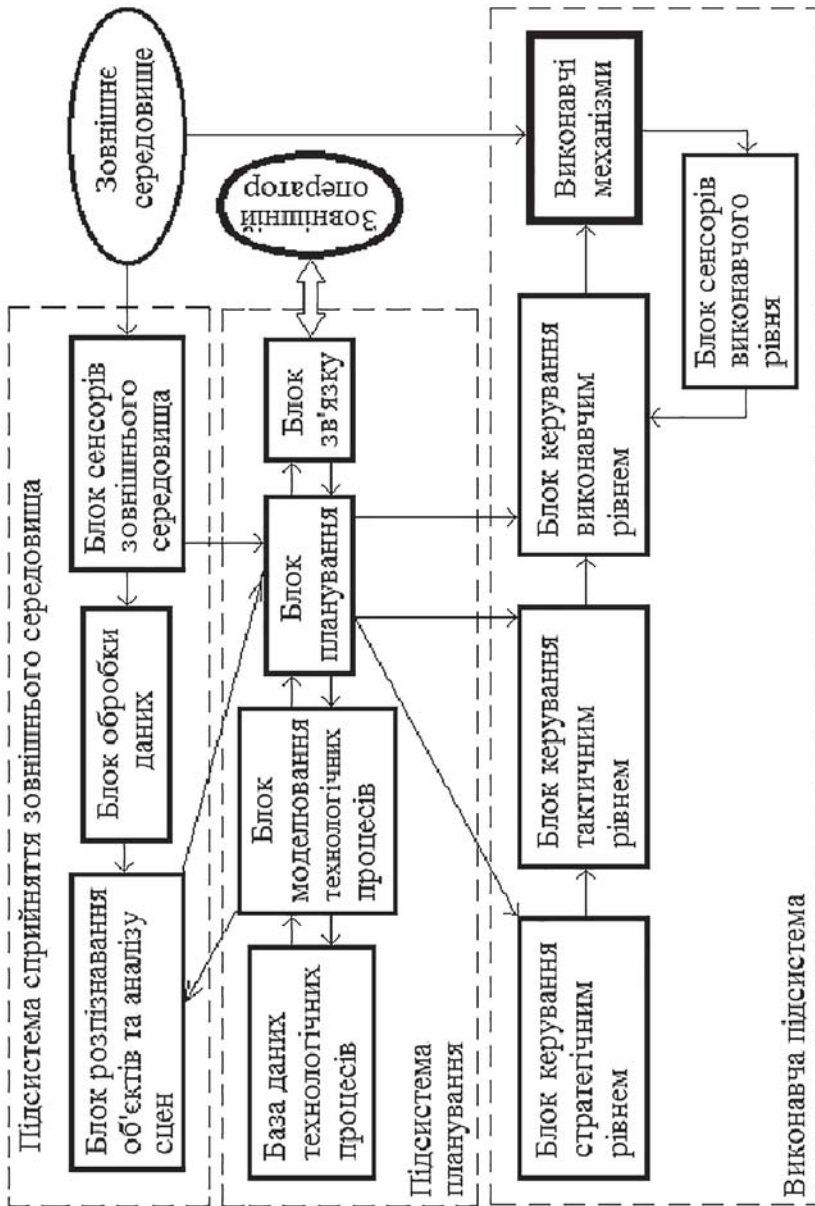


Рисунок 3.2 – Узагальнена структура системи адаптивного керування промислового робота

Відчуття промисловим роботом «себе» створюють за допомогою сенсорів, які вимірюють положення окремих ланок робота, швидкості переміщення на кожному ступені рухомості, прискорення або уповільнення ланок.

Інформація про зовнішнє середовище створюється за допомогою сенсорів, які реєструють геометричні, фізичні й хімічні властивості навколишнього середовища.

Сенсори геометричних властивостей виконують наступні функції:

- обмежують рухи окремих ланок робота у результаті дотиків або контактів робота з предметом у зовнішньому середовищі (тактильні датчики у вигляді кінцевих вимикачів або п'єзоелементів);
- визначають відстань до оточуючих предметів або розміри й орієнтацію предметів шляхом локаційних вимірювань (оптичні, ультразвукові, радіотехнічні, телевізійні системи технічного зору і локації).

Сенсори фізичних властивостей виконують функції:

- вимірювання сил і моментів, які розвивають виконавчі механізми роботів;
- вимірювання густини та тиску рідких, твердих і газоподібних речовин;
- вимірювання температур об'єктів технологічного процесу;
- визначення кольору і запаху.

Сенсори хімічних властивостей визначають хімічні властивості речовин за допомогою аналізаторів типових хімічних реакцій.

Найбільш розповсюдженими у робототехніці стали різноманітні пристрої технічного спостереження, тактильні й силомоментні датчики.

Разом з цим слід враховувати, що сенсори забезпечують тільки вихідні дані у вигляді струмів, напруг, чисел і т.п. Використовувати ці дані для синтезу закону керування можна тільки після обробки сенсорної інформації (Блок обробки даних на рис. 3.2).

Блок обробки даних. У цьому блоці виконується попередня метрологічна підготовка сигналів, які надходять від блоку сенсорів, їх калібрування та масштабування. Метою таких операцій є приведення інформації, що надходить від сенсорів, до виду, придатного для її використання при формуванні математичного опису зовнішнього середовища.

Блок розпізнавання об'єктів та аналізу сцен. Як правило, адаптивний робот взаємодіє з тривимірними об'єктами, які можуть бути довільно орієнтовані та розташовані у різних місцях зони дії робота. Сигнали, що надходять від сенсорної системи, для кожного випадку розташування об'єктів можуть бути різними.

Для побудови системи сприйняття може бути доцільним застосування принципів побудови систем розпізнавання образів, що навчаються, теорія яких інтенсивно розвивається.

Підсистеми планування

Блок планування. У цьому блоці на підставі інформації від сенсорів зовнішнього середовища та розпізнавання об'єктів технологічного процесу і аналізу поточних сцен (кадрів технологічного процесу), а також на підставі результатів комп'ютерного моделювання технологічних операцій, виробляються алгоритми керування виконавчими механізмами промислового робота.

Блок зв'язку. Цей блок може мати різні рівні складності та різну фізичну природу сигналів, які він здатний сприймати від зовнішнього оператора (людини або автомата) та передавати йому для реалізації загального керування технологічним процесом. Завдання організації діалогу з роботом може розглядатись у рамках загальної проблеми побудови діалогових систем.

Блок моделювання технологічних процесів інформаційно забезпечує функціонування двох блоків – блоку планування і блоку розпізнавання об'єктів та аналізу сцен. Основне його призначення – комп'ютерне моделювання операцій, які планують-

ся виконувати промисловим роботом, та перевірка працездатності алгоритмів керування виконавчими механізмами робота.

При цьому цей блок має можливість звертатись до бази даних технологічних процесів, де зберігається інформація про артефактні процеси (тобто ефективні алгоритми керування технологічними процесами, які спеціально відібрані як кращі практики їх адаптивного керування).

Тут також можлива перевірка алгоритмів адаптації та навчання на різних рівнях керування, починаючи від завдань розпізнавання акустичних або відеосигналів та закінчуючи завданням сприйняття досить складної графічної інформації (креслень, схем тощо).

Адаптація наявного в системі керування алгоритмічного та програмного забезпечення до обробки нової інформації може здійснюватися як модифікація програм (або вибір оптимальних параметрів в алгоритмах обробки інформації). Після необхідної корекції алгоритму адаптивного керування його програмна реалізація передається блоком планування для реалізації до виконавчої підсистеми.

Виконавча підсистема

Блок керування стратегічним рівнем відповідає за функціонування промислового робота як єдиної системи. Тут забезпечується реалізація не лише задач генерування узагальнених алгоритмів керування основними технологічними функціями робота, але й виконання службових загальносистемних завдань, які визначаються вимогами до умов функціонування робота під час його експлуатації (забезпечення надійності, включаючи захист від зовнішніх дій і внутрішніх відмов, умов безпеки тощо).

Цей блок визначає в цілому інтелектуальні можливості робота і коло вирішуваних ним завдань.

Блок керування тактичним рівнем. Тактичний рівень виконує декомпозицію необхідного (заданого) руху робочого органа на відповідні переміщення ступенів рухливості.

Зазвичай, маніпуляційний робот має надлишкове число ступенів рухливості, що забезпечує йому можливість побудови адаптивного тактичного рівня, що автоматично перебудовує роботу приводів виконавчого рівня при різкому погіршенні характеристик або виході з ладу одного з них.

Таким чином, блок керування тактичним рівнем – це рівень синтезу функціонально закінчених складних рухів ланок промислового робота, в результаті яких вирішується конкретне завдання, наприклад, складання виробу на конвеєрі.

Відповідно до узагальненого алгоритму керування роботом, згенерованого на стратегічному рівні, тут робиться його розбиття на послідовність елементарних типових операцій, які далі мають бути реалізовані виконавчим рівнем керування.

Так, наприклад, план складання виробу розпадається на послідовність елементарних дій з узяття (затискання) деталей, орієнтування, з'єднання і закріплення деталей у вузли, настроявальних, контрольно-вимірювальних і інших операцій.

Результатом роботи цього блоку є генерування керуючих сигналів на виконавчий рівень керування.

Блок керування виконавчим рівнем. На виконавчий рівень надходять сигнали, що визначають необхідні зміни узагальнених координат, ступенів рухливості виконавчої підсистеми.

Цей рівень звичайно являє собою групу приводів – електричних, пневматичних або гідравлічних, за допомогою яких забезпечуються необхідні зусилля в кожному зі ступенів рухливості. Ці зусилля визначаються ваговими й геометричними характеристиками об'єктів, які робот повинен переміщати.

Залежно від цих характеристик змінюється навантаження приводу, причому якість роботи приводу може при цьому істотно погіршитися.

Крім того, зміна тертя й зазорів у шарнірах кінематичного ланцюга виконавчої підсистеми також впливає на динамічні характеристики приводу.

Тому на виконавчому рівні застосовуються принципи адаптації для побудови електроприводів, що забезпечує необхідну якість роботи виконавчого рівня в умовах зазначених змін характеристик об'єктів, з якими має працювати робот, та змін власних характеристик механізмів промислового робота.

Таким чином, на відміну від програмного керування, задачами адаптивного керування промисловим роботом є:

- побудова двох блоків сенсорів – блоку сенсорів виконавчих механізмів (для оцінки технічного стану самого робота) і блоку сенсорів зовнішнього середовища (для оцінки ступеню впливу зовнішніх збурень, які діють на робот);
- побудова блоку обробки даних з сенсорних датчиків;
- синтез адаптивних законів керування виконавчими механізмами робота.

3.4 Приклади адаптивних систем керування промисловими роботами

3.4.1 Основні напрямки побудови адаптивних САК промисловими роботами

На сьогодні існують два основні напрямки побудови адаптивних САК промисловими роботами:

- перший напрямок – розробка відносно простих САК, заснованих на застосуванні, зазвичай, одного сенсорного пристрою й орієнтованих на виконання певної технологічної операції;
- другий напрямок – розробка складних САК, які містять розвинену підсистему сприйняття зовнішнього середовища, зазвичай, з декількома сенсорними пристроями, та підсистему планування (рис. 3.2).

Розглянемо основні типи адаптивних систем керування, які відносяться до *першого напрямку* розробок.

Застосування подібних адаптивних роботів у найближчі роки, як показують відповідні прогнози, найбільш перспективне при виконанні наступних технологічних операцій:

- упакування;
- установка й знімання деталей з конвеєра;
- розпізнавання й сортування виробів (рис. 3.3, а);
- вантажно-розвантажувальні операції;
- ікрозварювання при монтажі мікроелектронних приладів;
- електродугове й газове зварювання;
- кисневе різання;
- фарбування розпиленням (рис. 3.3, б);
- абразивне зачищення й шліфування;
- розбір деталей з навалу;
- механічне складання.



Рисунок 3.3 – Прості промислові роботи з адаптивним керуванням (фірма Fanuc, Японія): а – високопродуктивні роботи для сортування електронних плат, які рухаються на конвеєрі; б – фарбувальний робот

У багатьох випадках доцільно поряд з виконанням технологічної операції робити контроль якості її виконання або контроль якості виробу за допомогою сенсорів робототехнічної системи. Адаптивні САК знаходять також застосування для автоматизації керування автономними внутрішньоцеховими та міжцеховими транспортними перевезеннями (частіше за все – транспортними візками).

Разом з процесом поліпшення характеристик, розширенням номенклатури й зменшенням вартості сенсорів, обчислювальних засобів і розвитком методів обробки сенсорної інформації постійно розширюються сфери застосування адаптивних роботів.

Розглянемо основні тенденції розвитку, а також приклади адаптивних систем керування маніпуляційними і транспортними роботами, які відносяться до *другого напрямку* розробок. При створенні цих систем знаходять застосування сенсори різних типів: оптичні, тактильні, магнітні тощо.

Розглянемо адаптивні роботи з підсистемами сприйняття зовнішнього середовища на основі технічного зору, які дають змогу вирішувати найбільш складні завдання.

3.4.2 Структурна схема зварювального робота з адаптивним керуванням

Розглянемо систему керування маніпуляційним роботом (роботом для мікрозварювання мікроелектронних приладів) з відеосенсорним пристроєм сприйняття зовнішнього середовища – системою технічного зору на базі промислових телевізійних установок.

Спрощена структурна схема адаптивного робота наведена на рис. 3.4.

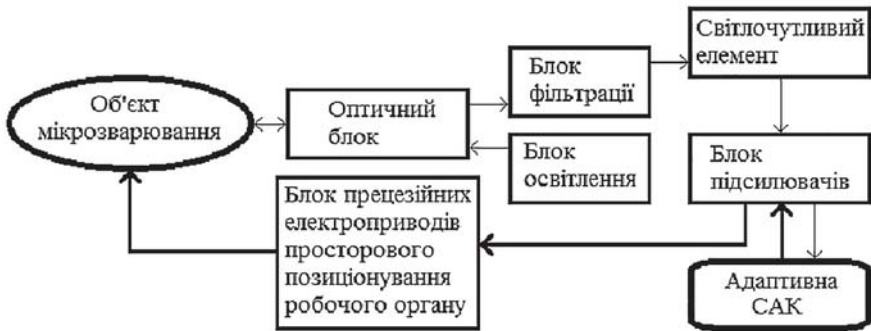


Рисунок 3.4 – Спрощена структурна схема адаптивного робота

Основним технологічним процесом складання мікроелектронних приладів є внутрішній дротовий монтаж за допомогою мікрозварювання. Мікрозварювання контактних площадок

кристалів таких приладів розмірами від 40×40 до 500×500 мкм здійснюється дротом діаметром 20–500 мкм.

Складність схеми внутрішньої комутації між кристалами, що нараховує до декількох тисяч з'єднань в одному приладі, а також необхідність здійснення з'єднань під мікроскопом прецизійних електричних елементів з високою точністю визначають доцільність роботизації цього технологічного процесу.

Одним з головних завдань системи керування роботом є здійснення керування прецизійним кроковим електроприводом відповідно до еталонної програми позиціонування мікроінструмента, що здійснює зварювання.

Освітлення об'єкта мікрозварювання (набору кристалів даного мікроелектронного приладу) виконується інфрачервоним і видимим світлом через оптичний блок.

Світловий потік, відбитий від об'єкта мікрозварювання, через оптичну систему блок фільтрації потрапляє на світлочутливий елемент (зазвичай, напівпровідниковий прилад з зарядовим зв'язком).

На виході світлова інформація представляється у вигляді послідовності електричних сигналів, які після перетворення та підсилення надходять до адаптивної САК, яка реалізується за допомогою керуючої ЕОМ. Тут реалізуються закони та алгоритми адаптивного керування прецизійними електроприводами, які забезпечують необхідне просторове положення об'єкта мікрозварювання по відношенню до мікрозварювального вузла робота.

Метою обробки візуальної інформації в адаптивній САК є визначення координат центрів ваги (центрів геометричної форми) контактних площадок кристала, які приймаються за реперні мітки. По цих мітках обчислюються істинні координати положення кристалів мікроелектронного приладу щодо координатних осей.

Визначення поправок для кожної з координат виконується на основі порівняння координат істинного об'єкта з еталонним об'єктом, інформація про який розміщена у пам'яті керуючої ЕОМ.

Ці поправки відповідним чином коректують програму позиціонування, яка керує прецизійними електроприводами просторового позиціонування робочого органу (наприклад, переміщеннями координатного стола, на якому розташовано мікроелектронний прилад – об’єкт мікрозварювання).

Таким чином, адаптація, яка покладена в основу описаної системи автоматичного керування, полягає у визначенні конкретних геометричних характеристик окремих елементів об’єкту мікрозварювання, а також у врахуванні цих характеристик при високоточному позиціонуванні координатного стола відносно основного технологічного елемента – зварювальної головки робота.

3.4.3 Адаптивні системи керування рухом промисловими роботами

Рухомі роботи являють собою керовані електромеханічні (електрогідравлічні) системи, призначені для транспортування вантажів і проведення досліджень в екстремальних умовах. За галуззю застосування (див. рис. 1.15) цей тип робіт належить до транспортно-складських. Його можна розглядати як один з видів автоматичних транспортних засобів, призначених для функціонування в інтерактивному або автоматичному режимах у частково або повністю недетермінованих середовищах. Вибір типу рухомого промислового робота визначається насамперед особливостями робочого середовища та ступенем невизначеності й мінливості зовнішнього середовища, у якому здійснюється процес руху, а також стабільністю необхідних маршрутів руху робота.

З цих позицій всі види рухомих промислових робіт, що переміщуються по поверхні (найбільш типових видів для загальнопромислових виробництв), можна розділити на технологічні транспортні роботи і роботи високої прохідності (рис. 3.5).

Технологічні транспортні роботи охоплюють різноманітні види автоматичного транспорту, що застосовується або може знайти застосування в спеціально організованих середовищах:



Рисунок 3.5 – Класифікація рухомих промислових роботів

різних виробництвах, побуті й для транспортування вантажів по дорогах.

Найбільш простим типом таких автоматичних засобів є рейкові транспортні засоби (конвеєри й транспортні візки), а найбільш складним – автоматичні рухомі роботи для руху по непідготовлених трасах. Спеціально організовані середовища, у яких функціонують технологічні транспортні засоби, мають високий ступінь детермінованості, а наявність деякої невизначеності в цих середовищах обумовлена, зазвичай, тільки можливістю випадкової появи обмеженої кількості типів перешкод на робочій трасі промислового робота.

