

Посібник «Робототехнічні системи: проектування і моделювання» є засобом методичного забезпечення курсу «Робототехнічні системи та комплекси», що є складовою навчальних дисциплін підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» освітньої програми «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем». Посібник є методичним виданням, що розроблено на підставі законів України «Про освіту» та «Про вищу освіту», а також з урахуванням вимог «Положення про державну атестацію студентів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

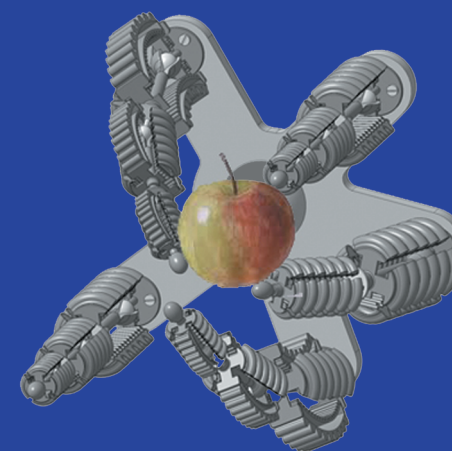
Посібник містить матеріали щодо лекцій, практичних і лабораторних занять, спрямованих на надбання студентами знань і навичок у галузі проектування промислових та мобільних роботів, робото-технологічних комплексів і гнучких комп'ютеризованих систем. Наведені методики проектування, математичні моделі та конструкції функціональних пристроїв промислових роботів. Видання розраховано на студентів, фахівців і викладачів професійно-орієнтованих дисциплін на опанування теоретичних та інструментальних баз знань для створення сучасних автоматизованих виробництв.

М.М. Поліщук, М.М. Ткач. Робототехнічні системи: проектування і моделювання

Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

М.М. Поліщук, М.М. Ткач

Робототехнічні системи: проектування і моделювання



Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

М.М. Поліщук, М.М. Ткач

Робототехнічні системи: проєктування і моделювання

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра,
за освітньою програмою «Інформаційне забезпечення робототехнічних
систем» спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології»

Рецензенти: *ТЕЛЕНИК С.Ф.*, д-р техн. наук професор,
декан факультету інформатики та обчислювальної техніки
НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПАВЛОВ О.А., д-р техн. наук професор,
в.о. завідувача кафедри автоматизованих систем обробки
інформації та управління НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний
редактор *ПАРХОМЕЙ І.Р.*, д-р техн. наук, професор, завідувач
кафедри технічної кібернетики КПІ ім. Ігоря Сікорського

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 7 від 13.05.2021 р.)
за поданням Вченої ради факультету інформатики та обчислювальної техніки
(протокол № 9 від 19.04.2021 р.)

Електронне мережне навчальне видання

Поліщук Михайло Михайлович, кандидат техн. наук, доц., доцент
Ткач Михайло Мартинович, кандидат техн. наук, доц., доцент

Робототехнічні системи:
проекування і моделювання

Робототехнічні системи: проектування і моделювання [Електронний ресурс]:
навч. Посіб. для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології» /
М. М. Поліщук, М.М. Ткач; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані
(1 файл: 41,6 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 112 с.

Посібник «Робототехнічні системи: проектування і моделювання» є засобом методичного забезпечення відповідних кредитних модулів, що входять до комплексу навчальних дисциплін підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» освітньої програми «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем». Посібник є методичним виданням, що розроблено на підставі законів України «Про освіту» та «Про вищу освіту». Посібник містить матеріали щодо лекцій, практичних і лабораторних занять, спрямованих на надбання студентами знань і навичок у галузі проектування промислових та мобільних роботів, робото-технологічних комплексів і гнучких комп'ютеризованих систем. Наведені методики проектування, математичні моделі та конструкції функціональних пристроїв промислових роботів. Особливу увагу приділено новітнім моделям промислових роботів та їх інформаційному забезпеченню. Посібник призначений для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» всіх форм навчання.

© М.М. Поліщук, М.М. Ткач, 2021
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021

	Зміст	Стор.
Вступ		4
Терміни й визначення		6
Розділ 1. Роботизована виробнича система		8
1.1. Основні поняття й означення РТС		8
1.2. Гнучкість виробничої системи		10
1.3. Класифікація РТС		12
Контрольні запитання		14
Розділ 2. Промисловий робот як компонент РТС		15
2.1. Класифікація промислових роботів		16
2.2. Технічні параметри ПР		19
2.3. Структура промислових роботів		20
2.4. Принципи побудови промислових роботів		28
2.5. Транспортні роботи		31
Контрольні запитання		35
Розділ 3. Приводи промислових роботів		36
3.1. Вибір типу привода		36
3.2. Розрахунок параметрів електродвигуна маніпулятора ПР		37
3.3. Визначення параметрів пневматичного приводу		40
3.4. Визначення параметрів гідроприводу		42
3.5. Пневматично-гідрравлічний привод		43
Контрольні запитання		44
Розділ 4. Типові механізми маніпуляторів промислових роботів		45
4.1. Класифікація типових механізмів		45
4.2. Тягові (передавальні) пристрої.....		46
4.3. Перетворюючі пристрої		47
4.4. Демпферні пристрої		49
4.5. Напрямні пристрої та опори кочення		50
Контрольні запитання		52
Розділ 5. Технологічне оснащення промислових роботів		53
5.1. Проектування механічних захватних пристроїв		53
5.2. Проектування вакуумних захватів		60
5.3. Електромагнітні захвати		64
5.4. Антропоморфні захватні пристрої		65
Контрольні запитання		70
Розділ 6. Мобільні роботи довільної орієнтації у просторі		71
6.1. Сфери експлуатації мобільних роботів.....		71
6.2. Структура і склад підсистем РДО		73
6.3. Дослідні зразки крокуючих мобільних РДО		76
6.4. Дослідні зразки мобільних РДО з колісною трансмісією		86
6.5. Мобільні РДО як багаторівнева технічна система		88
Контрольні запитання		93
Література.....		94
Додатки		96

ВСТУП

Посібник «Робототехнічні системи: проектування і моделювання» є засобом методичного забезпечення курсу «Робототехнічні системи та комплекси» що входить до комплексу навчальних дисциплін підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» освітньої програми «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем». Посібник є методичним виданням, що розроблено на підставі законів України «Про освіту» та «Про вищу освіту», а також з урахуванням вимог «Положення про державну атестацію студентів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

До курсу «Робототехнічні системи та комплекси» входять кредитні модулі «Проектування компонентів робототехнічних систем» і «Проектування робототехнічних систем», що відносяться до професійно-орієнтованих дисциплін. Метою вказаних кредитних модулів є формування у студентів здатностей до опанування методології творчої інженерно-технічної діяльності в сфері автоматизованого проектування компонентів робототехнічних систем (РТС) та опанування методів постановки і формалізації задач автоматизованого проектування РТС, набуття навичок з алгоритмізації основних проектних операцій і процедур, які використовуються при практичному створенні робототехнічних систем та комплексів в автоматизованому виробництві. Одночасно з набуттям вказаних знань студенти повинні вміти виконувати розрахунково-графічні роботи щодо проектування як компонентів, зокрема, так і РТС в цілому, а саме: функціональних пристроїв промислових роботів, засобів упорядкування виробничого середовища, пристроїв нагромадження, завантаження робото-технологічних комплексів та систем інформаційного забезпечення РТС.

Вказані дисципліни характеризується спеціалізовано орієнтованою спрямованістю як лекційного матеріалу, так і практикуму на вивчення та опанування основ автоматизованого проектування РТС. Останнє передбачає опанування графічних пакетів комп'ютерних програм на рівні спеціалізованого користувача з метою їх використання при вирішенні інженерних задач. Загальна мета вивчення курсу полягає в засвоєнні студентами знань, умінь та навичок використання програмних засобів комп'ютерного проектування та моделювання із застосуванням CAD/CAM/CAI-систем та периферійного комп'ютерного обладнання у якості інструментального забезпечення вирішення у подальшій діяльності науково-дослідницьких та інженерних задач, переважно орі-

ентованих на комп'ютеризовані інтегровані системи в різноманітних галузях промисловості.

Набуті студентами знання та навички повинні протягом повного курсу навчання стати основою інструментальних засобів виконання спочатку курсових, дипломних, а згодом і робочих інженерних проєктів з використанням засобів параметричної технології. Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння навчального курсу «Робототехнічні системи та комплекси» мають продемонструвати наступні результати навчання, а саме: **знання** методик проєктування та моделювання проєктно-конструкторських розв'язків для автоматизованого проєктування; параметричних баз даних проєктування функціональних пристроїв роботів, засобів упорядкування виробничого середовища, пристроїв нагромадження та завантаження робото-технологічних комплексів та систем інформаційного забезпечення РТС; програм моделювання технічних компонентів в галузі гнучких комп'ютеризованих виробничих систем; складу основного та периферійного обладнання РТС. Продемонструвати **вміння** виконувати налагодження вище зазначених компонентів, створювати різноманітні імітаційні моделі функціонування робототехнічних систем. Набутий **досвід** полягає у розробці параметричних проєктів функціональних модулів робототехнічних комплексів, а також у налагодженні периферійного обладнання для промислових роботів, а саме: пристроїв орієнтації об'єктів автоматизованого виробництва, засобів упорядкування його виробничого середовища, транспортних і складських систем тощо.

Посібник містить методичні матеріали для надбання студентами знань і навичок у галузі проєктування РТС. Видання розраховано на студентів, фахівців і викладачів професійно-орієнтованих дисциплін на опанування теоретичних та інструментальних баз знань для створення сучасних автоматизованих виробництв.

Терміни й визначення

АЛ — Автоматична лінія: комплекс послідовно розташованого за технологічним маршрутом автоматичного основного та допоміжного обладнання, об'єднаного єдиною транспортною системою.

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

АТС — Автоматизована транспортна система, що може включати транспортери, конвеєри, робокари та інше транспортне обладнання, що об'єднано єдиною системою автоматичного керування.

ГВМ — Гнучкий виробничий модуль: одиниця технологічного обладнання, що має автономне програмне керування та автоматично здійснює задані технологічні операції. ГВМ здатен працювати автономно, у складі гнучкого виробничого осередку або гнучкої виробничої системи.

ГВО — Гнучкий виробничий осередок комплекс декількох гнучких виробничих модулів та системи забезпечення функціонування, що керується засобами обчислювальної техніки та здійснює сукупність технологічних операцій. ГВО здатен працювати автономно та у складі гнучкої виробничої системи.

ГВС — Гнучка виробнича система: керований засобами обчислювальної техніки комплекс технологічного обладнання, що автоматично адаптується до змін у програмі виробництва. До складу ГВС входять гнучкі виробничі модулі (ГВМ) та/або гнучкі виробничі осередки (ГВО), автоматизована система технологічної підготовки виробництва (АСТПВ) та система інформаційного та програмного забезпечення функціонування.

ПР — 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.

РТК — Робото-технологічний комплекс: сукупність промислових робіт, основного технологічного виробничого обладнання, пристроїв накопичування, орієнтації, транспортування та завантаження об'єктів виробництва.

РТС — Робототехнічна система: сукупність інформаційно-сенсорних, механічних виконавчих і керуючих пристроїв, що функціонують разом з метою виконання заданого технологічного процесу або операції. РТС реалізується у вигляді комплексу технологічного та транспортного обладнання в сукупності з промисловими роботами, що виконують основні або допоміжні технологічні операції в умовах автоматизованого виробництва.

ЧПК — Числове програмне керування (з англ. computer numerical control, скор. CNC): галузь техніки, пов'язана із застосуванням цифрових обчислювальних пристроїв для керування виробничими процесами. ЧПК призначено для виконання функцій комп'ютеризованої системи керування приводами технологічного встаткування.

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

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

SAM (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.).

Розділ 1. Роботизована виробнича система

Поява роботизованих виробничих систем на початку 80-х років ХХ сторіччя історично обумовлена переходом у різних сферах промисловості від засобів автоматизації із жорстким цикловим керуванням до гнучких виробничих систем, здатних до оперативної зміни номенклатури виробів, що випускаються. Цей перехід був викликаний потребою суспільства в товарах з меншим життєвим циклом, тобто до випуску промислових виробів, яким властива модернізація їх технічних характеристик у відносно короткий період. Створенню роботизованих виробничих систем передував етап широкого впровадження верстатного встаткування із числовим програмним керуванням. Соціальна значимість роботизованих систем обґрунтована переходом функцій людини від особистої участі в обробці матеріалів і виробів до функцій програмування й налагодження виробничого встаткування.

Спочатку промислові роботи виконували функції автоматичних маніпуляторів для обслуговування (переважно виконуючи допоміжні операції завантаження й розвантаження) основного технологічного обладнання. Однак, у міру появи високоточного цифрового привода й розвитку систем керування, сталася можливість передачі промисловим роботам виконання й основних технологічних операцій, що включають обробку й складання компонентів виробничих виробів. Сукупність автоматичного верстатного встаткування, промислових роботів і автоматизованих транспортно-складських модулів визначила створення роботизованих виробничих систем.

1.1. Основні поняття й визначення РТС

У теорії організації виробництва одним із найважливіших є поняття типу виробництва, під яким розуміють комплексну організаційно-технологічну характеристику виробничого процесу, що враховує ступінь його спеціалізації, різноманітність та стійкість номенклатури виробів, розміри їхніх партій, які запускаються у виробництво, ритмічність та повторність випуску виробів. Тип виробництва визначає методи, що застосовуються для керування й організації як виробничого процесу, так і всієї виробничо-господарської діяльності підприємства.

Діалектика розвитку основних методів виробництва показує, що на першому його етапі головним завданням було:

- збільшення обсягу виробництва досить обмеженого кола товарів

шляхом зниження питомих витрат на випуск одиниці товару. Основний спосіб вирішення цього завдання зводився до поглиблення розподілу праці, коли робітник відносно вузької спеціалізації виконував найпростіші операції;

- стандартизація товарів;
- збільшення кількості окремих деталей (виробничої програми).

Однак, починаючи з шістдесятих років ХХ століття, міняється структура попиту, коли за умови задоволення первинних потреб за основними видами товарів відбувається диференціація попиту за номенклатурою товарів і їхньою якістю. Ця обставина визначила потенціальну перспективність робототехнічних систем (РТС).

Одночасно всередині самого виробництва з'явилися фактори, що сприяли переходу до нової моделі виробництва:

- в технології – це зростання витрат, пов'язаних зі збільшенням номенклатури виробів;

- в організації – це деперсоналізація товаровиробника, коли кінцевий продукт став результатом діяльності різних робітників, що перешкоджає підвищенню якості кінцевого продукту;

- в соціально-психологічній сфері – це та обставина, що тенденція до розподілу праці, спрощення операцій на одному робочому місці, використання конвеєрної системи для захисту ритму операцій сприяли зростанню частки низько кваліфікованих робітників, які виконують найпростіші операції, що багаторазово повторюються;

- в техніці – це розвиток технічних засобів і засобів обчислювальної техніки, зокрема поява багатоцільового автоматичного технологічного обладнання (наприклад, багатоопераційних верстатів із числовим програмним керуванням), промислових роботів, автоматичних вантажно-розвантажувальних пристроїв, транспортних і нагромаджувальних систем. Таким чином, виникло соціально-економічне замовлення суспільства на створення РТС, яке може бути реалізоване сукупним використанням сучасних науково-технічних знань та технічних засобів.

Визначення РТС – є сукупність інформаційно-сенсорних, механічних виконавчих і керуючих пристроїв, що функціонують разом з метою виконання заданого технологічного процесу або операції. РТС реалізується у вигляді комплексу технологічного та транспортного обладнання в сукупності з промисловими роботами, що виконують основні або допоміжні технологічні операції в умовах автоматизованого виробництва. Робототехнічна система є сукупність підсистем, а саме:

- 1) комп'ютеризованої інженерно-технологічної служби;
- 2) комплексу автоматизованого технологічного обладнання з інтегрованою системою контролю, включаючи промислові роботи;

3) автоматизованої транспортної системи, що поєднують склад заготовок, підсистему упорядкування виробничого середовища та склад готової продукції;

4) загальної системи автоматичного керування виробничим комплексом.

Головна ознака РТС від інших організаційно-виробничих структур — властивість оперативного перенастроювання при виробництві виробів довільної номенклатури. Інакше кажучи, РТС — це виробнича система, яка працює за автоматизованою технологією й дає змогу відмовитись від технічної та супровідної документації та замінити її інформацією, що передається локальною мережею зв'язку або зосереджується на машинних носіях.

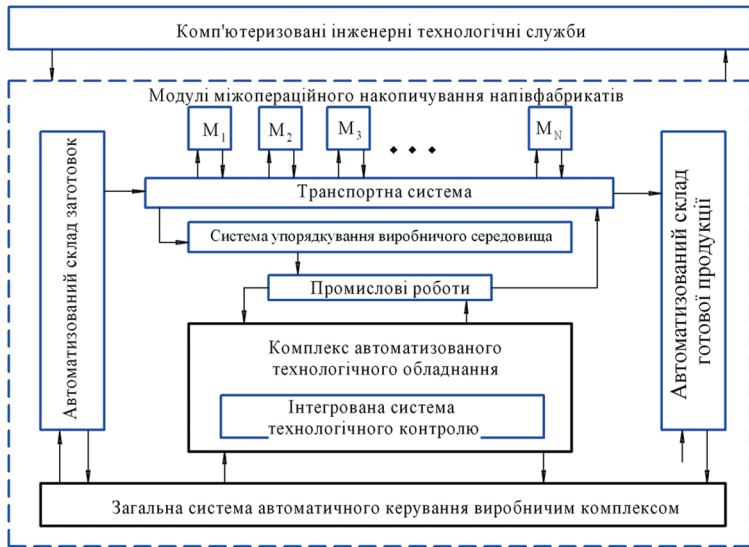


Рис. 1.1. Узагальнена структура РТС

1.2. Гнучкість виробничої системи

Швидке оновлення продукції та зниження серійності внаслідок появи її модифікацій (індивідуалізації споживчого попиту) призвели до того, що традиційні жорсткі автоматичні лінії у багатьох випадках перестали відповідати вимогам сучасного розвитку техніки, а їх застосування стало стримувати створення нових машин. З урахуванням цих тенденцій створювані виробничі системи мають забезпечувати швидку зміну продукції; комплекс властивостей таких систем, які відповідають цій вимозі, визначається терміном гнучкість.

Гнучкість виробничої системи може бути досягнута застосуванням методу регулювання окремих параметрів процесу при збереженні мобільної конструкції її функціональних елементів, але тільки в межах технологічного ряду виробів. Тому в разі автоматизації мало-серійного багатонаменклатурного виробництва метод регулювання може бути використаний при переналагодженні функціональних елементів РТС в обмежених границях, тоді як зміна її складу та структури при обслуговуванні виробів поза даним технологічним рядом потребує швидкої заміни функціональних елементів РТС. При цьому тенденція багаторазової оборотності та переналагодження автоматичного обладнання як основної передумови застосування методів великосерійного виробництва для автоматизації малосерійного виробництва може дістати належний розвиток при широкому використанні принципу агрегування та модульної побудови виробничої системи, що переналагоджується.

В цілому під гнучкістю розуміють пристосовність виробничої системи до динамічних і стохастичних змін, пов'язаних із виробничою програмою. Система вважається гнучкою й такою, що швидко переналагоджується без істотних витрат, якщо при зміні виробничої програми кількість і вид її елементів, а також їх зв'язків не міняються.

Виробнича гнучкість технічної системи визначається технологічною, структурно-організаційною, параметричною гнучкостями та гнучкістю потужності.

Технологічна гнучкість може бути схарактеризована коефіцієнтом запуску нового виробу, що показує, в скільки разів витрати на випуск чергового виробу в умовах РТС менші, ніж при звичайній технології. Побічно ця гнучкість характеризується багатою номенклатурою та переналагодженням системи. Інакше кажучи, чим більший розмір (групи) деталей, виготовлюваних РТС, тим вища її технологічна гнучкість. Очевидно, вона визначається різноманітністю та технологічною гнучкістю апаратних модулів, які входять до складу РТС, у тому числі складом обладнання й інструментів, складом і гнучкістю технологічної оснастки, роботів (наприклад, наявністю змінних захватних пристроїв), а також програмних модулів (програмного забезпечення).

Кількісно оцінка технологічної гнучкості, як правило, ґрунтується на використанні коефіцієнта готовності виробничої системи:

$$K = T / (T + T_a) \quad (1.1)$$

де T – час обробки партії деталей; T_a – час адаптації системи (перестроювання) при переході до нової її партії.

Як узагальнена міра гнучкості системи може виступати також відношення витрат на її переналадження B_1 до амортизаційних відрахувань при роботі системи до перенастроювання B_2 , і тоді коефіцієнт її гнучкості (в процентах) визначається як

$$K = \left(1 - \frac{B_1}{B_2}\right) \cdot 100 \quad (1.2)$$

Цей коефіцієнт наближається до значень 80...90 %, якщо для переходу системи на виготовлення нового об'єкта додаткові витрати мінімальні. Такий випадок відповідає використанню універсальних технологічних систем і буває при слабко механізованому виробництві, коли виготовлення об'єкта здійснюється на одному робочому місці.

1.3. Класифікація РТС

Роботизовані виробничі системи класифікуються за сферою використання, розвиненістю структури, гнучкістю, рівнем автоматизації, функціональним призначенням системи керування обладнанням і типом конфігурації АТСС (рис. 1.2).

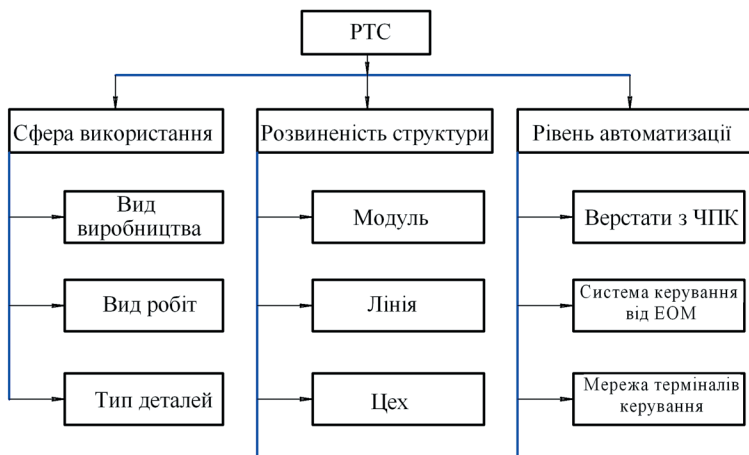


Рис. 1.2. Класифікація РТС

Сфера використання РТС у машино- та приладобудуванні надзвичайно широка й охоплює практично всі види виробництва (від заготовельних до складальних), спектр видів робіт (слюсарні, регулювальні та ін.), основні типи деталей (пласкі, корпусні, тіла обертання).

Вибір структури є важливим етапом при створенні РТС, який забезпечує відповідність технологічного обладнання виконанню поставленого виробничого завдання. Доцільний рівень розвиненості структури РТС визначається на основі аналізу технологічних факторів: номенклатури деталей (складальних з'єднань), часу виготовлення, маршруту виготовлення та ін. За розвиненістю структури виділяють п'ять рівнів РТС:

1) *Роботизований виробничий модуль* (комірка) – переналаджувальна на задану номенклатуру виробів одиниця основного технологічного обладнання, оснащена пристроями програмного керування, заміни інструменту, виробів (автооператором або ПР), нагромаджувачами початкового матеріалу та напівфабрикатів, пристроями видаляння відходів, контролю й підналагодження технологічного процесу, а також корекції якості виробу. Модуль здійснює багаторазові автоматичні цикли, призначений для автономної роботи і може бути вмонтований в систему більш високого рангу.

2) *Роботизована виробнича лінія* – сукупність двох і більше одиниць основного технологічного обладнання чи роботизованого модуля, об'єднаних системою автоматичного керування і транспортно-нагромаджувальними системами. Лінія переналаджується на вироби заданої номенклатури в межах технічних можливостей та обладнання, характеризується організацією матеріальних потоків між одиницями технологічного обладнання.

3) *Роботизована виробнича ділянка* – те саме, що й гнучка виробнича лінія, але матеріальний потік ділянки організовано незалежно за кожною одиницею технологічного обладнання;

4) *Роботизований виробничий цех* – комплекс гнучких ділянок, ліній та модулів, призначений для послідовного виконання технологічного процесу й переналаджувальний на виготовлення виробів заданої номенклатури;

5) *Гнучко переналаджуваний завод* – комплекс гнучких виробничих цехів, ліній, ділянок і модулів (наприклад, ливарних, ковальсько-пресових, металорізних, термічних, мийних, сушильних, контрольних, складальних, консерваційних, пакувальних та інших типів основного обладнання), що переналаджують на виконання технологічних процесів при виготовленні різних виробів.

Рівень автоматизації може бути різним; тому перед прийняттям рішення про створення РТС на підприємстві необхідно провести ретельний аналіз і виявити відповідні галузі її застосування, а також ступінь гнучкості, який треба досягти. Головним завданням перед проєктною стадією є визначення оптимального рівня автоматизації вибраного обладнання, що має забезпечити нормативну ефективність капітальних

вкладень або припустимі капітальні вкладення при рівні зростання продуктивності, який досягається. Вищий рівень автоматизації (повністю автоматична РТС) припускає організацію робіт при мінімальному (тільки спостереження за її роботою) використанні робочої сили, тобто за принципом безлюдної технології, що забезпечує можливість роботи системи в нічний час.

В автоматизованих РТС допускається кілька рівнів механізації та автоматизації процесів, а саме: нульовий – використовується основне технологічне обладнання з ЧПК, об'єднане в ділянки і кероване робітником у режимі багатостанкового обслуговування; перший – керування ходом виробництва здійснюється з використанням ЕОМ; другий – для керування застосовується мережа термінальних пристроїв; третій – дистанційне керування транспортно-складським обладнанням; четвертий – для керування транспортно-складським обладнанням і контролю виробничих процесів використовується ЕОМ із периферійними пристроями; п'ятий – припускається переважне застосування автоматичного обладнання та контрольних засобів з пристроями завантаження-вивантаження об'єктів виготовлення. Робота обладнання узгоджується з комбінованою транспортно-складською системою. Робітники займаються тільки налагодженням обладнання та контролем його роботи. Ефективність використання РТС у значній мірі визначається функціональним призначенням системи керування обладнанням, яка приймається як база для основного технологічного обладнання РТС.

Контрольні запитання

1. Надайте визначення РТС
2. Чим визначається гнучкість виробничої системи?
Наведіть узагальнену формулу гнучкості
3. Наведіть структурну схему РТС і поясніть її склад
4. Назвіть рівні розвиненості РТС і розкрийте їх зміст
5. Назвіть рівні автоматизації в РТС та дайте їх характеристику



Розділ 2. Промисловий робот як компонент РТС

Основні поняття й визначення ПР. У зв'язку із задачами комплексної автоматизації виробництва велика увага приділяється автоматизації операцій маніпулювання – переміщення й орієнтації об'єктів виробництва та технологічного інструменту. Особливу роль у цьому плані відводиться новому класу технічних засобів із гнучкими технологічними властивостями – промисловим роботам (ПР).

Промисловий робот – автоматична машина, що програмується й використовується у виробничому процесі для виконання рушійних функцій, аналогічних функціям людини, при переміщенні предметів виробництва та технологічної оснастки. Для виконання цих функцій ПР має маніпулятор та пристрій керування.

Маніпулятор – пристрій, призначений для імітації рушійних та робочих функцій руки людини і керований оператором (щодо біотехнічних маніпуляторів) або діючий автоматично. До автоматичних маніпуляторів відносять також автооператори – такі маніпулятори промислового призначення, що мають обмежену кількість ступенів свободи, зазвичай не більше 3-х і діють, на відміну від маніпуляторів ПР, за жорстким циклом.

Предмети виробництва, які переміщуються у просторі маніпулятором, називаються об'єктами маніпулювання. До них належать заготовки, деталі, складальні з'єднання, захватні пристрої, допоміжний, вимірювальний або обробляючий інструмент тощо. До класу роботів можуть бути віднесені й маніпулятори з інтерактивним керуванням – інтерактивні роботи, поперемінно керовані оператором, які діють автоматично. На відміну від біотехнічних маніпуляторів ці роботи мають пристрої пам'яті для автоматичного виконання окремих дій. Залежно від форми участі оператора, інтерактивні роботи можуть діяти в двох режимах: автоматизованому, коли автоматичні режими керування чергуються з біотехнічними; супервізорному, коли всі елементи заданого циклу операцій виконуються роботом автоматично за етапами, причому перехід від одного етапу до іншого здійснюється тільки з дозволу оператора завдяки подачі необхідної цілеспрямованої команди. Інтерактивні роботи, як правило, застосовуються в екстремальних сферах експлуатації, наприклад: обслуговування атомних реакторів, маніпулювання хімічно та вибухонебезпечними речовинами, в умовах техногенних катастроф тощо. Інакше кажучи інтерактивні роботи застосовуються тоді, коли керування маніпулятором потребує втручання людини з міркувань технічної безпеки.