До найбільш складних типів рухомих промислових роботів відносяться засоби морської робототехніки, у яких необхідність застосування адаптивних САК обумовлена невизначеністю зовнішніх збурень та нестаціонарністю власних параметрів робота.

На рис. 3.6 наведено узагальнену структурну схему адаптивної САК промислового робота, у якого коефіцієнти регуляторів $C(t, R)$ залежать від часу t та поточного режиму R функціонування робота.

На об'єкт керування (виконавчі механізми промислового робота) впливає множина $F(t, R)$ зовнішніх збурень, дія яких обумовлена часом t та його поточним режимом функціонування.

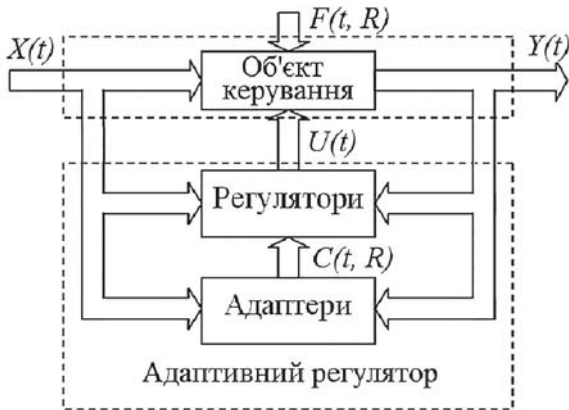


Рисунок 3.6 – Узагальнена структурна схема адаптивної САК промислового робота

Адаптери являють собою, у загальному випадку, реалізовані на мікроконтролері чи на мікро-ЕОМ блоки обчислювачів, які визначають числові значення нелінійних коефіцієнтів регуляторів відповідних виконавчих механізмів робота.

При цьому, у якості обчислювачів, у залежності від складності елементів множини $C(t, R)$, можуть застосовуватись як типові нелінійні елементи з теоретичних основ автоматики, так і мікроконтролери, числові значення коефіцієнтів регуляторів у яких отримуються у результаті розв'язку систем диференціальних рівнянь, що описують динаміку промислового робота.

3.4.4 Способи завдання програми руху промислового транспортного робота

Способи завдання програми руху показані на рис. 3.7. Для керування окремими типами рухомих промислових роботів використовується як інформація, що надходить від всієї автоматичної системи керування роботом (системна інформація), так і локальна інформація, що надходить під час функціонування самого робота.

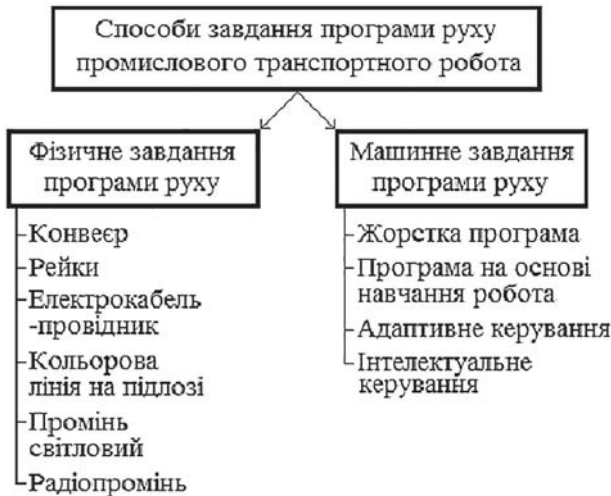


Рисунок 3.7 – Способи завдання програми руху промислового транспортного робота

У простих промислових роботах автономність практично відсутня, тому їх функціонування, в основному, визначається тільки системною інформацією. У цьому випадку функціонування робота заздалегідь визначене особливостями його механічної конструкції.

При інформаційному завданні функціонування транспортних роботів застосовується принцип керування по «навігаційній лінії», реалізований за допомогою індуктивних, оптичних і радіосистем відстеження траси руху.

Приклади таких промислових роботів показано на рис. 3.8.

Можливим є також програмне завдання маршруту руху робота, коли необхідна програма руху вводиться в бортову ЕОМ.

Цей спосіб доцільно застосовувати при частій і заздалегідь непередбаченій зміні необхідних маршрутів руху.

Подібно тому, як це має місце в маніпуляційних роботах, тут також можливе введення програми за допомогою навчання, тобто проведення транспортного робота вручну по необхідному

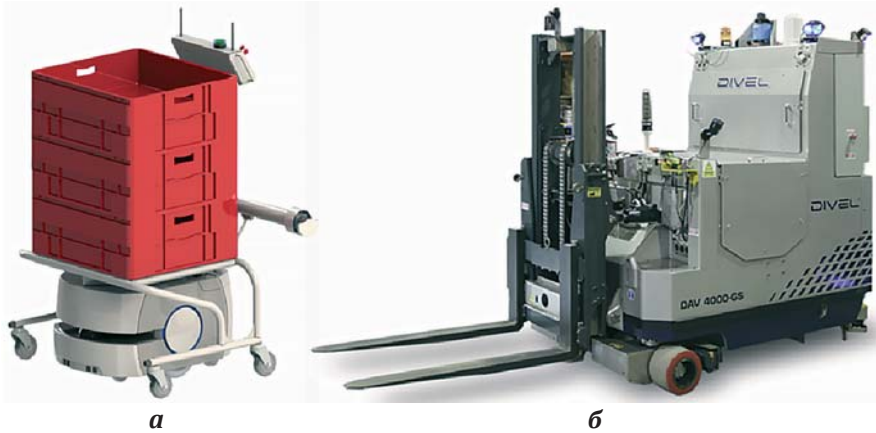


Рисунок 3.8 – Промислові роботи транспортного типу, які рухаються «навігаційною лінією»: а – наземний транспортний робот для збирального виробництва; б – наземний транспортний робот для автоматизованої системи складського господарства

маршруту із записом відповідних параметрів руху від сенсорів підсистеми сприйняття зовнішнього середовища транспортного робота.

Необхідна корекція положення таких транспортних роботів виконується за допомогою додаткових сенсорів інформації, які встановлені на транспортному роботі або поза ним.

3.4.5 Адаптивний круїз-контроль автомобіля

Відомо, що круїз-контроль є додатковою системою автомобіля, основне завдання якої – підтримка встановленої швидкості його руху. Вона є корисною при тривалих поїздках по замських трасах, але в місті вона практично не застосовується, оскільки автомобіль необхідно постійно гальмувати, зупинятися й потім знову розганяти.

Для рішення цієї проблеми був розроблений адаптивний круїз-контроль (в англomовній літературі – Adaptive Cruise Control, ACC).

Сьогодні адаптивний круїз-контроль – це поліпшена система круїз-контролю, яка не тільки автоматично підтримує швидкість руху, але й забезпечує дотримання безпечної дистанції до автомобіля, що рухається попереду, адаптуючись під поточну ситуацію на дорозі.

На відміну від неактивної системи, що тільки підтримує задану швидкість руху, система адаптивного круїз-контролю:

- прискорює автомобіль до заданого водієм значення;
- сповільнює його, аж до повної зупинки, при наявності гальмування автомобіля, який рухається попереду;
- утримує задану швидкість руху, забезпечуючи не тільки комфорт у тривалих поїздках, але й значно (на 10% і більше) скорочуючи витрату палива.

Система круїз-контролю містить три основні вузли:

- фронтальні датчики, розташовані в передньому бампері автомобіля або за фальшрешіткою радіатора;
- додаткові датчики, які відслідковують, чи їде автомобіль по прямій, на підйом чи на спуск, на який кут відхилене кермове колесо, на якій передачі рухається автомобіль, а також інформацію з дорожньої розмітки й пришляхових дорожніх знаків;
- електронний блок керування, який аналізує вхідну інформацію та генерує команди системі подачі палива на зміну кута нахилу дросельної заслінки та команди гальмовому контуру на збільшення або зменшення сили притиснення гальмових колодок до дисків.

Система адаптивного круїз-контролю залежно від заданої водієм швидкості й ситуації на дорозі (порожня, пряма траса або, навпаки, автомобіль, що йде спереду, пригальмовує/перебудовується) дає команду на прискорення або, навпаки, уповільнення.

Адаптивний круїз-контроль попередніх поколінь працює діапазоні від 30 до 160 км/година, тоді як останні версії мають розширену «вилку» від 0 до 200 кілометрів у годину.

Така система однаково зручна як у міських умовах руху (немає необхідності постійно прискорюватись/пригальмовувати), так і на заміських автомагістралях.

Виконання керуванням адаптивним круїз-контролем може відрізнятися від моделі до моделі, але сам принцип залишається незмінним.

Тому розглянемо його більш детально.

У випадку виявлення попереду стороннього автомобіля, система круїз-контролю корегує швидкість власного автомобіля таким чином, щоб вона була рівною швидкості виявленого автомобіля, а також активує функцію підтримки дистанції. Це забезпечить утримання автомобіля на заданому інтервалі від переднього транспортного засобу (рис. 3.9).



Рисунок 3.9 – Робота системи адаптивного круїз-контролю:
а – перешкоди відсутні, автомобіль рухається із заданою швидкістю;
б – система круїз-контролю виявила попереду транспортний засіб,
вирівнює швидкість з його швидкістю і тримає заданий інтервал

Зазвичай, величина дистанції може бути обрана з декількох параметрів, деякі автовиробники дозволяють задавати величину інтервалу до автомобіля в метрах, але в загальному випадку застосовуються три головних параметри, запозичені з нечіткої логіки: близько, середньо, далеко.

Функція підтримки інтервалу дозволяє значно знизити ймовірність зіткнення навіть у випадку, коли водій не контролює дорожню обстановку.

У випадках, що коли спереду йде транспортний засіб, свій автомобіль скидає швидкість, система адаптивного круїз-контролю автоматично підбудовується під нову обстановку й знижує її до комфортної для підтримки заданої відстані.

Коли передній автомобіль збільшує швидкість, система збільшує швидкість свого автомобіля на величину, що дозволить триматися від автомобіля на заданій відстані, але не вище швидкості, заданої водієм.

Інформаційне забезпечення системи адаптивного контролю швидкості забезпечується радаром (сенсором для виявлення передніх автомобілів і вимірювання дистанції до найближчого з них), датчиків кутів повороту свого автомобіля навколо вертикальної осі, поперечного прискорення, частоти обертання коліс і кута повороту кермового колеса (рис. 3.10).

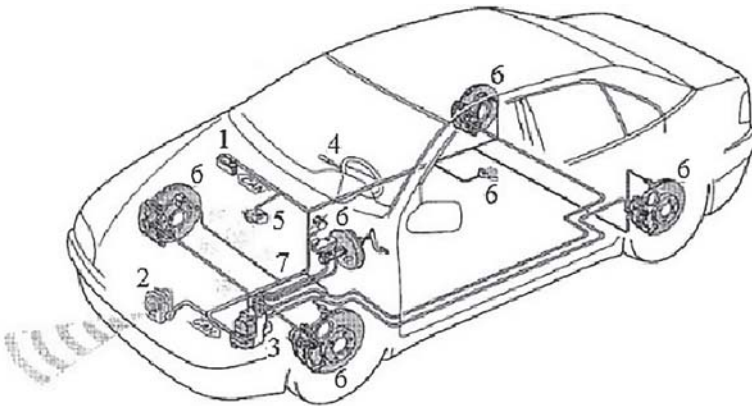


Рисунок 3.10 – Компоненти системи адаптивного круїз-контролю:
1 – блок керування двигуном; 2 – блок керування радаром, радар;
3 – електронна система стабілізації; 4 – блок керування й індикації;
5 – система втручання в керування двигуном; 6 – сенсор динаміки
автомобіля; 7 – система втручання в керування трансмісією

Взаємодія компонентів системи адаптивного круїз-контролю з іншими агрегатами автомобіля відбувається через CAN-шину.

При необхідності коректування поведінки, наприклад, коли потрібно знизити швидкість і збільшити дистанцію, відбувається обмін інформацією між датчиками й допоміжними системами (рис. 3.11). Отримані дані аналізуються, приймається рішення й виконуються необхідні дії.

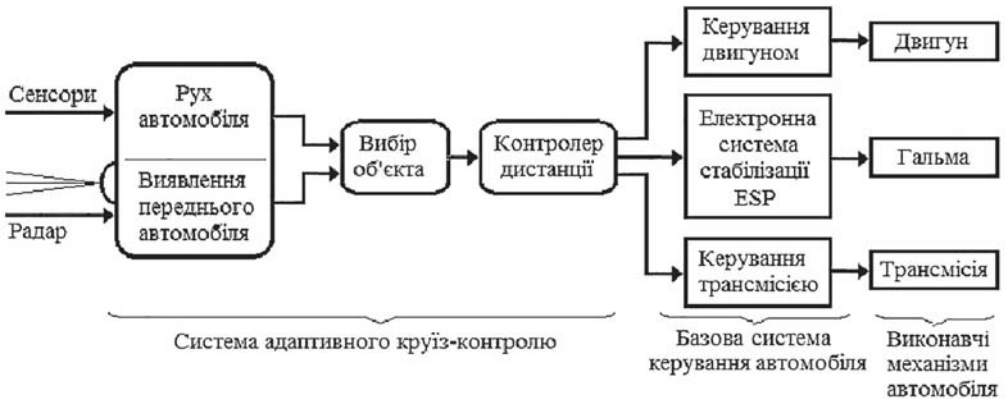


Рисунок 3.11 – Схема взаємодії компонентів системи адаптивного круїз-контролю з вузлами автомобіля

Таким чином, система адаптивного круїз-контролю складається із трьох основних модулів:

- радарного датчика для виявлення перешкод;
- системи керування тяговим зусиллям двигуна автомобіля для підтримки заданої безпечної дистанції;
- системи керування в поворотах, що приймає особливі заходи у випадку втрати переднього транспортного засобу на поворотах.

При гальмуванні адаптивний круїз-контроль оцінює, наскільки ефективно застосовується гальмування двигуном. У випадку, якщо гальмування двигуном недостатньо до роботи, під-

ключається електронна система стабілізації (в англomовній літературі – Electronic Stability Program, ESP) і використовуються основні гальмові механізми автомобіля.

3.4.6 Програмне забезпечення адаптивних роботів

Ядром системи керування адаптивних роботів є керуюча мікро-ЕОМ, мультипроцесорні обчислювальні системи, промислові мікроконтролери.

Програмне забезпечення адаптивних роботів – це одна з основних проблем, що постають перед розробниками систем керування й систем чутливості цих роботів. Програмне забезпечення визначає рівень адаптації робота.

Існують різні підходи до розробки програмного забезпечення адаптивних роботів. Останнім часом все більше застосування знаходить підхід, основу якого покладений погляд на програмне забезпечення як на проблемно-орієнтовану операційну систему, що містить практично всі атрибути універсальних операційних систем: розвинене ядро, монітор, широкий набір керуючих і обробляючих програм (особливу роль серед останніх грають мовні транслятори).

До переваг такого підходу можна віднести наступне:

- для проектування й розробки програмного забезпечення роботів можна скористатися багатим досвідом і результатами, отриманими при розробці універсальних операційних систем, а також операційних систем реального часу;
- аналогія з операційними системами породжує нові ідеї й підходи, які можна транспонувати із систем програмування обчислювальних машин на системи програмування роботів.

Конструктивність розглянутого підходу полягає в тому, що при проектуванні програмного забезпечення адаптивного робота використовується універсальна операційна система не тільки як програмна база інструментальних робото-технічних комплексів, але і як ядро розроблювального проблемно-орієнтованого забезпечення.

Програмному забезпеченню адаптивного робота властиве наступне:

- мультизадачність, яка є практичним вираженням ієрархічного способу організації системи керування адаптивного робота; при цьому кожний рівень ієрархії оформляється у вигляді одного або декількох завдань, кожне з яких реалізує виконувану даним ієрархічним рівнем функцію, наприклад, виділення рівня привода і рівня обробки сенсорної інформації;
- людина-оператор має можливість втручатися в процес виконання завдання роботом (призупинити його можливістю наступного перезапуску, динамічно змінювати його параметри (наприклад, швидкість руху захвата й т.п.);
- паралельно з виконанням роботом завдання людина-оператор може формувати нові робочі програми у вигляді текстів на вхідній проблемно-орієнтованій мові керування.

Найважливішою характеристикою адаптивного робота є простота й легкість роботи з ним людини-оператора. З одного боку, оператор повинен мати можливість сформувати завдання, яке не обов'язково повинне бути прямо пов'язане з рухом маніпулятора; з іншого боку, робот повинен, при необхідності, інформувати оператора про стан системи в цілому, етапах виконання завдання й т.д.

Мова, на якій формується завдання роботів, а також транслятор з неї є найважливішою частиною програмного забезпечення адаптивного робота. Основне завдання розробки програмного забезпечення – це створення високорівневих проблемно-орієнтованих мов керування роботом.

Контрольні питання

1. Дати визначення поняттям «Адаптація» та «Адаптивне керування».

2. Навести та охарактеризувати множину варіантів адаптивних систем автоматичного керування.
3. Охарактеризувати рівні адаптації систем автоматичного керування.
4. Навести узагальнену структуру системи адаптивного керування промислового робота.
5. Які на сьогодні існують напрямки побудови адаптивних систем автоматичного керування систем автоматичного керування промисловими роботами?
6. Навести структуру і пояснити роботу системи автоматичного керування зварювального робота з адаптивним керуванням.
7. Навести узагальнену структурну схему адаптивної системи автоматичного керування промислового робота і пояснити її роботу.
8. Навести класифікацію рухомих промислових роботів та пояснити їх призначення.
9. Пояснити задачі системи адаптивного круїз-контролю автомобіля.
10. Пояснити взаємодію компонентів системи адаптивного круїз-контролю з вузлами автомобіля
11. Навести компоненти систем адаптивного круїз-контролю автомобіля і пояснити їх призначення.
12. Пояснити взаємодію компонентів системи адаптивного круїз-контролю з вузлами автомобіля.
13. У чому полягають основні труднощі при розробці роботів з адаптивним керуванням?

Література до розділу 3

1. Адаптивні системи керування електроприводами [Електронний ресурс]. *Файловий архив студентів: веб-сайт*. URL: <https://studfile.net/preview/7737384/page:41/>.
2. Samuel Bouchard. 7 Types of Industrial Robot Sensors [Electronic resource]. *Robotiq: website*. URL: <https://blog.robotiq.com/bid/72633/7-Types-of-Industrial-Robot-Sensors>.