2.1. Класифікація промислових роботів

Класифікація ПР (рис. 2.1) здійснюється за ознаками, суттєвими для розробки їхнього певного типу. За призначенням усі роботи поділяються на групи, з яких клас ПР складають роботи, призначені для автоматизації процесів та операцій в машинобудуванні. За характером виконуваних операцій серед промислових роботів виділяються групи з різними виробничо-технологічними ознаками: виробничі (технологічні), що виконують основні операції технологічного процесу (обробки, складання, зварювання, фарбування, тощо), тобто беруть участь у технологічному процесі як виробляючі чи обробляючі машини; підйомно-транспортні (допоміжні), що використовуються при обслуговуванні основного технологічного обладнання для автоматизації допоміжних операцій встановлення – зняття заготовок, деталей та інструменту, очистки баз деталей та обладнання, живлення конвеєрів, а також на транспортно-складських та інших операціях; універсальні роботи, що виконують різні (основні й допоміжні) операції.

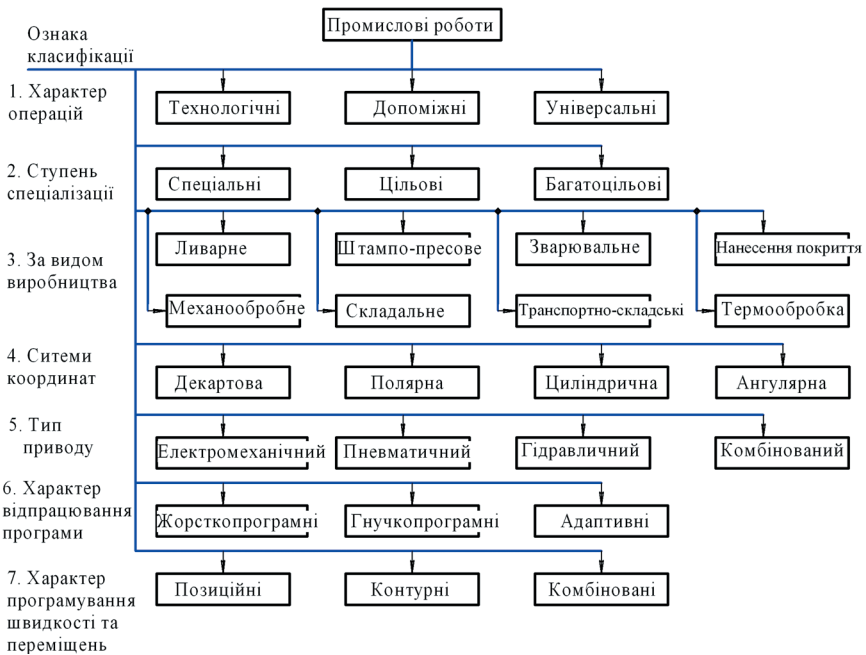


Рис. 2.1. Класифікація промислових роботів

Слід додати, що можлива деталізація даної ознаки ПР як за характером виконуваних ними операцій, так і за ступенем спеціалізації. В останньому випадку універсальні ПР є також і багатоцільовими, тоді як виробничі та підйомно-транспортні промислові роботи можуть бути спеціальними чи спеціалізованими (цільовими). Для спеціальних ПР характерним є виконання тільки окремої технологічної операції або обслуговування конкретної моделі основного технологічного обладнання. Спеціалізовані (цільові) ПР призначені для виконання технологічної операції одного виду: зварювання, фарбування, штабелювання тощо, чи для обслуговування широкої номенклатури моделей основного технологічного обладнання, об'єднаних єдністю маніпуляційних дій.

За видом виробництва відповідно до галузі застосування передбачається класифікація ПР: для ливарного виробництва, ковальсько-пресового обладнання, металорізних верстатів, обладнання цехів металопокриття, складання. Найбільш ефективним є застосування промислових роботів у складі гнучких виробничих модулів (ГВМ), дільниць та ліній у поєднанні з автоматизованими верстатами середньої розмірної групи при обробці поштучних заготовок. Основними функціями ПР при цьому є:

- 1) встановлення заздалегідь зорієнтованої заготовки в робочу зону верстата;
- 2) знімання деталі з верстата й укладання її в накопичувач;
- 3) кантування деталі (при необхідності);
- 4) очищення базових поверхонь деталей і пристроїв;
- 5) видача технологічних команд (керування обладнанням), контроль деталей.

Розширення функціональних можливостей ПР може бути забезпечено при застосуванні допоміжних оснастки і механізмів (координатних тактових столів, підйомних платформ тощо). У складальному виробництві промислові роботи застосовуються як для обслуговування автоматичного складального обладнання, а саме: завантаження-розвантаження робочих машин, передача об'єктів складання від одної технологічної позиції до іншої тощо, так і для безпосереднього виконання підготовчих операцій: розконсервація, сушіння, сортування, комплектація; супутніх операцій: гнуття, лудіння, зачищення, рихтування тощо, післяопераційних заходів: випробування, регулювання, маркірування, пакування та власне складальних операцій: з'єднання деталей, згвинчування, запресовування, клепання, клеєння тощо.

Для систематизації різноманітних компоновок маніпуляційної системи ПР використовують узагальнене поняття *системи координат* робота. За видом системи координат розрізняють ПР, що працюють у

Декартові (пласкій та об'ємній), полярній простій (пласкій та об'ємній), а також полярній складній системах координат. Маніпуляційні системи ПР, які працюють у складних плоских полярних і циліндричних або сферичних системах координат, іноді об'єднують в одну групу і називають працюючими у комбінованих системах координат. Ангулярною системою координат, на відміну від сферичної, називають систему в якій відсутні кінематичні пари поступального руху, а мають місце тільки циліндричні чи сферичні кінематичні пари. Ангулярна система координат притаманна людині.

Система координат визначає вид і взаємну орієнтацію переносних ступенів рухомості й форму робочої зони маніпулятора. Крім цих ознак, компоновки ПР з однаковими системами координат можуть відрізнятися між собою послідовністю розташування та дублюванням ступенів рухомості, а також загальною орієнтацією маніпулятора і власне її робочої зони відносно горизонту. Інші класифікаційні ознаки ПР наведено на рис. 2.1 Відзначимо тільки, що функціональні можливості ПР багато в чому визначаються типом системи програмного керування і характером відпрацювання програми. Більшість впроваджених у масове виробництво промислових роботів належить до жорстко програваних, програма дії яких уміщує повний набір інформації, що не змінюється в процесі їхньої роботи протягом виготовлення партії виробів. При зміні умов навколишнього середовища, з яким взаємодіють такі ПР, можливість коректування програми в автоматичному режимі не передбачається.

Адаптивні ПР здійснюють свої дії з використанням інформації про об'єкти і становище навколишнього середовища в процесі їхньої роботи. Такі роботи передбачають можливість коректування керуючої програми на основі аналізу сенсорної інформації. Гнучкопрограмовані (інтегральні) промислові роботи здатні формувати програму своїх дій на підставі поставленої цілі й інформації про об'єкти та становище навколишнього середовища. У ПР використовуються три типи програмного керування, які класифікуються згідно з характером і дискретністю переміщень ступенів рухомості: 1) позиційні, тобто від точки до точки простору; 2) контурні (по безперервній траєкторії; 3) комбіновані. За типом відображення керуючої інформації системи керування поділяються на циклові, аналогові, числові та аналогово-числові (гібридні). Промислові роботи із цикловим програмним керуванням є найпростішими типами позиційних ПР, програма яких містить інформацію про послідовність переміщень виконавчих механізмів ПР або ще й про їхню швидкість.

В системах аналогового програмного керування інформація задається у вигляді безперервно змінних значень фізичних (аналогових)

величин. В системах числового програмного керування (позиційних і контурних) інформація подається у вигляді цифрових кодів, які зберігаються на швидкозмінному носії.

2.2. Технічні параметри ПР

Основні технічні показники ПР визначаються можливою галуззю застосування й умовами виробництва, для яких призначається робот. Типорозмірні ряди роботів передбачають завдання основних параметрів і встановлення їх розмірних рядів загальномашинобудівного призначення при обов'язковій умові їх придатності для роботи у складі гнучких виробничих модулів, ділянок або ліній. Технологічні можливості та конструкцію ПР визначають такі основні параметри як: вантажопідйомність, число ступенів рухомості, форма і розміри робочої зони, мобільність, похибка позиціонування, тип керуючої системи.

Призначення – це можлива галузь застосування робота в умовах виробництва, для яких він передбачався. Тут визначають значення перелічених параметрів, які входять в технічну характеристику його моделі. За винятком похибки позиціонування та мобільності, значення решти параметрів вводяться в таблиці типуажу, а у вигляді відповідних індексів – у позначення моделі промислового робота.

Вантажопідйомність ПР визначається як сумарна вантажопідйомність його маніпулятора і характеризує найбільшу масу об'єктів маніпулювання (включаючи масу захватного пристрою), які можуть переміщуватись рукою в заданих умовах (при максимальній або мінімальній швидкості, максимальному вильоті руки тощо). При використанні ПР з кількома руками поряд із сумарною вантажопідйомністю слід зазначати вантажопідйомність його одної руки.

Промислові роботи і маніпулятори, які випускаються для машинобудування, охоплюють такий ряд серій за вантажопідйомністю:

- 1) надлегку (до 1 кг) – 0,08; 0,16; 0,20; 32; 0,63;
- 2) легку (від 1 до 10 кг) – 1,25; 2,5; 5; 10;
- 3) середню (від 10 до 100 кг) – 20; 40; 80; 100;
- 4) важку (від 100 до 1000 кг) – 160; 250; 320; 500; 1000;
- 5) надважку (понад 1000 кг) – 1250; 1500; 2000; 2500; 3000; 5000; 7500; 10000 (кг).

Ряд цих серій встановлено на підставі аналізу основного складу технологічного обладнання по галузях і розподілу деталей різної маси. Запропонований ряд регламентує максимальне значення вантажопідйомності для кожного типорозміру ПР, яке забезпечується при номінальних значеннях експлуатаційних характеристик, а саме: швидкості переміщень робочих органів маніпуляторів, вильотах руки, похибки

позиціонування тощо.

Для деяких типів промислових роботів важливими показниками є зусилля затиску захвата, удержування об'єкта виробництва, робоче зусилля руки ПР вздовж її поздовжньої осі, крутний момент при ротації захватного пристрою.

Число *ступенів рухомості* ПР – сума можливих координатних рухів маніпулятора відносно опорної системи (стояка, основи) робота. Визначається воно числом ступенів свободи кінематичного ланцюга відносно ланки, прийнятої за нерухому. Для деяких типів ПР, які використовуються на операціях складання, розпізнавання і вироблення об'єктів, іноді додатково визначають число ступенів рухомості самого захватного пристрою, що дорівнює числу ступенів свободи всіх його ланок відносно вузла кріплення захвату до руки робота.

Робоча зона ПР – простір, в якому при його роботі може знаходитись робочий орган маніпулятора. Лінійні та кутові переміщення рухомих ланок маніпулятора також характеризують робочу зону ПР. При роботі кількох роботів за характеристику робототехнічного комплексу (РТК) приймається зона спільного обслуговування – частина простору, в якому переміщення маніпулятора можуть виконуватись кількома ПР.

Мобільність ПР визначається його можливістю виконувати рухи. За мобільністю ПР поділяють на дві групи; стаціонарні (забезпечують локальні та регіональні переміщення робочих органів) і пересувні (забезпечують глобальні переміщення МС).

Похибка позиціонування – відхилення заданої позиції виконавчого механізму від фактичної при багаторазовому позиціонуванні (повторенні руху). Похибка позиціонування може оцінюватись у лінійних і кутових одиницях. Стосовно ПР важливим показником є сумарна похибка позиціонування усіх виконавчих механізмів, зведена до фактичного положення ОМ, яке відрізняється від заданого програмою.

2.3. Структура промислових роботів

Структура ПР, який взаємодіє з навколишнім середовищем (НС) чи об'єктом маніпулювання (ОМ), може бути проілюстрована на рис. 2.2. У загальному випадку робот складається з чотирьох систем: 1) виконавчої маніпуляційної системи (МС) – для цілеспрямованої дії на на об'єкт маніпулювання; 2) сенсорної інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) – для забезпечення робота інформацією про стан навколишнього середовища, результати дії на нього МС (або взаємодії систем "Робот – ОМ – НС") і стан самого робота у відповідності з вимогами керуючої системи (КС); 3) керуючої системи (інтелекту) – для

формування закону керування МС на основі даних, які надходять від керуючої програми та ІВС, а також для організації спілкування робота з людиною чи іншими функціональними пристроями, з якими він взаємодіє. Інтелектуальні здатності робота визначаються алгоритмічним і програмним забезпеченням його керуючої системи; 4) системи зв'язку (СЗ) – для організації обміну інформацією між роботами і людиною чи іншими функціональними пристроями, у тому числі роботами, основним технологічним обладнанням на певній мові програмування.

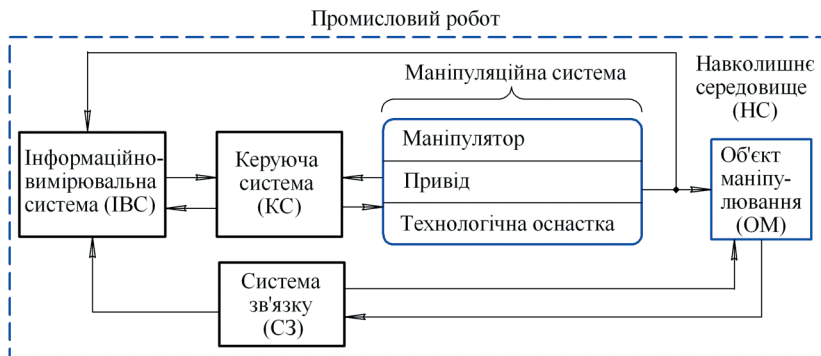


Рис 2.2. Узагальнена структура промислового робота, взаємодіючого з навколишнім середовищем

Рівні інтелекту та інформаційного забезпечення ПР визначаються характеристикою навколишнього середовища, з яким взаємодіє МС робота. В роботизованому виробництві під НС розуміють об'єкти виробництва, які можуть знаходитись у неупорядкованому (і тоді середовище є невідготовленим, або неорганізованим), упорядкованому (підготовлене, або організоване середовище) та частково впорядкованому станах. При неупорядкованому стані об'єкти різних класів займають хаотичне положення на предметній площині. В цьому разі задачами інформаційної та керуючої систем ПР будуть: знаходження об'єкта на поверхні, визначення класу, а також положення об'єкта за характерною ознакою та планування алгоритму керуючої дії на ланки МС робота з метою забезпечення оптимальних умов взаємодії робота із середовищем. З викладеного випливає, що зниження інформаційного навантаження і рівня інтелекту робота можливе, якщо заздалегідь підготувати середовище впорядкуванням об'єктів за класами, орієнтацією їх у просторі та один відносно одного. Маніпуляційна система

Задачею маніпуляційної системи є виконання рушійних функцій і реалізація технологічного призначення ПР. Ця система являє собою

просторовий механізм з розімкненим кінематичним ланцюгом. Конструктивно МС складається з таких основних вузлів: несучих конструкцій, приводів, передавальних механізмів, виконавчих механізмів і захватного пристрою або технологічного модуля, що встановлений на руці робота. *Виконавчий механізм* ПР – це сукупність рухомих з'єднаних ланок МС. *Захватний пристрій* ПР – орган його МС, призначений для захвату чи удержування об'єкта виробництва, технологічної оснастки чи інструменту. Як правило, ПР комплектують типовим для даної моделі набором захватних пристроїв, які замінюються або вручну налагодчиком, або автоматично в залежності від конкретного робочого завдання.

З'єднання ланок МС у кінематичний ланцюг здійснюється за допомогою кінематичних пар, У більшості конструкцій ПР використовуються кінематичні пари п'ятого класу – обертальні та поступальні, які забезпечують один ступінь свободи у відносному русі кожної з двох рухомих з'єднаних ланок. Сукупність деякого числа рухомих ланок забезпечує виконавчому механізму певне число ступенів рухомості, яке є важливою характеристикою маніпуляційної системи.

Типові конструкції автоматичних маніпуляторів. Маніпулятор ПР поєднує в собі привод із двигуном і підсилювально-передатною ланкою (редуктором) і виконавчий механізм. Така комбінація найбільш характерна для маніпуляторів з електромеханічним приводом і антропоморфних роботів. У ряді випадків виконавчий механізм і привод виявляють собою єдине ціле, підсилювально-передатний механізм відсутній. Це властиво маніпуляторам із пневматичним і гідравлічним приводами, у яких шток пневматичного або гідравлічного циліндра одночасно є приводною й виконавчою ланкою маніпулятора.

Компонування виконавчих пристроїв (рис. 2.3) визначається тою системою координат, для роботи в якій призначений робот. Як правило, кожний виконавчий механізм має один ступень рухливості. Тому на кожний ступінь свободи доводиться по одному приводу. Такі механізми побудовані на кінематичних парах п'ятого класу, що мають один ступінь свободи. Вони більш надійні в експлуатації й простіше в обслуговуванні на відміну від механізмів четвертого й третього класів, які мають відповідно два й три ступені рухливості.

Типовим прикладом маніпулятора, що працює в Декартові прямокутній системі координат, може служити маніпулятор (рис. 2.3,а), постачений двома поперечними каретками, які забезпечують транспортне переміщення робочого органа в горизонтальній площині ХУ і пневматичним приводом для переміщення у вертикальній площині. Маніпулятор (рис. 2.3,б) постачено двома електромеханічними приводами для переміщення в пласкій прямокутній системі координат ХУ. В обох

випадках рух ротації робочого органу, тобто повороту захватною пристрою на певний кут, є технологічним. Як видно із цих прикладів, підсилювально-передатними ланками маніпуляторів є приводні каретки, які можуть бути виконані у вигляді різних механізмів поступального переміщення, наприклад, у вигляді зубчато-рейкової передачі, гвинтової пари ковзання або кочення, постачених додатковими напрямними.

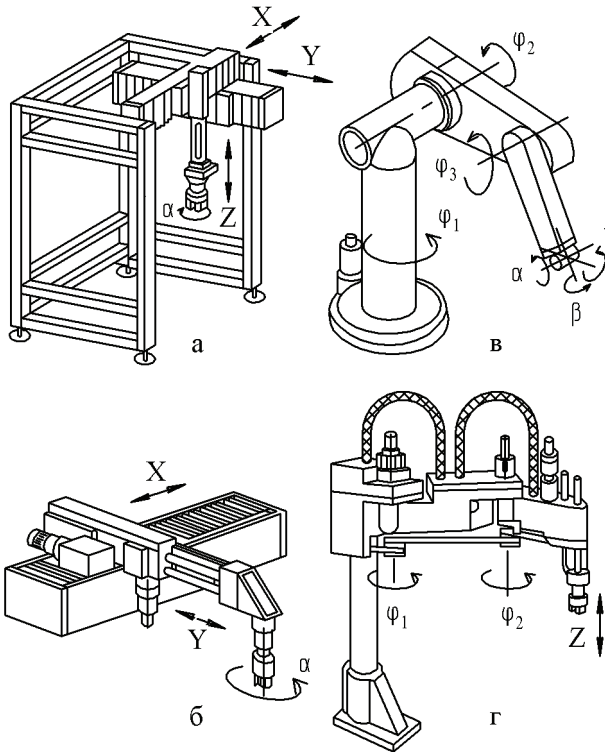


Рис. 2.3. Типові конструкції маніпуляторів промислових роботів

Компонування виконавчих пристроїв, подібну наведеної, мають промислові роботи портального типу «Пірін» (Болгарія), М21 (Росія), стаціонарні ПР «BOSS» (Німеччина). Компонування виконавчих механізмів маніпулятора, що показано на рис. 2.3(в), властива роботам з ангулярною чи сферичною системою координат, робочий простір яких являє собою неповну сферу. У якості підсилювально-передатних механізмів таких маніпуляторів використовують циліндричні, конічні або хвильові редуктори, осі ведених коліс яких

збігаються з осями повороту ланок маніпуляторів. При цьому двигуни (крім привода повороту колони) розміщуються безпосередньо на ланках руки маніпулятора. Таку конструкцію мають кілька модифікацій промислових роботів: РМ-01, «Гранат-2,5» (Білорусь), «PUMA» фірми NOKIA (Фінляндія).

Розміщення двигунів і підсилювально-передатних механізмів безпосередньо на ланках маніпулятора характерно також і для роботів типу «Skilam», ТУР-2,5 «BOSS» (рис. 2.3,г). На відміну від попередніх моделей ПР, у цьому випадку всі осі повороту ланок паралельні одна іншій, маніпулятор працює в циліндричній системі координат. Налаштування маніпулятора обох типів ідентичне й зводиться до установки необхідного за технологічним процесом робочого органу (захоплення, складальної або зварювальної голівки та т.п.), перевірки й вибірки люфтів у рухливих з'єднаннях, регулюванні зусилля натяжних гнучких проводів (наприклад у моделей «Skilam», ТУР-2,5).

Класичним прикладом конструктивного рішення МС з розміщенням приводів виконавчих механізмів безпосередньо на його ланках може бути промисловий робот моделі РМ-01 (рис 2.4). Це універсальний робот, призначений для виконання як основних, так і допоміжних операцій технологічних процесів. До основних операцій належать монтаж і складання механічних вузлів, дугове зварювання, операції склеювання і фарбування. Допоміжні операції, що виконуються роботом, містять завантаження та розвантаження обладнання, пакування й складування виробів тощо. Маніпулятор «PUMA» цього робота розроблено фірмою «NOKIA» (Фінляндія), він має антропоморфну конструкцію і володіє шістьма ступенями рухомості, що у сукупності з гнучкою керуючою системою дає змогу йому виконувати різноманітні за фізичною суттю й послідовністю технологічні операції.

Кінематичні ланки маніпулятора з'єднано ротаційними шарнірами, а самі ланки нагадують кисть, лікоть та плече руки людини, що й надає конструкції антропоморфного характеру. Конструктивно маніпулятор виконано у вигляді колони 1 (див. рис. 2.4), на якій шарнірно закріплено плече 2, що несе верхню руку 3 та передню руку (лікоть) 4. Кисть 5 має три ступені рухомості, а на її фланці закріплено різноманітні пристрої технологічного призначення: захвати, складальні та зварювальні головки тощо. Кожну з ланок обладнано автономним електромеханічним приводом, який складається з електродвигуна і передачі обертання шарнірів руки маніпулятора. Привод повороту плеча навколо осі колони 1 складається з електродвигуна 10, який передає через зубчасту передачу 9 і 11, проміжний вал 7 і ведучу шестерню 6 обертання колесу 8, кінематичне зв'язаному з основою плеча 2. Таким чином передається обертання плечу навколо осі колони. Поворот же

верхньої ланки руки 3 (точніше передпліччя) відносно осі самого плеча здійснюється електродвигуном 16, розміщеним безпосередньо на корпусі руки.

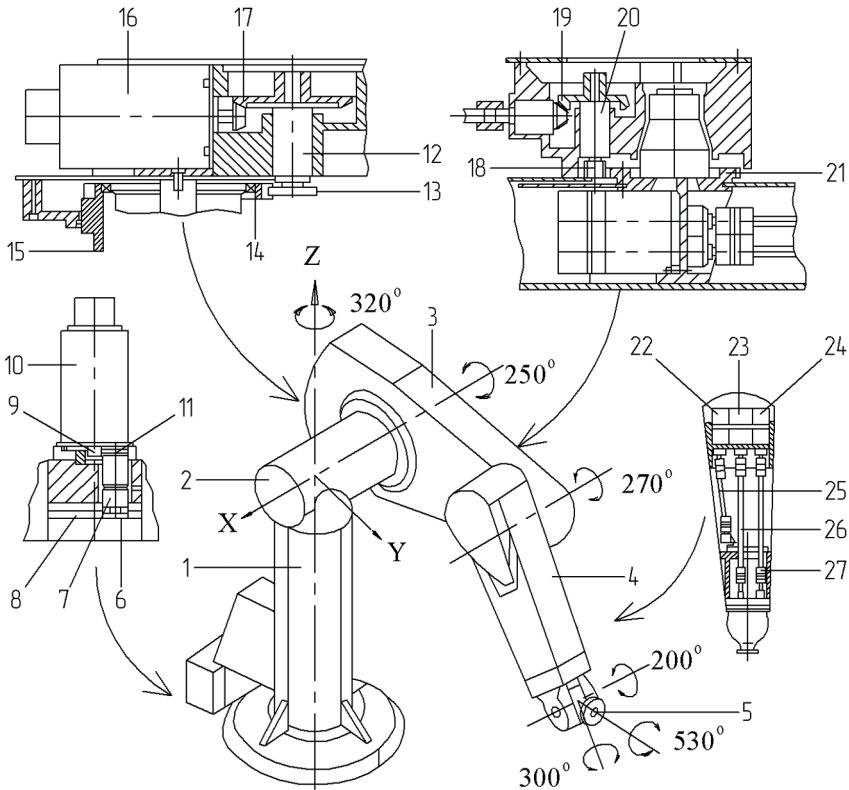


Рис 2.4. Маніпуляційна система ПР моделі РМ-01

При цьому обертання від двигуна передається конічною зубчастою парою 17 і проміжним валом 12 шестерні 13, яка обкочується по нерухомо закріпленому у корпусі 15 колесу 14. В результаті передпліччя 3 повертається на кут, заданий керуючою програмою. Особливість конструкції передпліччя й ліктя маніпулятора полягає у тому, що частина робочого навантаження приймається їхніми зовнішніми кожухами. Це дає змогу мінімізувати маси рук, забезпечуючи при цьому їхню достатню міцність. Електродвигун обертання передньої руки 4 (точніше ліктя) також розміщено у корпусі верхньої руки. Цей двигун через конічну передачу 19, вал 20 і ведучу шестерню 18 передає обертання веденому колесу 21, в результаті чого і здійснюється відповідно

до заданої програми поворот передньої руки 4. Технологічні рухи кисті 5 навколо відповідних осей інструментальної системи координат здійснюються електродвигунами 22, 23 і 24, кінематичне зв'язаними з кистю приводними валами 25, 26 і 27 відповідно, причому на кожний приводний вал припадає по два редуктори, розміщені на початку і в кінці вала. Керування маніпулятором ПР моделі РМ-01 ґрунтується на завданні та контролі переміщень і швидкостей ланок його руки. Відлік переміщень ведеться у базовій системі координат, початок якої збігається з віссю плеча маніпулятора. Базова система координат нерухома і використовується при навчанні робота переміщенням по точках. Рухома інструментальна система координат, з'єднана з фланцем кисті маніпулятора, використовується для програмування рухів робочих інструментів і захватів, розміщуваних на кисті робота.

Інформаційно-вимірювальна система (ІВС). Задача ІВС – збирання, первинна обробка і передача в КС даних про функціонування вузлів і механізмів ПР та про стан навколишнього середовища. За функціональним призначенням ІВС умовно поділяються на три підсистеми: 1) сприйняття й переробки інформації про НС, в якому функціонує ПР; 2) внутрішньої інформації про стан вузлів, механізмів і систем ПР; 3) забезпечення техніки безпеки. Дані цих підсистем створюють інформаційне забезпечення функціонування робота.

Підсистема зовнішньої інформації визначає функціональні можливості робота і ступінь складності вирішуваних ним завдань. Залежно від способу взаємодії з об'єктами навколишнього середовища ця підсистема може виконувати функції зорового (візуального, локаційного) і тактильного (дотику) сприйняття ознак середовища. Тактильне сприйняття використовується для виявлення об'єкта, встановлення моменту стикання з ним і визначення його розмірів, контролю тиску на об'єкт, виявлення підготовленості основного технологічного обладнання до обслуговування роботом, а також для забезпечення безпеки роботи. З цією ж метою, але із застосуванням безконтактних засобів використовується і зорове сприйняття. Одночасно такі засоби переважно виконуються для дистанційного виявлення об'єкта і розв'язання задач ідентифікації класу та положення, яке займає об'єкт у просторі.

Підсистема внутрішньої інформації розв'язує такі задачі: оцінки положення і швидкості руху ступенів рухомості ПР, аварійної блокування для запобігання поломці вузлів МС і взаємодіючого з нею обладнання при появі випадкових збоїв, діагностики і прогнозування ресурсу ПР для виявлення причин відказів і скорочення часу відновлення працездатності робота.

Керуюча система. Задачами КС є програмування дій маніпулятора зберігання керуючої програми, її відтворення і відпрацювання. Керу-

вання роботом здійснюється на основі програми його роботи. Програма – повний і точний опис на деякій формальній мові процесу оброблення інформації, який приводить до розв'язання поставлених задач.

Керуюча програма (КП) – послідовність простих інструкцій на деякій формальній мові, виконуваних при додержанні певної черговості. Ці інструкції містять інформацію про послідовність виконання кроків програми, просторове положення окремих ступенів рухомості і час виконання окремих кроків програми. Матеріальний носій, в якому фіксується керуюча програма, називається програмним носієм.

Програмування – процес підготовки задачі керування для її розв'язання і введення інформації керуючої програми в запам'ятовуючий пристрій. Програмування здійснюється методами: навчання або самонавчання. У першому випадку керуюча програма формується в режимі діалогу контрольної системи з оператором, який за допомогою ручного пульта керування роботом здійснює послідовне відпрацювання необхідних операцій з наступним занесенням інформації у запам'ятовуючий пристрій. При реалізації другого методу програму розраховують чи на обчислювальному центрі на одній із спеціалізованих мов або на мовах високого рівня, чи в самій КС за допомогою обчислювача за директивами оператора. Зрештою, при самонавчанні програма ПР утворюється на основі інформації, яка аналізується системою сприйняття навколишнього середовища з наступним запам'ятовуванням одержаної інформації й організацією відповідних команд.

Запам'ятовування керуючої програми – збереження протягом потрібного часу інформації у запам'ятовуючому пристрої. Для систем ЧПК ємність пам'яті такого пристрою визначається кількістю машинних слів або двійкових знаків. Для циклових систем ємність пам'яті – максимальна кількість керуючих команд. Ємність оперативної пам'яті запам'ятовуючого пристрою – максимальна кількість інформації КП, яка безпосередньо бере участь у поточному процесі виконання операцій керування ПР. Ємність зовнішнього запам'ятовуючого пристрою – максимальна кількість інформації, яка може тривало зберігатись на програмному носію. Відтворення програми – процес зчитування інформації із запам'ятовуючого пристрою і передача керуючих сигналів до виконавчих механізмів промислового робота. Відпрацювання програми – виконання ПР операцій відповідно до сигналів, переданих на його виконавчі механізми при відтворенні програми.

2.4. Принципи побудови промислових роботів

Існує два принципи побудови промислових роботів: моноблочний і агрегатно-модульний. *Моноблочний принцип* передбачає побудову маніпулятора у вигляді нерозривного кінематичного ланцюга, що утворений кінематичними ланками маніпулятора, з'єднаних ротаційними шарнірами, а самі ланки нагадують передпліччя, лікоть, кисть руки людини, що й надає конструкції антропоморфного характеру. Такі конструкції розглянуті вище (див. рис. 2.3 (в,г) та рис. 2.4).

Агрегатно-модульний принцип побудови ПР передбачає створення маніпулятора з окремих виконуючих і технологічних конструктивних модулів, кожен з яких може бути вилучений або замінений іншим модулем залежно від технологічного завдання і необхідного числа ступенів рухомості маніпулятора.

Агрегатне виконання не тільки технологічних, але й транспортних модулів ПР дозволяє створювати спеціалізовані роботи, призначені для виконання конкретних технологічних операцій. Незважаючи на трудомісткість переналагодження таких роботів вони значно дешевше, ніж моноблочні універсальні ПР. Приклад агрегатно-модульного маніпулятора (рис. 2.5) ілюструє можливість комбінації різних захватних пристроїв 1 з модулями ротації 2, підйому 3 і горизонтального переміщення 5, з'єднаних стикувальним пристроєм 4 і встановлених на стійці 6. Як видно з рисунка, кожний з модулів можуть бути при необхідності вилучені або замінені іншими модулями.

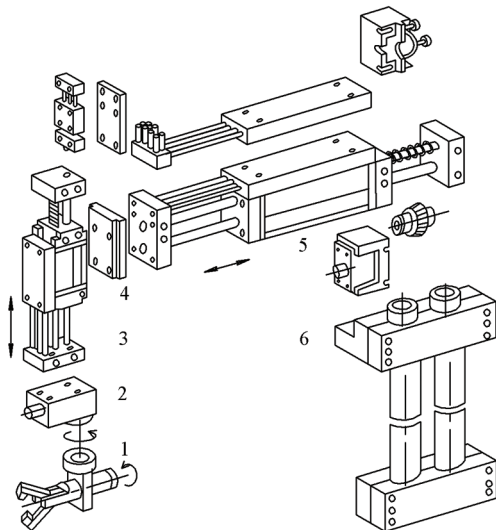


Рис. 2.5. Блоки агрегатно-модульного маніпулятора

Зазначені транспортні й технологічні модулі агрегатних ПР попередньо створюються на основі типових групових технологічних процесів. Потім конструктором, на основі конкретного технологічного процесу відповідно до операційної карти, вибирається те чи інше сполучення модулів агрегатного ПР. Завдання наладчика полягає в складанні зазначених модулів за допомогою уніфікованих стикувальних пристроїв, регулюванню відносного положення модулів з наступною їхньою фіксацією. Далі, залежно від типу системи керування, наладчиком проводиться набір заданої програми, її тестування й відпрацювання робочих циклів ПР на холостому ході. Останню операцію спочатку рекомендується виконувати в налагоджувальному режимі, і реалізувати програму по окремих командах, повідомлюваних роботу вручну з пульта його керування, а потім у режимі автоматичного циклу.

Агрегатне виконання функціональних модулів ПР властиво не тільки стаціонарним роботам, але й порталним (рис. 2.6). Причому, як видно з рисунку, ідентичність систем координат для різних компонентів визначає й менший набір модулів.

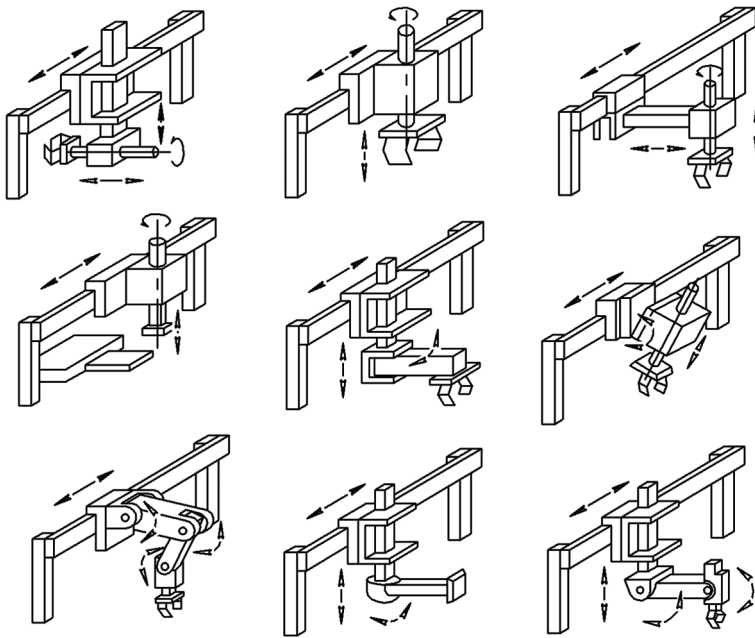


Рис. 2.6. Типові компоновки порталних ПР

Тому перш, ніж здійснити вибір необхідних модулів, слід правильно вибрати систему координат робочої зони маніпулятора. Бажано, щоб конфігурація робочої зони маніпулятора була ідентична робочій зоні технологічного встаткування. Незалежно від моделі всі компонування порталних ПР містять модуль транспортного переміщення маніпулятора по балці порталу.

Взагалі, для будь-яких агрегатно-модульних ПР, під *конструктивним модулем* розуміють функціонально і конструктивно незалежну одиницю, яка може використовуватись індивідуально та в різноманітних комбінаціях з іншими модулями. Кожний модуль являє собою закінчений машинний агрегат, який містить як звичайні приводні пристрої і механізми, так і енергетичні та інформаційні комунікації. Модуль може забезпечити одну або кільк ступенів рухомості робота. Залежно від типів використовуваних модулів маніпуляційна система робота може відрізнятися такими конструктивними ознаками: мобільністю (стаціонарні, пересувні), типом і конструкцією опорної системи (портальні, підлогові стаціонарні), кількістю рук, числом ступенів рухомості кисті руки.

Узагальнена структура МС робота складається з таких основних модулів: основи; колони, що закріплюється до основи; руки, яка кріпиться до колони; кисті руки; технологічних механізмів, які закріплюються до кисті і захватного чи технологічного модуля. Для пересувних ПР додаються ще такі модулі як напрямні й візок (в обох випадках для підлогового чи порталного виконання). При цьому вимога швидкого переналагодження зумовлює необхідність наявності уніфікованих елементів сполучення у з'єднаннях кінематичного ланцюга «рука – кисть – технологічний модуль» для зміни будь-якого модуля, потребує конкретне виробниче завдання.

Згідно з модульним принципом побудови можливе нарощування структури робота типовими кінематичними ланками, що реалізують поступальні та обертальні рухи. Таким чином забезпечується будь-яка компоновка ПР для заданої системи координат. Агрегатно-модульні конструкції ПР можуть бути класифіковані за компоновкою і можливістю зміни технічних характеристик ПР в межах одної агрегатної гама. Комбінаторика можливих поєднань модулів, які мають практичний інтерес, практично не обмежена. Агрегатно-модульний принцип побудови маніпуляторів дає змогу автоматизувати процедури вибору оптимальних для даної номенклатури об'єктів і вимог технологічного процесу. Водночас зростає варіативність пошуків технічних рішень, збільшується об'єктивність прийняття рішення щодо компоновки вузлів робота, яке більш повно задовольнятиме вимоги технологічної пропозиції.

2.5. Транспортні роботи

Роботизовані транспортні засоби, що перебувають в експлуатації, можна розділити на дві основні групи: транспортні роботи із твердим шляхопроводом і робокари — транспортні візки з безконтактним індуктивним або оптичним шляхопроводом. Транспортні роботи із твердим шляхопроводом включають рейкові, монорейкові й мостові роботи-маніпулятори, що рухаються на твердих напрямних підлогового або підвісного виконання. Системи керування таких роботів можуть бути цикловими, позиційними з автоматичним адресуванням. Усі системи, як правило, побудовані на базі локального автомата з керуванням від центрального контролера ЕОМ нижнього й верхнього рівня. Вибір системи керування, як правило, визначається функціональним призначенням транспортного робота із твердим шляхопроводом. Так, для обслуговування виробничого встаткування, розміщеного в певній технологічній послідовності, застосовуються транспортні роботи із цикловою системою керування. Рейкові транспортні роботи підлогового типу з позиційною системою керування доцільно використовувати для обслуговування гнучких автоматичних ліній з автоматизованим складом. Такі транспортні роботи, точніше роботизовані візки, здійснюють транспортування палет з деталями й заготовками між верстатами й доставку їх у комірки автоматизованого складу.

Транспортні роботи з позиційними системами керування використовуються для групового обслуговування технологічного встаткування в межах ділянки або всього цеху. Як правило, такі роботи оснащуються системою автоматичного адресування заготовок, деталей і технологічного оснащення. *Робокари* — безрейкові транспортні візки, відрізняються від першої групи транспортних роботів наявністю слідкуючої системи керування й безконтактним індуктивним або оптичним шляхопроводом, конфігурація якого визначає трасу. У якості такої траси використовують відповідно металеві стрічки або смуги у вигляді світловідбивача, що покладені в підлозі цеху. Завдяки наявності автономної системи енергопостачання й бортової системи керування робокари по своїй маневреності й функціональним можливостям значно перевершують рейкові транспортні роботи. Це дозволяє створювати на їхній базі автоматизовані транспортно-складські системи (АТСС) у межах одного або декількох об'єднаних технологічним маршрутом цехів підприємства.

Основними характеристиками робокарів є їхня вантажопідйомність і швидкість руху, які залежать від призначення візка. Для переміщення штучних виробів застосовують робокари вантажопідйомністю 400...9000 (кг) із середньою швидкістю не більш 1 м/с. Такі візки ос-

нашуються піднімальними платформами, роликowymi конвеєрами з реверсивним приводом, поворотними платформами для зміни орієнтації вантажу й іншими вантажозахватними пристроями із приводами горизонтального або вертикального переміщення. Типові моделі візків показані на рис. 2.7.

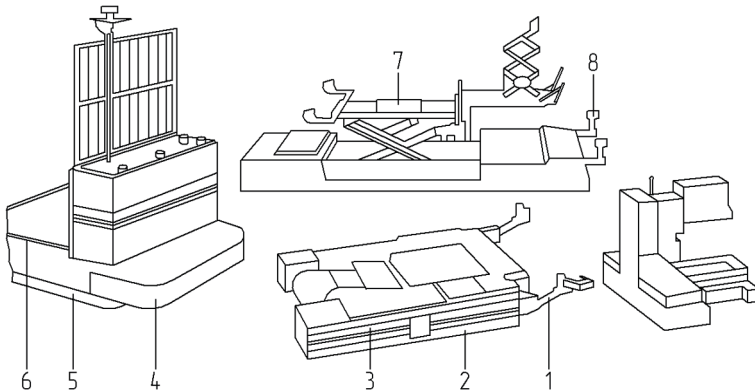


Рис. 2.7. Моделі транспортних автоматичних візків (роботарів):
1,4,8 – чутливі елементи; 3,6,7 – вантажна платформа

Роботари вантажопідйомністю менш 1500(кг) і середньою швидкістю переміщення в межах 0,5...1,2 (м/с) використовуються для транспортування штучних виробів і їх заготовок на піддонах або партій деталей у касетах. У різних моделях роботарів у якості автономної системи енергопостачання використовують акумулятори напругою від 24В до 48В и ємністю від 150 (А/год.) до 600 (А/год.). Ємність акумуляторів, як правило, розраховують на період роботи в автоматичному режимі 4...8(год.). Зі зменшенням навантаження й величини пробігу можливе збільшення періоду роботи до 16 годин. Для періодичної підзарядки акумуляторів на підприємстві, де експлуатується роботари, установлюють станції автоматичної зарядки.

Незалежно від моделі до складу роботара входять запобіжні демпфери 1 (рис. 2.8), кермове колесо 4 з тяговим 3 і кермовим 2 двигунами; блоки зв'язку 7 і керування 8; акумуляторні батареї 9. Конструкція шляхопроводу 6 і тип чутливих елементів 5, за сигналами яких здійснюється керування візком, визначаються прийнятою системою відстеження траси. Практичне застосування знайшли дві такі системи: оптична й електромагнітна. *Оптична* система відстеження траси заснована на ефекті відбиття світлового сигналу від смуги у вигляді стрічки світловідбивача, прокладеного на поверхні підлоги цеху. Стрічка висвітлюється джерелом світла, що встановлено спереду на

нижній частині візка. Відбите від смуги світло сприймається чутливими елементами, розташованими поруч із джерелом світла, наслідком чого є сигнали керування сервоприводом ходової частини робокару. Смуга світловідбивача траси повинна мати коефіцієнт відбиття не менш 40 % на довжині хвилі 900А. В електромагнітній системі відстеження траси шляхопровід виготовляють у вигляді електропроводу, покладеного в ринву підлоги на глибину 20...30 (мм) шириною 10...15 (мм). Після укладання ізоляованого електропроводу, ринву підлоги заповнюють епоксидним клеєм або цементним розчином.

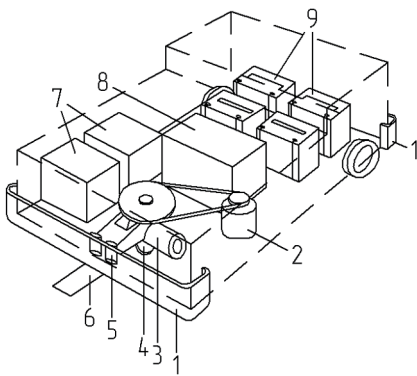


Рис. 2.8. Склад робокара

У цьому випадку чутливий пристрій являє собою дві електромагнітні котушки, що розміщені на візку. Два такі датчики взаємодіють із електромагнітним полем, що утворюється навколо електропроводу при його підключенні до джерела змінного електричного струму низької частоти й малої амплітуди. Датчики, включені за диференціальною схемою, виконують роль сканера електромагнітної траси й при відхиленні візка виробляють сигнали, що надходять у блок керування положенням і швидкістю візка. При використанні електромагнітного шляхопроводу можуть бути реалізовано два способи керування. Один з них припускає вимір амплітуди сигналу кожної котушки чутливого елемента. Пропорційно різниці амплітуд, викликаній відхиленням робокара від маршруту, на сервопривод рульового керування надходить коригувальний сигнал, що усуває відхилення візка від траси. Згідно з іншим способом керування на одній з котушок датчиків визначається величина й напрямок вектора фазового зрушення. При відсутності відхилення робокара від траси (точніше від магнітопроводу) вектор дорівнює нулю, отже сигнал, що й управляє, також дорівнює нулю. Відхилення візка вліво або праворуч від траси відповідає позитивному або негативному фазовому зрушенню електромагнітних датчиків, сигнали яких обробляються бортовою системою керування, що здійснює за допомогою серво приводів і двигунів корекцію положення робокара.

В умовах гнучкого автоматизованого виробництва бортові системи керування декількох робокарів, а також керуючі пристрої вантажно-розвантажувальних механізмів поєднують у єдину мережу з керуванням від центральної ЕОМ. Згідно з уведеною програмою ЕОМ

верхнього рівня здійснює регулярне опитування робочарів, одержуючи при цьому інформацію про місцезнаходження візків, обсягів партій поданих на обробку заготовок і готових деталей, виробляє коригувальні команди на усунення нестандартних ситуацій, формує маршрути робочарів. Пристрій аварійної зупинки робочара являє собою шарнірно-важільну систему (рис. 2.9), розміщену попереду й позад робота на панелі 1. При зіткненні робота зусилля, можливий напрямом яких зазначено на малюнку стрілками, зміщають буфер 5, який за допомогою важільної системи 4 розмикає вимикачі 2. У результаті відбувається зупинка ведучих коліс привода. У міру відходу робота від перешкоди, пружина 3 дозволяє повернути буфер у вихідне положення. Регулюванням натягу цих пружин можна регламентувати мінімальне зусилля реакції на зіткнення. Система спостереження траси транспортного

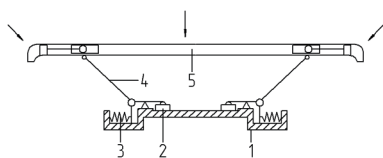


Рис. 2.9. Пристрій аварійної зупинки робочара

робота, заснована на ефекті відбиття світлового сигналу від смуги у вигляді стрічки світловідбивача — це найпоширеніший принцип спостереження траси робочарами. Конструктивно така траса виконується із широкої стрічки світловідбивача 1 і вузької стрічки світловідбивача 2 смуг (2.10,а). Стрічки світловідбивача має складний склад, що включає розраховуючи на один квадратний метр підлоги епоксидну смолу в обсязі 2(кг), каучук (2 кг), андезитове борошно (2,2 кг), розчинник Р-4, закріплювач поліетиленполіамін або триетилентетрамін (0,35кг), кам'яновугільну смолу (0,2кг) і епоксидну шпаклівку (0,1 кг). Розгалужена мережа смуг у вигляді стрічок світловідбивача, покладених у підлозі цеху, утворює трасу робота по всіх можливих маршрутах обслуговування технологічного встаткування.

Відстеження траси (рис. 2.10,б), що складається зі світло поглинаючої 1 і світло відбиваючої 2 смуг, здійснюється датчиками курсу,

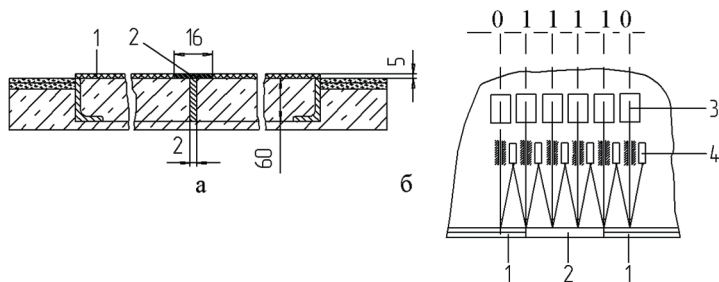


Рис. 2.10. Влаштування траси та системи відстеження робочара

установленими попереду й позад транспортного робота. Кожний з датчиків являє собою сукупність фотодіодів 3 і світлових діодів 4, що здійснюють інфрачервоне висвітлення траси. Відбитий від смуги 2 світловий потік засвічує відповідні фотодіоди. Мікропроцесорна керуюча обчислювальна система робокара при спостереженні за трасою зчитує показання датчиків курсу, кожний розряд якого відповідає сигналу з одного його фотодіодів. При відхиленні робокара від заданого напрямку руху, тобто при сході датчика курсу із траси в яку-небудь сторону, в 16-розрядному слові, отриманому з датчика курсу, міняється вміст розрядів (див. рис 2.10,б). Після аналізу такого відхилення керуюча система виробляє команди на збільшення або зменшення швидкості лівого чи правого приводів з метою повернення робота на смугу траси. Експлуатація транспортних роботів передбачає обов'язкове технічне обслуговування, що включає щоденний огляд стану робокара й траси, перевірку працездатності й технічного стану окремих агрегатів, а також профілактичне обслуговування з метою попередження можливих відмов у роботі.

Контрольні запитання

1. Надайте визначення промислового робота та маніпулятора. Поясніть їх призначення
2. Наведіть схему класифікації промислових роботів і поясніть призначення її складових
3. Назвіть та поясніть типи програмного керування промисловими роботами
4. Наведіть показники технічних параметрів промислових роботів
5. Надайте структуру промислового робота та поясніть її складові
6. Поясніть сутність двох методів програмування промислових роботів
7. Назвіть та поясніть сутність двох принципів побудови промислових роботів
8. Назвіть дві групи транспортних роботів, поясніть їх відмінність
9. Наведіть склад робокару, поясніть призначення його складових
10. Поясніть сутність та устрій систем відстеження траси робокарами: оптичної та електромагнітної.
11. Поясніть влаштування траси та системи її відстеження робокаром



Розділ 3. Приводи промислових роботів

Для повідомлення руху виконавчим механізмам промислового робота застосовують приводи електромеханічного, пневматичного й гідравлічного типів. Привод маніпулятора являє собою сукупність двигуна, підсилювально-передатного механізму й засобів автоматики. Вид привода визначається типом двигуна, обраного залежно від призначення промислового робота (ПР). Так, пневматичний привод найбільш ефективний у випадках, коли потрібна висока швидкість при малій вантажопідйомності маніпулятора ПР і невисокої точності позиціонування, гідравлічний – при більшій вантажопідйомності, плавності ходу й високої точності позиціонування маніпулятора, електромеханічний – при середній вантажопідйомності й вільному програмуванні ПР. Приводи розрізняють також по способу керування (розімкнуті – з позиціонуванням по упорах і із цифровим керуванням), по способу регулювання підведеної й відведеної енергії (активні й пасивні). В активному приводі згідно із заданою програмою регулюють тиск у пневматичній або гідравлічній системі; в електроприводі регулюють частоту, напругу або силу струму електродвигуна, а в пасивному приводі – сили тертя гальмових пристроїв. Крім двигуна й підсилювально-передатних механізмів, види яких, привод може включати підсилювачі потужності, датчики зворотного зв'язку по швидкості й положенню, а також інші елементи автоматики, склад яких визначається типом силового двигуна й системи керування.

3.1. Вибір типу привода

Для здійснення рушійних функцій маніпуляторів промислових роботів застосовують пневматичний, гідравлічний та електромеханічний приводи. *Електроприводи* завдяки гнучкості програмування та високої точності позиціонування мають найбільше застосування в умовах гнучких виробничих систем. Вказані властивості є перевагами електроприводу. До недоліків слід віднести необхідність наявності підсилювально-передавальної ланки (тобто, редуктора), що збільшує вартість цього приводу відносно пневматичного та гідравлічного приводів. *Пневматичні приводи* через низькі характеристики жорсткості і обмеженої гнучкості програмування застосовують для маніпуляторів з жорстким циклом роботи та невисокої точності позиціонування. Переваги: 1) висока швидкість; 2) відносна простота конструкції, а значить низька вартість. Недоліки: 1) низька точність позиціонування

(потребує наявності в приводі жорстких упорів та демпферних пристроїв для зменшення швидкості при підході до упора в точці позиціонування; 2) циклічне жорстке програмування, за виключенням крокових з низькою точністю позиціонування. *Гідроприводи* в порівнянні з електроприводами забезпечують більш високі параметри роботів, а саме: більшу питому потужність та точність позиціонування, що є безумовною перевагою. Однак їх експлуатаційні витрати вищі через необхідність забезпечення високої чистоти мастила і відсутності витоків. Тому при однаково високій гнучкості програмування останнім часом частіше застосовуються електроприводи. При виборі типу привода варто розглядати комплекс технічних і експлуатаційних вимог, у тому числі можливість комплектування та експлуатації того чи іншого типу привода.

3.2. Розрахунок параметрів електродвигуна маніпулятора ПР

Вибір електродвигуна для різних механізмів роботів доцільно виконувати в послідовності, так би мовити, зворотного напрямку, тобто аналізуючи кінематичну схему маніпулятора від кінцевої до початкової ланки (рис. 3.1).

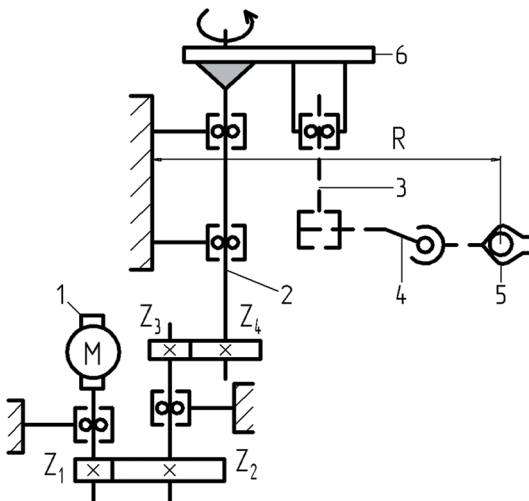


Рис. 3.1. Схема електропривода поворотної колони маніпулятора ПР мод. РМ-01:

- 1 – електродвигун; 2 – поворотна колона; 3 – рука маніпулятора;
4 – кисть; 5 – захват; 6 – плече; приводи руки й кисті не показані)

Методика розрахунку параметрів в першому наближенні (тобто без урахування всіх динамічних параметрів) наступна:

1. Визначити початкові параметри:

а) навантаження, тобто сумарний момент тертя $M_{тр}$ (Нм) та масу m (кг) вузлів кожної чергової (що слідує після приводу) ланки маніпулятора ПР, включаючи масу об'єкту маніпулювання;

б) коефіцієнт корисної дії (ККД) η , що є добутком ККД усіх механізмів маніпулятора, які обслуговуються даним приводом;

в) експлуатаційна лінійна V (м/хв.) або кутова ω (рад/с) швидкості кінцевої ланки маніпулятора;

г) передаточне відношення i механізмів ланки, яка обслуговується даним двигуном, що, в свою чергу, є добутком передаточних відношень кожного механізму, що входить до цієї ланки.

Ці параметри визначаються залежно від конструктивної схеми маніпулятора (див. рис. 3.1), що в свою чергу задає приблизну масу та відстані до центру мас ланок маніпулятора, також його корисного навантаження, тобто максимальної маси об'єкту виробництва, котрий буде обслуговуватись маніпулятором.

2. Визначити крутний момент електродвигуна

Крутний момент електродвигуна M двигуна є сума двох складових моментів: M_{st} (Нм) та динамічного M_d :

$$M = M_{st} + M_d \quad (3.1)$$

де: для механізмів обертання з горизонтальною віссю:

$$M_{st} = \frac{mgL - Ql + M_t}{i\eta}, \text{ (Nm)} \quad (3.2)$$

статичний момент для механізмів обертання з вертикальною віссю:

$$M_{st} = \frac{M_t}{i\eta}, \text{ (Nm)} \quad (3.3)$$

де: m – маса переміщу вальних вузлів (ланок маніпулятора плюс об'єкту маніпулювання), кг; g – прискорення вільного падіння, 9,8 м/с²; L – відстань від осі обертання до центру мас переміщу вальних вузлів; Q – зусилля зрівноважування маси, Н; l – плече дії зусилля відносно осі обертання механізму, м; M_t – сумарний момент тертя (Нм) в механізмах приводу з урахуванням загального навантаження на ланку, що обслуговується цим двигуном; i – передаточне відношення механізмів приводу; динамічний момент:

$$M_d = \frac{m\varepsilon L^2}{i}, \text{ (Nm)} \quad (3.4)$$

де: ε — прискорення валу двигуна, м/с².

3. Визначити необхідне число обертів валу електродвигуна:

Для чого, задаючи експлуатаційну лінійну швидкість V (м/хв.) руху кожної чергової ланки маніпулятора, визначити необхідне число обертів n веденого (кінцевого) валу приводу цієї ланки:

$$n = \frac{V}{2\pi R} \text{ (об/хв.)}, \quad (3.5)$$

де: R — радіус оберткової ланки маніпулятора (м), або радіус веденого зубчатого колеса приводу у разі перетворення оберткового руху на поступовий рух. Тоді знайти необхідне число обертів n_Σ (об/хв.) валу електродвигуна, як:

$$n_\Sigma = n \times i \quad (3.6)$$

де: i — передаточне відношення механізмів приводу ланки, яку обслуговує цей двигун.

4. Визначити необхідну потужність електродвигуна :

$$N_d = \frac{M_d n_\Sigma}{960} \text{ (кВт)} \quad (3.7)$$

5. Вибрати електродвигун по відповідному каталогу. При цьому момент двигуна по каталогу повинен задовольняти нерівності:

$$M_k \geq \frac{M_d}{K} \quad (3.8)$$

де K — коефіцієнт перевантаження приводу, зазвичай $K = 1,5 \dots 2,5$.

6. Після завершення робочого проекту вузлів і механізмів маніпулятора провести перевірочний розрахунок правильності вибору двигуна за еквівалентним моментом і часом розгону до номінальної швидкості, тобто розрахунок на основі уточнених параметрів, вказаних в п. 1 викладеної вище методики.