3. Roman Kamnik, Drago Matko & Tadej Bajd. Application of Model Reference Adaptive Control to Industrial Robot Impedance Control [Electronic resource]. *Springer Link: website* / Springer Nature Switzerland AG. Part of Springer Nature. URL: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1007932701318>.

4. Костюк О. Г. Вступ. Теоретичні основи інформаційних процесів і принципи побудови адаптивних роботів [Електронний ресурс]. *ХНУРЕ дистанційне навчання: веб-сайт*. URL: https://dl.nure.ua/pluginfile.php/1159/mod_resource/content/1/content/content2.html.

5. Системи керування роботами. Сучасні роботи [Електронний ресурс]. *Учебные материалы он-лайн: веб-сайт*. URL: https://studwood.net/570838/informatika/sistemi_keruvannya_robotami_suchasni_roboti.

6. Rudomanenko A. P., Chernyadev N. A., Vorotnikov S. A. (2021). Adaptive Control System for Industrial Robotic Manipulator // International Conference on Modern Problems of Robotics. MPoR 2020: Modern Problems of Robotics. P. 153–164 [Electronic resource]. *Springer Link: website* / Springer Nature Switzerland AG. Part of Springer Nature. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-88458-1_12.

Розділ 4

СИСТЕМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ РОБОТАМИ

4.1 Сучасні інформаційні технології як основа створення інтелектуальних систем керування

Роботи третього покоління називають інтелектуальними або «розумними». Функціональні можливості цих роботів значно розширені, від імітації фізичних дій людини до автоматизації елементів його інтелектуальної діяльності.

У порівнянні з адаптивними роботами інтелектуальні роботи характеризуються значно складнішою системою керування, що включає елементи штучного інтелекту. Завдяки цьому інтелектуальні роботи здатні сприймати розмовну мову й вести діалог з людиною, розпізнавати й аналізувати різні ситуації, будувати модель зовнішнього середовища, навчатися навичкам, програмувати рух, засвоювати поняття, планувати поведінку в різноманітних умовах експлуатації.

Інтелектуальні системи керування здатні до «розуміння» і навчання щодо об'єкта керування, збурень зовнішнього середовища та умов роботи.

Основна функціональна відмінність інтелектуальних систем полягає в наявності механізму системного оброблення знань. Головна архітектурна особливість, яка відрізняє інтелектуальні системи керування від традиційних – це механізм отримання, зберігання і оброблення знань для реалізації функцій керування.

В основу створення інтелектуальних систем керування покладено два узагальнені принципи:

- керування на основі аналізу зовнішніх даних, ситуацій та подій (ситуаційне керування);
- використання сучасних інформаційних технологій оброблення знань.

Розрізняють декілька сучасних інформаційних технологій, із залученням яких створюють інтелектуальні системи керування промисловими роботами:

- експертні системи;
- нечітка логіка (fuzzy logic);
- штучні нейронні мережі (artificial neural networks);
- еволюційні методи і генетичні алгоритми (genetic algorithms).

В основу концепції інтелектуальності промислового робота покладено:

- уміння працювати з формалізованими знаннями людини (експертні системи, нечітка логіка);
- властиві людині способи навчання і мислення (нейронні мережі, генетичні алгоритми).

Структурно інтелектуальні системи керування містять додаткові блоки, які виконують системне опрацювання знань на основі цих інформаційних технологій.

Такі блоки можна виконувати або як надбудову над звичайним регулятором, налагоджуючи належним чином його параметри, або безпосередньо включатися у контур керування.

До головних причин широкого застосування інтелектуальних систем керування можна віднести наступні:

- мала чутливість інтелектуальних систем керування до зміни параметрів об'єктів керування у порівнянні з традиційними САК;
- простіший процес синтезу інтелектуальної системи керування у результаті застосуванням сучасних засобів апаратної та програмної підтримки.

У наступних випадках застосування інтелектуальних систем керування дає кращий результат у порівнянні з традиційними САК:

- системи керування, для яких математична модель об'єкту керування визначена лише якісно або вона взагалі відсутня;
- як надбудова над традиційними системами керування для надання їм адаптивних властивостей;
- коли необхідно відтворювати дії людини-оператора;
- як системи організаційного керування верхніх (стратегічного і тактичного) рівнів.

Сферу ефективного застосування традиційних, нейромережевих та нечітких систем керування щодо об'єктів керування показано на рис. 4.1.

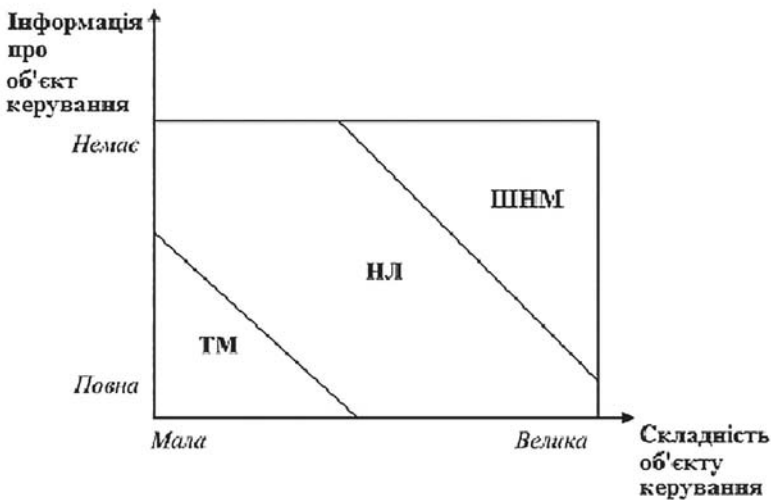


Рисунок 4.1 – Сфера ефективного застосування різних систем керування:

ТМ – системи, які використовують традиційні методи керування;

НЛ – системи керування на основі застосування нечіткої логіки;

ШНМ – системи керування на штучних нейронних мережах

Застосування гібридного підходу (поєднання традиційних методів керування, нечіткої логіки та нейронних мереж) дозволяє створювати системи керування, ефективні в усьому спектрі ситуацій, і тому межі різних підходів, показаних на рис. 4.1, досить умовні.

Далі розглядаємо принципи та приклади побудови систем інтелектуального керування промисловими роботами двох найбільш розповсюджених типів, які побудовані на основі застосування нечіткої логіки. Основи теорії нечіткої логіки тут не розглядаються, оскільки вони є змістом спеціальних розділів вищої математики та теорії автоматичного керування.

4.2 Узагальнена структура інтелектуальної системи автоматичного керування безекіпажним надводним судном-роботом

4.2.1 Особливості БНС як об'єкту автоматичного керування

Безекіпажні надводні судна-роботи (БНС) являють собою об'єкти морської робототехніки, які на основі впровадження сучасних інформаційних технологій започаткували новий етап розвитку водного транспорту – етап автономного судноводіння.

Деякі приклади сучасних БНС провідних морських країн світу наведено на рис. 4.2.

До основних особливостей синтезу САК БНС можна віднести:

- суттєву нелінійність БНС як об'єкту керування, обумовлену нелінійним характером його виконавчих механізмів та нелінійним характером обтікання корпусу судна як твердого тіла, яке рухається у воді;
- невизначеність зовнішніх збурень, які діють на корпус БНС (вітро-хвильових збурень та збурень, породжуваних течіями).

Як об'єкти автоматизації БНС утворюють особливий клас морських рухомих об'єктів, для яких характерним є рух із високою швидкістю (до 45 вузлів), часте маневрування зі значними прискореннями.

Функціонування розглянутого класу суден часто здійснюється в районах із обмеженими навігаційними умовами і вимагає великої точності утримання на заданій траєкторії.

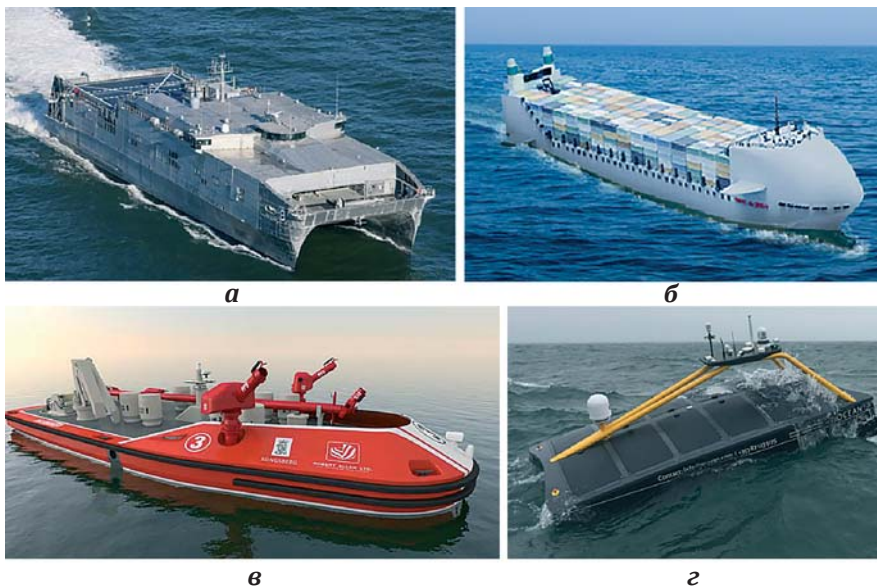


Рисунок 4.2 – Проекти безкіпажних надводних суден провідних морських країн світу: а – експедиційне транспортне судно (Австралія); б – повністю автоматичне судно-контейнеровоз (Південна Корея); в – портовий пожежний катер з дистанційним керуванням (Норвегія); г – дистанційно кероване через супутник судно для виконання природоохоронних робіт (Канада)

Виходячи з основних завдань експлуатації БНС можна сформулювати основні режими його функціонування при повній автоматизації:

- режим прямолінійного руху зі стабілізацією курсу φ та швидкості v ;
- режим руху по заданій траєкторії зі стабілізацією швидкості руху v ;
- режим маршрутної точки, коли САК БНС прагне довести судно до заданої маршрутної точки, постійно оновлюючи свій курс, що змінюється внаслідок дії зовнішніх збурень.

Вказані режими реалізуються, зазвичай, за допомогою рушійно-стернового комплексу (РСК) судна, який зазвичай,

складається з гребного гвинта у насадці, що приводиться в рух електричним чи тепловим двигуном.

Таким чином, забезпечення функціонування БНС відноситься до завдань комплексної автоматизації нелінійного морського рухомого об'єкта, що працює в умовах невизначеності характеристик зовнішнього середовища (ЗС) і нестаціонарності власних параметрів.

Успішний розв'язок такого завдання можливий лише з широким застосуванням сучасних здобутків у галузі штучного інтелекту та математичного моделювання нелінійних динамічних об'єктів.

4.2.2 Узагальнена функціональна схема інтелектуальної САК БНС

Узагальнена функціональна структура схема інтелектуальної системи автоматичного керування таким БНС показана на рис. 4.3.

Три верхні рівні приймають і обробляють завдання від зовнішнього центру керування та контролю (ЦКК) з використанням інформації від системи сенсорів БНС $C_{\text{БНС}}$ та системи сенсорів $C_{\text{ЗС}}$ зовнішнього середовища. Вказані системи сенсорів генерують інформацію про поточні параметри та технічний стан механізмів БНС і параметри морського середовища.

Таким чином, верхній рівень – це рівень ухвалення рішення або допомоги людині в постановці завдання та у первинній постановці цілей функціонування об'єктів керування.

У найближчій перспективі найбільш важливі функції цього рівня залишаються за людиною. У перспективі розв'язок завдань цього рівня може бути виконане без участі людини за допомогою «сильного» штучного інтелекту.

Два нижніх рівні генерують керуючі команди для виконавчих механізмів БНС – його РСК та ін. Для них джерелами команд є сигнали від верхніх рівнів керування, а також сигнали системи

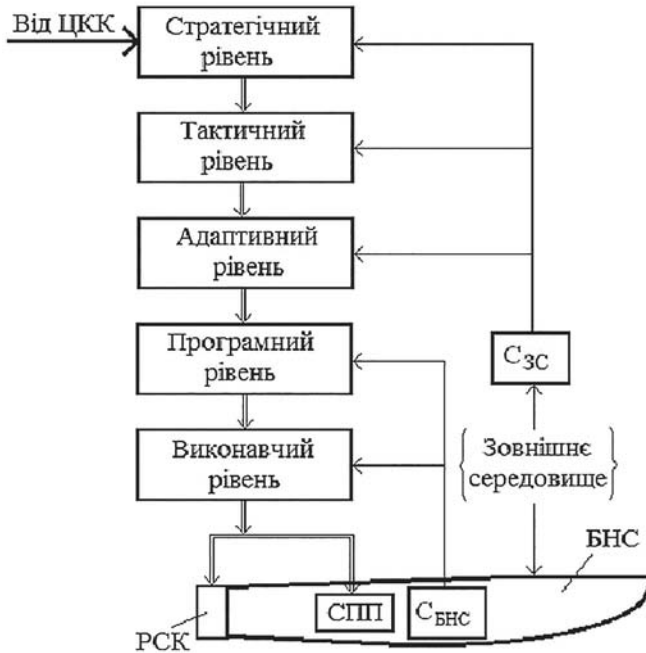


Рисунок 4.3 – Узагальнена функціональна схема інтелектуальної системи автоматичного керування БНС

контролю за «внутрішніми» змінними – станом виконавчих механізмів БНС.

При цьому стратегічний рівень аналізує завдання, що надійшло від ЦКК, і планує загальне функціонування БНС для його виконання з урахуванням параметрів зовнішнього середовища.

Тактичний рівень управляє реалізацією стратегічного плану – розробляє траєкторію просторового переміщення, формує черговість операцій (рухів) у відповідності зі стратегією функціонування БНС та з урахуванням зовнішніх збурень.

Адаптивний рівень коригує рішення тактичного рівня з урахуванням фактичного стану зовнішнього середовища, здійснює пошук оптимальних управлінських рішень у рамках обраної тактики виконання завдання, що надійшло від ЦКК.

Програмний рівень розглянутої системи керування реалізує окремі типові операції (наприклад, елементарні переміщення БНС). Це досягається застосуванням заздалегідь інстальованих керуючих програм, які здійснюють, у загальному випадку, групове керування виконавчими механізмами БНС. На цьому рівні виконується аналіз інформації про середовище та умов функціонування БНС, формування послідовності базових операцій та контроль їх виконання для рішення поставленої верхнім рівнем завдання (вибір шляхів руху, траєкторій руху виконавчих органів та ін.).

Виконавчий рівень реалізує керування окремими виконавчими механізмами в основних режимах (стабілізація руху, збір інформації тощо).

Функціонування БНС передбачає наступні режими автоматичного керування:

- автоматичне діагностування R_{D1} механізмів, вузлів і систем БНС перед початком виконання місії;
- автоматичний вихід R_{B1} з бази до початкової точки маршруту місії;
- автоматичний рух БНС по заданій траєкторії R_{T1} під час переходу у робочу зону акваторії;
- автоматичне маневрування R_M у робочій зоні акваторії та/чи автоматична стабілізація R_S у заданій точці заданої акваторії;
- автоматичний рух БНС R_{T2} по траєкторії повернення у кінцеву точку маршруту місії;
- автоматичне повернення R_{B2} до бази;
- автоматичне діагностування R_{D2} механізмів, вузлів і систем БНС після завершення місії.

Таким чином, множина $R_{\text{БНС}}$ основних режимів функціонування БНС містить наступні елементи:

$$R_{\text{БНС}} = \{R_{D1}; R_{B1}; R_{T1}; R_M; R_S; R_{T2}; R_{B2}; R_{D2}\}. \quad (4.1)$$

Очевидно, що для всіх основних режимів роботи БНС, крім режимів R_{D1} та R_{D2} , характерним є наявність дії зовнішніх збурень $\vec{F}_{FP}$ у вигляді векторів сил вітру $\vec{F}_{Wn}$, хвиль $\vec{F}_{Wv}$ та течії $\vec{F}_V$.

До головних задач інтелектуальної САК БНС відносять наступні задачі:

- задача безпечної навігації БНС у режимах руху $\{R_{B1}; R_{T1}; R_{M}; R_S; R_{T2}; R_{B2}\}$; тут має передбачатись, крім дії зовнішніх збурень $\vec{F}_{FP}$, наявність навігаційних перешкод у вигляді інших плавзасобів;
- задача автоматичного керування головною силовою установкою (ГСУ) БНС (дизелем чи іншим джерелом електричної, гідравлічної чи механічної енергії);
- задача автоматичного керування рушійно-стерновим комплексом БНС;
- задача автоматичного керування допоміжними судновими машинами і механізмами (ДСММ) БНС;
- задача автоматичного керування палубними механізмами (ПМ) БНС;
- задача автоматичної діагностики (контролю працездатності) обладнання (ДО) БНС (режими R_{D1} та R_{D2}).

Очевидно, що такий складний перелік вимог, що висуваються до САК БНС, можливо задовольнити лише шляхом застосування інтелектуальних технологій побудови систем керування.

4.2.3 Узагальнена структурна схема інтелектуальної САК рухом БНС

Розглянемо особливості побудови інтелектуальних САК БНС, які будуються із застосуванням нечіткої логіки та ґрунтуються на принципах багаторівневої структури згідно рис. 4.3.

Сам розподіл на рівні є досить умовним і в значній мірі залежить від конкретної реалізації БНС.

Як основна класифікаційна ознака при виділенні рівнів керування БНС використовують властивості об'єктів (складових БНС), керування якими реалізується на відповідному рівні.

Тоді узагальнена структура інтелектуальної САК рухом БНС в умовах дії зовнішніх збурень буде мати вигляд, показаний на рис. 4.4.

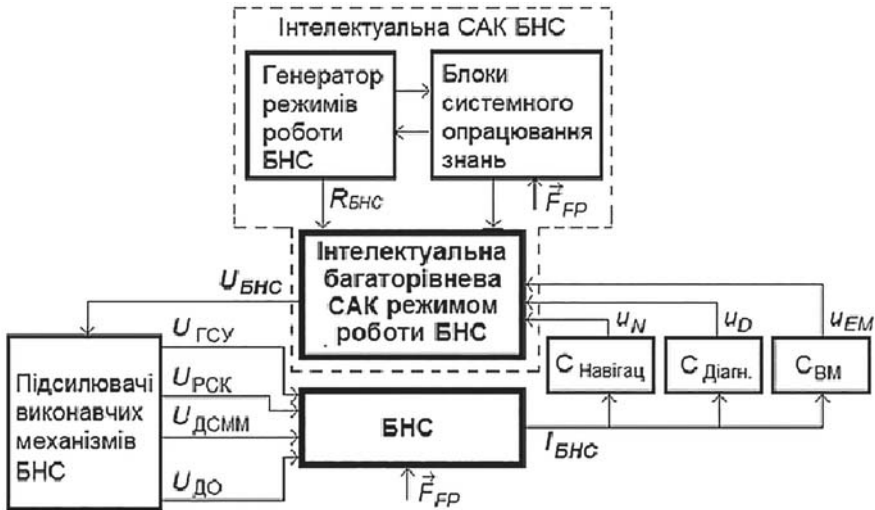


Рисунок 4.4 – Узагальнена структурна схема інтелектуальної САК рухом БНС

Розглянемо основні принципи роботи інтелектуальної САК БНС.