3.3. Визначення параметрів пневматичного приводу

На рис. 3.1 наведена розрахункова схема поршевого пневматичного приводу: з одним (а) та двома (б) штоками.

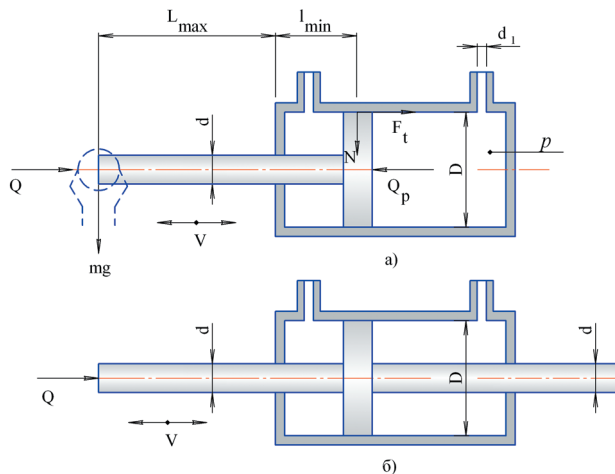


Рис. 3.2. Розрахункова схема поршевого пневматичного приводу

Методика розрахунку поршевого пневматичного приводу наступна:

1. Враховуючи схему навантаження пневматичного приводу визначають силу сумарного навантаження на штоку пневматичного циліндра:

$$F = F_x + F_t \quad (3.9)$$

де: F_x – сила корисного навантаження, Н; F_t – сила тертя в циліндрі, Н. Силу тертя можна визначити також як (див.рис 3.2.):

$$F_t = Nk \quad (3.10)$$

k – коефіцієнт тертя між поршнем та циліндром; N – нормальна реакція в точці дотику поршня і циліндра (Н), яка знаходиться з рівняння моментів сил у разі максимального навантаження штока циліндра:

$$mgL_{max} = Nl_{min} \quad (3.11)$$

де: m – маса корисного навантаження з урахуванням маси консольної частини штоку, що виходить з циліндру; g – прискорення вільного падіння; L_{max} – довжина консолі штоку пневмоприводу, м; l_{min} – довжина частини штоку, що знаходиться в пневматичному циліндрі.

З урахуванням виразів 3.10 та 3.11 сила тертя складе:

$$F_t = \frac{mgL_{\max}}{l_{\min}} k \quad (3.12)$$

Сила, що передається штоком поршневих пневматичних приводів, залежить від їх типу (див. рис. 3.2). Так для пневмориводу двохсторонньої дії з одним штоком вказана сила складе: у напрямку штовхання, тобто сила на поршні:

$$Q_p = \frac{\pi D^2}{4} pK \quad (3.13)$$

а у зворотному напрямку, тобто при втягуванні поршня (сила на штоку) пневматичного приводу:

$$Q = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) pK \quad (3.14)$$

де: D, d — діаметри поршня та штока пневмоприводу, відповідно, в м; p — тиск в циліндрі, Па; — коефіцієнт корисної дії пневмоциліндра, $K = 0,85 \dots 0,90$. Для стабільної роботи пневмоприводу необхідно, щоб виконувалась умова:

$$Q = Fn \quad (3.15)$$

де: n — коефіцієнт запасу ($n = 1, 2 \dots 1, 4$), що враховує подолання сили тертя покою. Далі розраховують час спрацювання $t(c)$ пневмоприводу:

$$t = \frac{D^2 L_x}{d_1 v} \quad (3.16)$$

де: L_x — величина ходу поршня пневматичного циліндра, в м; d_1 — внутрішній діаметр повітряного проводу, що підводить стисле повітря до циліндра, в м; v — швидкість стислого повітря (зазвичай для заводських мереж $v = 15 \dots 20$ м/с).

Загальна площа перерізів (m^3) каналів проводу визначається за формулою:

$$S = \frac{V}{vt} \quad (3.17)$$

де: V — об'єм порожнини пневматичного циліндру, що забезпечує робочий хід його штока, m^3 .

Діаметр каналу для подачі стислого повітря пневматичного циліндра складає:

$$d_1 = D \sqrt{\frac{L_x}{vt}} \quad (3.18)$$

Визначення параметрів цієї формули дивись вище.

3.4. Визначення параметрів гідроприводу

Аналогічно розрахунку параметрів пневматичного приводу визначають силу сумарного навантаження на штоку гідравлічного приводу. Для забезпечення стабільної роботи поршневого гідроприводу необхідно виконання умови:

$$Q_{sh} = KF \quad (3.19)$$

де: K — коефіцієнт запасу ($K = 1, 2, \dots, 1, 3$), що враховує подолання сили тертя покою; Q_{sh} сила на штоку гідроциліндра складає:

$$Q_{sh} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) p \eta \quad (3.20)$$

де: D, d — відповідно діаметри поршня та штоку гідроциліндра, м; p — тиск в циліндрі, Па; коефіцієнт корисної дії гідроциліндра $\eta = 0,85 \dots 0,90$; а максимальна сила на поршні гідроциліндра буде дорівнювати:

$$Q_p = \frac{\pi D^2}{4} p \eta \quad (3.21)$$

Швидкість переміщення штока v_p (м/хв.) при подачі машинного масла в поршкову порожнечу циліндра складає:

$$v_p = \frac{4G}{10^3 \pi D^2} \quad (3.22)$$

де: G — кількість масла, що подається в циліндр, л/хв; швидкість штока циліндра при подачі масла в штокову порожнечу циліндра, відповідно, визначається як:

$$v_{sh} = \frac{4G}{10^3 \pi (D^2 - d^2)} \quad (3.23)$$

Час спрацювання t (с) гідроциліндра визначається за формулою:

$$t = \frac{10^3 \pi D^2 L}{4G_n} \quad (3.24)$$

де: G_n — необхідна продуктивність гідронасосу, л/хв.

Наведені залежності дозволяють визначити параметри гідроприводу в першому наближенні для вибору стандартного гідравлічного циліндру з відповідних каталогів.

3.5. Пневматично-гідравлічний привод

Пневматично-гідравлічний привод (рис. 3.3) зазвичай використовують у якості підсилювача технологічного зусилля, наприклад, при виконанні таких технологічних операцій, як складання пресових з'єднань, клепка, вальцівка, установка дюбелів і т.п. Перевага цього приводу полягає у великому передаточному відношенні зусиль на вході та виході приводу. Передаточне відношення пневматично-гідравлічного приводу може досягати значень декілька десятків.

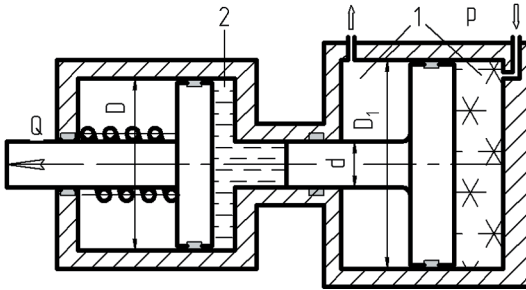


Рис. 3.3. Схема пневматично-гідравлічного приводу: пневматична 1 та гідравлічна 2 порожнини циліндрів

Методика розрахунку параметрів пневматично-гідравлічного приводу полягає в наступному:

1. Коефіцієнт підсилення (як правило $k = 20 \dots 40$) складає:

$$k = \left(\frac{D}{d} \right)^2 \quad (3.25)$$

де: D — діаметр гідроциліндра, см; d — діаметр штока пневматичного циліндра, см.

2. Сила на штоку гідроциліндра (без обліку сили пружини), кгс:

$$Q = \frac{\pi D_1^2}{4} p_1 \left(\frac{D}{d} \right)^2 K_1 K_2 K_3 \quad (3.26)$$

де: D_1 – діаметр пневматичного циліндра, см; p_1 – тиск стисненого повітря, кг/см²; K_1 – об'ємний коефіцієнт корисної дії (ККД) привода ($K_1 = 0,95$); K_2 – механічний ККД перетворювача ($K_2 = 0,95$); K_3 – механічний ККД гідроциліндра ($K_3 = 0,95$);

3. Тиск p_2 рідини в гідроциліндрі, кг/см²

$$p_2 = p_1 \left(\frac{D}{d} \right)^2 \quad (3.27)$$

4. Хід штока пневматичного циліндра, см:

$$L = l \left(\frac{D}{d} \right)^2 \frac{n}{K_1} \quad (3.28)$$

де: l – хід штока гідроциліндра, см; n – кількість гідроциліндрів.

5. Витрата повітря в пневматичному циліндрі на один цикл руху, см³

$$G = \frac{\pi D_1^2}{4} L \quad (3.29)$$

Таким чином, пневматично-гідролічний привід є різновидом комбінованого приводу, в якому за рахунок витиснення рідини штоком пневматичного циліндра в гідролічну порожнину циліндра здійснюється збільшення в десятки разів зусилля на штоку гідролічного циліндра, тобто технологічного зусилля.

Контрольні запитання

1. Назвіть основні переваги та недоліки електричного, пневматичного та гідролічного приводів.
2. Наведіть методику та аналітичні залежності розрахунку параметрів електроприводу промислового робота (ПР).
3. Наведіть методику та аналітичні залежності розрахунку параметрів пневматичного приводу ПР.
4. Наведіть методику та аналітичні залежності розрахунку параметрів гідролічного приводу ПР.

Розділ 4. Типові механізми маніпуляторів промислових роботів

Типові механізми – це різноманітні пристрої, що утворюють кінематичний ланцюг маніпулятора промислового робота. Призначення типових механізмів полягає в передачі руху від двигуна до кінцевої ланки кожного рухливого органу маніпулятора. Як правило, вказана передача руху відбувається зі зміною чисельних характеристик руху та його виду, наприклад, перетворення обертального руху в поступальний і навпаки, а інколи й без вказаних змін. Залежно від виду типових механізмів, останні можуть виконувати різні функції, а саме: передавальні, перетворюючі, підсилюючі, з'єднувальні та технологічні. Формування кінематичного ланцюга залежить від системи координат, в якій працює промисловий робот: сферичної, ангулярної (без поступальних кінематичних пар), прямокутній Декартові чи циліндричній системи координат. Більшість сучасних промислових роботів працюють в ангулярній системі координат, що притаманна й людині.

4.1. Класифікація типових механізмів

До типових механізмів маніпуляційної системи (МС) належать тягові (передавальні), перетворюючі, демпферні (гальмівні), з'єднувальні, напрямні, зрівноважу вальні, захватні пристрої, що утворюють технологічну систему промислового робота (ПР). Нижче наведено класифікацію типових механізмів маніпуляційної системи ПР.

Тягові (передавальні) пристрої здійснюють передавання на відстань сформованого задавальним органом руху з передаточним відношенням $K \approx 1$. До таких пристроїв належать : тяги; важільні гнучкі передавальні механізми (тросові, стрічкові, кулькові, ланцюгові); шківни.

Перетворюючі пристрої призначені для перетворення одного виду руху в інший – поступального в обертальний і навпаки (наприклад, зубчато–рейкові, кулькові, гвинтові) або для зміни передаточного відношення руху (як правило $K > 1$) без зміни його виду (наприклад, зубчаті, черв'ячні, хвильові передачі).

Демпферні пристрої забезпечують зміну характеристики руху, наприклад, швидкості при підході рухомої ланки (робочого органу ПР) до точки позиціонування. За виконанням вони можуть бути механічними (пружними), електромагнітними, пневматичними, гідравлічними та комбінованими.

З'єднувальні пристрої забезпечують підключення джерела руху до

переміщуваних елементів (як правило, з'єднувальні муфти різного виконання, байонетні механізми тощо). Для стаціонарного закріплення елементів МС використовуються фланці, рознімні з'єднувачі.

Напрявні пристрої та опори кочення призначені для забезпечення рівномірності руху і точності встановлювальних переміщень елементів МС. Як напрямні для ПР найчастіше застосовуються циліндричні, призматичні та плоскі кулькові напрямні з поворотом тіл кочення, а також із сепаруванням роликів тіл обертання. Як опори для обертального руху виконавчих пристроїв використовуються радіальні, радіально–упорні та упорно–радіальні кулькові й роликів підшипники спеціального виконання.

Зрівноважувальні пристрої забезпечують рівномірне навантаження елементів МС при змінах режимів роботи ПР або розвантажують МС з метою підвищення точності відпрацювання програмних переміщень й чутливості до них. Зрівноважування окремих вузлів МС може здійснюватись пружинами чи симетричним навантаженням, розташуванням рушійних систем з приводами на основі, а також використанням додаткових приводних систем, які зрівноважують вузол МС, що рухається.

Захватні пристрої разом з модулями локальних рухів (поворот, коливання кисти, технологічні переміщення захвату та інструменту) утворюють технологічну систему ПР. ЗП можуть виконувати функції захвата, утримування, орієнтування, а в ряді випадків, при оснащенні відповідними сенсорними засобами, і контролю параметрів чи положення об'єктів виробництва.

4.2. Тягові (передавальні) пристрої

Кулькові передавальні механізми (КПМ) належать до тягових типових механізмів МС і є особливо ефективними при створюванні розвантажених конструкцій МС, коли джерела руху (приводні механізми) віддалено від ланки, що рухається. До найбільш поширених належать КПМ із системою послідовно розташованих кульок у сталій або латунній каліброваній трубці.

До переваг КПМ слід віднести простоту конструкції, незначну інерційність та здатність передавати значні переміщення та зусилля з високою точністю, можливість розподілу руху, що передається, і створення компактних компоновок МС завдяки практично незалежному розташуванню розподільного та виконавчого механізмів, а також можливість уніфікації та стандартизації таких механізмів і їхніх елементів.

4.3. Перетворюючі пристрої

У загальному балансі втрат на тертя у приводах ланок МС найбільшу роль відіграють напрямні, а потім – остання ланка в кінематичному ланцюгу, зокрема в механізмі, який перетворює один вид руху на інший. Одною з важливих вимог до приводів ланок МС є забезпечення рівномірності руху ланок і точності їх установочних переміщень. Основні напрями розв'язання задачі вибору перетворюючого механізму: зниження тертя в елементах привода; зменшення залежності коефіцієнта тертя від швидкості; усунення зазорів у кінематичному ланцюгу; підвищення жорсткості привода.

Передачі *гвинт – гайка кочення* (рис. 4.1), є одним з найбільш поширеним механізмом у МС роботів. Ця передача належить до перетворюючих типових механізмів МС і забезпечує, як правило, перетворення обертального руху гвинта 3 з кутовою швидкістю ω у поступальний рух корпусу 1 і гайки 2 з лінійною швидкістю V . Завдяки попередньому натягу в даній передачі, у ній відсутні зазори, що й забезпечує високу точність переміщення при перетворенні обертального руху в поступальний рух і навпаки.

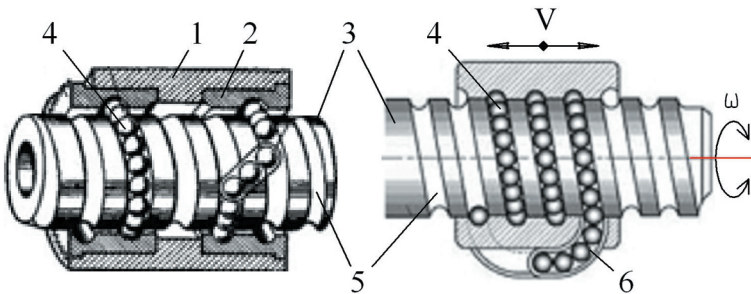


Рис. 4.1. Передача гвинт – гайка кочення:

- 1 – корпус, 2 – розрізна гайка; 3 – гвинт; 4 – кульки;
5 – канавки для кульок; 6 – канал переходу кульок

Черв'ячна передача (рис. 4.2) є також найбільш поширеним перетворюючим механізмом, який використовується в МС роботів і забезпечує перетворення характеристики руху. Така передача являє собою різновид зубчастої передачі з високим передаточним відношенням (від 8...10 до 60...90) і складається з черв'яка та колеса, встановлених в опорах. Черв'ячній передачі властива відносно не висока швидкість переміщення, але завдяки великому передаточному відношенню, вона застосовується в механізмах, що потребують значного навантаження.

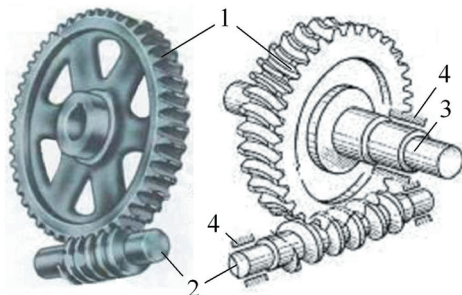


Рис. 4.2. Черв'ячна передача:
1 – черв'ячне колесо; 2 – черв'як;
3 – вал колеса; 4 – підшипникові опори

Хвильова зубчата передача. Найпростіша хвильова зубчата передача складається з наступних основних елементів (рис. 4.3): жорстке нерухоме колесо 1, ведучий 2 та відомий вали 3, гнучке зубчате колесо 4, механічний генератор хвиль 5 – являє собою механічну вісь з двома роликами, яка обертається в підшипниках корпуса; гнучке колесо 4 – тонкостінна циліндрична оболонка, на якій нарізаний зубчастий вінець із певним числом зубів, а другим торцем за допомогою тонкого дна з'єднана з валом 3; жорстке колесо 1, що не обертається має усередині нарізаний зубчастий вінець із певним числом зубів.

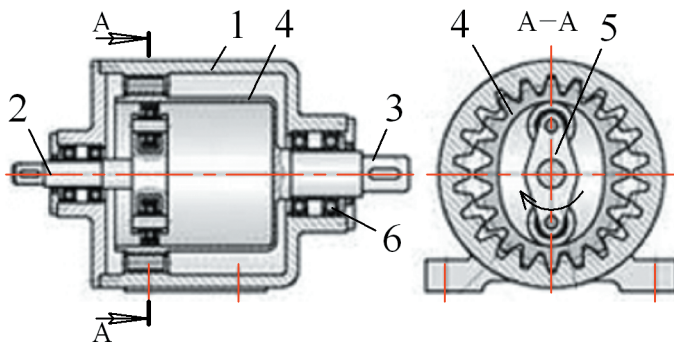


Рис. 4.3. Хвильова зубчата передача:
1 – жорстке нерухоме колесо; 2 – ведучий вал; 3 – відомий вал;
4 – гнучке зубчате колесо; 5 – генератор хвиль;
6 – підшипникові опори

Передача проектується таким чином, щоб найбільший діаметральний розмір по роликах генератора хвиль 5 був більшим за діаметр

внутрішньої поверхні гнучкого колеса 4. Генератор хвиль, встановлений усередину гнучкого колеса, деформує його, і в такому вигляді гнучке колесо з генератором хвиль вмонтовується усередину жорсткого колеса. Відносно недеформованої контури на гнучкому колесі з'являються дві хвилі деформації. У вершин деформації утворюються дві симетричні зони зачеплення зубів гнучкого і жорсткого колес. При повороті генератора хвиль на певний кут велика вісь деформації також повертається на відповідний кут, і обидві зони зачеплення симетрично переміщуються по периметрах колес. Ця передача винайдена в 1959 році американським інженером У. Массером. Хвильова передача примітна ще й тим, що в ній в одночасному зачепленні можуть перебувати кілька зубців, що забезпечує високу жорсткість і малі люфти, тобто малі зазори в з'єднанні зубчастих коліс. Остання якість сприяє підвищенню точності обертового руху.

4.4. Демпферні пристрої

Зменшення швидкості руху виконавчих пристроїв у МС роботів забезпечується демпферними (гальмівними) механізмами. При розв'язуванні задач точного позиціонування у момент підходу робочого органа до точки позиціонування має гаситися надмірна швидкість, що найчастіше досягається використанням *гідралічних демпферів*, що перетворюють енергію удару виконавчого органа робота при позиціонуванні в енергію рідинного тертя. Тобто демпфери виконують функцію амортизаторів, тим самим сприяють не тільки підвищенню точності позиціонування виконавчих механізмів робота, а й подовженню ресурсу їх експлуатації.

Пневматичні демпфери застосовуються завдяки великій податливості повітря і, як наслідок, зменшують швидкість виконавчого органа маніпулятора, який позиціонується. Пневматичні демпфери як самостійні пристрої застосовуються рідко, так що галузь їх використання обмежується незначними робочими швидкостями переміщення виконавчих пристроїв ПР. Тому найбільш поширена схема пневматичного гальмування ґрунтується на дроселюванні в кінці ходу додаткового пристрою, в якому здійснюється випускання повітря в спеціальну магістраль; при цьому утворюється «повітряна подушка», що зумовлює інтенсивне гальмування основного робочого поршня. Такий пневматичний демпфер має вигляд елемента з в'язким тертям і пружною силою. Добрі перспективи використання в промисловій робототехніці для здійснення демпфірування виконавчих органів ПР при відпрацюванні заданих дискретних положень мають порошкові електромагнітні гальма.

4.5. Напрявні пристрої та опори кочення

Радикальним засобом підвищення точності ПР є удосконалення напрямних їхньої маніпуляційної системи. Напрявними МС називають вузли, деталі чи їхні поверхні, що забезпечують переміщення елементів МС у потрібному напрямі. До напрямних МС ставляться жорсткі вимоги високої стійкості при переміщенні та малої сили тертя. Останнє дає змогу знижувати потужність привода відповідного ступеня рухомості, а разом з тим забезпечувати малогабаритні характеристики несучих конструкцій МС. Крім того, зі зменшенням сили тертя зменшується непогодження у слідкуючих системах, забезпечуються легкість та повільність рухів, а разом з тим підвищується точність переміщення виконавчих органів.

Напрявні технологічних та універсальних ПР повинні мати коефіцієнт тертя, незалежний від швидкості чи такий, що зменшується при зменшенні швидкості, а це необхідно для забезпечення рівномірного руху на малих швидкостях при виконанні технологічних операцій (наприклад, при дуговому зварюванні). Зазори у напрямних мають бути мінімальними або зовсім відсутніми. Одночасно напрямні повинні мати велику жорсткість, високу демпфіруючу здатність, просту конструкцію і бути технологічними у виготовленні та складанні.

Класифікація й аналіз конструкції напрямних. Розрізняють напрямні для поступального руху та напрямні для обертального руху навколо деякої осі чи точки. В обох випадках, виходячи з умов взаємодії рухомих елементів, усі напрямні класифікуються так:

- напрямні змішаного тертя без гідравлічного розвантаження з підведенням змазування під малим тиском, необхідним тільки для доставки масла до змащувальних поверхонь;
- напрямні змішаного тертя з гідравлічним розвантаженням і підведенням змазування під підвищеним тиском, достатнім для сприйняття значної частини робочого навантаження;
- гідродинамічні напрямні рідинного тертя зі створенням гідродинамічної піднімальної сили при великих швидкостях руху;
- гідродинамічні напрямні рідинного тертя з гідравлічним розвантаженням у періоди пуску третьових ланок МС і руху на малих швидкостях;
- гідростатичні напрямні рідинного тертя, в яких наявність масляного шару забезпечується подаванням масла крізь дроселі та регулятори під тиском;
- напрямні кочення з роликами, голками та кульками як тілами кочення.

Маніпуляційні системи ПР, призначених для виконання допоміжних операцій перевантаження, переустановлення та інших, мають звичайні напрямні змішаного тертя, що прості за конструкцією та виготовленням, мають високу контактну жорсткість та демпфіруючу здатність й відносно дешеві. Однак такі напрямні мають й істотні недоліки – малу стійкість при переміщенні, великі сили тертя, зазори, залежність коефіцієнта тертя від швидкості переміщення. Всі вони обмежують точність установочних переміщень. Для зменшення тертя й підвищення стійкості при переміщенні у напрямних змішаного тертя вживають заходів, які сприяють розвитку гідродинамічного тиску, а також використанню відповідних масел. Однак і в цих випадках сили тертя лишаються значними.

Зменшення сили тертя у напрямних змішаного тертя досягається гідравлічним розвантаженням, завдяки чому частина навантаження сприймається тиском масла у камерах, які утворюються повздовжніми мастильними каналами. Такі напрямні складніші від звичайних змішаного тертя через підвищені вимоги до геометричної точності, якості шабрування, фільтрації масел, а також через необхідність забезпечення циркуляційної системи змазування. Ці напрямні можна використовувати тільки при відсутності значних перекидних моментів і приблизно рівномірному розподілу навантаження між напрямними за їхньою довжиною чи периметром, тобто у зрівноважених конструкціях МС.

До найбільш досконалих можна віднести напрямні гідростатичні та кочення, що пояснюється наступними їхніми перевагами. Гідростатичні напрямні характеризуються відокремленням робочих поверхонь (при будь-якій швидкості, у тому числі й нульовій) масляним шаром, дуже малою силою тертя. Має місце рідинне тертя у несучому масляному шарі, зменшення сили тертя при зменшенні швидкості руху (що підвищує сталість руху на низьких швидкостях і точність позиціонування), відсутність зазорів при з'єднанні напрямних внаслідок заповнення з'єднувальних зазорів масляним шаром, висока жорсткість та демпфіруюча здатність. Галуззю застосування таких напрямних у робототехніці є ПР з високою вантажопідйомністю, більш як 100 кг.

До недоліків гідростатичних напрямних слід віднести необхідність створення досить жорстких корпусних деталей для забезпечення незмінності товщини масляного шару по всій довжині та ширині напрямних, наявність насосної установки для підведення до напрямних масла під тиском, ускладнення конструкції самих напрямних через необхідність створення циркуляційної системи змазування й необхідність тонкої фільтрації масла.

Напрявні кочення. Найбільш велике поширення у МС роботів знаходять напрямні кочення, що мають малий коефіцієнт тертя (дорівнює 0,0025...0,001), практично незалежний від швидкості руху переміщуваних ланок, високу довговічність. Разом з тим, і у напрямних кочення є ряд недоліків, а саме: високі витрати на виготовлення (через вимоги високої точності); можливість роботи тільки в умовах доброго захисту; дуже важко створити конструкції, які сприймали б значні перекидні моменти і не мали б зазорів (напрявні з попереднім натягом), що потребує виготовлення їх з виключно високою точністю та твердістю не нижче від HRC 60. У зв'язку з широким використанням у промисловій робототехніці напрямних кочення зупинимось більш докладно на аналізі їхніх конструкцій.

Напрявні кочення можуть бути замкненими і незамкненими. У незамкнених напрямних роз'єднанню основних поверхонь, що спрягаються, перешкоджає або сила тяжіння вузла, який переміщується, або, крім того, додатково створювана сила (наприклад, за допомогою пружин). При дії на вузол значних перекидних моментів ці сили є недостатніми, щоб перешкодити роз'єднанню напрямних. У цьому випадку застосовують більш складні замкнені напрямні, в яких роз'єднанню основних поверхонь, що спрягаються, перешкоджають різноманітні жорсткі конструктивні елементи – планки або ж форма самих напрямних, що охоплюють планку. Останній тип напрямних є найбільш поширеним.

Контрольні запитання

1. Надайте класифікацію типових механізмів маніпуляторів промислових роботів
2. Надайте визначення тягових (передавальних) пристроїв, наведіть приклади
3. Надайте визначення перетворюючих пристроїв, наведіть приклади
4. Надайте призначення та визначення демпферних пристроїв
5. Надайте призначення та визначення напрямних пристроїв



Розділ 5. Технологічне оснащення промислових роботів

Етапи проектування будь-якого функціонального пристрою, у тому числі й засобів технологічного оснащення промислових роботів, передбачають виконання наступних процедур: 1) побудова розрахункової схеми; 2) розрахунки конструктивно-технологічних параметрів пристрою; 3) вибір типового пристрою (якщо такий існує) або розробка нової його конструкції. Як правило, відносно засобів технологічного оснащення має місце останнє. Це пояснюється тим, що завод-виготовлювач промислового робота не може однозначно визначити номенклатуру виробів, які будуть обслуговуватися даною моделлю робота. А саме вид і значення параметрів об'єктів, що обслуговуються маніпулятором. Тобто від параметрів заготовок, деталей, напівфабрикатів залежать конструктивно-технологічні характеристики засобів технологічного оснащення роботів [1].

5.1. Проектування механічних захватних пристроїв

Методика розрахунків конструктивних параметрів механічних захватів полягає в наступному:

1. Вибравши по табл. 5.1 розрахункову схему, визначають мінімальне зусилля затискача, необхідне для втримання заготовки або деталі в захваті. При виборі розрахункової схеми виходять із найбільш несприятливого положення захвата, тобто положення, при якому під дією всіх прикладених сил (інерційних, дотичних і сили тяжіння) можливий зрив деталі із затискних губок захвату. Утримуючими силами є сили тертя, які залежать від величини нормального тиску й коефіцієнта тертя матеріалу деталі й затискних губок захвату. Значення прикладених до деталі сил знайдені з рівнянь статичної рівноваги, складених у проекціях сил на осі обраної системи координат.