Генератор режимів роботи БНС – це програмний пристрій чи радіоканал, через який задається поточний режим роботи БНС згідно множині $R_{БНС}$ (4.1).

Блоки системного опрацювання знань призначені для аналізу зовнішньої обстановки та технічного стану виконавчих механізмів БНС (вектор $\vec{F}_{FP}$) на основі використання наступних інформаційних технологій – експертних систем, нечіткої логіки, штучних нейронних мереж, еволюційних методів і генетичних алгоритмів.

В основу концепції інтелектуальності, зазвичай, покладено:

- уміння системи працювати з формалізованими знаннями людини (експертні системи, нечітка логіка);
- властиві людині способи навчання і мислення (нейронні мережі, генетичні алгоритми).

САК режимом роботи БНС реалізує заданий режим роботи судна, у результаті чого формується множина $U_{\text{БНС}}$ сигналів керування виконавчими механізмами БНС. Після підсилення генерованих САК сигналів керування ГСУ, РСК, ДСММ та ДО (відповідно, сигнали $U_{\text{ГСУ}}$, $U_{\text{РСК}}$, $U_{\text{ДСММ}}$ та $U_{\text{ДО}}$) вони надходять до відповідних виконавчих механізмів БНС і, таким чином, забезпечують виконання заданого йому режиму функціонування.

Вихідними сигналами БНС є множина інформаційних сигналів $I_{\text{БНС}}$, які характеризують поточний стан БНС як об'єкту керування.

Важливою складовою САК є сенсори трьох груп:

- навігаційних сенсорів $C_{\text{Навігац.}}$, які забезпечують САК інформацією про поточні навігаційні характеристики БНС (курс, швидкість, географічні координати, а також їх похідні);
- діагностичні сенсори $C_{\text{Діагн.}}$, які дають інформацію про технічний стан виконавчих вузлів, механізмів і систем БНС;
- сенсори $C_{\text{ВМ}}$ виконавчих механізмів БНС, які утворюють зворотній зв'язок для САК по керованим величинам БНС як об'єкту керування.

Множина сигналів сенсорів u_N , u_D та u_{EM} утворюють необхідні канали зворотного зв'язку, необхідного для ефективної роботи САК в основних режимах роботи згідно (4.1).

Таким чином, зазначена САК БНС реалізує два узагальнені принципи інтелектуального керування:

- керування на основі аналізу зовнішніх даних ситуацій та подій (ситуаційне керування з урахуванням впливів $\vec{F}_{FP}$);
- використання сучасних інформаційних технологій для обробки даних та знань.

4.3 Система автоматичного керування траєкторним рухом безекіпажного надводного судна на базі нечіткої логіки

4.3.1 Принцип роботи автостернового пристрою судна

Традиційно САК рухом судна по курсу (автостерновий) вирішує наступні завдання (режими R_{T1} і R_{T2} множини (4.1)):

- стабілізацію – автоматичне утримання судна на заданому курсі;
- маневрування – достатньо точне і швидке виконання отриманих команд (керуючих впливів) щодо зміни курсу судна.

Для реалізації завдання автоматичної стабілізації судна на курсі найчастіше використовується ПІД-регулятор:

$$\delta_A = k_1 \frac{d\psi}{dt} + k_2 \psi + k_3 \int_0^t \psi \cdot dt, \quad (4.2)$$

де δ_A – обчислений кут перекладання стерна РСК; ψ – відхилення судна від заданого курсу; $k_{1,2,3}$ – коефіцієнти регулятора.

Принцип роботи САК курсом судна за допомогою автостернового показаний на рис. 4.5.

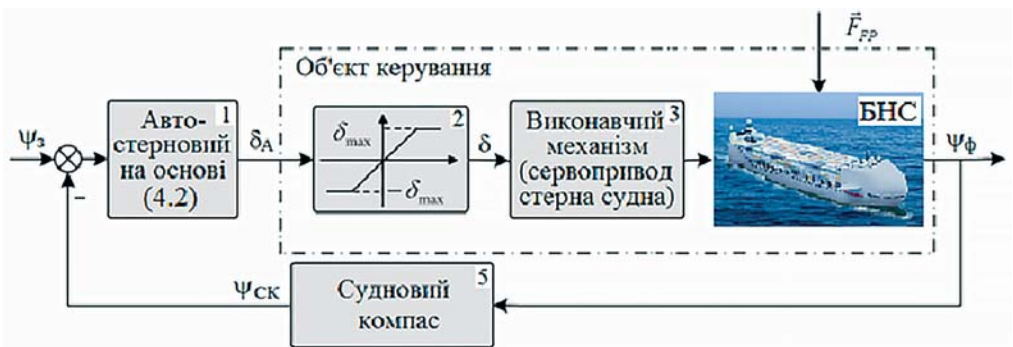


Рисунок 4.5 – Принцип роботи САК курсом судна

На рисунку позначено: $\psi_z, \psi_\phi, \psi_{СК}$ – відповідно, заданий, фактичний та виміряний судновим компасом курсові кути судна; δ_A, δ – відповідно, обчислений та фактично заданий для виконавчого механізму БНС (сервопривода) кут перекладки стерна; $\vec{F}_{FP}$ – вектор зовнішніх збурень, які діють на БНС.

Для БНС важливим режимом автономного функціонування, крім стабілізованого руху визначеним курсом R_{B1} , є також режими руху по заданій траєкторії R_{T1} та R_{T2} згідно множини (4.1). З розвитком електронної навігації (e-Navigation) актуальність розробки систем автоматичного керування траєкторним рухом БНС тільки зростає.

Успішний розв'язок вказаної задачі радикально змінює ефективність автоматизованого судноводіння та є альтернативою завданню стабілізації на курсі, підвищує рівень автоматизації і безпеки мореплавства, забезпечує економію енергоресурсів БНС і зменшує навантаження на стерновий привод судна, оскільки зменшує число перекладок стерна.

При русі по заданій траєкторії основною регульованою величиною є бічне відхилення центру тяжіння судна η від заданої лінії шляху.

Бічне відхилення обчислюється за даними зчислення і сигналами від засобів навігації, які безперервно виробляють поточні координати судна. Заданий маршрут вводять в систему у вигляді координат початкової і кінцевої точок прямолінійних відрізків бажаної траєкторії, знятих з навігаційної карти.

На основі безперервних даних про поточне місце судна (точка M на рис. 4.6) система виробляє значення відхилення η .

Закон керування в завданні стабілізації на траєкторії будуть у вигляді лінійної функції від: $\Delta\psi$ – відхилення курсу від курсового кута ділянки траєкторії; ω_z – кутової швидкості ристання судна; η – бічного відхилення від траєкторії та інтеграла від нього $\int \eta \cdot dt$.

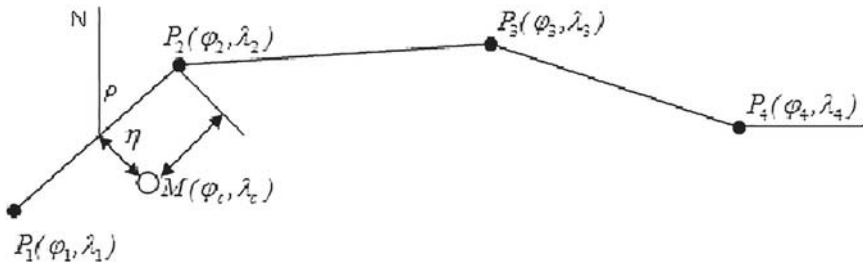


Рисунок 4.6 – До питання стабілізації судна на траєкторії

Вказаний набір змінних можна вважати ПІД-регулятором по η з урахуванням того, що комбінація $\Delta\psi$ і ω_z може інтерпретуватися з деяким наближенням як похідна η .

Сигнал керування u_t такого ПІД-регулятора на кожен момент t дискретного часу визначається наступним співвідношенням:

$$u_t = -[s_1(\psi_t - \Delta\psi_t) + s_2\omega_{zt}], \quad (4.3)$$

де $\Delta\psi_t$ – поправка до курсу заданому, обчислювана за формулою

$$\Delta\psi_t = s_3\eta_t + s_4 \sum_{i=1}^K \eta_i, \quad (4.4)$$

де $s_{1,2,3,4}$, K – коефіцієнти керування, які визначаються за окремими методиками, є предметом вивчення дисциплін з навігації та керування судном і тут не розглядаються.

Чисельне значення відхилення η , яке залежить від поточного географічного положення БНС (його широти φ_C і довготи λ_C) та від відомих параметрів локсодромічної*) ділянки траєкторії (координати відомої початкової точки φ_0, λ_0 і курсового кута P), визначається залежністю:

*) Локсодрома – лінія на поверхні Земної кулі, яка перетинає всі меридіани під однаковим кутом.

$$\eta = \left\{ -\ln \left[\frac{\operatorname{tg} \varphi_c / 2 + \pi / 4}{\operatorname{tg} \varphi_0 / 2 + \pi / 4} \right] \sin P + (\lambda_c - \lambda_0) \cos P \right\} \times \\ \times R \cos \left(\frac{\varphi_0 + \varphi_c}{2} \right), \quad (4.5)$$

де R – радіус Землі (еліпсною формою Землі нехтують).

У спрощеному вигляді залежність (4.5) має вигляд:

$$\eta = R \left\{ (\varphi_c - \varphi_0) \sin P + (\lambda_c - \lambda_0) \cos \left(\frac{\varphi_0 + \varphi_c}{2} \right) \cos P \right\}. \quad (4.6)$$

Цей перехід прийнято з урахуванням умови малої довжини локсодромічної ділянки (не більше 50 миль).

При цьому в широтах не більше 70°N (характерних для територіальних вод України) погрішність, що вноситься, в якнайгіршому випадку (широта рівна 70°N) складає не більше 15 м.

4.3.2 Особливості стабілізації БНС на траєкторії та можливості нечіткої логіки в автоматизації цим режимом

При розв'язку задачі стабілізації судна на траєкторії керування здійснюється згідно із законом (4.3). При цьому бічне відхилення розраховується по формулі (4.6). Очевидно, що чим вище точність визначення поточних значень координат φ_c , λ_c , тим точніше визначається бічне відхилення і, тим самим, забезпечується точна стабілізація судна на траєкторії. Таким чином, при стабілізації судна на траєкторії вирішальним питанням є точне і безперервне визначення географічних координат судна.

Оптимальне керування БНС відповідно до наведеного закону забезпечується автостерновим (АС) на тихій воді і при помірному хвилюванні. Досвід експлуатації автостернових показує, що при хвилюванні більше 3-х балів необхідно виконувати

переналаштування параметрів АС, інакше досягнення заданої точності керування супроводжуватиметься перевантаженням стернового приводу.

На суднах з екіпажем при великому хвилюванні, зазвичай переходять на ручне керування, при якому людина-стерновий на основі власного досвіду проводить ступінчасті переключання стерна при значних відхиленнях судна від траєкторії. Цим досягається зменшення числа переключань стерна, забезпечується надійна робота стернового приводу і, у цілому, підвищується ефективність керування судном у штормових умовах.

З розвитком теорії нечітких множин і нечіткої логіки як складової загальної теорії інтелектуальних систем керування став можливим опис дій досвідченого людини-стернового за допомогою аналітичних виразів спеціальної форми – лінгвістичних правил. Таким чином, з'явилась можливість природний інтелект людини-стернового (тобто, його досвід керування судном) зреалізувати у вигляді спеціальних комп'ютерних програм і, таким чином, побудувати САК БНС зі штучним інтелектом.

Укрупнена структура типової системи автоматичного керування БНС на базі нечіткого регулятора приведена на рис. 4.7.

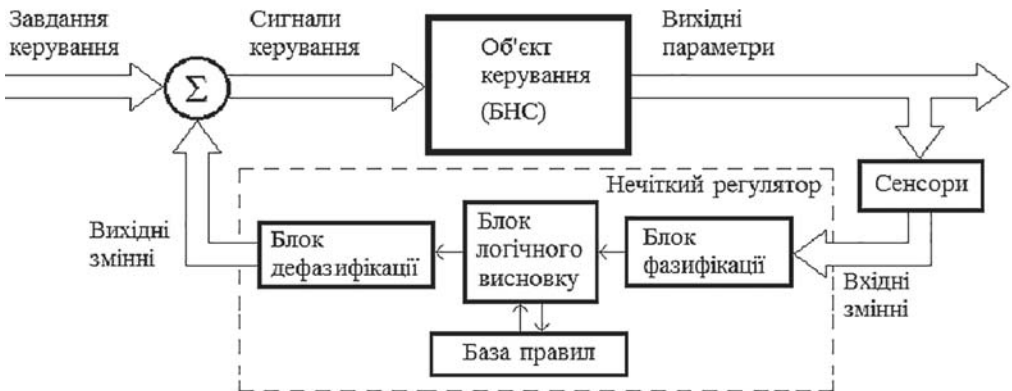


Рисунок 4.7 – Укрупнена структура системи керування БНС із нечітким регулятором

Розглянемо коротко принцип роботи нечіткого регулятора у складі інтелектуальної САК БНС.

Блок фазифікації перетворює виміряні цифрові значення фізичних величини, зміряні на виході об'єкту керування, в нечіткі величини, що описуються лінгвістичними змінними в базі правил.

Блок логічного висновку використовує нечіткі умовні правила «ЯКЩО – ТО», закладені в базі правил, для перетворення нечітких вхідних даних в необхідні керуючі дії, які також носять нечіткий характер.

Блок дефазифікації перетворює нечіткі дані з виходу блоку логічного висновку в конкретні цифрові («чіткі») величини, які використовуються для керування об'єктом.

Таким чином, синтез нечіткого регулятора в системі інтелектуального керування БНС полягає у формальному математичному описі керуючих дій досвідченого людини-стернового (тобто, використання його досвіду, інтелекту) та подальшій реалізації цього опису у вигляді комп'ютерної програми.

Розглянемо коротко процедуру синтезу такого нечіткого регулятора.

4.3.3 Синтез нечіткого регулятора системи автоматичного керування рухом БНС

Структурна схема системи автоматичного керування рухом БНС на основі нечіткого регулятора наведена на рис. 4.8.

У якості вхідних змінних у такій САК використовується поточна навігаційна інформація від інтегрованої системи орієнтації і навігації судна (ІСОН) – системи, у якій об'єднано навігаційну інформацію (від інерційних навігаційних модулів та приймачів супутникових навігаційних систем) з поточною інформацією від сенсорів навігації й керування рухом судна (системою курсовказування та електронною картографічною навігаційно- інформаційною системою судна (ЕКНІС)).

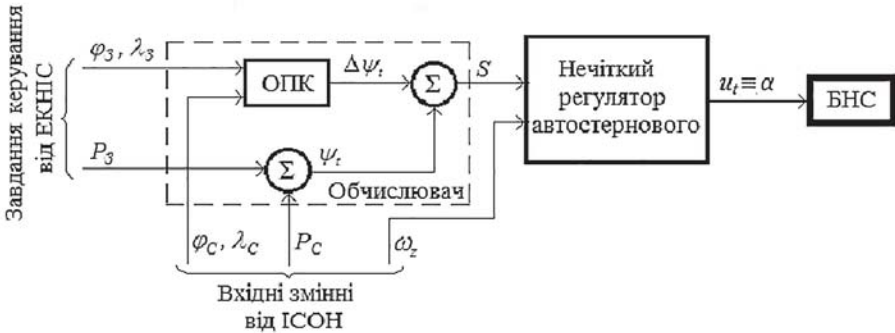


Рисунок 4.8 – Структурна схема системи керування БНС на основі нечіткого регулятора: P_c, P_3 – відповідно, поточний і заданий курс БНС; $\varphi_3, \lambda_3, \varphi_c, \lambda_c$ – відповідно, задані й поточні координати БНС; ОПК – обчислювач поправок до заданого курсу

Для нечіткого регулятора САК рухом БНС в якості першої вхідної змінної приймаємо сумарне відхилення поточного курсу судна від заданого ψ_t і поправку до цієї величини за рахунок бічного відхилення МС від траєкторії $\Delta\psi_t$ ($S = \psi_t - \Delta\psi_t$) (4.3), а в якості другої вхідної змінної – поточну кутову швидкість повороту судна ω_{zt} ; за вихідну змінну приймаємо кут перекладки стерна δ_A . Назвемо їх відповідно: *Відхилення*, *Кутова швидкість* і *Кут перекладки стерна*.

Закон керування задамо у вигляді бази правил, розробленої з урахуванням досвіду людини-стернового при керуванні судном з екіпажем в умовах морського хвилювання.

Сутність такого керування полягає у фільтрації малих значень S і ω_{zt} та у ступінчастому відхиленні стерна, що значно знижує число його перекладок.

Для кожної змінної задамо лінгвістичні терми, які відповідають деяким діапазонам чітких значень цих змінних.

Для змінної *Відхилення* пропонується використовувати сім термів: негативне велике (НВ); негативне середнє (НС); негативне мале (НМ); нуль (НУЛЬ); позитивне мале (ПМ); позитивне середнє (ПС); позитивне велике (ПВ).

Значення функції приналежності змінної *Відхилення* задаються графіком на рис. 4.9.

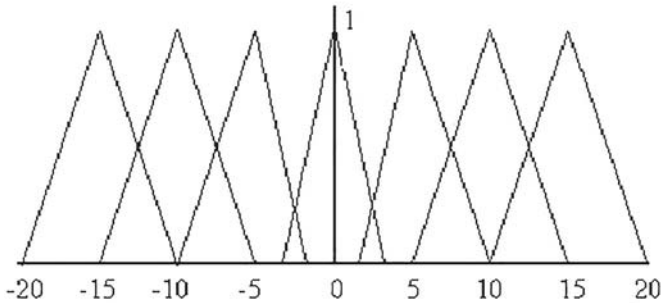


Рисунок 4.9 – Функція приналежності змінної *Відхилення* (S , град.)

Для другий вхідний змінної *Кутова швидкість* також пропонується сім термів: негативне велике (НВ); негативне середнє (НС); негативне мале (НМ); нуль (НУЛЬ); позитивне мале (ПМ); позитивне середнє (ПС); позитивне велике (ПВ). Значення функції приналежності *Кутова швидкість* задаються графіком на рис. 4.10.

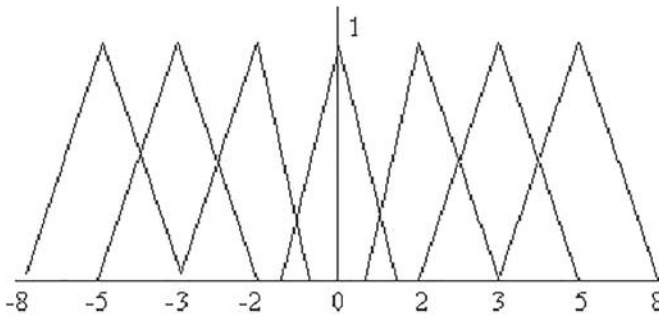


Рисунок 4.10 – Функція приналежності змінної *Кутова швидкість* (ω_{zl} , град/с)

Для вихідний змінної *Кут перекладки стерна* також пропонується сім термів: негативне велике (НВ); негативне середнє

(НС); негативне мале (НМ); нуль (НУЛЬ); позитивне мале (ПМ); позитивне середнє (ПС); позитивне велике (ПВ).

Значення функції приналежності *Кут перекладки стерна* задаються графіком на рис. 4.11.

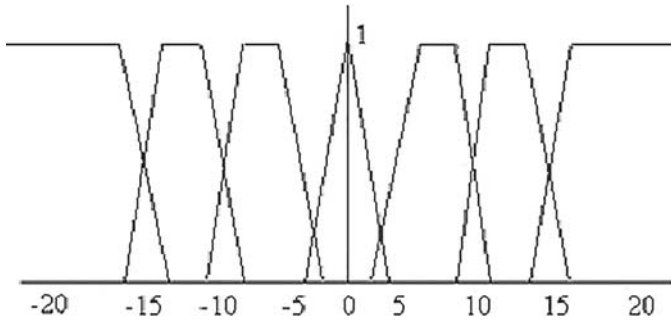


Рисунок 4.11 – Функція приналежності вихідної змінної
Кут перекладки стерна (δ_A , град.)

Задамо правила керування наступними лінгвістичними виразами:

ЯКЩО *Відхилення* негативне велике І *Кутова швидкість* негативне велике
ТО *Кут перекладки стерна* нуль.

ЯКЩО *Відхилення* негативне велике І *Кутова швидкість* негативне середнє
ТО *Кут перекладки стерна* негативне мале.

ЯКЩО *Відхилення* негативне велике І *Кутова швидкість* негативне мале
ТО *Кут перекладки стерна* негативне середнє.

ЯКЩО *Відхилення* негативне велике І *Кутова швидкість* нуль
ТО *Кут перекладки стерна* негативне велике.

ЯКЩО *Відхилення* негативне велике І *Кутова швидкість* позитивне мале
ТО *Кут перекладки стерна* негативне велике.

ЯКЩО *Відхилення* негативне велике І *Кутова швидкість* позитивне середнє
ТО *Кут перекладки стерна* негативне велике.

ЯКЩО *Відхилення* негативне велике І *Кутова швидкість* позитивне велике
ТО *Кут перекладки стерна* негативне велике.

ЯКЩО *Відхилення* негативне середнє І *Кутова швидкість* негативне велике
ТО *Кут перекладки стерна* позитивне мале.

ЯКЩО *Відхилення* негативне середнє І *Кутова швидкість* негативне середнє
ТО *Кут перекладки стерна* негативне нуль.

ЯКЩО *Відхилення* негативне середнє І *Кутова швидкість* негативне мале
ТО *Кут перекладки стерна* негативне мале.

ЯКЩО *Відхилення* негативне середнє І *Кутова швидкість* нуль
ТО *Кут перекладки стерна* негативне середнє.

ЯКЩО *Відхилення* негативне середнє І *Кутова швидкість* позитивне мале
ТО *Кут перекладки стерна* негативне велике.

ЯКЩО *Відхилення* негативне середнє І *Кутова швидкість* позитивне середнє
ТО *Кут перекладки стерна* негативне велике.

ЯКЩО *Відхилення* негативне середнє І *Кутова швидкість* позитивне велике
ТО *Кут перекладки стерна* негативне велике.

ЯКЩО *Відхилення* негативне мале І *Кутова швидкість* негативне велике
ТО *Кут перекладки стерна* позитивне середнє.

ЯКЩО *Відхилення* негативне мале І *Кутова швидкість* негативне середнє
ТО *Кут перекладки стерна* позитивне мале.

ЯКЩО *Відхилення* негативне мале І *Кутова швидкість* негативне мале
ТО *Кут перекладки стерна* нуль.

ЯКЩО *Відхилення* негативне мале І *Кутова швидкість* нуль
ТО *Кут перекладки стерна* негативне мале.

ЯКЩО *Відхилення* негативне мале І *Кутова швидкість* позитивне мале
ТО *Кут перекладки стерна* негативне середнє.

ЯКЩО *Відхилення* негативне мале І *Кутова швидкість* позитивне середнє
ТО *Кут перекладки стерна* негативне велике.

ЯКЩО *Відхилення* негативне мале І *Кутова швидкість* позитивне велике
ТО *Кут перекладки стерна* негативне велике.

ЯКЩО *Відхилення* нуль І *Кутова швидкість* негативне велике
ТО *Кут перекладки стерна* позитивне велике.

ЯКЩО *Відхилення* нуль І *Кутова швидкість* негативне середнє
ТО *Кут перекладки стерна* позитивне середнє.

ЯКЩО *Відхилення* нуль І *Кутова швидкість* негативне мале
ТО *Кут перекладки стерна* позитивне мале.

ЯКЩО *Відхилення* нуль І *Кутова швидкість* нуль
ТО *Кут перекладки стерна* нуль.

ЯКЩО *Відхилення* нуль І *Кутова швидкість* позитивне мале
ТО *Кут перекладки стерна* негативне мале.

ЯКЩО *Відхилення* нуль І *Кутова швидкість* позитивне середнє
ТО *Кут перекладки стерна* негативне середнє.

ЯКЩО *Відхилення* нуль І *Кутова швидкість* позитивне велике
ТО *Кут перекладки стерна* негативне велике.

ЯКЩО *Відхилення* позитивне мале І *Кутова швидкість* негативне велике
ТО *Кут перекладки стерна* позитивне велике.

ЯКЩО *Відхилення* позитивне мале І *Кутова швидкість* негативне середнє
ТО *Кут перекладки стерна* позитивне велике.

ЯКЩО *Відхилення* позитивне мале І *Кутова швидкість* негативне мале
ТО *Кут перекладки стерна* позитивне середнє.

ЯКЩО *Відхилення* позитивне мале І *Кутова швидкість* нуль
ТО *Кут перекладки стерна* позитивне мале.

ЯКЩО *Відхилення* позитивне мале І *Кутова швидкість* позитивне мале
ТО *Кут перекладки стерна* нуль.

ЯКЩО *Відхилення* позитивне мале І *Кутова швидкість* позитивне середнє
ТО *Кут перекладки стерна* негативне мале.

ЯКЩО *Відхилення* позитивне мале І *Кутова швидкість* позитивне велике
ТО *Кут перекладки стерна* негативне середнє.

ЯКЩО *Відхилення* позитивне середнє І *Кутова швидкість* негативне велике
ТО *Кут перекладки стерна* позитивне велике.

ЯКЩО *Відхилення* позитивне середнє І *Кутова швидкість* негативне середнє
ТО *Кут перекладки стерна* позитивне велике.

ЯКЩО *Відхилення* позитивне середнє І *Кутова швидкість* негативне мале
ТО *Кут перекладки стерна* позитивне велике.

ЯКЩО *Відхилення* позитивне середнє І *Кутова швидкість* нуль
ТО *Кут перекладки стерна* позитивне середнє.

ЯКЩО *Відхилення* позитивне середнє І *Кутова швидкість* позитивне мале
ТО *Кут перекладки стерна* позитивне мале.

ЯКЩО *Відхилення* позитивне середнє І *Кутова швидкість* позитивне середнє
ТО *Кут перекладки стерна* нуль.

ЯКЩО *Відхилення* позитивне середнє І *Кутова швидкість* позитивне велике
ТО *Кут перекладки стерна* негативне мале.

ЯКЩО *Відхилення* позитивне велике І *Кутова швидкість* негативне велике
ТО *Кут перекладки стерна* позитивне велике.

ЯКЩО *Відхилення* позитивне велике І *Кутова швидкість* негативне середнє
ТО *Кут перекладки стерна* позитивне велике.

ЯКЩО *Відхилення* позитивне велике І *Кутова швидкість* негативне мале
ТО *Кут перекладки стерна* позитивне велике.

ЯКЩО *Відхилення* позитивне велике І *Кутова швидкість* нуль
ТО *Кут перекладки стерна* позитивне велике.

ЯКЩО *Відхилення* позитивне велике І *Кутова швидкість* позитивне мале
ТО *Кут перекладки стерна* позитивне середнє.

ЯКЩО *Відхилення* позитивне велике І *Кутова швидкість* позитивне середнє
ТО *Кут перекладки стерна* позитивне мале.

ЯКЩО *Відхилення* позитивне велике І *Кутова швидкість* позитивне велике
ТО *Кут перекладки стерна* нуль.

Ці правила можна описувати матрицею, значення якої задаються в табл. 4.1.

Рядки матриці відповідають вхідній змінній *Відхилення*.

Стовпці матриці відповідають вхідній змінній *Кутова швидкість*.

Значення в пересіченні рядків і стовпців відповідають значенням вихідний змінної *Кут перекладки стерна* згідно лінгвістичним правилам.

Таблиця 4.1 – Таблиця бази правил нечіткого регулятора

		Кутова швидкість (ω_{zi})						
		НВ	НС	НМ	НУЛЬ	ПМ	ПС	ПВ
Відхилення (S)	НВ	НУЛЬ	НМ	НС	НВ	НВ	НВ	НВ
	НС	ПМ	НУЛЬ	НМ	НС	НВ	НВ	НВ
	НМ	ПС	ПМ	НУЛЬ	НМ	НС	НВ	НВ
	НУЛЬ	ПВ	ПС	ПМ	НУЛЬ	НМ	НС	НВ
	ПМ	ПВ	ПВ	ПС	ПМ	НУЛЬ	НМ	НС
	ПС	ПВ	ПВ	ПВ	ПС	ПМ	НУЛЬ	НМ
	ПВ	ПВ	ПВ	ПВ	ПВ	ПС	ПМ	НУЛЬ

Таким чином, отримана таблична форма бази правил відображає сутність етапів фазифікації та логічного висновку нечіткого регулятора і може бути досить просто реалізована на базі мікроконтролера чи керуючої ЕОМ.

Розглянемо тепер останній етап синтезу нечіткого регулятора – етап дефазифікації та отримання вихідних змінних, тобто сигналів керування для виконавчого механізму БНС (приводу повороту стерна).

У загальному випадку дефазифікація в системах нечіткого логічного висновку являє собою процедуру знаходження звичайного (не нечіткого) значення для кожної з вихідних лінгвістичних змінних.

Мета дефазифікації полягає в тому, щоб, використовуючи результати роботи блоку логічного висновку, отримати звичайне кількісне значення кожної з вихідних змінних, яке може бути використане виконавчими механізмами.

Процедура дефазифікації (приведення до чіткості) використовується, коли необхідно перетворити нечітку вихідну множину

в чітке число. Найчастіше для цього використовується дефазифікація центроїдним методом, коли чітке значення вихідної змінної визначається як центр ваги для кривих функцій приналежності вихідних змінних.

У нашому випадку це одна вихідна змінна – сигнал керування *Кут перекладки стерна* $u_t \equiv \delta_A$, тому її дефазифікація центроїдним методом не викликає труднощів.

Результатом роботи системи інтелектуального керування безекіпажним надводним судном, синтезованої на основі нечіткого регулятора, є зменшення кількості (частоти) перекладень стерна судна при його експлуатації у штормових умовах. При цьому табл. 4.1 «База правил нечіткого регулятора», створена у результаті детального аналізу комбінацій вхідних змінних (відхилення $\Delta\psi_t$ БНС від заданої траєкторії та кутова частота повороту БНС навколо вертикальної осі ω_{zt}) та досвіду людини-стернового на ці змінні, забезпечує автоматичне керування судном з такою ж ефективністю, що і ручне керування за участю досвідченого судноводія.

Контрольні питання

1. Назвіть сучасні інформаційні технології, із залученням яких створюють інтелектуальні системи керування промисловими роботами.
2. Назвіть переваги застосування інтелектуальних систем керування у порівнянні з традиційними САК.
3. Дайте характеристику безекіпажного надводного судна як об'єкту автоматичного керування.
4. Наведіть та дайте пояснення щодо функціонування узагальненої функціональної схеми інтелектуальної САК безекіпажного надводного судна.
5. Наведіть множину режимів функціонування безекіпажного надводного судна як об'єкта інтелектуального керування.
6. Наведіть та поясніть роботу узагальненої структурної схеми інтелектуальної САК рухом безекіпажного надводного судна.

7. Наведіть схему системи автоматичного керування траєкторним рухом безекіпажного надводного судна на базі нечіткої логіки.
8. Поясніть роботу ПД-регулятора в системі автоматичної стабілізації безекіпажного надводного судна на курсі.
9. Охарактеризуйте основні особливості реалізації режиму автоматичної стабілізації безекіпажного надводного судна на траєкторії.
10. Наведіть та поясніть роботу системи керування безекіпажним надводним судном із нечітким регулятором.
11. Дайте пояснення термінам «фазифікація» і «дефазифікація» при синтезі нечіткого регулятора.
12. У чому полягає синтез нечіткого регулятора системи автоматичного керування рухом безекіпажного надводного судна?

Література до розділу 4

1. Апостолук В. О., Апостолук О. С. Інтелектуальні системи керування: конспект лекцій. К.: НТУУ «КПІ», 2008. 88 с.
2. Інтелектуальна робототехніка [Електронний ресурс]. *Photoneo s.r.o. : website*. URL: https://www.photoneo.com/?gclid=EAIaIQobChMI44uqiNDv-gIVghWLCh2uKAAVEAAyAAEgI3GPD_BwE.
3. Проектування систем керування динамічними об'єктами з нечіткими параметрами [Електронний ресурс]. *Інформаційний сайт нечіткої логіки*. URL: <https://sites.google.com/site/ne4itkalogika/sintez-necitkih-dinamicnih-modelej-u-matlab/sistemy-keruvanna-dinamicnimi-obektami>.
4. Романов А. М. Обзор аппаратно-программного обеспечения систем управления роботов различного масштаба и назначения. Часть 1. Промышленная робототехника. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2019-7-5-30-46>. Сведения доступны также в Интернете. URL: https://www.researchgate.net/publication/336570829_A_review_on_control_systems_hardware_and_software_for_robots_of_various_scale_and_purpose_Part_1_Industrial_robotics/fulltext/5da671344585159bc3d0138f/A-review-on-control-systems-hardware-and-software-for-robots-of-various-scale-and-purpose-Part-1-Industrial-robotics.pdf.

Розділ 5

СИСТЕМИ ГРУПОВОГО КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ РОБОТЕХНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ

5.1 Сучасні підходи до групового керування промисловими роботами

Часто промисловий робот функціонує не автономно, а спільно з іншими роботами чи устаткуванням. У зв'язку з цим однією з важливих характеристик систем керування роботами є можливість реалізації різних варіантів групового застосування, коли декілька роботів спільно реалізують заданий виробничий процес. Це відноситься і до керування декількома маніпуляторами одного робота.

Групове керування промисловими роботами будується виходячи з наступних загальних рекомендацій:

1. Загальне рішення цього завдання – ієрархічна централізовано-децентралізована система групового керування.
2. Її основа – нижній рівень децентралізованого керування з розподілом загальної мети між роботами. Тому ключова проблема групового керування роботами – оптимізація складу роботів цього рівня, включаючи їхнє число, спеціалізацію, способи розподілу загальної мети й, нарешті, координацію дій окремих роботів.
3. Для розв'язку останнього завдання необхідно керуватися відповідними конкретним цілям критеріями оптимальності. Ними можуть бути час досягнення мети (швидкодія), загальні енерговитрати, вартість і т.п., а також комбінація цих критеріїв при заданих обмеженнях інших показників (надійність, ресурс, збурюючих впливів). Основні варійовані параметри при заданій загальній меті (цілях) – це число

роботів, розподіл між ними загальної мети, що відповідає їхнім спеціалізаціям, обсяг інформаційного обміну між роботами.

4. Наступні завдання – розробка всієї ієрархічної системи керування групою роботів, аж до верхнього рівня цілевказування й планування, а також технічна діагностика й відновлення функціонування групи при окремих відмовах. Відповідно до конкретних типових призначень і цілей групи.
5. Останнє завдання – розробка алгоритмів обробки інформації для систем керування, синтезованих у такий спосіб. У тимчасовому аспекті це завдання підрозділяється на три:
 - завдання оцінки ситуації;
 - прийняття рішень до дії;
 - планування ухвалених дій.

Розглянемо тепер основні варіанти побудови систем автоматичного керування промисловими роботами.

Простим варіантом групового керування є керування декількома автономно діючими роботами, коли кожний робот здійснює автономні дії, які не пов'язані в просторі і в часі з іншими роботами.

Найпростіше завдання такого керування – синхронізація виконуваних окремими роботами або іншими засобами робототехніки операцій, тобто узгодження їхніх дій у часі. Це потрібно при виконанні групою роботів загальної роботи, що розпадається на послідовно виконувані окремими роботами технологічні операції.

При цьому робочі зони цих роботів не перетинаються й, отже, небезпека зіткнення їхніх маніпуляторів відсутня. Приклад – керування групою роботів на складальній лінії, де роботи послідовно виконують поопераційне складання конкретного виробу.

Іншим прикладом такого керування може служити керування гнучкою виробничою системою, яка складається з декількох гнучких виробничих модулів «АЕ-PLC-10», призначених для фрезерування металевих заготовок.