2. Розраховують зусилля привода захвата з урахуванням мінімального зусилля затискача й коефіцієнта його запасу (що враховує інерційне навантаження) стосовно до обраної по табл. 5.2 і 5.3 кінематичній схемі підсилювально-передатного механізму захвата. При виборі типу передавального механізму потрібно враховувати припустимі розміри й вантажопідйомність маніпулятора конкретної моделі промислового робота, необхідність пласко паралельного або обертового руху губок захвата, а також тип привода й конструкцію кисті маніпулятора. Крім того, вибір передавального механізму залежить від форми й діапазону типорозмірів виробів, які обслуговуються ро-

ботом. Так, для захвата плоских і циліндричних деталей при широкому діапазоні типорозмірів їх базових поверхонь, тобто в широкодіапазонних захватах, що центрують, необхідно використовувати механізми із пласко паралельним переміщенням затискних губок (шарнірні паралелограми, важільно-гвинтові й т.п.). У вузьких діапазонах розкриття захватів можна застосовувати передавальні механізми з обортовим рухом затискних губок (важільні, клинові важільні, зубчасто-рейкові й т.п.).

3. Щоб уникнути ушкодження базових поверхонь деталей, виконують перевіірочний розрахунок по контактних напругах (табл. 5.4). Якщо значення контактної напруги в місцях доторкання губок захвата з деталлю перевищує припустиме значення для конкретного матеріалу деталі, то зменшити діючу напругу можна, побільшавши ширину губок захвата.

4. На заключному етапі розрахунків вибирають або розраховують параметри двигуна для привода захвата. Якщо використовується електромеханічний привод, то за значенням необхідного зусилля привода обчислюють потужність електродвигуна, попередньо визначивши крутний момент на валу електродвигуна. Потім останній вибирають по каталогу з урахуванням необхідної потужності. У випадку застосування пневматичного або гідравлічного циліндрів їх вибирають за найбільшими значенням зусиль привода й ходу провідної ланки передавального механізму також з відповідних каталогів. При відомому зусиллі привода й тиску пневматичної або гідравлічної магістралі можна визначити значення діаметрів пневматичного або гідравлічного циліндрів відповідно.

4.1. Потужність електродвигуна N (кВт) привода захвата розраховують по формулі

$$N = \frac{Mn}{960}, \quad (5.1)$$

де: M – крутний момент, кгм; n – частота обертів у хвилину на валу двигуна, об/хв.

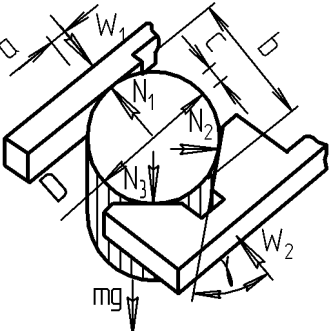
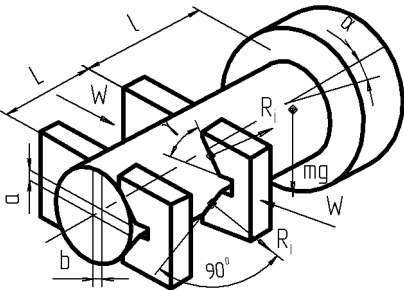
Вибираючи по каталогу електродвигун захвата, перевагу слід віддавати найближчому більшому значенню потужності. Однак, слід пам'ятати, що вага захвата обмежує вантажопідйомність маніпулятора. Тому доцільно іноді переглянути значення передатного відношення механізму й змінити його убік збільшення або зменшення, залежно від характеристик двигуна [2].

Розрахунки зусиль затискання, контакту й погіршності базування деталей у затискових елементах захвата

Таблиця 5.1

Схема затискання деталі губками захвата	Розрахункові формули зусиль затискання, нормальних реакцій і погіршності базування
	$R_i = \frac{mg}{2(\cos \gamma + \mu \sin \gamma)};$ $N_i = R_i \frac{\sin \gamma + \mu \cos \gamma}{2(\cos \gamma + \mu \sin \gamma)};$ $W_i = 2N_i(\sin \gamma + \mu \cos \gamma);$ $i = 1, 2 \dots n$ $\varepsilon_a = 0; \varepsilon_b = 0; \varepsilon_c = 0$
	$R_i = \frac{mg}{2(\cos \gamma + \mu \cos \gamma) + \mu};$ $N_1 = \frac{R}{\mu}(\cos \gamma + \mu \sin \gamma);$ $N_{2,3} = \frac{2\eta + (1 + \eta^2) \sin 2\gamma}{4\mu(\sin \gamma + \mu \cos \gamma)^2};$ $W_{1,2} = N_1 - 2N_2(\sin \gamma + \mu \cos \gamma) + R(\sin \gamma - \mu \cos \gamma);$ $\varepsilon_a = 0; \varepsilon_b = 0,5\delta_D; \varepsilon_c = \frac{0,5\delta_D}{\sin \gamma}$
	$N_i = \frac{mg}{2\mu}; W_i = N_i; i = 1, 2;$ $\varepsilon_a = 0,5\delta_D; \varepsilon_b = 0; \varepsilon_c = \delta_C$

Продовження табл. 5.1

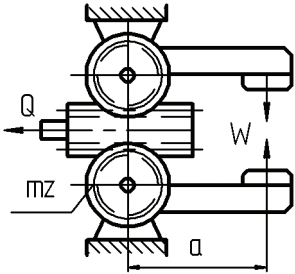
Схема затискання деталі губками захвата	Розрахункові формули зусиль затискання, нормальних реакцій і погрішності базування
	$N_1 = mg [\mu (1 + \cos \epsilon c \lambda)];$ $N_{2,3} = \frac{mg}{2\mu (1 + \sin \lambda)};$ $W_{1,2} = \frac{mg(1 - \sin \gamma)}{\mu (1 + \sin \gamma)}; \quad \epsilon_c = \frac{0,5\delta_D}{\sin \gamma};$ $\epsilon_b = 0,5\delta_D \left(\frac{1}{\sin \gamma} - 1 \right); \quad \epsilon_a = 0;$
	$R_i = \frac{mg}{\cos \gamma}; \quad i=1,2$ $W_i = \frac{mg \operatorname{tg} \lambda}{L} (L - 2l);$ $\epsilon_a^{\max} = L_a \operatorname{tg} \alpha; \quad \epsilon_b = 0;$ $\alpha = \operatorname{arctg} \frac{0,5\delta_D}{L}$
<p><i>Позначення:</i> N_i, R_i – зусилля нормальних реакцій від зусилля затискування і сили ваги заготовки, Н; m – маса заготовки, кг; g – прискорення вільного падіння, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$; 2γ – кут призми; μ – коефіцієнт тертя між губкою захвату та заготовкою; $\epsilon_{a,b,c}$ – погрішність базування в напрямку розмірів a, b, c; $\delta_{D,C}$ – допуски на розміри D і C; L_a – довжина заготовки (мм).</p>	

Кінематичні схеми підсилювально-передатних механізмів і формули зусилля приводів широкодіапазонних захватів

Таблиця 5.2

	Схема механізму	Формула зусилля приводу
Плоско паралельний рух губок		$M = \frac{W(a + b \cos \alpha)}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}} \times$ $\times \frac{R_v \operatorname{tg} \varphi}{\eta b \sin(\arcsin \alpha - \beta)} K$ $Q = \frac{4W(a + b \cos \alpha)}{mz\eta} K$
Кутловий рух губок		$Q = \frac{2Wac}{d(b + c)\eta} K$ $Q = \frac{2WaK}{b\eta}$

Продовження табл. 5.2

	Схема механізму	Формула зусилля приводу
Кутовий рух губок		$Q = \frac{4Wa}{mz\eta} K$
<p><i>Позначення:</i> <i>M</i> – момент на валу приводу, Нм; <i>Q</i> – тягове зусилля приводу, Н; <i>W</i> – зусилля затиску деталі, Н; <i>K</i> – коефіцієнт запасу, що враховує витрати на тертя та вплив сил інерції ($K = 1,5 \dots 2$); <i>m</i> – модуль зубчатого зчеплення; <i>z</i> – число зубів зубчатого колеса; η – коефіцієнт корисної дії механізму; φ – кут підйому різьблення гвинта. Значення змінних розмірів приймати згідно відповідному стану затиску деталі в захваті.</p>		

4.2. Діаметр D (мм) необхідного пневматичного або гідравлічного циліндрів визначається по формулі:

$$D = 10 \sqrt{\frac{4Q}{\pi p \eta}} \quad (5.2)$$

де: p – тиск у магістралі: для пневматичної можна прийняти $p = 4 \dots 6$ (кгс/см²), а для гідравлічної магістралі: $p = 16 \dots 20$ кгс/см². Перевагу гідравлічному приводу віддають при необхідному зусиллі понад 50 кгс; Q – зусилля приводу, кгс; η – коефіцієнт корисної дії відповідного механізму захвата.

З метою економії працезатрат на проектування технологічного оснащення маніпуляторів необхідно завчасно, ще на стадії ескізного проекту (не приступаючи до робочого проекту), шляхом варіювання типів підсилювально-передатних механізмів, їх передатного відношення й потужності приводу, досягатися як можна меншої ваги захвата маніпулятора.

Кінематичні схеми підсилювально-передатних механізмів і формули зусилля приводів с вузьким діапазоном розкриття захватів

Таблиця 5.3

	Схема механізму	Формула зусилля приводу
Пласко паралельний рух губок		$Q = 2 \frac{W(a + b \cos \alpha) + qc}{\eta d \cos \alpha} \times K \operatorname{tg} \beta$ $M = \frac{W(a + b \cos \alpha) + qc}{\eta d \cos \alpha} \times (R - r) K \operatorname{tg} \beta$
Кутовий рух губок		$Q = \frac{2(Wb + qc) \operatorname{tg} \beta}{a \eta} K$ $Q = \frac{3Wa}{\left[b + \left(\frac{a}{\operatorname{tg} \beta} \right) \right] \eta} K$

Продовження табл. 5.3

Схема механізму		Формула зусилля приводу
Кутовий рух губок		$Q = \frac{3Wb \operatorname{ctg} \alpha}{a\eta} K$
<p><i>Позначення:</i> <i>M</i> – момент на валу приводу, Нм; <i>Q</i> – тягове зусилля приводу, Н; <i>W</i> – зусилля затискання деталі, Н; <i>K</i> – коефіцієнт запасу, що враховує витрати на тертя і вплив сил інерції ($K = 1,5 \dots 2$); η – коефіцієнт корисної дії механізму; <i>q</i> – зусилля пружини стягнення важелів, Н; <i>R</i> і <i>r</i> – зовнішній і внутрішній радіуси кулачка (м), відповідно. Значення змінних розмірів приймати відповідними до стану захвату та деталі.</p>		

5.2. Проектування вакуумних захватів

Вакуумні захвати – це захватні пристрої, що втримують об'єкт маніпулювання силою притягання, що виникає внаслідок різниці атмосферного й залишкового тиску в порожнині, утвореної присосом і поверхнею об'єкта, що обслуговується (заготовки, деталі, виробу). Схема вакуумного захвата показана на рис. 5.1.

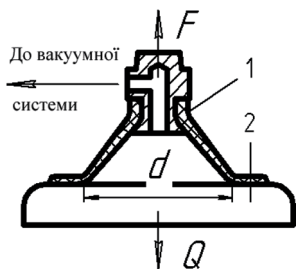


Рис. 5.1. Схема вакуумного захвата

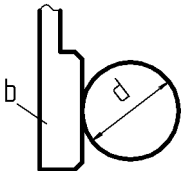
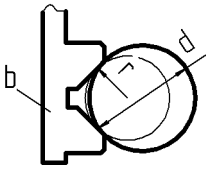
У загальному випадку розрахунки вакуумних захватів зводиться до забезпечення умови втримання вакуумним захватом об'єкта виробництва:

$$F \geq kQ \quad (5.3)$$

де: *F* – зусилля підйому, Н; *k* – коефіцієнта запасу, що враховує вплив сил інерції; *Q* – сила ваги (Н), $Q = mg$, де: *m* – маса об'єкта виробництва, кг; *g* – прискорення вільного падіння, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Розрахунок контактних напруг між губками захвату та деталлю

Таблиця 5.4

Схема контакту губки захвату з деталлю	Формула визначення контактної напруги
	$\sigma = 0,418 \sqrt{\frac{NE^2}{bd}};$ $\sigma \leq [\sigma]$
	$\sigma = 0,418 \sqrt{\frac{NE}{b} \left(\frac{2}{d} - \frac{1}{r} \right)};$ $\sigma \leq [\sigma]$
<p><i>Позначення:</i></p> <p>σ – контактна напруга в у місцях контакту губки захвату і деталі, Н/см²; N – зусилля контакту, Н; b, r – ширина губки і радіус контакту, см; d – діаметр деталі, см; E – зведений модуль пружності: $E = 2E_1E_2 / (E_1 + E_2)$, де: E_1, E_2 – відповідно модуль пружності матеріалу губки і деталі, Н/см²; $[\sigma]$ – припустима контактна напруга, Н/см².</p>	

Власне значення зусилля підйому захвату можна визначити по формулі:

$$F = SK_s (p_a K_a - p_v) K \quad (5.4)$$

де: S – площа, обмежена внутрішнім контуром присосу, м²; d – діаметр зони вакууму (рис.5.1), м; K_s – коефіцієнт зменшення площі присосу внаслідок його деформації (або ущільнення), $K_s = 0,95 \dots 1$ для ущільнень із пористих гум; p_a і p_v – атмосферний і залишковий тиск усередині камери, відповідно, Па; K_a – коефіцієнт, що враховує зміни атмосферного тиску, $K_a = 0,9 \dots 0,95$; K – коефіцієнт запасу зусилля підйому, що враховує приплив повітря в місці контакту ущільнення камери (присосу) з поверхнею вантажу, $K = 1,2 \dots 1,5$.

Залежно від способу створення розрідження (вакууму) у внутрішній порожнині присосу розрізняють ежекторні, насосні й вакуумні

схвати без насосу. В останньому випадку розрідження створюється тільки за рахунок деформації присосу захвату при його контакті з базовою поверхнею виробу. Для більшої надійності роботи такі захвати додатково оснащують зворотними клапанами, що спрацьовують у напрямку витікання повітря із присосу.

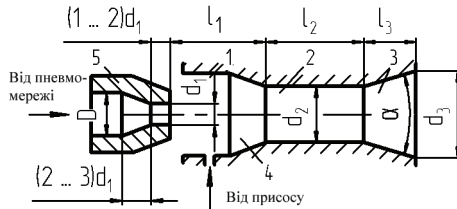
Натікання повітря через нещільності в зоні герметизації камери присосу зменшує швидкодію й піднімальну силу вакуумного захвату. Для вакуумних захватів з ущільнювальним кільцем, що з'єднане з вакуумним насосом, тиск у внутрішній порожнині робочої камери (присосу) приймається рівним тиску розрідження, створюваному насосом. Для вакуумних захватів без ущільнювального кільця, а також для захватів з ущільнювальним кільцем, але некерованих, різниця тисків $p_a - p_v = (3...4) 10^4 \text{Н/м}^2$. Для круглих захватів з ущільнювальним кільцем у першому наближенні можна прийняти $S = (0,6...0,7) S_H$, S_H — площа, обмежена зовнішнім контуром поверхні контакту захвата з виробом. Площі S і S_H визначаються відповідно діаметрами внутрішньої зони вакууму й зовнішньої зони герметизації. Зміна цих діаметрів залежить від прикладеного навантаження, герметичних характеристик присосів вакуумного захвата й фізико-механічних властивостей матеріалу, з якого виготовлені присоси захвата. Глибина вакууму в камері присосу, а отже, і величина піднімальної сили залежать від характеристик джерела розрідження.

Джерела розрідження. У якості засобів створення розрідження в камері присосу вакуумного захвату застосовують вакуумні й газоструминні насоси. Останні йменуються також ежекторами. Ежектори конструктивно значно простіше, чим вакуумні насоси. Їх виконують, як правило, одноступінчастими й розміщують безпосередньо на кронштейні захвата, з'єднуючи через канал відбору повітря з однієї або декількома камерами присосів захвату. На відміну від вакуумних насосів ежектори створюють невисокий вакуум. Але на виробництві простота їх конструкції, експлуатації й налагодження обумовлюють досить широке їхнє застосування. Схема й послідовність розрахунку параметрів ежектора наведені в табл. 5.5.

Конструктивно ежектор виконується у вигляді корпусу, внутрішній наскрізний канал якого складається із чотирьох ділянок: камери усмокування, колектора, змішувальної ділянки й дифузора. У камері усмокування розміщується сопло, через яке подається струмінь стисненого повітря. З метою підналагодження ежектора сопло може бути регульованим, виконаним у вигляді голчастого дроселя. Крім того, доцільно встановлювати сопло з можливістю осьового переміщення й наступної фіксації його положення. Це дозволяє в процесі налагодження вакуумного захвата регулювати відстань від вихідного отвору

Таблиця 5.5

Розрахунок параметрів ежектора вакуумного захвату



1 – камера всмоктування; 2 – змішувальна ділянка;
3 – дифузор; 4 – колектор; 5 – сопло.

Параметр	Од. вим.	Розрахункова формула
Напір ежектора	Н/м ²	$h = p_1 - p_2$
Сумарний об'єм циліндрів, що працюють разом із захватом робота	м ³	$Q_{\Sigma} = \frac{\pi d^2}{4} Lk$
Витрати стислого повітря на виході ежектора	м ³ /с	$G = 0,25 \times 10^{-3} Q_{\Sigma} Kn$
Коефіцієнт ежекції	–	$q = G/G_1$
Динамічний напір ежектора	Н/м ²	$h_e = 2p(1+q)^2$
Тиск повітря перед соплом	Н/м ²	$p_3 = 1,1h_e$
Швидкість витікання повітря із сопла	м/с	$V_1 = 2 \times \sqrt{\frac{2qh_e}{\gamma_1}}$
Діаметр вихідного перерізу сопла	м	$d_1 = 2 \times \sqrt{\frac{G_1}{2,14\pi \sqrt{p_3/\gamma_1}}}$
Діаметр змішувальної ділянки	м	$d_2 = \sqrt{2} \times d_1(1+q)$
Коефіцієнт динамічного напору	–	$K = 2(1+q)^2$
Довжина змішувальної ділянки	м	$l_2 = (3,5; 4; 5)d_2$
Відстань від сопла до змішувальної ділянки	м	$l_1 = (1 \dots 2,5)d_2$
Довжина дифузора $d_3 = 1,5d_2$		$l_3 = \frac{(d_3 - d_2)}{2 \operatorname{tg} 0,5\alpha}$

Продовження табл. 5.5

Позначення: $p_1 = 400 \times 10^3$, $p_3 = 200 \times 10^3$ (N/m²) — відповідно тиски повітря на виході з сопла і дифузора;

$$d = (25 \dots 50) 10^{-3} \text{ (m)} \quad L = (100 \dots 500) 10^{-3} \text{ (m)}$$

$K=4$ (шт) — відповідно: діаметр, довжина та кількість пневмоциліндрів маніпулятора робота, що працюють одночасно із захватом робота; $n=2$ — середнє число подвійних ходів цих пневмоциліндрів (с□1); $K=(0,1 \dots 0,15)$ — коефіцієнт допустимої витрати стиснутого повітря; $G_1 = (50 \dots 100) 10^{-3}$, m³/s — витрати стислого повітря на виході з сопла; $\gamma_1 = (1,2 \dots 1,4)$, kg/m³ — щільність стиснутого повітря; $\alpha = (8^0 \dots 12^0)$ — кут конуса; довжина дифузора $d_3 = 1,5d_2$ (м).

сопла до змішувальної ділянки ежектора. Чим більше діаметр змішувальної ділянки й шлях струменя до зіткнення зі стінками, тим більший обсяг повітря підводиться. На відміну від вільного струменя, у якому підсмоктування газу навколишнього середовища відбувається на всій довжині струменя, в ежекторі підсмоктування газової сфери обмежено стінками камери присосу.

Колектор — це ділянка внутрішньої наскрізної порожнини ежектора, на якій відбувається прискорення струменя газового середовища, тобто повітря, що відсмоктується із присосу. Колектор виконується у вигляді усіченого конуса. З метою зменшення опору утворююча внутрішньої поверхні колектора може бути виконана по складній кривій (наприклад, по лемнісаті Бернуллі або у вигляді сопла Лавала).

Дифузор ежектора призначений для перетворення динамічного напору в статичний тиск.

5.3. Електромагнітні захвати

Електромагнітні захвати переважно використовуються для оснащення маніпуляторів промислових роботів, що обслуговують устаткування листоштамповочного виробництва. Перевагами цих захватів є простота конструкції й нескладність виготовлення. Однак, застосовуються захвати з електромагнітами тільки для деталей з матеріалів, що намагнічуються.

Конструкцію піднімального електромагніту, яким оснащуються захвати, показано на рис. 5.2. Корпус 2 і розміщений у ньому стрижень 3 утворюють сердечник магнітного проведення з котушкою 5, намотаною на каркас 4. По периферії котушка обмотується ізоляційною про-

кладкою 1, а по торцю 7 заливається смолою ЕД 20 з наступним поліруванням торця, який і є робочою поверхнею захвату. Сердечник виготовляють із магнітних м'яких сплавів або набирають у вигляді пакета пластин електротехнічної сталі. Виводи 6 котушки приєднують до електромережі робота.

Для усунення залишкового магнетизму, що викликає «злипання»

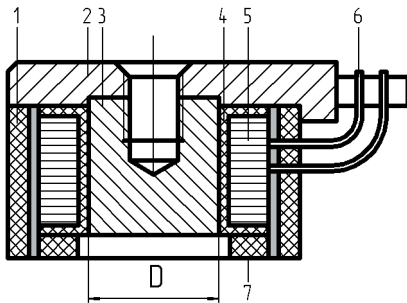


Рис. 5.2. Конструкція електромагніта захвату

деталей при відключенні електромагніту, необхідно в процесі його виготовлення зробити термічну обробку сердечника з нагріванням до 600-700^ос і наступним повільним охолодженням разом з електропіччю, у якій звичайно роблять нагрівання.

Розрахунки параметрів власне електромагніту детально викладені у монографії [2, стор. 24].

5.4. Антропоморфні захватні пристрої

Антропоморфні захоплюючі пристрої промислових роботів застосовуються, коли для виконання різноманітних технологічних операцій, що потребують ступенів рухливості, наближеної до людської кисті. Такі захвати як правило працюють в ангулярній системі координат, тобто системі координат, де відсутні кінематичні ланки поступального руху, а мають місце тільки ланки обертального руху.

Конструкції антропоморфних захватів мають різноманітні виконання, яким притаманні як переваги, так і певні недоліки. Розглянемо деякі найбільш ефективні технічні рішення. Наприклад відома кисть руки робота (рис. 5.3) для побудови рук людиноподібних (антропоморфних) роботів, придатних для споживчого ринку [3]. Пальці 1 кисті 2 отримують рух через сухожилля 3 у вигляді тросів від двигуна 4. Даний захват має здатність утримання об'єктів довільної форми, хоча йому притаманний недолік, а саме: кожен з пальців 1 згинається тільки в одній 2D площині. Інакше кажучи, кожен з пальців пристрою позбавлений можливості виконання операцій в 3D просторі, наприклад в сферичній, чи в її різновиду ангулярній системі координат, в якій і працює кисть руки людини. Наявність такого недоліку дещо обмежує технологічні можливості вказаного пристрою.

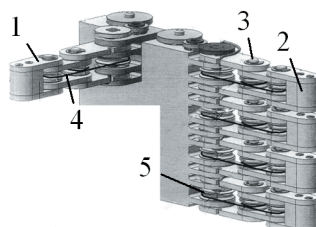
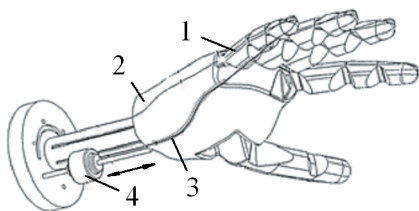


Рис. 5.3. Антропоморфна кисть Рис. 5.4. Захват кисті робота

Аналогічний устрій має захват, показаний на рис. 5.4, пальці 1 і 2 якого містять рухливі ланки 3, що з'єднані обертальними парами із блоками, об'єднаними тросом 4, а на осях обертальних пар установлені пружини 5, з'єднані одним кінцем із блоком, а другим з рухливою ланкою [4]. Зазначені блоки встановлені на валу й постачені приводами, які через троси 4 деформують пружини 5, забезпечуючи тим згинання пальців. Але як і в попередньому випадку, кожен з пальців захвату згинається тільки в 2D площині.

Відомі інші конструкції антропоморфних захватів, наприклад, у вигляді взаємопов'язаних фаланг захвату робота (Interconnected phalanges for robotic gripping) [5], що з'єднані шарнірами та виконані з можливістю повороту відносно одна одної за рахунок зубчатих передач, таким чином, що поворот попередньої фаланги викликає обертання наступної фаланги. Завдяки шарнірному з'єднанню фаланг пальців пристрій дозволяє утримувати об'єкти різноманітної форми. Антропоморфна кисть протеза «Вайм» [6, с. 121 – 122] містить пальці у вигляді п'яти чотирьох ланкових механізмів, а також кривошипи, що входять до складу кожного пальця й з'єднані пластиною з пружиною, яка може переміщатися поступально за допомогою електродвигуна й ходового гвинта. Для незалежного переміщення пальців рекомендується оснащення кожного пальця захвату окремим електродвигуном.

Комбінований захват [7, с. 75] виробництва фірми Simrit (Німеччина), містить пальці у вигляді еластичних гофрованих оболонки (камер), що мають гофри на зовнішній поверхні та пласку внутрішню поверхню, які деформуються під дією тиску газу від джерела надлишкового тиску та охоплюють криволінійну поверхню виробу за рахунок різниці площин: меншої — гладкої поверхні, та більшої — гофрованої поверхні. Завдяки такому технічному рішення пневматичний захват адаптується до криволінійної поверхні промислових виробів. Однак, як і розглянуті вище варіанти захватів, цей захват також позбавлений

можливості руху у 3D просторі, бо навіть у разі збільшення кількості пальців (тобто більше двох), кожен з них буде працювати тільки в 2D площині.

Суттєво можна розширити технологічні можливості антропоморфного захвату шляхом забезпечення руху кожного пальця кисті робота в 3D просторі, зокрема в ангулярній системі координат, притаманній кисті руки людини — частині руки від зап'ястя до кінця пальців, що й визначає назву подібних захватів робота, тобто *антропоморфна* (anthropomorphic) кисть промислового робота. Тут слід зауважити, що ангулярна система координат є різновидом сферичної системи координат і відрізняється відсутністю кінематичних ланок поступального руху, а містить тільки ланки обертового (під кутом) руху, що властиво устрою людської кисті.

Антропоморфна кисть, що показана на рис. 5.5, містить п'ять пальців: великий, вказівний, середній, безіменний і мізинець. Кожний з пальців закріплений за допомогою фланців на п'ятикутній пластині, розміщеної на шарнірному зап'ясті руки промислового робота. Кожний із чотирьох зазначених пальців має по три фаланги (рис. 5.6): велику, середню і малу, крім великого пальця, який згідно з антропоморфною конструкцією має тільки дві фаланги: більшу й середню. Усі пальці оснащені еластичними наперстками для захвату об'єктів маніпулювання. Кожна фаланга складається з чотирьох гофрованих камер.

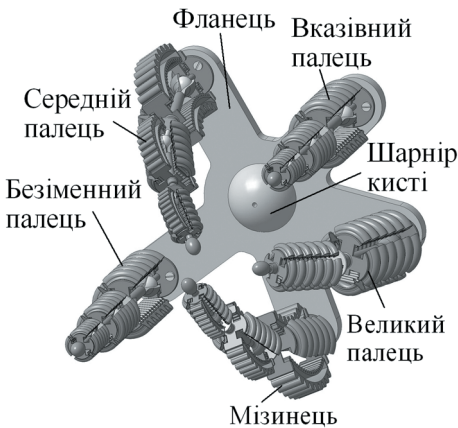


Рис. 5.5. Антропоморфна кисть руки робота

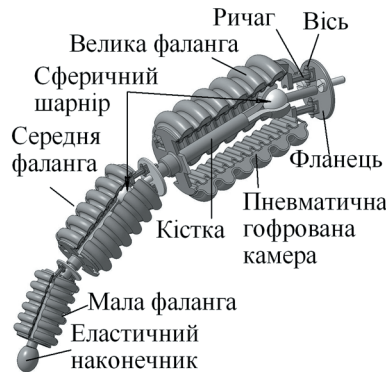


Рис. 5.6. Палець кисті руки робота

Фаланги розміщені на відповідних фланцях, закріплених нерухомо на валах, що виконують функцію кісток фаланг. Вказані вали оснащені, закріпленими на них півсферами, з'єднаними рухливо зі

сферами кожної наступної фаланги, утворюючи, таким чином, сферичні шарніри для кінематичного зв'язку фаланг між собою. Таким чином, усі фаланги кожного пальця кисті мають однакову конструкцію й відрізняються тільки розмірами, що відповідають їхній назві — більша, середня і мала [8, 9].

На рис. 5.7 показана принципова пневматична схема модуля керування пальцями кисті робота. Кожна фаланга містить по чотири еластичні оболонки, що мають у поперечному перерізі форму трапеції, верхні й нижні основи яких виконані у вигляді гофрів з різною площею поверхні за рахунок різниці їх висоти й кроку гофрів.