Кожний гнучкий модуль такої системи складається з чотирьох робочих станцій (рис. 5.1):

- робоча станція подачі заготовок «AE-PLC-A»;
- робоча станція сортування «AE-PLC-CF»;
- маніпулятор «AE-BR»;
- фрезерна робоча станція з числовим програмним керуванням (ЧПК) «AE-CNCF».



Рисунок 5.1 – Гнучких виробничий модуль «AE-PLC-10»

Метою системи «AE-PLC-FMS10» є забезпечення системи заготовками різних кольорів, висоти та матеріалів. Ці частини ідентифікуються та сортуються залежно від системних вимог. Потім робот забирає заготовки з робочої станції сортування та поміщає їх у фрезерний верстат з ЧПК. Після того, як верстат з ЧПК завершить обробку заготовок, маніпулятор забирає їх з верстата з ЧПК і розміщує їх у вихідній зоні.

Робочий процес "AE-PLC-FMS10" виконується у наступній послідовності:

- система подачі забезпечує заготовки різних кольорів і матеріалів і розміщує їх на вході робочої станції сортування;
- робоча станція сортування ідентифікує заготовки та сортує їх у трьох різних місцях;

- маніпулятор бере заготовки з робочої станції сортування та розміщує їх у фрезерному верстаті з ЧПК для їх обробки. Коли заготовки оброблені, маніпулятор бере готові деталі та розміщує їх у зоні виходу.

Кожною робочою станцією локально керує контролер і, у свою чергу, центральний контролер координує роботу всіх робочих станцій. Мережа зв'язку між робочими станціями і контролерами функціонує на протоколі Ethernet.

Наступним варіантом групового керування є таке ж керування знакладеними тимчасовими взаємними зв'язками на рухи маніпуляторів. Складність і головне завдання такого варіанту керування полягає у необхідності координації їхнього руху в просторі з метою запобігання зіткнень маніпуляторів або мобільних роботів у цілому. У простих випадках ці зв'язки зводяться до встановлення певної послідовності виконання кожним маніпулятором своєї індивідуально заданої операції.

Прикладом такого керування може служити керування групою роботів, що виконують операції по обслуговуванню не пов'язаних одиниць технологічного устаткування, але вимагають узгодженості рухів, або не створювати загроз зіткнення маніпуляторів (рис. 5.2).

Роботизований комплекс для складання та паяння електронних компонентів підняв продуктивність ділянки радіоелектронного виробництва НВО «СТАРЛАЙН» (StarLine) у 10 разів.

З'явилася можливість випускати вироби безперервно у режимі 24/7.

Унікальна технологія замкнутого циклу виробництва на ділянці складання та паяння гнучких шлейфів електронних плат дозволила обходитися без участі людини: усі процеси – від подачі заготовок до розвантаження готових виробів – виконуються автоматично.

Роботизований комплекс забезпечує на мінімальній площі 4 кв. метри значної продуктивності: більше 50 000 виробів на місяць. Стільки могли б зробити 28 монтажників.



Рисунок 5.2 – Роботизований комплекс для складання та паяння гнучких шлейфів електронних плат

До складнішого випадку розглянутого варіанту групового керування відноситься повністю синхронізована паралельна робота маніпуляторів.

Ще одним варіантом завдання групового керування є спільне виконання декількома маніпуляторами загальної роботи, що вимагає взаємної координації їх рухів в просторі загальної робочої зони (наприклад, складання одного автомобіля декількома маніпуляторами на одному робочому місці), рис. 5.3.

На більшості автомобілебудівних заводів сьогодні роботизовані «руки» на високій швидкості встановлюють вузли і системи (двигуни, насоси тощо), закручують гвинти, встановлюють колеса, лобове скло, світлооптичну техніку тощо.

Практика свідчить, що можливими є наступні декілька варіантів організації такої спільної роботи промислових маніпуляторів:

- квазіавтономне керування;
- ієрархічне підпорядкування;
- рівноправна взаємодія.



*Рисунок 5.3 – Монтаж вузлів і систем автомобіля
за допомогою чотирьох промислових маніпуляторів*

У квазіавтономному режимі загальне завдання розбивається на операції, які виконують окремими маніпуляторами при обліку визначених, накладених на їх рухи просторових і тимчасових обмежень, що забезпечують взаємну розв'язку рухів маніпуляторів.

При ієрархічному підпорядкуванні один з маніпуляторів є основним і його система керування формує сигнали, що ініціюють підключення (по відповідних підпрограмах) до роботи інших маніпуляторів. Основне рішення тут – це застосування системи децентралізованого керування як системи безпеки від зіткнень.

Найбільш високоорганізованим режимом спільної роботи є режим рівноправної взаємодії – забезпечення спільної роботи маніпуляторів з координацією рухів одночасно й у просторі, і в часі, тобто координація траєкторій руху в реальному масштабі часу.

Спільна робота промислових маніпуляторів і роботів може відбуватися як без обмежень на відносні положення робочих органів, так і з накладенням таких обмежень. Операцією з накладеними обмеженнями є, наприклад, спільне перенесення двома маніпуляторами одного предмета.

Така операція може знадобитися, коли вантажопідйомність одного робота нижче потрібної для перенесення об'єкту або при перенесенні великогабаритних об'єктів. Обмеження на відносні координати можуть бути або механічними, або аналітичними, тобто у вигляді завдання допустимих відхилень (розугоджень).

Таким чином, керування декількома роботами, що виконують загальне завдання – це основна область застосування групового керування у промисловій робототехніці.

Керування такими роботизованими технологічними комплексами й виробничими системами, де промислові роботи функціонують разом з різним технологічним устаткуванням, транспортною й складською системами – це наступна по складності завдання групового керування.

Загальна тенденція розвитку систем керування такими комплексами полягає в ослабленні централізованого підходу до керування й переході до розподілених гнучких виробничих систем, що складаються із об'єднаних локальною мережею технологічних і функціональних модулів, що виконують загальносистемні функції. У таких системах може бути відсутнім єдине планування й диспетчеризація, а послідовність виготовлення кожного чергового виробу визначається спонтанно в ході виробничого процесу. Така структура відрізняється гранично високою надійністю.

Сфера її застосування – виконання випадкового потоку заявок, що є характерним для складних виробничих систем з багатьма промисловими роботами.

Типовим прикладом застосування таких систем керування є автоматичні лінії механообробки, сортування та пакування деталей.

Слід зазначити, що ідеї групового керування маніпуляторами і промисловими роботами останнім часом успішно переносяться з промислових варіантів застосування до транспортних роботів, які функціонують у різних середовищах – сухопутних (автомобільний транспорт), морських (безекіпажні підводні апарати і надводні судна) та авіаційних (безпілотні літальні апарати).

Розглянемо деякі з цих варіантів більш детально.

5.2 Автоматичне керування гнучкою виробничою системою

5.2.1 Загальні поняття про гнучку виробничу систему

З промислової точки зору гнучка виробнича система (ГВС) – це керований засобами обчислювальної техніки комплекс технологічного обладнання, що автоматично адаптується до змін у програмі виробництва.

З загальнонаукової позиції ГВС – це галузь науки і техніки, яка охоплює розробку і дослідження методів проектування, моделювання та експлуатації складних розподілених у просторі автоматизованих систем виробничого призначення, побудова яких ґрунтується на використанні технологічного устаткування, яке програмно переналагоджується, а також на інтеграції процесів наскрізного технологічного циклу з проектуванням виробів, технологічною підготовкою виробництва й автоматизованим управлінням виробництвом.

За організаційною структурою ГВС класифікують наступним чином:

- гнучкий виробничий модуль (ГВМ) – це ГВС з автономним функціонуванням, що складається з одиниці технологічного обладнання, оснащена автоматизованим пристроєм програмного керування та засобами автоматизації технологічного процесу; ГВМ здійснює багаторазові виробничі цикли й має можливість вбудовуватися в систему вищого рівня;

- гнучка автоматизована лінія (ГАЛ) – ГВС, в якій технологічне обладнання розташоване в заданій послідовності технологічних операцій;
- гнучка автоматизована дільниця (ГАД) – дільниця цеху, технологічне устаткування якого складається здебільшого з гнучких виробничих систем, осередків та модулів;
- гнучкий автоматизований цех (ГАЦ) – цех заводу, що складається здебільшого з гнучких автоматизованих дільниць, що виготовляє вироби заданої номенклатури;
- гнучкий автоматизований завод (ГАЗ) – виробництво, інтегроване засобами обчислювальної техніки та яке складається здебільшого з гнучких виробничих систем для вироблення продукції в умовах її удосконалення та змінної потреби.

Організаційна структура ГВС як об'єкта керування подана на рис. 5.4.

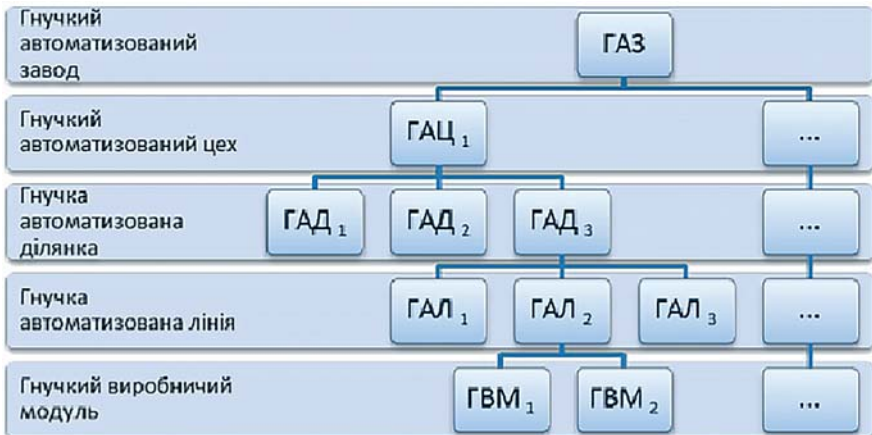


Рисунок 5.4 – Гнучка виробнича система як об'єкт автоматизації

Однією з переваг ГВС у порівнянні з традиційним промисловим виробництвом є їх автоматична адаптація (автоматичне переналаштування) до змін у програмі виробництва.

Тому системи автоматичного керування ГВС підпадають під класифікацію адаптивних САК промисловими роботами.

Однак той факт, що вони об'єднують деяку множину автоматичного технологічного устаткування (ГАЛ, ГАД, ГАЦ, ГАЗ), які виконують спільну виробничу програму, дає змогу розглядати їх системи автоматичного керування як системи групового керування.

Сутність концепції гнучкого виробництва полягає в тому, що вона дозволяє переходити з випуску одного виробу на випуск іншого виробу практично без переналагодження технологічного і будь-якого іншого обладнання.

Застосування ЕОМ в керуванні гнучким виробництвом дозволяє здійснювати комплексний підхід до автоматизації всіх видів робіт і процесів – від заготовки (опрацювання завдання на виробництво нового виробу, конструкторсько-розрахункових робіт, технологічної підготовки виробництва, всього комплексу технологічних процесів) до упаковки і відправки виробу споживачеві.

Більш важливим стає процес керування такою множиною складного технологічного та допоміжного обладнання. Замовлення-наряди на роботу, виробничі програми і графік проходження компонентів по всьому технологічному маршруту – все це знаходиться в центральній керуючій ЕОМ і ЕОМ окремих підсистем всього виробництва.

Кожна ЕОМ має мережу пов'язаних мікропроцесорів, які керують окремими технологічними операціями. Кожна окрема ЕОМ веде облік фактичного виконання операцій, здійснює стеження за процесом.

Система забезпечення функціонування ГВС в автоматизованому режимі включає в себе:

- автоматизовану транспортно-складську систему (АТСС);
- автоматизовану систему інструментального забезпечення (АСІЗ);
- автоматизовану систему видалення відходів (АСВВ);
- автоматизовану систему управління (АСУ) виробництвом.

Така система має можливість автоматизованого (програмного) переналагодження при виробництві деталей або виробів довільної номенклатури в межах технологічного призначення і встановлених значень характеристик.

Всі системи забезпечення функціонування ГВС частково або повністю входять до складу ГАЛ або ГАД. В ГАЛ технологічне обладнання розташоване в заданій послідовності технологічних операцій; при цьому для виготовлення (обробки) якогонебудь виробу можуть вимагатися всі або тільки частина обладнання лінії. ГАЛ має високу продуктивність за рахунок деякої втрати гнучкості. ГВС з вільним маршрутом обробки деталей утворює ГАД. Це найбільш поширений вид ГВС.

Більшість існуючих і створюваних у різних країнах світу ГВС автоматизують якийсь один технологічний процес: механообробку, зварювання, фарбування, складання, ковальськопресове виробництво.

З технічної точки зору ГВС – це сукупність обладнання з числовим програмним керуванням (ЧПК), роботизованих технологічних комплексів, гнучких виробничих модулів і системи забезпечення їх функціонування в автоматичному або автоматизованому режимі (рис. 5.5).

Гнучкий автоматизований цех (ГАЦ) являє собою часткову інтеграцію ГАЛ, ГАД іншого технологічного обладнання з ЧПУ, а також таких систем, як системи автоматизованого проектування (САПР), автоматизованої системи технологічної підготовки виробництва (АСТПВ) тощо.

Ці та інші системи організовують потоки виробничої інформації, різних показників діяльності підприємства, статистичних даних між різними рівнями керування (від кожного верстата, оператора через всі організаційно управлінські рівні до директора). Такі системи допомагають вирішувати завдання завантаження устаткування, стежать за запасами, розраховують собівартість продукції, вирішують задачі постачання і збуту, забезпечують повсякденний, щогодинний, щохвилинний аналіз ходу виробництва і прийняття рішень управлінським персоналом.

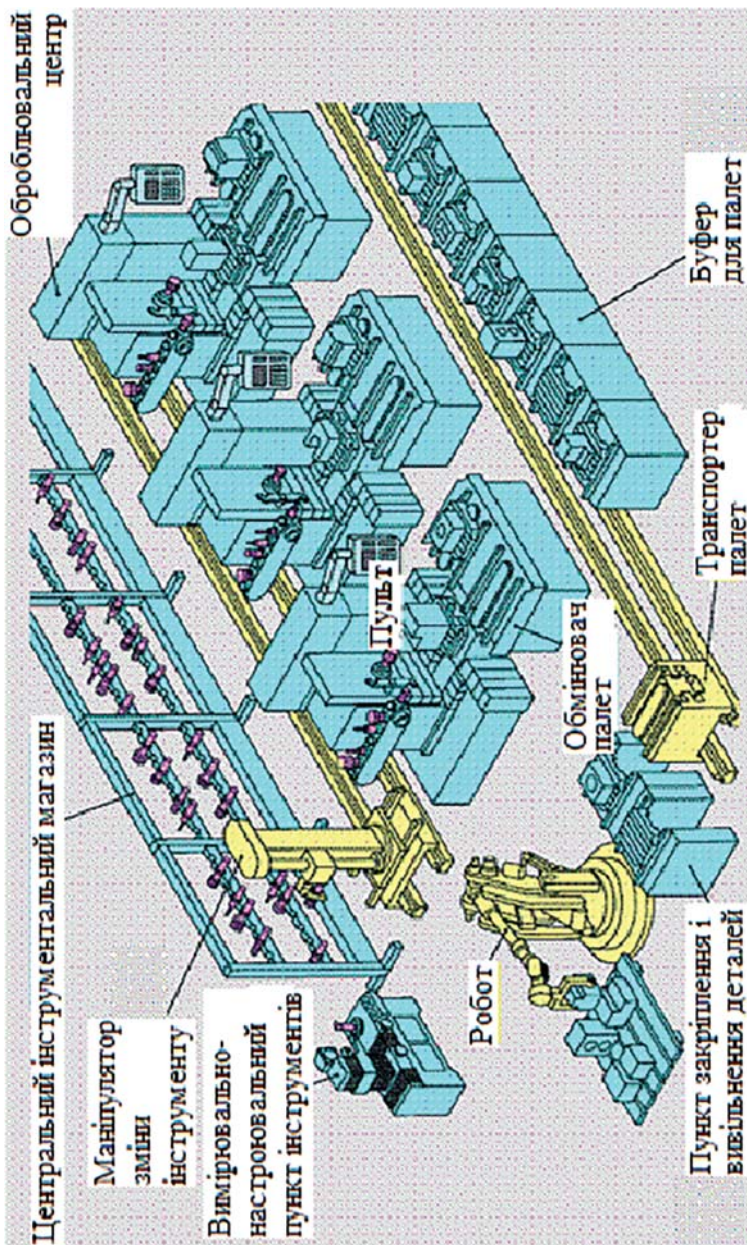


Рисунок 5.5 – Гнучка виробнича система

Повна інтеграція в єдину систему всіх необхідних систем, які стають в цьому випадку підсистемами, для виробництва заданої продукції визначає гнучкий автоматизований завод – повністю автоматизоване, гнучке підприємство, що працює 24 години на добу і більшу частину часу в «безлюдному» режимі.

5.2.2 Місце гнучких виробничих систем у процесі розвитку автоматизації машинобудівного виробництва

У розвитку рівня автоматизації виділяють наступні характерні історичні етапи, а з урахуванням тенденцій науково-технічного прогресу можна спрогнозувати можливі способи вдосконалення автоматизованого машинобудування в найближчому майбутньому та більш віддаленій перспективі (рис. 5.6).

На перший етап розвитку автоматизації засобів виробництва в машинобудуванні – від універсальних до спеціалізованих верстатів, верстатів-автоматів, а потім до «жорстких» автоматичних ліній і «заводів-автоматів» – людство витратило більше ніж 200 років. Був пройденим шлях від токарно-копіювального верстата, створеного в 1712 році, до першого автоматизованого заводу з виробництва поршнів у 1951 році. Для цього етапу характерна автоматизація на основі електромеханічних пристроїв.

Досягнувши значного підвищення продуктивності (у 5–10 разів), така автоматизація могла бути застосованою лише для масового виробництва, наякому конструкція виробів тривалий час залишається незмінною.

Другий етап розвитку автоматизації в машинобудуванні фактично повторив перший, але на новому принципі керування – електронно-програмному, що дало змогу зі збільшенням продуктивності кожного виду обладнання підвищити і його гнучкість. На цей етап було витрачено трохи більше ніж 30 років. Числове програмне керування забезпечило справді значний ефект в одиничному та серійному виробництвах, але не дало відчутних результатів у масовому.