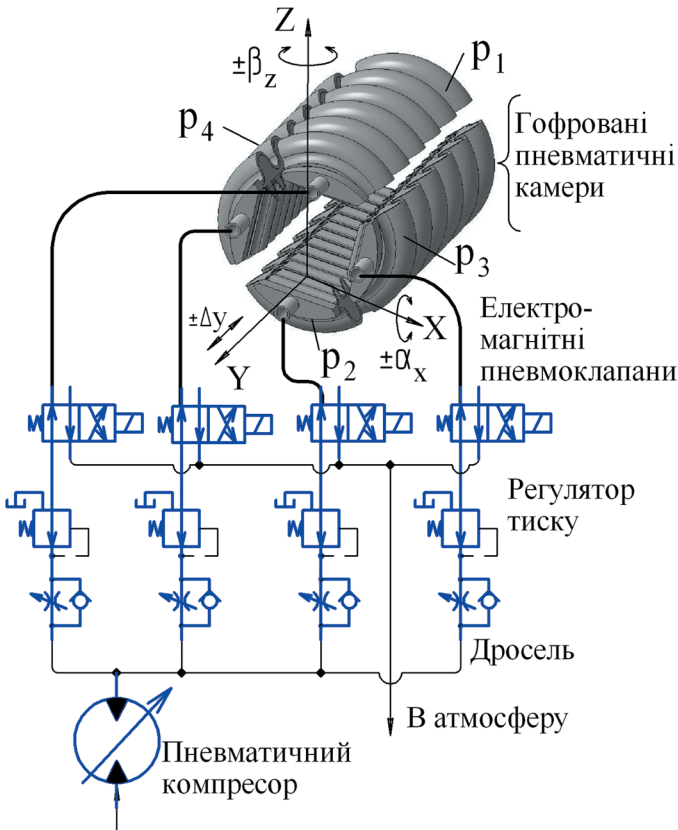


Рис. 5.7. Принципова пневматична схема модуля керування пальцями кисті робота

Порожнини усіх еластичних оболонок, що обмежені гофрами, з'єднані відповідними їм трубопроводами (рис. 5.7) з електромагнітними гідравлічними або пневматичними розподільниками, регуляторами тиску та зворотними клапанами з дроселями, які в сукупності утворюють систему керування тиском у вказаних оболонках разом з живлячим масляним баком та масляним насосом у разі застосування гідравлічної системи або ресивером та компресором, відповідно, у разі пневматичної мережі живлення.

При спрацюванні відповідних пневматичних розподільників (клапанів), що керуються процесором комп'ютера залежно від необхідного напрямку згину фаланг знімається тиск у відповідних їм гофрованих оболонках. В наслідок того, що, як зазначено вище, гофри мають різну площину, то оболонки, в яких згідно програмі керування залишаються різниці тисків: p_1, p_2, p_3, p_4 , згинаються під дією крутного моменту $M=F \cdot h=(S_1-S_2)ph$ (де: F – результуюча сила згину оболонки, яка виникає в наслідок різниці $S_1 - S_2$ площин, відповідно гофрів; p – тиск газу або рідини в оболонці; h – відстань від центру сфери (тобто сферичного шарніру) до закінчення еластичних оболонок, з'єднаних хрестовинами. Кожна фаланга залежно від різниці тисків у гофрованих камерах має відповідні переміщення: кутові $\pm a_x, \pm b_z$ та лінійне $\pm y$.

Таким чином пальці згинаються й приймають необхідне положення, утримуючи еластичними наперстками об'єкт маніпулювання, наприклад, фрукти чи овочі (рис. 5.8), маломірний мінерал або будь який інший об'єкт (напівфабрикати чи вироби з напівкоштовних і дорогоцінних камінчиків, наприклад, таких як бурштин, алмази, гранати та т.п.) промислового виробництва чи елемент складання при автоматизації відповідних технологічних процесів.

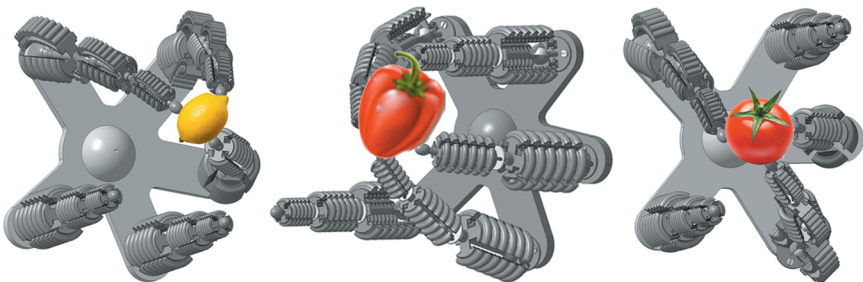


Рис. 5.8. Різноманітні комбінації згину пальців антропоморфної кисті робота при захваті об'єктів маніпулювання

Залежно від комбінаторики команд на створення та зняття тиску в гофрованих оболонках, фаланги можуть згинатися у різних напрямках 3D простору (навіть протилежних), наслідком чого досягається різноманітне положення пальців кисті в межах ангулярної системи координат. як це показано на рис 5.8. Власно комбінаторика зазначених команд і програма їхньої реалізації можуть бути різноманітними.

Контрольні запитання

1. Типи захватних пристроїв промислових роботів. Їх переваги та недоліки
2. Наведіть структурну схему розташування сенсорів (датчиків інформації) в захватному пристрої
3. Наведіть методику розрахунку конструктивних параметрів механічних захватних пристроїв
4. Наведіть схему контактних сил та нормальних реакцій захвату із об'єктом виробництва
5. Наведіть формулу умови утримання захватом промислового робота об'єкту виробництва
6. Дайте означення вакуумного схвату. Надайте схеми присоса та ежектора вакуумного схвату
7. Запишіть формулу сили підйому вакуумного схвату та поясніть сутність складових цієї формули
8. Назвіть конструктивні елементи електромагнітного захвату промислового робота. Назвіть основні електротехнічні та конструктивні параметри від яких залежить підйомна сила електромагнітного захвату
9. Наведіть види технологічного оснащення промислового робота
10. Надайте визначення антропоморфних захватів робота. Поясніть їх переваги та недоліки



Розділ 6. Мобільні роботи довільної орієнтації у просторі

Головною проблемою створення мобільних роботів довільної орієнтації (РДО) у просторі є необхідність подолання дестабілізуючої гравітаційної складовій у сукупності робочих динамічних навантажень транспортних і технологічних операцій у таких областях виробничої діяльності як моніторинг промислових об'єктів, монтаж і демонтаж будівельних конструкцій, ремонт їх компонентів, профілактичне обслуговування висотних об'єктів промислового та господарського призначення [10].

Одним із шляхів вирішення означеної проблеми є синтез мобільних роботів довільної орієнтації у технологічному просторі, спрямований на розробку проектно-конструкторських рішень підсистем РДО, що забезпечують утримання мобільного робота на поверхні довільної орієнтації у просторі з одночасною компенсацією гравітаційного навантаження. У даному розділі спочатку розглянуті перспективні сфери експлуатації мобільних роботів довільної орієнтації, потім викладений рівень технічних підсистем даного класу роботів із ілюстрацією їх технологічних можливостей.

6.1. Сфери експлуатації мобільних роботів

У таблиці 6.1 відображені області перспективного застосування мобільних роботів довільної орієнтації. Кожна зі сфер застосування таких роботів визначає не тільки їх технічні характеристики, але головним чином, системи зчеплення з поверхнею переміщення, поперше, і тип трансмісії робота, по-друге. Порівнюючи в першому наближенні об'єкти обслуговування, зазначені в таблиці, легко переконатися у взаємозв'язку характеристик об'єктів, у частині їх топології, фізико-механічних властивостей поверхні переміщення й гіпотетичних передбачуваних до виконання технологічних операцій з характеристиками самих роботів, а саме вибору підсистем протидії гравітаційному навантаженню в сукупності динамічних навантажень, обумовлених технологічним призначенням роботів.

Спрямованість і зміст технологічних операцій можуть мати принципові відмінності залежно від сфери експлуатації РДО. Точніше, якщо при виконанні моніторингу об'єктів обслуговування гравітаційна протидія визначається тільки вагою робота, то при виконанні силових технологічних операцій, зазначена протидія доповнюється властиво зусиллям технологічного оснащення на об'єкт обслуговування.

Таблиця 6.1

Галузі перспективного застосування мобільних роботів довільної орієнтації

№№	Область застосування	Об'єкт обслуговування	Рекомендовані системи зчеплення
1	Обслуговування висотних будинків		Вакуумні
2	Ремонт високовольтних ЛЕП		Механічні
3	Демонтаж або відновлення мостів, віадуків і діагностика подібних споруджень		Механічні
4	Діагностика промислових трубопроводів, чищення, нанесення покриттів		Вакуумні, електромагнітні, на основі адгезії
5	Технічне обслуговування міських, паркових і лісових деревних масивів		Механічні

До змісту моніторингу об'єктів обслуговування можуть бути віднесені аналізи якості конструкцій промислових споруджень, відео зйомка, автоматичний контроль стану середовища й т.п. операції експлуатаційного характеру. Силкові контактні впливи на об'єкт обслуговування передбачають виконання технологічних операцій виробничого призначення, наприклад, таких як монтаж і механічна обробка елементів конструкцій (різання, свердління й т.п.), клепка, установка монтажних дюбелів, зварювання, очищення поверхонь і нанесення спеціальних захисних покриттів об'єктів обслуговування в різних областях промисловості.

Також до перспективних сфер експлуатації РДО слід віднести й настільки різні за змістом технологічних операцій області, як сільське й міське комунальне господарство. Проблема роботизації сільського господарства здобуває особливу актуальність в умовах агропромислової революції, наслідком якої є зменшення чисельності зайнятого в ньому населення. Стосовно до міських комунальних господарств перспективними сферами експлуатації РДО є технічна й профілактична обробка лісових і паркових масивів (обрізка дерев, видалення омели й т.п.), технічне обслуговування висотних будинків житлового й виробничого призначення, трубопроводів теплових і водних магістралей, висотних труб теплоелектростанцій, колон і стовпів високовольтних ліній електропередач. РДО можуть мати й спеціальне застосування військово-тактичного призначення.

6.2. Структура і склад підсистем РДО

У загальному випадку структура мобільного робота (рис. 1.1) містить у собі підсистему керування, підсистему втримання на поверхні й приводи переміщення, сенсори аналізу навколишнього середовища, систему живлення й технологічне оснащення. Сенсорна підсистема здійснює зв'язок робота з топологією технологічного простору. Останнє може бути представлено у прямокутній Декартові X, Y, Z або сферичній системах координат, точки яких досяжні виконавчими органами робота радіусом R при кутах їх вигину в зоні сервісу, обумовленої відповідним кутом дії. Апаратною реалізацією системи керування може бути спеціалізований контролер або бортова ЕОМ.

Найбільших енергетичних витрат вимагає система втримання на поверхні й приводи переміщення, а також функціональні пристрої технологічного оснащення. При цьому зі збільшенням загальної маси робота, виникає необхідність у підвищенні потужності приводів робота й потужності пристроїв, які втримують робота на поверхні перемі-

щення довільної орієнтації. Мобільні роботи, як ніякий інший вид технологічного встаткування, характеризуються переважним використанням автономних джерел енергії від традиційних акумуляторів з їхнім обмеженим ресурсом ємності (А·годин) до сонячних батарей, що вимагають великої ефективної площі приймачів.

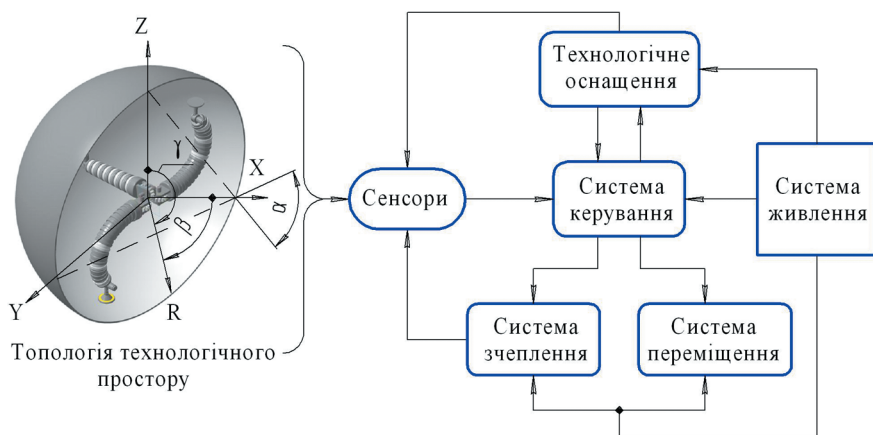


Рис. 6.1. Загальна структура підсистем мобільних РДО

На рис. 6.2 показано структуру підсистем руху робота і його зчеплення з поверхнею переміщення. Підсистема приводів забезпечує рух елементів конструкції робота в просторі й безпосередньо визначає вид трансмісії робота. Причому вибір сукупності зазначених приводів визначається видом системи координат: Декартові прямокутній, сферичній, ангулярній (що властива людині) і циліндричній, тобто системою координат технологічного простору.

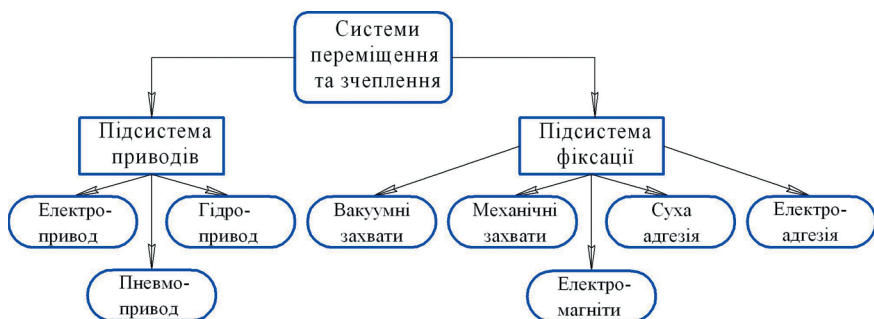


Рис. 6.2. Структура підсистем переміщення та зчеплення РДО

Як і в додатку до класичних промислових роботів (стаціонарних і транспортних) доцільно використовувати електроприводи, що володіють більшою здатністю до гнучкого програмування, ніж пневматичні приводи, і меншою масою, ніж гідроприводи, хоча й уступають останнім по показниках точності позиціонування й питомої потужності. Крім того, електроприводи можуть споживати енергію від одного джерела живлення, що й система керування, датчики й функціональні пристрої. Однотипність приводів суттєво підвищує енергетичну ефективність мобільних роботів, так само як і оптимізація траєкторії руху робота, при достатній потужності для підтримки заданої швидкості руху робота по поверхні переміщення довільної орієнтації.

Підсистема зчеплення визначає ступінь надійності втримання мобільного робота на поверхні переміщення і містить у собі пристрої й приводи втримання робота на поверхні руху, а саме: вакуумні, механічні, електромагнітні, ежекційні, на основі адгезії й інші типи захватів, зусилля яких повинне перевищувати гравітаційну й технологічну складові динамічних навантажень. Дана підсистема є однією із ключових елементів конструкції саме роботів довільної орієнтації в технологічному просторі. Від вибраного механізму втримання на поверхні переміщення залежить принципова конструкція мобільного робота, а зазначений вибір визначається типом і рельєфом поверхні довільної орієнтації, у т.ч. і вертикальної або стельової. Конструктивні розв'язки підсистем зчеплення мобільних роботів з поверхнею переміщення передбачають також і технології, засновані на явищі, так званої, «сухої» або електричної адгезії.

Вибір типу фіксації на поверхні переміщення безпосередньо впливає й на енергетичну ефективність мобільного робота. Наприклад, механічні підсистеми найбільш ефективні при переміщенні робота по пористих поверхнях (грунт, грубий бетон, дерева), однак споживають значну потужність і внаслідок необхідності редукції приводів збільшують вагу робота, а значить і його гравітаційну силу ваги. Найпоширенішою є підсистема з вакуумною фіксацією внаслідок своєї універсальності, що обумовлене індиферентністю до матеріалу поверхні переміщення пневматичних захватів. При цьому можливі два варіанти реалізації зазначеної підсистеми: безпосереднє використання вакуумних захватів і інший спосіб – утримання робота без присосів за рахунок створення зони зниженого тиску між корпусом робота й поверхнею його переміщення. В обох випадках створення зони вакууму припускає наявність або вакуумного насоса, або компресора із пневматичними ежекторами для створення області розрядження, що у свою чергу приводить до збільшення маси робота. Тут найбільш ефективним технічним розв'язком може бути комбінація механічної й ва-

куумної підсистем, об'єднаних зворотним зв'язком по керуванню й засобами контролю глибини вакууму. Інтеграція зазначених підсистем особливо ефективна в умовах переміщення робота по складному рельєфу, коли виникає погроза позаштатної (аварійної) ситуації, а саме втрата в певні моменти часу тісного контакту з поверхнею руху.

Електромагнітна підсистема утримання РДО на поверхні переміщення відрізняється високою швидкістю, простотою конструкції й відносно низьким енергоспоживанням, але обмежена застосуванням матеріалу поверхні, а саме допускає переміщення робота тільки по поверхнях, що володіють феромагнітними властивостями. Дана підсистема може мати досить ефективне застосування при обслуговуванні металевих трубопроводів великого діаметра, наприклад газових і нафтових магістралей.

Так звана, «суха» адгезія, а також електрична адгезія є найбільш ефективними з погляду енергозбереження, але й одночасно новими й досить дорогими технологіями. Сучасні реалізації даного виду зчеплення з поверхнею переміщення характеризуються вкрай низькою швидкістю переміщення робота внаслідок повільності процесу адгезії, що поки перешкоджає їхньому промислового використанню. Таким чином, можна зробити висновок: головним напрямком підвищення енергетичної ефективності існуючих дослідних зразків РДО є зменшення потужності приводів переміщення й підсистеми втримання на поверхні для подолання протидії гравітаційної сили.

6.3. Дослідні зразки крокуючих мобільних РДО

Не дивлячись на суттєве сповільнення швидкості руху відносно колісної трансмісії, крокуючі мобільні роботи довільної орієнтації мають перевагу, яка полягає в можливості поєднання підсистеми переміщення з підсистемою зчеплення з поверхнею руху. Ця перевага сприяє зменшенню ваги робота, а значить і зменшенню гравітаційного навантаження, що має принципове значення для мобільних РДО.

Мобільний робот [11] з важливою трансмісією, на шарнірах котрої встановлено електроприводи, а у якості системи зчеплення застосовані вакуумні захвати (рис. 6.3), дозволяє здійснювати ефективний перехід з горизонтальної на вертикальну поверхню переміщення. Однак трансмісії цього робота притаманна велика кількість двигунів, що на жаль не сприяє енергозбереженню його приводів. Суттєвою відзнакою мобільного робота «Boston Dynamics» (рис. 6.4) є наявність пласко паралельних педипуляторів, оснащених голчастими механічними захватами [12]. Ці властивості надають можливість переміщення робота як у циліндричній системі координат, притаманній таким об'єк-

там, як дерева чи стовпи ліній електропередач або трубопроводи, так і у прямокутній Декартові системі координат, що необхідно для обслуговування висотних будинків.

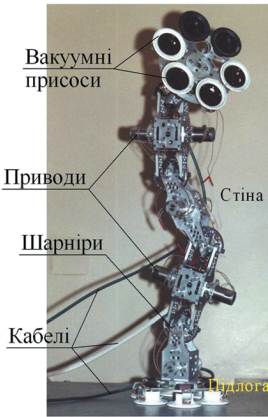
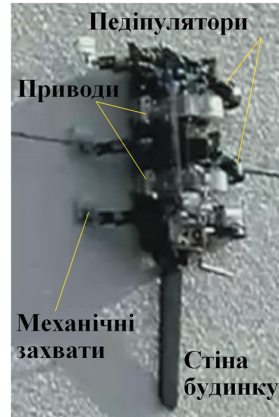


Рис. 6.3. Мобільний робот ІПМ ім. О.Ю. Ішлінського (РАН)



Рис. 6.4. The RiSE Climbing Robot (Boston Dynamics, Cambridge, USA) при переміщенні по дереву і стіні будинку



Достатньо ефективній конструкції мобільного робота для обслуговування деревних масивів, в частці відеоспостереження та діагностики, присвячені дослідження, результати яких викладено в монографії [13]. Робот (рис. 6.5) оснащений механічними захватами для зчеплення з поверхнею стовбура дерева та приводом повздовжнього руху у вигляді двигунів, що переміщують корпус робота та згинають пружні стержні для довільної орієнтації робота на гілках та стовбурі дерева.



Рис. 6.5. Мобільний робот [13] для обслуговування деревних масивів

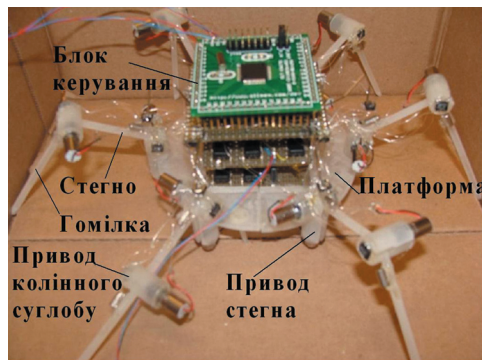


Рис. 6.6. Експериментальний зразок робота – гексапоіда [14]

Приводи робота забезпечують надійне утримання його на поверхні переміщення при достатньо широкому діапазоні кута вигину корпусу з пружних стержньових елементів. Наслідком чого є можливість довільної орієнтації робота виконанні таких не силових технологічних операцій, як відеоспостереження та діагностика стану дерев.

Робот – гексапод був розроблений Yasong Li in Carlo Menon's laboratory at SFU [14]. Конструкція робота (рис. 6.6) відображає біотехнічний напрямок побудови мобільних роботів довільної орієнтації. Віддаючи належне біотехнічним конструкціям, слід зауважити, що вони, як правило, мають низьку міцність конструкції, а тому мало придатні для виконання силових технологічних операцій, хіба що можуть бути застосовані для операцій моніторингу чи відеоспостереження. Крім того, використання адгезії для зчеплення з поверхнею переміщення досить суттєво уповільнює рух робота, що обмежує застосування подібних роботів в промислових цілях.

Відаючи належне оригінальності конструкцій розглянутих вище мобільних роботів, слід зауважити, що проблема синтезу мобільних роботів саме довільної орієнтації не вичерпується створенням систем зчеплення, але також включає задачу вибору трансмісії їх приводів, що безпосередньо впливають на енергетичну ефективність і гравітаційне навантаження роботів. Тому нижче розглянемо три принципи синтезу мобільних РДО, що сприяють зменшенню гравітаційного навантаження, компенсація якого є головним завданням при створенні мобільних роботів вказаного типу.

Перспективні напрямки вдосконалювання мобільних роботів довільної орієнтації можуть бути реалізовані за допомогою трьох основоположних принципів синтезу їх конструкцій, а саме:

- 1) нагромадження потенційної енергії на кожній попередній ділянці (або кроці) переміщення й перетворення її в кінетичну енергію руху на наступній ділянці (кроці) руху;

- 2) інтеграції приводів поздовжнього та вертикального переміщення, а також приводів зміни орієнтації робота згідно із заданим маршрутом;

- 3) застосування генераторів тяги (аеродинамічної піднімальної сили) як засобу протидії гравітаційній силі з метою збільшення технологічного навантаження при одночасному зменшенні потужності приводів переміщення й зчеплення робота з поверхнею переміщення.

У відповідність із вищевикладеними принципами синтезу розглянемо їхні моделі й проектні реалізації роботів довільної орієнтації. На рис. 6.7 показаний мобільний робот [15], що реалізує *перший* з вище зазначених принципів, а саме що має здатність нагромадження потенційної енергії на кожному попередньому кроці й перетворення її в кі-

нетичну енергію руху на кожному наступному кроці переміщення. На корпусі робота встановлені поворотні пневматичні приводи, що з'єднані через зубчасту трансмісію з педіпуляторами – крокуючими механізмами, виконаними у вигляді телескопічних циліндрів, і з'єднаними шарнірними паралелограмами із захватами для зчеплення з поверхнею переміщення робота.

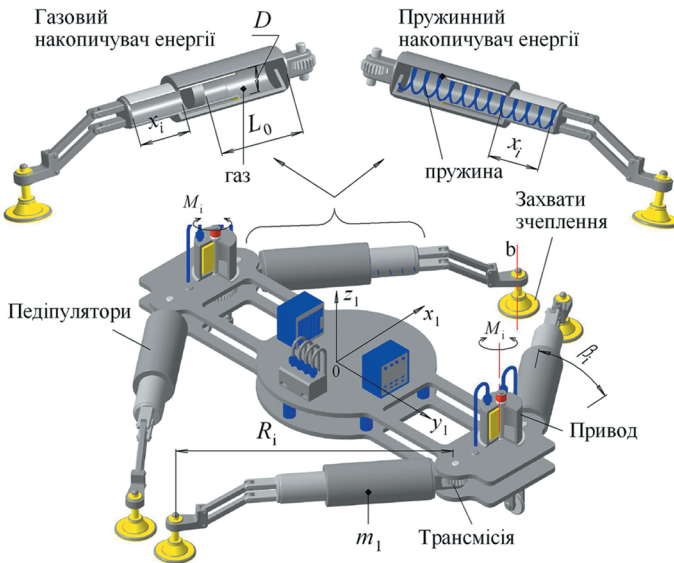


Рис. 6.7. Модель робота довільної орієнтації з модулями нагромадження і перетворенням енергії

На рис. 6.7 показано два варіанти виконання педіпуляторів: з модулем нагромадження енергії у вигляді пружин і, інший варіант, з газовим накопичувачем енергії, утвореним циліндром і поршнем. Також робот оснащений пневматичними розподільниками, модулем енергопостачання і блоком керування. При зчепленні захватів з поверхнею переміщення приводи повертають педіпулятори робота навколо осей «b», стискаючи пружні елементи: або пружини, або газ у камері залежно від варіанта виконання. Внаслідок такого стиснення на ділянці повороту педіпуляторів на кут $0 < B_i < 45^{\circ}$ відбувається нагромадження потенційної енергії за період першої половини кроку, а на другій половині кроку $45^{\circ} < B_i < 90^{\circ}$ зазначені елементи, розтискаючись, перетворюють потенційну енергію стиску в кінетичну енергію руху робота.

Обсяги кінетичної енергії руху робота на різних етапах переміщення можна визначити, використовуючи рівняння Лагранжа II-го роду. Оскільки даний метод є класичним, то тут для стислості викла-

дання обмежимося результатами моделювання. Вираження кінетичної енергії T_k корпуса робота буде мати вигляд

$$T_k = \frac{mV^2}{2} = \frac{mR_2^2}{4\cos^4(45^\circ - \beta_1)} (\dot{\beta}_1)^2 \quad (6.1)$$

де: m – маса корпуса робота; V і – відповідно лінійна й кутова швидкості педипуляторів робота. Кінетичну енергію T_1 вільної від зчеплення з поверхнею ноги робота, при відключенні захватів, визначимо як

$$T_1 = \frac{1}{2} \int (V_{x_1}^2 + V_{y_1}^2) dm \quad (6.2)$$

Підставивши у формулу (6.2) вираження проєкцій швидкості та її значення

$$V = \frac{ds}{dt} = \frac{R_2 \cos 45^\circ}{\cos^2(45^\circ - \beta_1)} \dot{\beta}_1$$

а також вираз

$$dm = m_1 dy / R_2$$

після інтегрування, одержуємо остаточну формулу для знаходження кінетичної енергії вільної від зчеплення з поверхнею переміщення ноги робота:

$$T_1 = \frac{m_1 R_2^2}{2} \left(\frac{(\dot{\beta}_1)^2}{2\cos^4(45^\circ - \beta_1)} + \frac{\dot{\beta}_1 \dot{\beta}_2 \sqrt{2} \cos(45^\circ - \beta_2)}{2\cos^2(45^\circ - \beta_1)} + \frac{1}{3} (\dot{\beta}_2)^2 \right) \quad (6.3)$$

де: m_1 – маса педипулятора (ноги) робота, а R_2 – радіус його повороту.

Вираження кінетичної енергії опорної ноги, зчепленої з поверхнею переміщення, можна одержати з вираження (6.2) після його інтегрування, підставивши швидкість поступального руху робота $V=0$ і кутові швидкості педипуляторів:

$$T_2 = \frac{m_1 R_2^2}{6} (\dot{\beta}_1)^2 \quad (6.4)$$

Тоді повна кінетична енергія T кожного педипулятора на двох половинах циклу переміщення робота, тобто на стадії нагромадження потенційної енергії при стисненні пружних елементів і перетворення її в кінетичну енергію руху, складе за наступним виразом (5):

(6.5)

$$T = T_k + 2T_1 + 2T_2 = \frac{R_2^2}{2} \left(\frac{(2m_1 + m)(\dot{\beta}_1)^2}{2 \cos^4(45^\circ - \beta_1)} + \frac{m_1 \dot{\beta}_1 \dot{\beta}_2 \sqrt{2} \cos(45^\circ - \beta_2)}{\cos^2(45^\circ - \beta_1)} + \frac{2m_1}{3} ((\dot{\beta}_2)^2 + (\dot{\beta}_1)^2) \right)$$

Таким чином, переміщення робота на кожній другій половині циклу відбувається за рахунок енергії, накопиченої на кожній першій половині кроку переміщення. Це дозволяє суттєво знизити енергетичні витрати на рух робота й направити отриманий у такий спосіб резерв енергії на виконання технологічних операцій. Пружні елементи (пружина або газ), як відзначено вище, виконують функцію нагромадження потенційної енергії за період першої половини циклу переміщення, тобто на першій половині кроку, а головною їхньою характеристикою є жорсткість — параметр, який визначає величину накопиченої потенційної енергії на першій половині кроку педіпулятора.