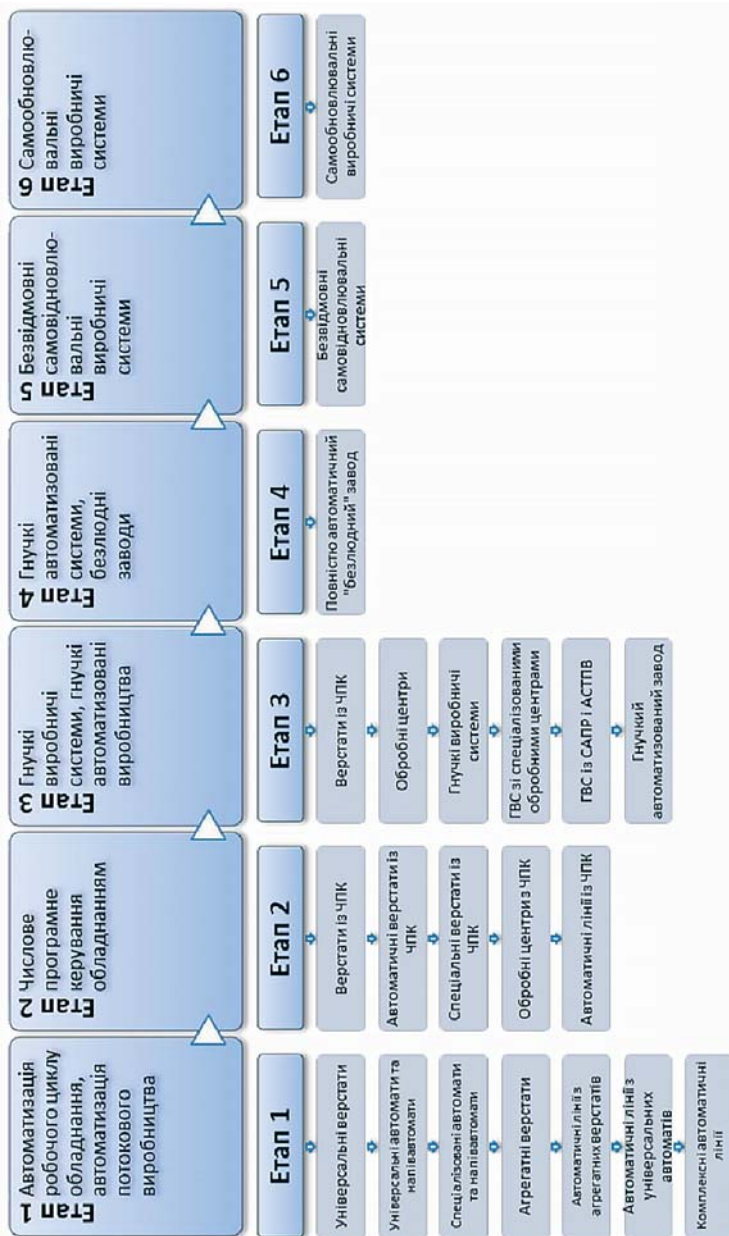


Рисунок 5.6 – Етапи розвитку автоматизації у машинобудуванні

Крім того, індивідуальні ЧПК для кожного верстата виявилися занадто громіздкими й високовартісними.

Подальший розвиток електроніки, використання ЕОМ і мікропроцесорів розкрили нові можливості ЧПК.

Зі створенням обладнання, безпосередньо керованого від ЕОМ у режимі розподілу часу, почався третій етап розвитку автоматизації в машинобудуванні.

Керування від однієї ЕОМ кількома верстатами з ЧПК та допоміжним обладнанням дало змогу пов'язувати верстати загальним керуванням і єдиним транспортом у групи, тобто створювати систему машин.

Індивідуальні верстати з ЧПК типу CNC (Computer Numerical Control), верстати типу обробний центр (свердлильно-фрезерно-розточувальні й токарні) почали становити основу ГВС.

На базі обчислювальних центрів створювали гнучкі виробничі модулі, гнучкі автоматизовані лінії та ГАД.

На третьому етапі почалося об'єднання в єдину систему всіх виробничих функцій: конструювання, технологічної підготовки виробництва, оброблення, складання, випробування тощо, тобто з'явилися гнучкі автоматизовані виробництва.

На цьому етапі розвитку автоматизації виникла можливість поєднувати переваги універсальних верстатів, їх повну (максимальну) гнучкість із високою продуктивністю автоматичних ліній масового виробництва. Розглянутий третій етап, за прогнозами, буде пройдено впродовж 20–30 років.

Четвертий етап почався зі створення автоматизованого виробництва, повністю інтегрованого на базі ЕОМ нового покоління, а завершиться впровадженням повністю автоматизованого («безлюдного») виробництва.

Подальший розвиток науки й техніки, розроблення інтелектуальних систем, а головне – вирішення проблеми надійності та самодіагностики машин, переведуть розвиток автоматизації засобів виробництва на наступний етап, під час якого будуть

створеними безвідмовні самовідновлювальні робочі машини, системи й заводи.

Широке застосування штучного інтелекту є запорукою успішного виконання цього завдання.

5.2.3 Структура і склад системи автоматного керування гнучкою виробничою системою.

У систему автоматичного керування типовою ГВС входять апаратні й програмні засоби. Керування ГВС здійснюється на основі системи ЧПК. Система керування здебільшого має кілька рівнів (табл. 5.1). Її можна налаштувати на різні режими роботи: запуск, налагоджування, робота, планова зупинка тощо.

Програмне забезпечення системи керування ГВС складається з головної керувальної програми (ГКП) та десяти типових підпрограм, кожна з яких виконує певні функції (табл. 5.2).

Головна програма координує роботу підсистем.

Таблиця 5.1 – Рівні керування ГВС

Рівень керування	Керувальне обладнання	Масштаб керування
Верхній	Міні-ЕОМ із розширеною пам'яттю або середня ЕОМ	Керування системою, оптимізація роботи, диспетчеризація, зберігання масивів даних
Середній	Кілька міні-ЕОМ із меншою пам'яттю	Керування матеріальними потоками, взаємозв'язок роботи модулів ГВС
Нижній	Мікро-ЕОМ, мікропроцесори, ЧПК, командоапарати	Автономне керування модулями ГВС і технологічним обладнанням
Початковий	Датчики, кінцеві вимикачі	Стеження за станом роботи обладнання, параметрами технологічного процесу

Таблиця 5.2 – Підсистеми програмного забезпечення АСУ ГВС

№ пор.	Виконувані функції
1	2
1	Керування запуском обладнання ГВС
2	Коригування й відновлення інформаційних масивів
3	Керування технологічним обладнанням
4	Керування системою транспортування деталей
5	Керування системою транспортування інструменту
6	Керування налагоджувальними режимами
7	Керування плановою зупинкою
8	Формування інформаційних масивів та їх редагування
9	Підготовка й виведення інформації на аналогово-цифровий пристрій керування та дисплей
10	Уведення, зберігання й редагування КП оброблення

Відповідно, за функціональною відмінністю програмного забезпечення в керуванні ГВС виділяють дві великі підсистеми (рис. 5.7):

- підсистема технічного керування;
- підсистема організаційного управління.

Технічна підсистема реалізує керування геометричною та технологічною інформацією, яка циркулює у процесі реалізації заданої промислової технології. Так, вона керує процесами формування й налаштування обладнання, здійснює адаптивне керування процесом обробленням деталей і реалізує технічне діагностування модулів ГВС.

Організаційна підсистема керує робочим процесом ГВС у часі загалом. Основними функціями цієї підсистеми є облік та контроль стану деталей і заготовок, оптимізація маршруту оброблення відповідно до актуальної ситуації, керування матеріальним потоком заготовок, інструментів та деталей (диспетчеризація), накопичення й редагування бібліотеки керувальних програм обробки деталей.



Рисунок 5.7 – Підсистеми керування ГВС

Система керування ГВС може бути інформаційно зв'язаною з АСТПВ та АСУ виробництвом. Сукупність ГВС, АСТПВ та АСУ промисловим виробництвом утворює концепцію інтегрованого виробництва, яке у зарубіжній науково-технічній літературі називають CAD-CAM (Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacture, тобто проектування та виготовлення з використанням комп'ютерної технології).

5.2.4 Переваги гнучких виробничих систем у порівнянні іншими видами роботизованого виробництва

Аналіз ГВС у різних країнах показує широке коло галузей промисловості, у яких їх застосовують. Близько 40 % ГВС упроваджено в автомобільній промисловості, близько 30 % – у приладобудуванні й загальному машинобудуванні, близько

20 % – у верстатобудуванні, близько 10 % – в аерокосмічній та оборонній промисловостях.

В автомобільній промисловості ГВС застосовують у виробництві майже всіх деталей двигуна автомобіля, шасі, заднього і переднього мостів, а також під час складання кузова й загального складання автомобіля. Найбільш поширеними деталями для оброблення в ГВС є частини трансмісії та коробки передач.

У верстатобудуванні за допомогою ГВС найчастіше обробляють станини, колони, столи, каретки, напрямні; рідше – деталі коробок швидкостей та шпинделя.

У приладобудуванні й загальному машинобудуванні ГВС використовують для оброблення деталей фотокамер, корпусів швейних машин, турбін і насосів, гірського устаткування тощо.

До основних переваг застосування ГВС належать такі:

- одночасне підвищення ефективності та гнучкості;
- підвищення ступеня автоматизації без зменшення гнучкості;
- удосконалення вимірювально-контрольних методів, що дають змогу контролювати стан інструменту та оброблюваних деталей у процесі оброблення, що необхідно для відповідного автоматичного підналагодження;
- уведення в ГВС таких операцій, як нанесення покриттів, термічна обробка, складання тощо;
- розвиток профілактичного техобслуговування.

Сфери використання ГВС у машинобудуванні наведено на рис. 5.8.

Варто зазначити, що в результаті впровадження ГВС у промислове виробництво можна:

- підвищити коефіцієнт використання верстатів (у 2–4 рази порівняно з використанням окремих верстатів);
- скоротити час, необхідний на виробництво;
- зменшити частку незавершеного виробництва, тобто кількість запасів деталей на складах;
- оптимізувати потік матеріалів, зменшити кількість транспортувань і точок управління виробництвом;

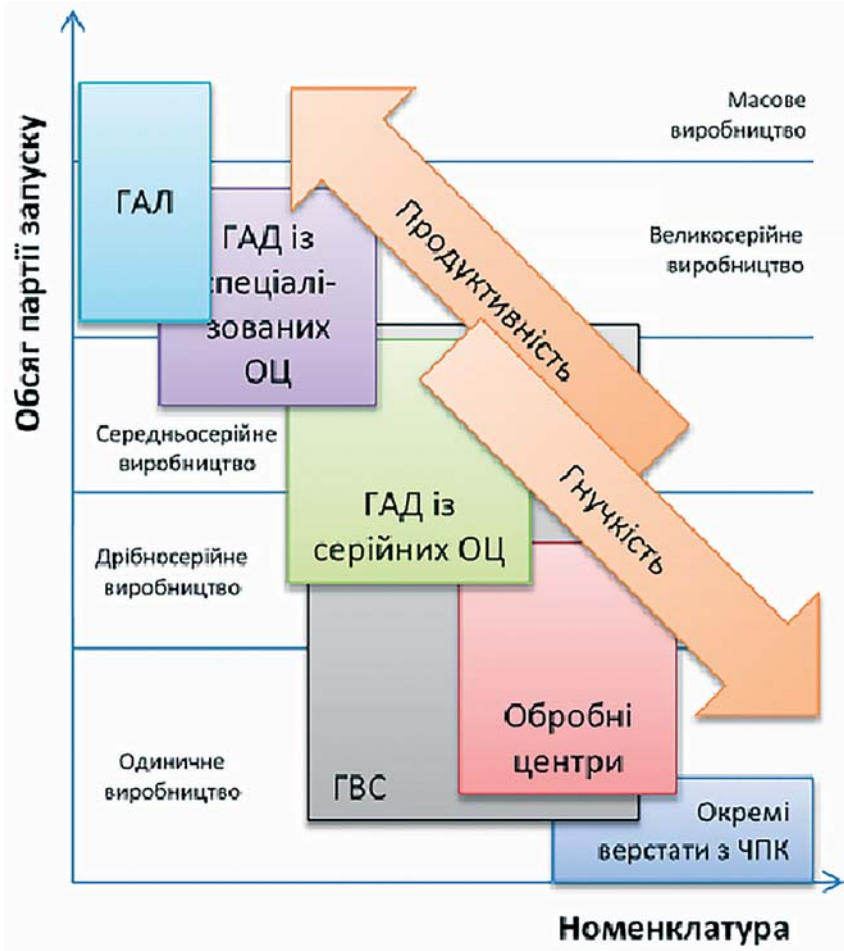


Рисунок 5.8 – Сфери використання ГВС у машинобудуванні

- скоротити витрати на заробітну плату;
- стабілізувати якість продукції;
- покращити умови праці для робітників.

Згідно з результатами аналізу промислового використання ГВС їх основні переваги порівняно з іншими автоматизованими системами такі:

- 1) технологічні:
 - збільшення гнучкості й пристосованості виробництва в разі розширення або зміни номенклатури виробів, зростання кількості варіантів оброблення тощо;
 - підвищення коефіцієнта завантаження верстатів, скорочення допоміжного часу завдяки пришвидшенню зміни заготовок і різального інструменту, зменшення часу на переналагодження виробництва, багатозмінність роботи;
 - значне підвищення якості та точності оброблення (зменшення кількості переустановлень оброблюваних деталей, викінчувальних робіт, виключення суб'єктивних факторів тощо);
 - автоматизація основних і допоміжних операцій, транспортно-навантажувальних робіт;
- 2) організаційні:
 - скорочення часу від надходження заявки на оброблення конкретної заготовки до отримання готової деталі;
 - підвищення гарантії оброблення деталі у визначений термін;
 - швидке й точне діагностування різних збоїв;
- 3) соціальні:
 - значне зниження ймовірності нещасних випадків;
 - усунення монотонної стомливої праці;
 - підвищення загального рівня виробництва та кваліфікації обслуговуючого персоналу.

5.3 Групове керування роботизованим автомобільним транспортом

5.3.1 Концепції та класифікація рівнів автоматизації автотранспорту

Нові технічні рішення в робототехніці промислових підприємств суттєво вплинули на автоматизацію в галузі перевезення людей і вантажів.

Вказані технології породили перспективу створення автомобіля-робота (А-Р), яка спрямована на зменшення аварій, зниження споживання енергії, зменшення забруднення навколишнього середовища та перевантажень автомобільними магістралями, одночасно збільшуючи транспортну доступність.

Ідея безлюдних транспортних засобів існує вже десятиліття. В останнє десятиліття спостерігалось прискорення зусиль у галузі досліджень та розробок, щоб довести ідею А-Р до практичної реалізації.

На рис. 5.9 представлені прототипи автомобілів-роботів провідних фірм, які є світовими лідерами автомобілебудування.

Як видно з рис. 5.9, сучасні автомобілі цього типу мають розвинені системи сенсорів (датчиків) для оперативного аналізу навколишньої обстановки: лазерні та ультрафіолетові датчики, відеокамери, прилади супутникової навігації, радіолокаційні системи (РЛС), прилади для отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем, що використовують явища відбиття світла і його розсіювання в прозорих і напівпрозорих середовищах – лідари (в англomовній технічній літературі – Light Identification, Detection and Ranging, LIDAR).

Сьогодні поява А-Р розглядається як багатовекторна технологія, яка спирається на наступні концепції:

- «Підключена та автоматизована мобільність» (в англomовній літературі – Connected and automated mobility, CAM);
- «Підключені та автоматичні транспортні засоби» (в англomовній літературі – Connected and automated vehicles, CAV);
- «Кооперативний адаптивний круїз-контроль» (в англomовній літературі – Cooperative adaptive cruise control, CACC);
- «Кооперативні інтелектуальні транспортні системи» (в англomовній літературі – Cooperative Intelligent Transport Systems, C-ITS).

Автомобіль	BMW	Mercedes-Benz	Nissan	Google	General Motors
	5 Series (modified)	S 500 Intelligent Drive Research Vehicle	Leaf EV (modified)	Prius and Lexus (modified)	Cadillac SRX (modified)
Ключові технології	* Відеокамера відстежує розмітку смуги та читає дорожні знаки * Радіолокаційні датчики виявляють предмети попереду * Бічні лазерні датчики * Ультразвукові датчики * Диференціальний GPS * Дуже точна карта	* Стереокамера бачить об'єкти попереду в 3D * Додаткові камери читають дорожні знаки та виявляють світлофори * РЛС короткого та далекного радіусу дії * Інфрачервона камера * Ультразвукові датчики	* Передній і бічний радар * Камера * Передні, задні та бічні лазерні сканери * Чотири ширококутні камери показують оточення водія та машини	* LIDAR на даху виявляє предмети навколо машини в 3D * Камера допомагає виявляти об'єкти * Передній і бічний радар * Інерційне положення вимірювальної одиниці відстежує положення * Колісний кодер відстежує рух * Дуже точна карта	* Кілька лазерних датчиків * РЛС * Диференціальний GPS * Камери * Дуже точна карта

Рисунок 5.9 – Прототипи автомобілів-роботів провідних фірм світу

Вказані концепції позначають застосування технологій, які забезпечують комунікацію між усіма компонентами транспортної мережі, які надають допомогу зацікавленим особам, включаючи пішоходів, органи влади та транспортні засоби, а також інфраструктуру.

На рис. 5.10 показано концептуальне зображення системи підключення А-Р до єдиного центру керування та обробки даних.

Історично перша спроба створення транспортних засобів без водія датується на початку 1920-х років та була реалізована на практиці у 1980-х роках, коли інженерам і дослідникам вдалося розробити автоматизовані системи автомобільних доріг. Це утворило апаратну основу для підключення напівавтономних та автономних транспортних засобів до інфраструктури шосе.

Перші А-Р були спроектовані в основному в Німеччині та США протягом 1980–2000 років. Сьогодні рівень автоматизації А-Р може змінюватися від нуля до повної автоматизації.