Обоє розглянутих варіанта синтезу педіпуляторів мобільного робота мають об'єктивні переваги й недоліки. Так використання пружинного накопичувача енергії сприяє підвищенню вантажопідйомності робота, але внаслідок природнього нагромадження залишкових напруг пружин знижується ресурс роботи педіпуляторів. І навпроти, застосування газового накопичувача не менш ніж на порядок збільшує ресурс роботи, але це рішення прийнятно для роботів не великої вантажопідйомності.

Другий принцип синтезу визначає інтеграцію приводів переміщення для їхнього зменшення, а значить і маси робота з метою зниження гравітаційного навантаження. Відомо, що в Декартовій системі координат ми маємо шість ступенів свободи — три поступальних й три обертальних, кожному з яких згідно із класичними розв'язками відповідає автономний привод. Пропонована на рис. 6.8 технічна реалізація даного принципу виключає необхідність у приводах по кожній з координатних осей [16,17]. Для цього робот оснащений гнучкими крокуючими механізмами, установленими на корпусі. Кожна пара педіпуляторів через зубчаті трансмісії постачена електроприводами. Захвати утримують робот на поверхні переміщення, а приводи повороту погоджують положення захватів відносно поверхні переміщення. На платформі робота розміщений модуль енергетичного забезпечення, генератор тиску газу або рідини, а також контролер керування.

Педіпулятори робота виконані у вигляді набору напівсферичних

кілець, зібраних у пакет пружним елементом, а усередині пакета кілець розміщені гофровані трубопроводи під різним тиском p_1 і p_2 , створюваним через відповідні канали. Завдяки такій схемі педипуляторів робот має здатність працювати в різних системах координат: прямокутної Декартові, сферичної й циліндричної без додаткових приводів по кожній координатній осі.

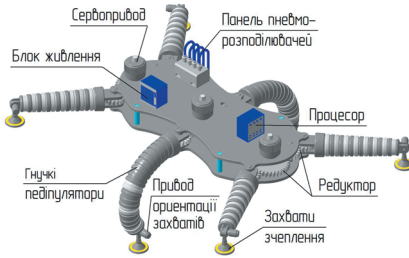


Рис. 6.8. Модель робота із гнучкими педипуляторами

просторі. Залежно від різниці тисків в гофрованих трубопроводах, педипулятори робота (тобто його ноги) мають можливість вигину в різних площинах системи координат XYZ під різними кутами, що й забезпечує довільну орієнтацію мобільного робота у технологічному просторі. Як видно на рис. 6.9, де показані довільні три положення А, В, С ноги робота, кут вигину педипулятора залежить від різниці тисків в гофрованих трубопроводах і сил та моментів, що виникають при створенні тиску певного значення за відповідною програмою керування орієнтацією робота.

Внаслідок дії вказаних тисків на торці кожного трубопроводу виникають сили F_i :

$$F_1 = p_1 \frac{\pi d^2}{4}; F_2 = p_2 \frac{\pi d^2}{4}; F_3 = p_3 \frac{\pi d^2}{4}; F_4 = p_4 \frac{\pi d^2}{4}, \quad (6.6)$$

У кожній нозі робота у вертикальній і горизонтальній площинах розміщені по два гофровані трубопроводи з відповідними тисками p_1, p_2 і p_3, p_4 . Залежно від різниці тисків в гофрованих трубопроводах, педипулятори робота (тобто його ноги) мають можливість вигину в різних площинах системи координат XYZ під різними кутами, що й забезпечує довільну орієнтацію мобільного робота у технологічному

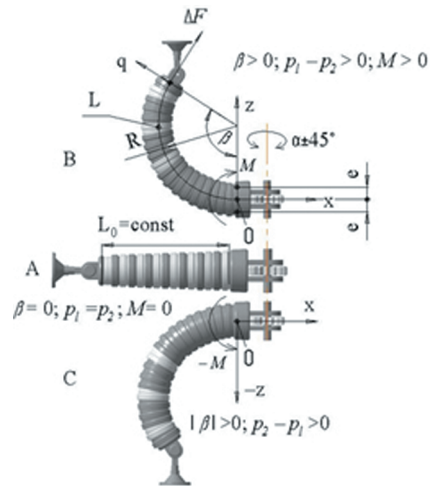


Рис. 6.9. Конструкція педипулятора робота

де d – внутрішній діаметр торця гофрованих трубопроводів. Оскільки осі трубопроводів зміщені відносно осі педипулятора на ексцентриситет “ e ”, то виникають моменти, які згинаючи ногу робота по радіусу R (див. рис. 6.9), переводять її з положення «А» у положення «В», здійснюючи орієнтацію робота в просторі:

$$M_1 = \frac{\pi d^2}{4} (p_1 - p_2) e; \quad M_2 = \frac{\pi d^2}{4} (p_3 - p_4) e \quad (6.7)$$

де: e – ексцентриситет зміщення осей гофрованих трубопроводів в одній із площин систем координат.

Таким чином, реалізація другого принципу синтезу роботів, тобто інтеграція його приводів, надає можливість досягатися довільної орієнтації крокуючого мобільного робота в різних робочих просторах: прямокутної Декартові, сферичної й циліндричної систем координат. Цей ефект забезпечує розширення технологічних можливостей робота.

Третій принцип – застосування генераторів тяги як засобу протидії гравітаційній силі, реалізує робот [18], показаний на рис. 6.10. Як і в попередньому випадку, він також містить на корпусі гнучкі педипулятори, оснащені захватами для зчеплення з поверхнею переміщення робота, трансмісією і електроприводом. Однак принциповою відмінністю даного робота є установка в центрі його мас Карданового підвісу із трьома ступенями свободи й зміщеного від центру мас пневматичного генератора тяги. Такий принципово новий розв'язок – розміщення генератора тяги на Кардановому підвісі, дозволяє генератору тяги зберігати збіг ліній дії протилежних сил: піднімальної пневматичної й гравітаційної, незалежно від положення робота в просторі.

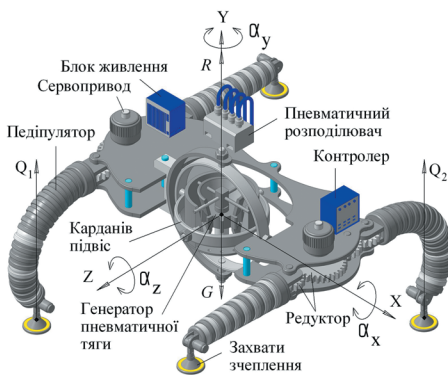


Рис. 6.10. Мобільний робот із генератором реактивної тяги

Даний принцип, будучи заснованим на узгодженні технологічного навантаження G й зусиль зчеплення робота з поверхнею переміщення, з одного боку, і сили реактивної пневматичної тяги R , з іншого боку, дозволяє здійснити диференційований підхід до регулювання аеродинамічної піднімальної сили робота залежно від його орієнтації в просторі. Точніше, регулювати силу втримання робота на поверхні переміщення (більш докладно див. [18]) залежно від

кутів Ейлера осей робота відносно обрію, оскільки генератор пневматичної тяги розміщено на Кардановому підвісі із 3 ступенями свободи (рис. 6.11). Таким чином, завжди буде мати місце сподівання по одній лінії протилежних сил, а саме: сили реактивної тяги та гравітаційного навантаження мобільного робота. На рис. 6.12 показано принципову схему модуля керування продуктивністю генератора тяги, що встановлений на Кардановому підвісі на корпусі робота.

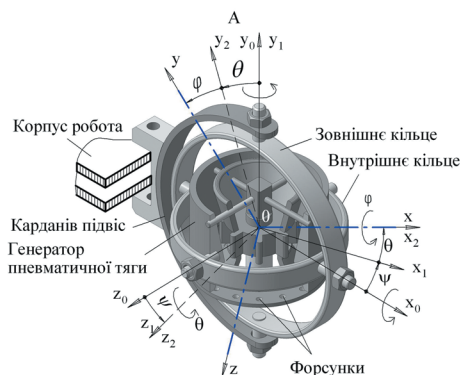


Рис. 6.11. Карданів підвіс із 3 ступенями свободи за кутами Ейлера

Зазначене регулювання необхідне, щоб при критичних кутах нахилу робота пневматична реактивна тяга G_1 по своїй величині не перевищувала силу зчеплення захватів робота з поверхнею переміщення. Інакше кажучи, щоб робот не перетворився на літальний апарат, а генератор тяги долав негативний вплив сили гравітації, одночасно не перевищуючи силу зчеплення захватів робота. Ця задача вирішується розрахунками критичного кута нахилу робота до обрію, коли настає момент часу включення генератора пневматичної тяги.

Для забезпечення надійності втримання робота, щоб не допустити відрив хоча б однієї з його ніг, необхідне включення генератора тяги при нахилі робота під критичним кутом до обрію. Безумовно, критичний кут нахилу буде змінюватися при різних масово-центрувальних характеристиках робота.

Усі три розглянуті принципи синтезу роботів довільної орієнтації можуть бути застосовані автономно й у сукупності залежно від технологічного призначення мобільного робота і його рентабельності, що у свою чергу, визначається галузю промислової експлуатації.

Зазначене регулювання необхідне, щоб при критичних кутах нахилу робота пневматична реактивна тяга G_1 по своїй величині не перевищувала силу зчеплення захватів робота з поверхнею переміщення. Інакше кажучи, щоб робот не перетворився на літальний апарат, а генератор тяги долав негативний вплив сили гравітації, одночасно не перевищуючи силу зчеплення захватів робота. Ця задача вирішується розрахунками критичного кута нахилу робота до обрію, коли настає момент часу включення генератора пневматичної тяги.

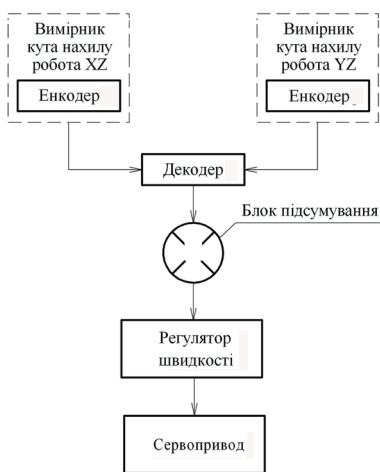
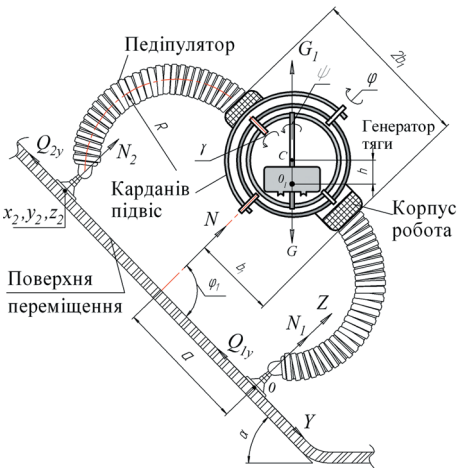


Рис. 6.12. Модуль автоматичного керування продуктивністю генератора тяги

Для розрахунків критичного кута нахилу робота до обрїю, тобто коли наступає момент часу включення генератора пневматичної тяги, достатньо скласти ситому рївнянь квазїстатичного стану робота, керуючись схемою дїючих сил на робот (рис. 6.13). На цїй схемї показано



всі сили, що дїють на робот при довільному кутї його нахилу до обрїю в системї координат OXY . Задача полягає в тому, щоб знайти критичні значення сил навантаження робота та нормальних реакцій від опор його нїг, тобто коли педипулятори (ноги) робота починають проковзувати. Саме в цей час потрібно включення генератора пневматичної тяги, щоб протидїяти гравітаційному навантаженню та запобїгти неприпустимому положенню аварїйного стану, а саме падїнню робота. З цїєю метою складемо рївняння рївноваги всїх сил, дїючих на робот(6.8):

Рис. 6.13. Схема сил, що дїють на робот під час перемїщення по довільній поверхнї

$$\left\{ \begin{aligned} \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; & \quad 2Q_{1y} + 2\mu N_2 - (G - G_1) \sin \alpha = 0; \\ \sum_{i=1}^n F_{iz} = 0; & \quad 2N_1 + 2N_2 - (G - G_1) \cos \alpha = 0; \\ \sum_{i=1}^n M_{ix} = 0; & \quad 2N_2 y_2 - (G - G_1) \cos \alpha y_c + (G - G_1) \sin \alpha z_c = 0, \end{aligned} \right. \quad (6.8)$$

де: Q_{1y} – сила тертя; N_1, N_2 – нормальні реакції технологічного навантаження; G, G_1 – сили гравітації та реактивної тяги генератора.

Із системи рївнянь (6.8) знаходимо відповідні параметри:

$$\begin{aligned} Q_{1y} &= (G - G_1) \left(-\mu b_{12} + \frac{1}{2} \sin \alpha \right); & N_1 &= (G - G_1) \left(-b_{12} + \frac{1}{2} \cos \alpha \right); \\ N_2 &= b_{12} (G - G_1); & b_{12} &= \frac{\cos \alpha y_c - \sin \alpha z_c}{2 y_2}. \end{aligned} \quad (6.9)$$

де: α – кут нахилу робота до обрїю; μ – коефіцієнт тертя; y_c, z_c – координати центру ваги робота.

Кут нахилу робота до обрїю може змїнятись в межах $0 < a < 180^\circ$. Як видно із графіків рис. 6.14 при певних характеристиках робота (ваги, жорсткості педипуляторів, потужності приводів і т.п.) обидві реакції N_1 і N_2 позитивні до значення кута нахилу поверхні переміщення $a > 54^\circ$ (на графіках позначено штрихами). Інакше кажучи, при цих кутах нахилу робота до обрїю сила ваги сприяє збільшенню технологічного навантаження. Це означає, що включення генератора реактивної тяги необхідно при куті нахилу робота до обрїю $a > 54^\circ$,

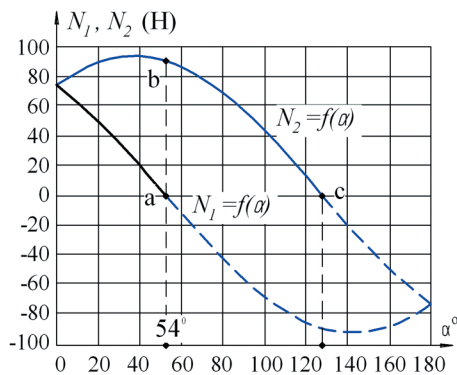


Рис. 6.14. Залежність нормальних реакцій N_1 та N_2 від кута нахилу мобільного робота до обрїю

незважаючи на те, що друга сила реакції N_2 , на відміну від першої N_1 , стає негативною тільки коли $a > 128^\circ$. Тому для забезпечення надійності утримання робота, щоб не допустити відрив хоча б однієї з його ніг, необхідно включення генератора тяги вже при нахилі робота до обрїю $a > 54^\circ$. Безумовно, критичний кут нахилу буде змінюватися при інших масово-центрувальних характеристиках робота.

Таким чином, реалізація способу протидії гравітаційному навантаженню за допомогою пневматичного генератора тяги, дозволяє при регулюванні сили тяги залежно від кута нахилу робота до обрїю, підвищити надійність утримання робота на поверхні довільної орієнтації, що, у свою чергу, надає можливість зменшення потужності приводів зчеплення робота з поверхнею переміщення при одночасному збільшенню корисного технологічного навантаження.

6.4. Дослідні зразки мобільних РДО з колісною трансмісією

Цей різновид мобільних робіт довільної орієнтації найкращим чином підходить до виконання транспортних операцій, чому сприяє підвищена швидкість їх переміщення. Але й одночасно їм притаманний такий недолік, як розподілення системи приводів руху та підсистеми утримання робота на поверхні переміщення, що також сприяє збільшенню гравітаційного навантаження. Так, наприклад, принципово інша система утримання робота на поверхні переміщення, а саме у

якості генератора вакууму, запропонована в конструкції робота CCNY Robotics Lab City University New York (рис. 6.15), що відображена в дослідженнях [19]. Автономним генератором вакууму створюється зона пониженого тиску між корпусом робота і поверхнею переміщення, за рахунок чого робот і утримується на вказані поверхні, а трансмісія у вигляді колісної бази дозволяє роботу досягати досить високої швидкості руху.



Рис. 6.15. Робот CCNY Robotics Lab City University New York

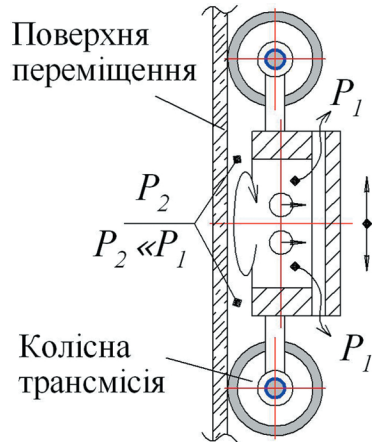


Рис. 6.16. Висхідний транспортний робот з турбогенератором вакууму

Аналогічний принцип застосування колісної трансмісії в сукупності з генератором вакууму закладено у висхідному транспортному роботі [20], кузов якого постачений колесами та звернений до поверхні переміщення – стіни (рис. 6.16), а також жорстко з'єднаний з усмоктувальним механізмом, що має тангенціальні сопла і випускні канали. У результаті потоку газу високого тиску, що створюється двигуном між корпусом робота й поверхнею переміщення утворюється зона зниженого тиску (внаслідок відомого у техніці ежекційного ефекту), що дозволяє роботіві долати гравітаційну силу тяжіння. Однак, у випадку перешкоди у вигляді різкого перепаду топології поверхні переміщення (наприклад, при переході з вертикальної стіни на стелю) можливе виникнення турбулентності повітряного потоку, і як наслідок зрив робота з поверхні переміщення. Цей недолік знижує надійність утримання робота на поверхнях переміщення довільної орієнтації в просторі.

Досить ефективним розв'язком є транспортний робот [21], що містить колісну трансмісію в сукупності з магнітними ланцюгами та пружними демпферами (рис. 6.17). Завдяки застосуванню магнітних ланцюгів робот має спроможність пересуватися на поверхнях з нерівностями, а наявність пружних демпферів сприяє гасінню енергії ударів, тобто зменшує динамічне навантаження, що є суттєвою ознакою для мобільних роботів, долаючих гравітаційне навантаження при пересування по поверхнях довільної орієнтації. Але застосування транспортного робота з магнітними ланцюгами можливе тільки при пестуванні по феромагнітним поверхням.

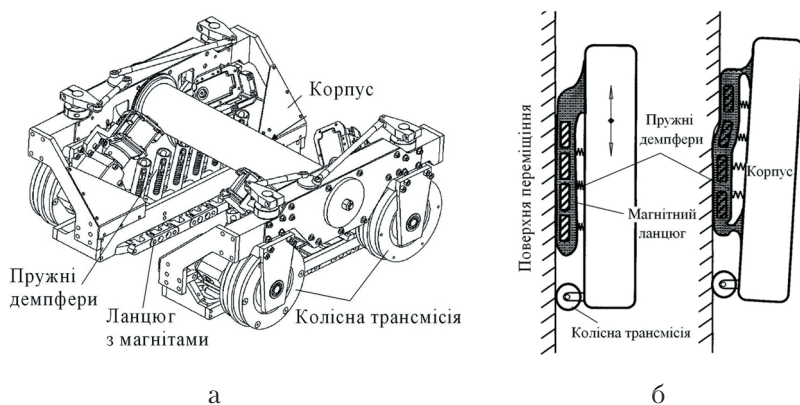


Рис. 6.17. Висхідний транспортний робот з магнітними ланцюгами (а) та схема його переміщення (б)

6.5. Мобільні РДО як багаторівнева технічна система

Відаючи належне перспективності використання розглянутих вище експериментальних зразків мобільних РДО, слід констатувати, що всі вони являють собою, нехай і ефективні, але розрізнені технічні розв'язки, спрямовані на досягнення того або іншого ефекту. Інакше кажучи, розглянуті конструкції не об'єднані єдиним системним підходом до їхнього синтезу, що у свою чергу, перешкоджає їхній промисловій реалізації, хоча б на серійному рівні виробництва.

У першому наближенні дане завдання може бути вирішене представленням мобільних РДО багаторівневою технічною системою (ТС) з відображенням на першому етапі структурних, а потім і функціональних зв'язків усіх підсистем мобільних роботів. Представлення мобільних РДО у вигляді багаторівневої ТС дозволить спочатку

розв'язати завдання керування структурним синтезом РДО, а потім і параметричним синтезом, що вкрай важливо для створення інженерних методик їх проектування, як предтечу промислового освоєння мобільних роботів довільної орієнтації в технологічному просторі. Більше того, така постановка завдання керування синтезом РДО дозволяє застосувати класичні методи структурно-параметричного аналізу й наступного синтезу, що досить добре зарекомендували себе в інших інженерних дослідженнях. Власне метод морфологічного аналізу, що передує структурному синтезу ТС, був уперше запропонований Ф. Цвіккі [22].

Вказаний морфологічний метод заснований на комбінаториці технічних розв'язків. Суть його полягає в тому, що в об'єкті, який підлягає дослідженню, виділяють групу основних конструктивних або інших ознак. Для кожної ознаки вибирають альтернативні варіанти, тобто можливі варіанти його виконання або практичної реалізації. Комбінуючи їх між собою, можна одержати безліч різних розв'язків, у тому числі, що представляють промисловий інтерес. Представимо мобільні РДО як багаторівневу ТС і розглянемо її рівні синтезу. З морфологічного графа (рис. 6.18) видно, що з погляду промислової реалізації, таких рівнів може бути чотири, починаючи з визначальних підсистем мобільних роботів, а саме підсистем зчеплення з поверхнею переміщення довільної орієнтації, до апаратних засобів керування роботами довільної орієнтації у технологічному просторі.

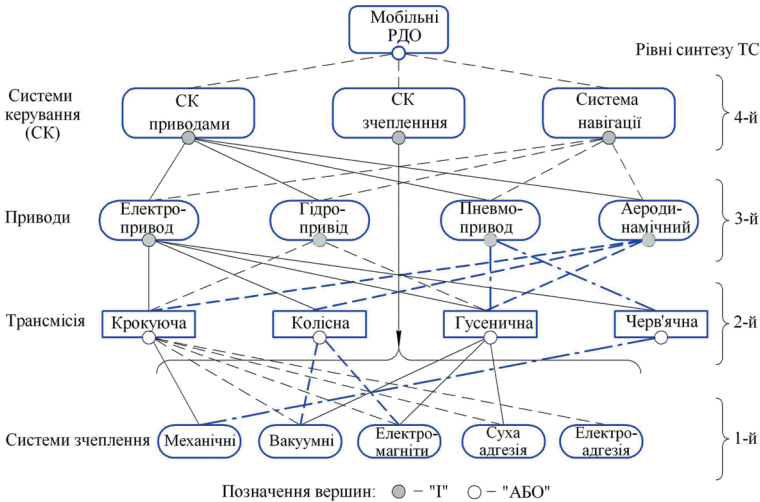


Рис. 6.18. Структура мобільних РДО як багаторівневої технічної системи

Представлений морфологічний граф дозволяє не тільки встановити структурні зв'язки підсистем РДО, що відображені на рис. 6.18 відповідними лініями, але й надалі привласнити цим зв'язкам параметричні вираження у вигляді цільових функцій, оптимізація яких і становить сутність параметричного синтезу РДО. Однак тут доречно помітити, що розв'язок завдань параметричного синтезу багаторівневих ТС, як правило, закінчується відшукуванням квазіоптимальних значень критеріїв оптимізації, інакше кажучи, визначенням локальних екстремумів цільових функцій. Це пояснюється не тільки тим, що будь-яка технічна система, а тим більше багаторівнева, характеризується початковими умовами й діапазоном варіювання незалежних змінних, а також і тим, що рівні синтезу ТС включають різні по своєму призначенню й складу підсистеми функціональних пристроїв. Причому, слід ураховувати й те, що діапазони варіювання незалежних змінних, а це не що інше, як технічні характеристики зазначених підсистем, що попередньо визначаються технічним завданням, заснованим на промисловій доцільності й відповідним як сфері експлуатації РДО, так і режимам їх функціонування при виконанні різноманітних технологічних операцій.

Розглянемо методику параметричного синтезу мобільного робота на прикладі робота для обслуговування дерев паркових масивів. Цільові функції на різних рівнях синтезу представимо в загальному вигляді. Нехай, наприклад, згідно з технічним завданням мобільний робот 1 (рис. 6.19, а), оснащений крокуючою трансмісією 2 з електроприводами 3 (L1) і механічними Q1 захватами 4, повинен переміщатися по стовбуру дерева 5 у системі координат XYZ на величину ΔZ і виконувати технологічну операцію E4. І нехай остання полягає в тому, щоб дисковою фрезою 6 зрізати деревні нарости 7. Тоді, відповідно до обраної з морфологічного графа рис. 6.18 структури на рис. 6.19(б), оптимізації підлягають наступні параметри: режими технологічної операції – різання наростів; характеристики електропривода із крокуючою трансмісією й конструктивні параметри механічного захвата.

Оскільки функціонали цільових функцій, що зв'язують критерій оптимізації з незалежними факторами, можуть бути різноманітні й визначаються рівнем кваліфікації конструктора чи математика, то тут для стислості обмежимося відображенням цільових функцій у загальному виді, що поки достатньо для викладання застосованої методології параметричного синтезу. Таке обмеження виправдане ще й тим, що власне процедура обчислення оптимальних або, скоріше, квазіоптимальних значень параметрів може здійснюватися відомими як аналітичними, так і чисельними методами.

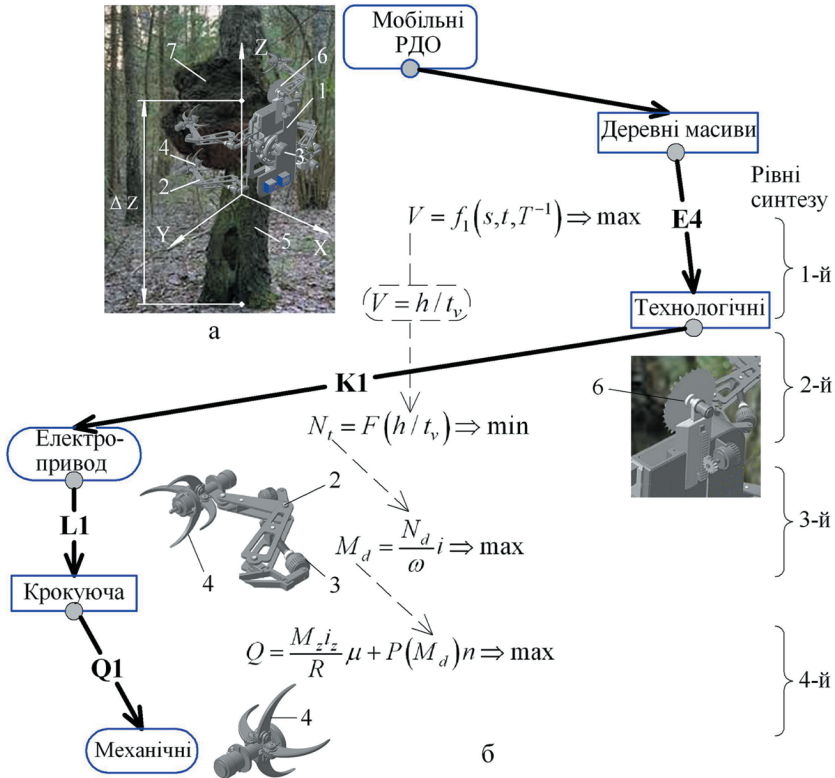


Рис. 6.19. Структурно-параметрична модель мобільного робота для обрізки дерев

Тут відобразимо важливіше – запроповану модифікацію методу параметричного синтезу такої багаторівневої ієрархічної структури, як мобільний РДО. Пропонована модифікація полягає в наступному: відобразимо не тільки наявність зв'язку критеріїв оптимізації з незалежними змінними в межах цільових функцій, що вже відомо та істотно (тобто тривіально), але ще й зв'язок самих цільових функцій на різних рівнях технічної системи [див. позначення штриховими стрілками на рис. 6.19(б)], в даному випадку структури мобільного РДО. Отже, на 1-му рівні параметричного синтезу для морфологічної комбінації E4 цільова функція, що включає режими технологічної операції, може бути представлена в загальному виді як функція швидкості різання деревини дисковою фрезею:

$$V = f_1(s, t, T^{-1}) \Rightarrow \max \tag{6.10}$$

при обмеженнях:

$$s = f_{11}(\sigma); \quad t_1 \leq t_i \leq t_n$$

де: s – величина подачі на зуб дискової фрези; σ – межа міцності деревини певної породи; t – глибина різання в межах діапазону значень $t_1 \dots t_n$; T – період стійкості інструмента.