Національна адміністрація безпеки дорожнього руху США (National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA) поділяє автоматизацію транспортних засобів на п'ять рівнів:

- без автоматизації (рівень 0), коли водій у будь-який час має повне та єдине управління автомобілем щодо рульового керування, гальмування, дросельної заслінки та рушійної сили;
- функціональна автоматизація (рівень 1), коли деякі конкретні функції управління, такі як електронний контроль стійкості або гальма, автоматизуються;
- автоматизована комбінована функція (рівень 2), коли принаймні дві основні функції управління, такі як адаптивний круїз-контроль у поєднанні з контролем смуги руху, автоматизовані;
- обмежена автоматизація самостійного водіння (рівень 3), коли за певних дорожніх або екологічних умов водій передає системі автоматичного керування повний контроль над усіма важливими для безпеки функціями і значною



Рисунок 5.10 – Схематичне представлення концепції «Підключені та автоматичні транспортні засоби»

мірою покладається на транспортний засіб, виконує спостереження за будь-якими змінами умов, що вимагають переходу до управління водієм; водій може відновити управління транспортним засобом, але з деяким перехідним часом;

- повна автоматизація самостійного водіння (рівень 4), коли автомобіль має можливість автоматичного контролю стану дорожнього полотна та автономної роботи, виконуючи всі критично важливі для безпеки функції водіння протягом усієї поїздки (рівень без водія).

Суттєва складність для А-Р полягає в тому, щоб оцінити складне та динамічне середовище руху. З цією метою А-Р оснащують різноманітними сенсорами, відеокамерами, радарми, які отримують необроблені дані та інформацію з навколишнього середовища. Далі ці дані використовуються як вихідні дані для програмного забезпечення, яке генерує рекомендації для виконання відповідних дій (прискорення, зміна смуги руху та обгін).

Зазвичай це завдання вирішується комбінацією радіолокаційної станції (РЛС), лідара (дистанційне зондування для вимірювання відстані шляхом освітлення об'єкта лазерним променем та аналізу відбитого світла й часу його руху), а також системи моно- або стереовідеокамер (рис. 5.11).

5.3.2 Переваги та недоліки А-Р

Традиційні види транспорту, які керуються людьми, поряд з визначальним впливом на прогрес суспільства, є також джерелом забруднення навколишнього середовища, причиною транспортних заторів, аварій та людських жертв. Збитки від цих подій – це зовнішні втрати у вигляді прихованої вартості, накладеної на суспільство в цілому.

Оцінки фахівців у галузі транспорту свідчать, що технологія застосування автомобілів-роботів значною мірою може потенційно значно зменшити (якщо не усунути) багато з цих існуючих негативних зовнішніх ефектів.

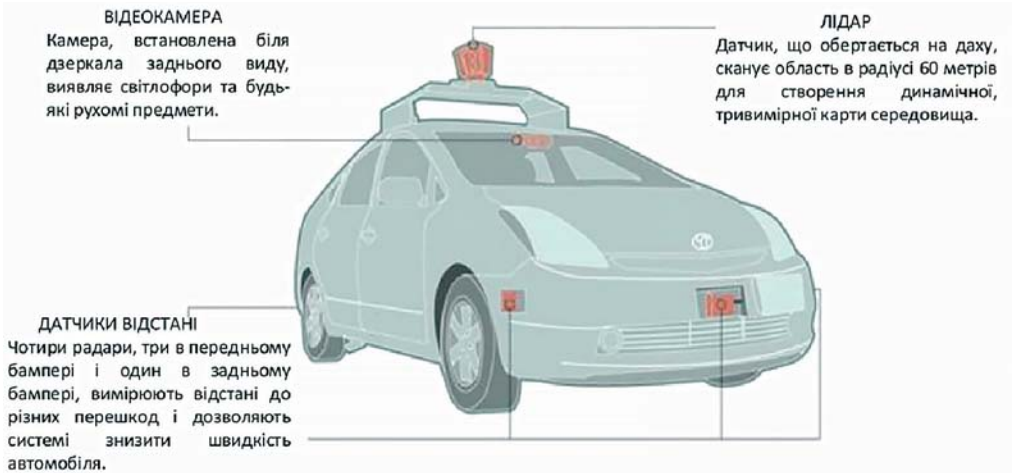


Рисунок 5.11 – Комунікаційні технології сучасних автомобілів-роботів

Технології А-Р також можуть створити додаткові переваги, такі як підвищення доступності та мобільності та навіть покращення використання земельних площ для функціонування транспортної інфраструктури у цілому..

5.3.3 Транспортна безпека

Тенденція зменшення кількості аварій у Сполучених Штатах завдячує новим технологіям, таким як подушки безпеки, ABS, ESP, бокові «айрбеги» та системам попередження про лобове зіткнення, які є основними компонентами А-Р. Зокрема, деякі дослідження оцінюють, що зменшення дорожньо-транспортних пригод (ДТП) може становити до третини, якби всі транспортні засоби оснащені адаптивними системами, системами попередження про лобове зіткнення, попередження про від'їзд за смугу руху та системами допомоги уникнення сліпих зон, які відносяться до рівня 0 або рівня 1 автоматизації транспортних засобів. Статистика свідчить, що людські помилки спричинили більш ніж дев'яносто відсотків ДТП. Таким чином,

А-Р повинні мати можливість запобігати значній кількості цих ДТП, у свою чергу усуваючи переважну більшість усіх затримок у функціонуванні транспорту.

5.3.4 Затори

Виділяють три основні фактори, пов'язані з А-Р, які впливають на затори позитивно, а іноді і негативно:

- 1) зменшення затримки руху через зменшення аварій транспортних засобів;
- 2) підвищення пропускної здатності транспортної мережі;
- 3) зміни загального пройденого шляху автомобілем.

Передбачуване скорочення ДТП приведе до менших затримок і, в свою чергу, підвищення надійності транспортної системи.

Зміни довжини пройденого шляху (ДПШ) через появу А-Р залишаються незрозумілими, хоча деякі дослідники вважають, що ДПШ насправді збільшиться. Для цього вони маніпулюють на поєднанні таких факторів, як додаткова ДПШ через самозаправлення та самостійне паркування, покращення експлуатаційних показників, збільшена кількість поїздок (як холостих, так і корисних), відхилення від громадського транспорту та триваліших маршрутів сполучення.

У цілому очевидно, що технологія А-Р незабаром позитивно вплине на зменшення заторів за умови, якщо це не спричинить додатковий попит, що, в свою чергу, може додатково навантажувати мережу. Загальний вплив А-Р на затори трафіку ще не досліджено.

5.3.5 Безпілотні таксі

Технології А-Р дозволять використовувати таксі без водіїв або подібні схеми спільного використання автомобілів, в яких витрати на компенсацію часу та здібності таксистів виключені. Як результат, очікується, що кузови автомобілів передбачені для експлуатації без водія, стануть дешевшими, що в кінцевому підсумку може нівелювати потребу володіння власним автомобілем.

Концепція таксі без водіїв є аналогом спільного використання автомобілів, що є процвітаючою бізнес-моделлю. Зважаючи на той факт, що таксі без водія уникає потреби в щорічних постійних витратах та технічне обслуговування, як правило, пов'язаних з спільним доступом до автомобілів, а також парковою, це забезпечить ще більшу зручність.

Загалом, А-Р мають великий потенціал знизити багато витрат, пов'язаних з приватними режимами, оскільки вони, ймовірно, можуть викликати більше поїздок, що призводить до зростання ринку таких автомобілів.

5.3.6 Технології А-Р і електромобілі

Екологічні проблеми, разом зі зростаючими цінами на нафту в останнє десятиліття, були рушійними силами появи електромобілів (в англomовній літературі – Electric Vehicle, EV). Електромобілі мають деякі недоліки експлуатації, включаючи обмеження на тривалість поїздок, зумовлену ємністю батарей, розміром та довговічністю акумуляторів. Це обмежує використання електромобілів для подорожей на великій відстані і породжує залежність від розташування зарядних станцій.

У цьому контексті можна знайти природну та органічну синергію між А-Р та технологією EV: парк А-Р може вирішити практичні обмеження EV, включаючи занепокоєність пасажирів під час подорожі, доступ до інфраструктури зарядки та управління часом зарядки.

А-Р з груповим управлінням знімають подібні проблеми на основі попиту на подорож у режимі реального часу та гарантованих місць зарядки станцій. Попередній економічний аналіз свідчить про те, що сукупна вартість інфраструктури заряджання EV, капітальних витрат на придбання та технічне обслуговування транспортних засобів, поточних витрат електроенергії, страхування та реєстрації для автопарку А-Р коливається від 0,42 до 0,49 доларів за пройдений кілометр. Таким чином, автоматизовані електромобілі з груповим керуванням, ймовірно,

будуть конкурувати з існуючими послугами спільного користування автомобілями та значно дешевші, ніж транспортні послуги з використанням водіїв.

5.3.7 Пропускна здатність доріг

Існуючий досвід експлуатації А-Р свідчить, що цей вид транспортних технологій забезпечує виконання маневрів з гальмування/прискорення у будь-який момент групового руху, постійно та надійно (у порівнянні з людиною-водієм) відстежуючи навколишнє транспортне середовище. Таким чином, А-Р можуть здійснювати транспортні операції з більшою швидкістю, забезпечуючи рух по оптимальним за відстанями автомобільним шляхам.

Напіваавтоматичні транспортні засоби, оснащені адаптивним круїз-контролем (АКК), вже показали таку перспективну функцію. Як результат, пропускна здатність доріг значно збільшиться – деякі дослідження оцінили в 5 разів.

5.3.8 Навколишнє середовище (енергія та викиди)

Існують три фактори впливу А-Р на навколишнє середовище:

- економічність;
- викиди вуглецю та інтенсивність життєвого циклу вичерпаного палива, що використовується для живлення А-Р;
- збільшення ДТП внаслідок використання А-Р.

Впровадження А-Р-технологій навіть на рівнях 1, 2 та 3 забезпечить оптимізоване керування автомобілем та впровадження методу «Екологічне водіння». Прикладами деяких основних технологій, які вже використовують цей метод, є круїз-контроль і плавне та поступове прискорення та уповільнення. Практика свідчить, що метод «Екологічне водіння» доводить підвищення економії палива на 4% до 10%. Очікується, що А-Р можуть забезпечити збільшення пропускної спроможності та скорочення витрат пального під час заторів.

Концепція групового керування А-Р також надає можливість транспортним засобам повідомляти про свої маневри та дії один з одним, що може скоротити час простою, покращуючи ефективність руху та приводних механізмів автомобілів. Крім того, колона близько розташованих А-Р, які рідше зупиняються або сповільнюються, буде нагадувати залізничний потяг. Очікується, що результат забезпечить зниження пікових швидкостей (поліпшення економії палива) та більш високих ефективних швидкостей (зменшення часу в дорозі).

З іншого погляду підвищення рівня безпеки А-Р може стимулювати виробництво транспортних засобів зі зменшеною масою. Легкі транспортні засоби є перспективними побічними продуктами технології А-Р, що, в свою чергу, значно сприяє меншому споживанню палива. Для звичайних транспортних засобів до 20% ваги припадає на компоненти, які забезпечують безпеку руху. Тобто, тут буде діяти відоме інженерне правило – зменшення ваги на 10 % може забезпечити зменшення споживання палива на 6–7%.

5.4 Кооперативні інтелектуальні транспортні системи

Кооперативні інтелектуальні транспортні системи (в англomовній літературі – Cooperative Intelligent Transport Systems, C-ITS) належать до найбільш інтенсивно розроблюваних систем автоматичного керування автомобільним транспортом. Такі системи використовують бездротовий зв'язок, який забезпечує комунікацію між автомобілями та транспортними засобами в реальному часі, що, у свою чергу, забезпечує набагато більш ефективну координацію між учасниками дорожнього руху та дозволяє створювати безпечніші та більш ефективні транспортні потоки.

Впровадження C-ITS у практику групових автоматичних перевезень планується в три етапи:

- на першому етапі будуть створюватись системи, які видають попередження автоматизованим транспортним засобам; наприклад, якщо транспортний засіб попереду рухається повільно (дорожні роботи чи затор), це повідомлення передається всім іншим транспортним засобам, що прямують у його напрямку; так само можуть передаватись повідомлення про зміну правил дорожнього руху або обмеження швидкості;
- другий етап – сенсорний, коли транспортні засоби збирають дані від різних сенсорів і оцінюють дорожню ситуацію, яка потім попереджає водія, якщо потрібно вжити упереджуючи заходи;
- на третьому етапі передбачається «співпраця» між транспортними засобами, яка передбачає безперервний зв'язок як між транспортними засобами, так і транспортними засобами та пішоходами, що забезпечує ефективне попередження та покращений час реагування на можливі аварійні ситуації.

Головний позитивний ефект від запровадження C-ITS очікується у вигляді більш ефективного управління трафіком, що забезпечить більш плавні потоки автомобільного транспорту, зменшення заторів та аварій; основна перевага для водіїв вантажного транспорту очікується в тому, що їхні робочі місця стануть безпечнішими завдяки скороченню ризиків нещасних випадків та зменшення незапланованих простоїв транспорту через меншу кількість ДТП.

Крім того, продуктивність функціонування автотранспорту повинна зрости в результаті плавного трафіку, керовані потоки транспорту дозволять вантажівкам рухатися швидше, а також уникати сильно завантажених доріг. Це матиме додаткову перевагу – зменшення споживання палива і викидів вуглецю в атмосферу.

Слід зазначити, що технологія C-ITS відносно зріла і передбачає використання багато компонентів, якими є вже обладнані новими автомобілі-роботи в стандартній комплектації. Це – ка-

мери, датчики і антени. За своєю суттю система C-ITS є комунікаційним блоком, який використовує стандартний Wi-Fi для надсилання та отримання повідомлень. Це також вимагає розробки зручного в експлуатації людино-машинного інтерфейсу, щоб конвертувати повідомлення в інструкції для водія.

Успіх концепції C-ITS значною мірою залежить від розуміння особливостей управління різними людськими факторами, які стосуються використання автоматизації. Знаючи, як, коли і чому водій використовує можливості автоматизації процесу керування автомобілем та які базові процеси та інформація використовуються ним під час прийняття рішень, розробники людино-машинного інтерфейсу можуть зробити вирішальний крок у напрямку повної автоматизації групового автомобільного руху.

Контрольні питання

1. Охарактеризуйте сучасні підходи до групового керування промисловими роботами.
2. Що таке «Гнучка виробнича система» і які причини її широкого впровадження у виробництво?
3. Поясніть організаційну структуру гнучкої виробничої системи та дайте характеристику її складових.
4. Наведіть відомі Вам приклади гнучких виробничих систем.
5. Наведіть основні етапи розвитку засобів автоматизації виробництва в машинобудуванні.
6. Наведіть структуру та охарактеризуйте склад системи автоматного керування гнучкою виробничою системою.
7. Дайте характеристику сфер використання гнучких виробничих систем у машинобудуванні.
8. Поясніть сутність концепції та наведіть класифікацію рівнів автоматизації автотранспорту як об'єктів групового керування.
9. Що таке «автомобіль-робот» та які його принципи відмінності від традиційних транспортних засобів?

10. Наведіть та охарактеризуйте рівні автоматизації транспортних засобів за класифікацією Національної адміністрації безпеки дорожнього руху США.
11. Наведіть основні характеристики сенсорного оснащення сучасного автомобіля-робота, призначеного для групового керування.
12. Наведіть переваги і недоліки впровадження автомобілів-роботів.
13. Що таке «Кооперативні інтелектуальні транспортні системи» і в чому їх особливості у порівнянні з іншими концепціями впровадження автомобілів-роботів?

Література до розділу 5

1. Гнучкі автоматизовані лінії та дільниці [Електронний ресурс]. *Файловий архив студентів: веб-сайт*. URL: <https://studfile.net/preview/9168017/page:32/>.
2. Гнучкі виробничі системи [Електронний ресурс]. *Студопедия. Лекционный материал для студентов: веб-сайт*. URL: https://studopedia.su/5_27827_gnuchki-virobnichi-sistemi.html.
3. Онищук В. П., Стельмашук В. В., Дубицький О. С., Булік Ю. В. Автомобілі-роботи: можливості та наслідки для транспортної системи. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2020. №1(14). С. 107–118.
4. Приклади гнучких виробничих комплексів з робокарами [Електронний ресурс]. *Студенческие рефератные статьи и материалы: веб-сайт*. URL: https://studref.com/625712/tehnika/primery_gibkih_proizvodstvennyh_kompleksov_robokarami.
5. Concept of C-ITS [Electronic recourse]. *Cooperative-Intelligent Transport Systems: website* // Ministry of Land, Infrastructure and Transport & Korea Expressway Corporation. URL: <https://www.c-its.kr/english/introduction.do>.
6. Connected and automated mobility [Electronic recourse]. *European Commission: website*. URL: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/connected-and-automated-mobilityCooperative>.
7. Adaptive Cruise Control: Human Factors Analysis. PUBLICATION NO. FHWA-HRT-13-045. Research, Development, and Technology, Turner-

Fairbank Highway Research Center. 6300 Georgetown Pike. McLean, VA 22101-2296 [Electronic resource]. *U.S. Department of transportation: website* / Federal Highway Administration. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/13045/13045.pdf>.

8. Jaganathan P. Robotics (Industrial Robotics). Lakshmi Publications, India, 2017. 213 p. [Electronic resource]. *Mybooksfactory: website*. URL: <https://mybooksfactory.com/store/robotics-industrial-robotics-by-p-jaganathan-from-lakshmi-publications/>.

9. Li Xiao, Jin Gong & Jinbao Chen. Industrial Robot Control Systems: A Review [Electronic resource]. *Springer Link: website* / Springer Nature Switzerland AG. Part of Springer Nature. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-0474-7_101.

10. What are Cooperative Intelligent Transport Systems? [Electronic resource]. *AB Volvo: website*. URL: <https://www.volvotrucks.com/en-en/news-stories/insights/articles/2019/dec/what-are-cooperative-intelligent-transport-systems.html>.

11. Ziran Wang. A Review on Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC) Systems: Architectures, Controls, and Applications. DOI: 10.1109/ITSC.2018.8569947 [Electronic resource]. *ResearchGate: website*. URL: https://www.researchgate.net/publication/327570295_A_Review_on_Cooperative_Adaptive_Cruise_Control_CACC_Systems_Architectures_Controls_and_Applications.

Навчальне видання

СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ РОБОТОТЕХНІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

Навчальний посібник

*За редакцією доктора технічних наук,
професора В. С. Блінцова*

Формат 60×84¹/16. Ум. друк. арк. 9,1. Тираж 300 пр. Зам. № 524-684.

ВИДАВЕЦЬ І ВИГОТОВЛЮВАЧ

Товариство з обмеженою відповідальністю фірма «Іліон».

54038, м. Миколаїв, вул. Бузника, 5/1.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1506 від 25.09.2003 р.