На 2-му рівні синтезу для морфологічної комбінації ознак K1 (технологічна функція – привод) цільову функцію можна записати як функцію потужності виконання операції (у цьому випадку різання):

$$N_t = F(h/t_v) \Rightarrow \min \quad (6.11)$$

де: F – зусилля різання деревини; h – товщина або діаметр об'єкта різання (вітки, сука, наросту); t_v – час різання; оскільки $h/t_v = v$, то можна записати $N_t = FV$, відобразивши тим самим взаємозв'язок 1-го й 2-го рівнів синтезу.

Для морфологічної комбінації ознак L1 (привод – трансмісія) 3-го рівня синтезу цільову функцію можна представити у вигляді крутного моменту M_d електропривода:

$$M_d = \frac{N_d}{\omega} i \Rightarrow \max, \quad N_d = M_d \omega \geq N_t \quad (6.12)$$

де: N_d і ω – потужність і кутова швидкість двигуна; i – передатне відношення підсилювально-передатної ланки (редуктора).

На 4-му рівні (див. рис. 6.19) параметричного синтезу для комбінації Q1 (привод – система зчеплення з поверхнею переміщення робота) цільову функцію також бажане зв'язати з попереднім функціоналом. Це можна виконати, записавши у вигляді цільової функції вираження для сили зчеплення Q механічного захвата з поверхнею переміщення мобільного РДО:

$$Q = \frac{M_z i_z}{R} k + P(M_d) n \Rightarrow \max; \quad Q \geq (F + mg) K \quad (6.13)$$

де: M_z і i_z – відповідно крутний момент і передатне відношення приводу захвата; R – виліт (довжина) пазурів захвата; k – коефіцієнт тертя ковзання між матеріалом пазурів захвата й поверхнею дерева; P – зусилля однієї ноги із числа n ланок крокуючої трансмісії, як функція моменту двигуна M_d у вираженні (2.26); m – маса робота; g – прискорення вільного падіння; K – коефіцієнт запасу (1,5...2).

Зазначені цільові функції параметричного синтезу аж ніяк не є вичерпними, вони можуть бути доповнені й змінені, тим більше, коли буде поставлено аналогічне завдання оптимізації для інших гілок морфологічного графа рис. 6.18. На даному етапі не має потреби в аналі-

тичному явному вигляді цільових функцій, оскільки поки ілюструється власне модифікація методу параметричного синтезу ієрархічної структури мобільного робота цільового технологічного призначення. Але надзвичайно важливий параметричний *взаємозв'язок* цільових функцій оптимізації компонентів структури, як ієрархічної багаторівневої технічної системи, показаної на прикладі мобільного робота, зокрема, для обрізки дерев. Більше того, украй бажаний не тільки взаємозв'язок функціоналів на різних рівнях системи, але й *функціональний зв'язок* між їхніми незалежними змінними й накладеними на них обмеженнями. Створення подібних формалізованих моделей дозволить максимально підвищити їхню адекватність реальним умовам експлуатації мобільних роботів довільної орієнтації у технологічному просторі, що сприяє ефективності проектування, а значить і експлуатації мобільних роботів, як нового виду засобів виробництва.

Контрольні запитання

1. Назвіть основні сфери експлуатації мобільних роботів довільної орієнтації у просторі
2. Наведіть структуру і склад підсистем мобільних роботів
3. Наведіть структура підсистем переміщення та зчеплення роботів
4. Які дослідні зразки крокуючих мобільних вам відомі, визначить принципи їх дії
5. Розкрийте сутність трьох основоположних принципів синтезу мобільних роботів
6. Поясніть сутність представлення мобільних роботів як багаторівневої технічної системи
7. Надайте визначення та призначення структурного і параметричного синтезу технічної системи



Література

1. Гнучкі комп'ютеризовані системи: проектування, моделювання і управління: підручник. [Авт. кол.: Л.С. Ямпольський, П.П. Мельничук, Б.Б.Самотокін, М.М.Поліщук, М.М. Ткач, К.Б. Остапченко, О.І. Лісовиченко]. Житомир: ЖДТУ, 2005. 680 с2.
2. Полищук М.Н., Тышкевич Ю. В. Проектирование технологического оснащения и наладка промышленных роботов. /Под общ. ред. проф. Ямпольского Л.С.К: Дорадо-Друк, 2014. 272 с.
3. Патент RU 2551740 МПК В25J15/08. Кисть руки робота: заяв. 03.07.2013; опубл. 27.05.2015. Бюл. № 15.
4. Патент RU 2570597 МПК В25J 15/12. Захват: заяв. 09.06.2014; опубл. 10.12.2015. Бюл. № 34.
5. Патент US 9492928 МПК В25J 15/00. Interconnected phalanges for robotic gripping: заяв. 05.11.2014; опубл. 05.05.2016.
6. Справочник по промышленной робототехнике: в 2 т.: пер. с англ.: Handbook of industrial robotics / Shimon Y. Nof. – John Wiley Sons, New York /Ш. Ноф. М.: Машиностроение, 1989, с.121 – 122.
7. Козырев Ю.Г. Захватные устройства и инструменты промышленных роботов. М.: КНОРУС, 2016, с. 75.
8. Антропоморфна кисть промислового робота: пат. 120391 Україна: МПК В25J 15/08. заявник і патентовласник Поліщук М.М.; № а201711458; заявл. 14.03.2017; опубл. 25.11.2019, Бюл. №. 22. 4 с.
9. Polishchuk, M. Anthropomorphic gripping device for an industrial robot: designand calculation of parameters. SN Appl. Sci. (2019) 1: 503. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0535-z>
10. Поліщук М.М. Напрямки розвитку мобільних роботів довільної орієнтації в просторі. International Multidisciplinary Conference: Key issues of education and sciences: development prospects for Ukraine and Poland (Stalowa Wola, Republic of Poland 21 July 2018). Stalowa Wola, Volume 6, 2018, p.p. 95-99.
11. Черноусько Ф.Л., Болотник Н.Н., Градецкий В.Г. Мобильные роботы: проблемы управления и оптимизации движений. XII Всероссийское совещание по проблемам управления: труды ВСПУ 2014 (Москва 16–17 июня 2014). Москва. 2014. С. 67–78.
12. Saundersa A., Goldmanb D.I, Fullb R.J. and Buehlера M. The RiSE Climbing Robot: Body and Leg Design. Boston Dynamics, Unmanned Systems Technology VIII. Proc. of SPIE Vol. 6230. 2005.13p.

13. Tin Lun Lam, Yangsheng Xu. *Tree Climbing Robot: Design, Kinematics and Motion Planning*. Springer Heidelberg, New York, 2012. 178p.
14. Auke Ijspeert, Carlo Menon. *Modelisation and Simulation of Climbing Robots*. Master Project, Simon Ruffieux, Simon Fraser University, 2008, p.21.
15. Спосіб переміщення педипуляторів крокуючого робота і пристрій для його здійснення: пат. 111021 Україна: МПК B62D57/032. № а201411741; заявл. 30.10.2014; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5. 10 с.
16. Крокуючий мобільний робот: пат. 117065 Україна: МПК B62D 57/032. № а201701440; опубл. 11.06.2018, Бюл. 11. 8 с.
17. Polishchuk M., Opashnianskyi M., Suyazov N. *Walking Mobile Robot of Arbitrary Orientation*. *International Journal of Engineering and Manufacturing (IJEM)*. 2018. Vol.8, No.3. P. 1–11.
18. Антигравітаційний мобільний робот Поліщука: пат. 120410 Україна: № а201805661. МПК B62D57/024; заяв. 22.05.2018; опубл. 25.11.2019, Бюл. № 22 К.: Укрпатент, 2018. 4 с.
19. Raju D.D, Jaju S.B. *Developments in wall climbing robots: a review*. *International journal of engineering research and general science*. 2014. №. 2. P. 35.
20. Patent US 9738337 Int. Cl. B62D 57/024. *Climbing robot vehicle*. Filed: 28.01.2015; Date of Patent: 22.08.2017.
21. Patent US 9428231 Int. Cl. B62D 55/00. *Climbing vehicle with suspension mechanism*. Filed: 12.02.2014; Date of Patent: 30.08.2016.
22. Zwicky F. *Discovery, Invention, Research Through the Morphological Approach*. New-York: Macmillan Co., 1969. 265p.

ДОДАТОК А

Порівняльні характеристики промислових роботів

Вантажопідйомність 3–5 кг

Таблиця А1

Параметри	Моделі роботів			
	Kawasaki FS03N	Fanuc 200/В/3L	Kuka KR5sixxR650	Denso VS-050
Вантажопідйомність, кг	3	3	5	4
Число осей	6	6	6	6
Довжина руки, мм	620	856	653	505
Точність позиціонування, мм	± 0,05	± 0,04	± 0,02	± 0,02
Кут повороту, град				
колона X1	± 160	320	± 170	± 170
передпліччя X2	+150/-60	185	+45/-190	± 120
лікоть X3	+120/-150	290	+165/-119	+151/-120
X4	± 360	380	± 190	± 270
кисть X5	± 135	240	± 120	± 120
(ротація) X6	± 360	±360	± 358	± 360
Швидкість, град/сек	360	140	375	Максимальна швидкість 9000 мм/сек
колона X1	250	150	300	
передпліччя X2	225	160	375	
лікоть X3	540	400	410	
X4	225	330	410	
кисть X5	540	480	660	
(ротація) X6				
Вага, кг	20	47	28	34

Вантажопідйомність 6–7 кг

Таблиця А2

Параметри	Моделі роботів			
	Kawasaki FS06L	Fanuc 100/В/6S	Hyundai HA006	Denso VS-6577G-B
Вантажопідйомність, кг	6	6	6	7
Число осей	6	6	6	6
Довжина руки, мм	1550	951	1394	854
Точність позиціонування, мм	± 0,1	± 0,08	± 0,05	± 0,03
Кут повороту, град.				
колона X1	± 160	340	±180°	±170°
передпліччя X2	+140°/-105°	250	+150°/-90°	+135°/-100°
лікоть X3	+120°/-155°	310	+200°/-160°	+169°/-119°
X4	± 270°	380	±180°	±190°
кисть X5	± 145°	280	±135°	±120°
(ротація) X6	± 360°	±360°	±360°	±360

Продовження таблиці А2

Параметри	Моделі роботів			
	Kawasaki FS06L	Fanuc 100/B/6S	Hyundai HA006	Denso VS-6577G-B
Швидкість, град/сек, по осях:				
колона X1	200	200	170	Макси- мальна швидкість 7600 мм/сек
передпліччя X2	140	200	170	
лікоть X3	200	260	170	
X4	360	400	335	
кисть X5	360	400	335	
(ротація) X6	600	720	500	
Вага, кг	170	135	155	—

Таблиця А3

Вантажопідйомність 20 – 25 кг

Параметри	Моделі роботів				
	Kawasaki FS20N	Fanuc M-16iB/20	TUR 15	Denso HM-4A60*G	
Вантажопідйомність, кг	20	20	25 (15+10)	20	
Число осей	6	6	6	4	
Довжина руки, мм	1650	1667	1666	600	
Точність позиціону- вання, мм	± 0,1	± 0,08	± 0,1	±(0,01 – 0,05)	
Кут повороту, град. по осях					
колона X1	± 160	340/360	± 185	± 165	
передпліччя X2	+140/-105		250	+40/-150	± 147
лікоть X3	+120/-155	460	+150/-130	100 – 300 мм	
X4	± 270	400	± 350		
кисть X5	± 145	280	± 130		
(ротація) X6	± 360	±450	± 350		± 360
Швидкість, град/сек, по осях:					
колона X1	160	165	156		8780 мм/с
передпліччя X2	140	165	156	2760 мм/с	
лікоть X3	160	175	156		
X4	330	350	330		
кисть X5	330	340	330		
(ротація) X6	500	520	615	1540 мм/с	
Вага, кг	275	215	260	—	

Патент UA 117065
Крокуючий мобільний робот

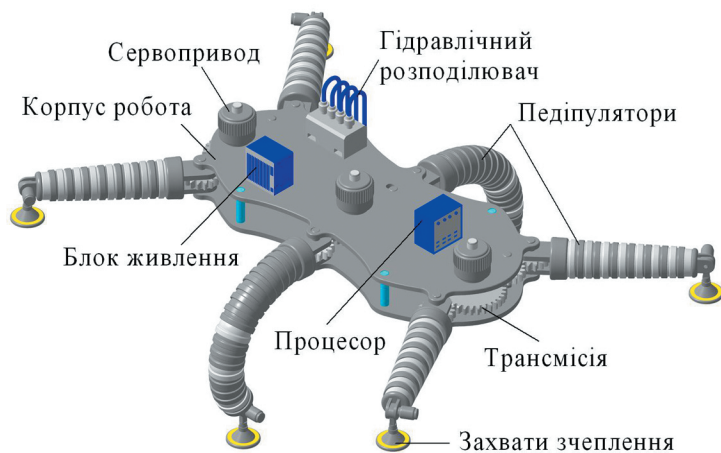


Рис. 1-Б. Загальний вид мобільного робота з гнучкими педипуляторами довільної орієнтації

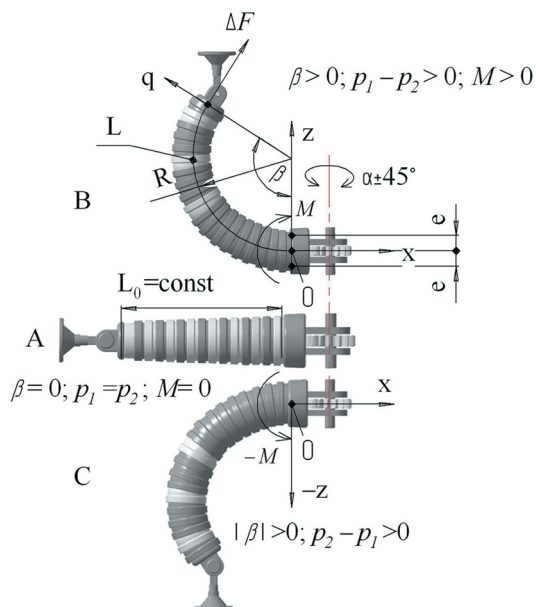


Рис. 2-Б. Положення педипуляторів робота довільної орієнтації під різними тисками p_1 , p_2 в гофрованих трубопроводах

Патент UA 119633
Мобільний робот для обрізки дерев

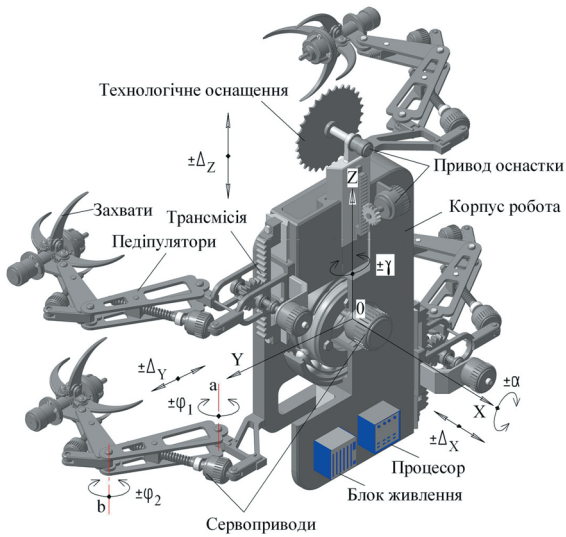


Рис. 3-Б. Загальний вид мобільного робота. Патент UA 111021



Рис. 4-Б. Положення мобільного робота при обрізці наросту
1– робот; 2 – наріст на дереві

Патент UA 111021
Спосіб переміщення педипуляторів крокуючого робота
і пристрій для його здійснення

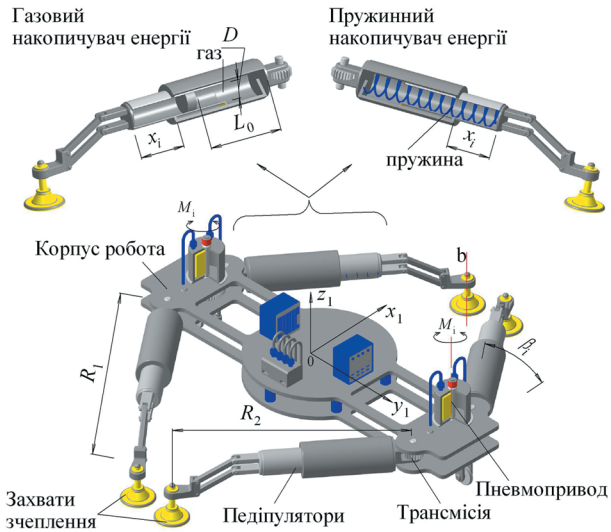


Рис. 5-Б. Робот довільної орієнтації
з модулями накопичення та перетворення енергії руху

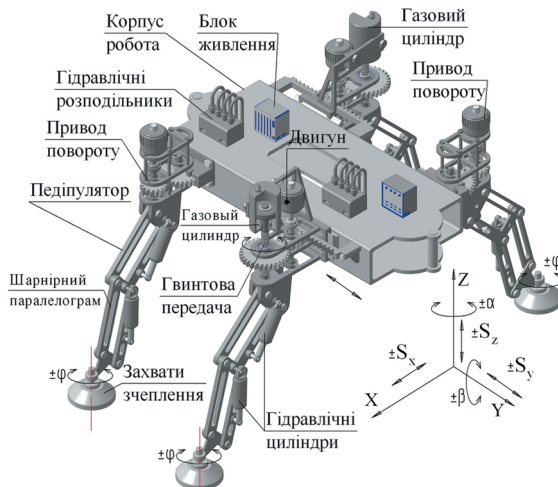


Рис. 6-Б. Крокуючий мобільний робот Кузнецова-Поліщука
з газовими накопичувачами енергії. Патент UA 121432

Антропоморфний крокуючий робот

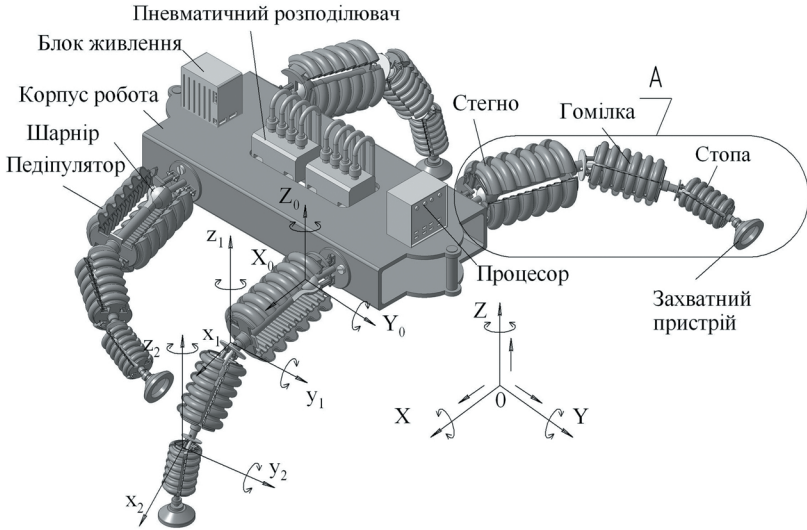


Рис. 7-Б. Модифікація мобільного робота на основі антропоморфних педипуляторів

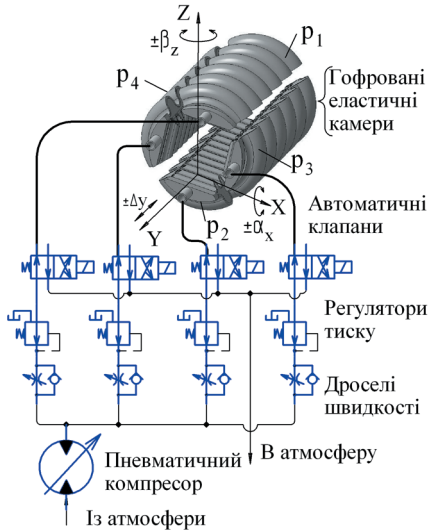


Рис. 8-Б. Схема блоку керування еластичними камерами антропоморфного робота

Патент UA 120410
Антигравітаційний мобільний робот Поліщука

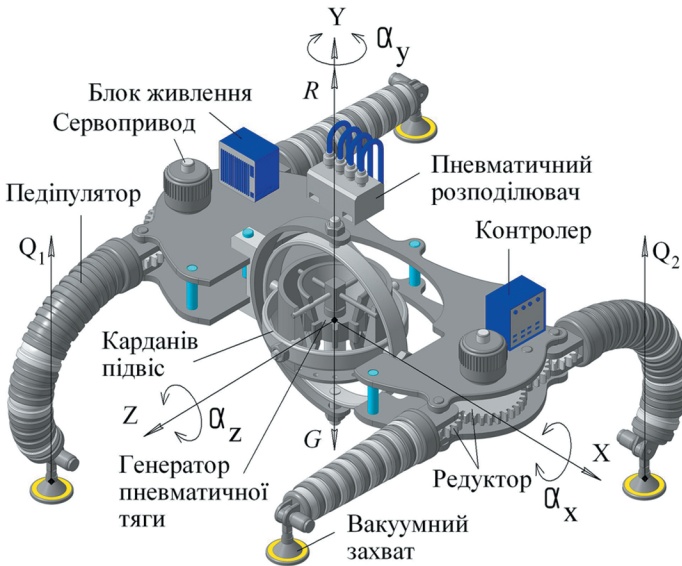


Рис. 9-Б. Мобільний робот з генератором пневматичної тяги на Кардановому підвісі Патент UA 118921

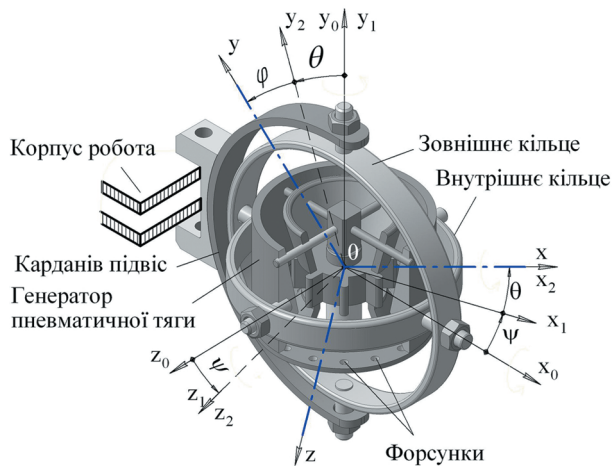


Рис. 10-Б. Генератор тяги на Кардановому підвісі з трьома ступенями свободи в системі координат $0x_0y_0z_0$

Патент UA 118921
 Транспортний пристрій для переміщення усередині труб

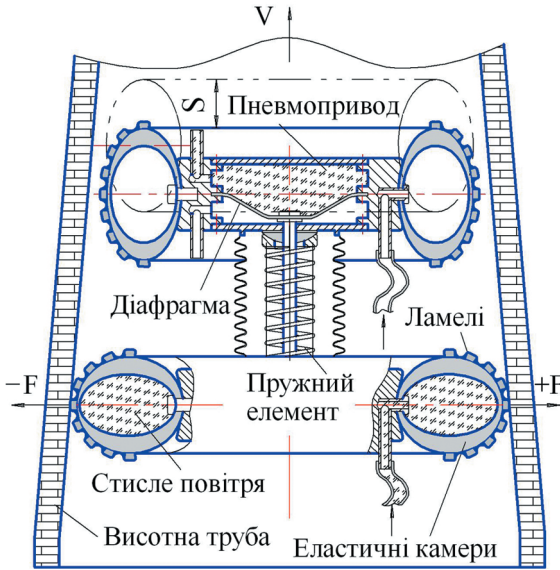


Рис. 11-Б. Привод мобільного робота вертикального переміщення

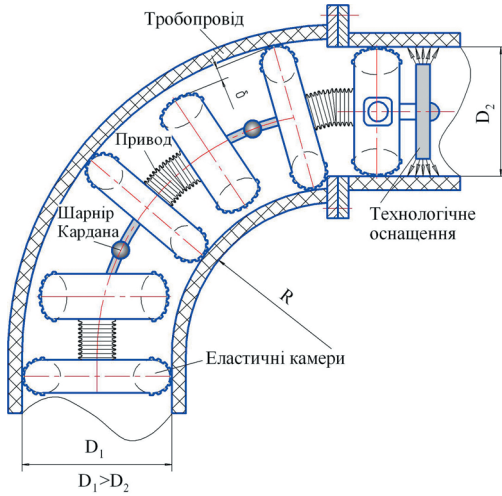


Рис. 12-Б. Схема переміщення мобільного робота при очищенні промислового трубопроводу

Патент UA 117979
Захват крокуючого робота

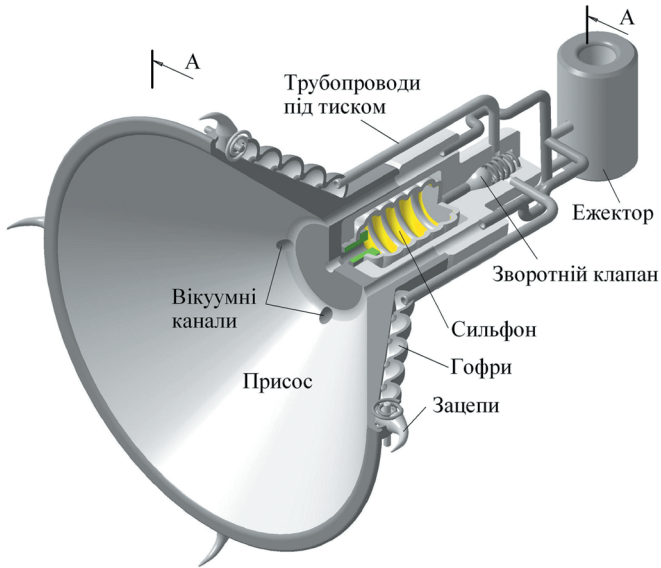


Рис. 13-Б. Вакуумно-механічний захват робота вертикального переміщення

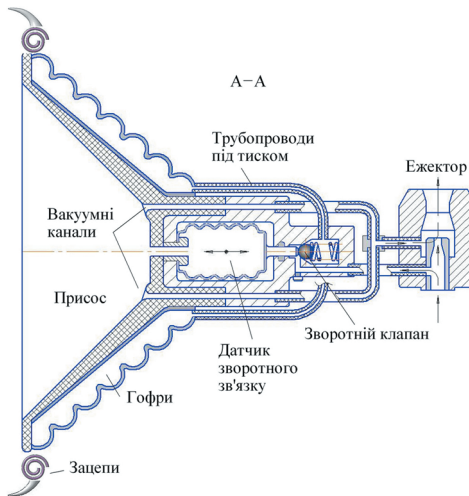


Рис. 14-Б. Поздовжній перетин комбінованого захвата мобільного робота з датчиком зворотного зв'язку керування

Патент UA 120391
 Антропоморфна кисть промислового робота

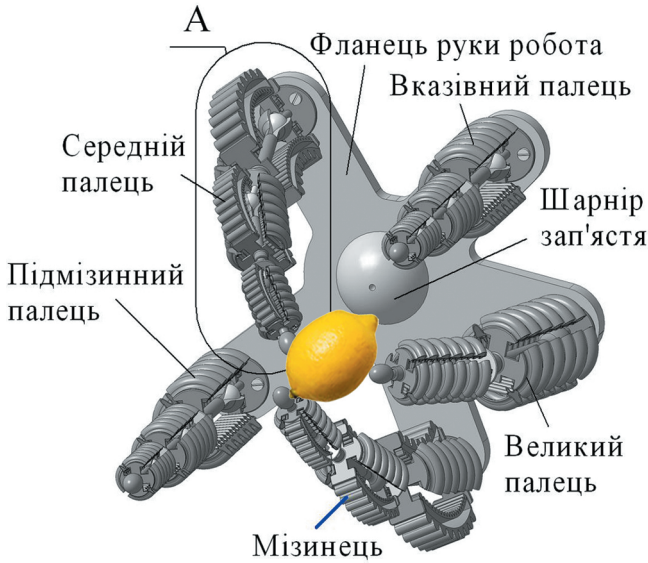


Рис. 15-Б. Антропоморфна кисть робота

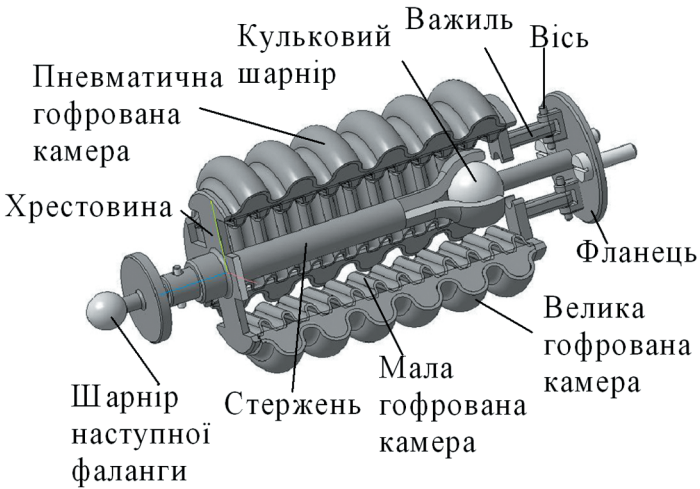


Рис. 16-Б. Фаланга пальця антропоморфної кисті робота

Патент UA 119109
Захват крокуючого робота вертикального переміщення

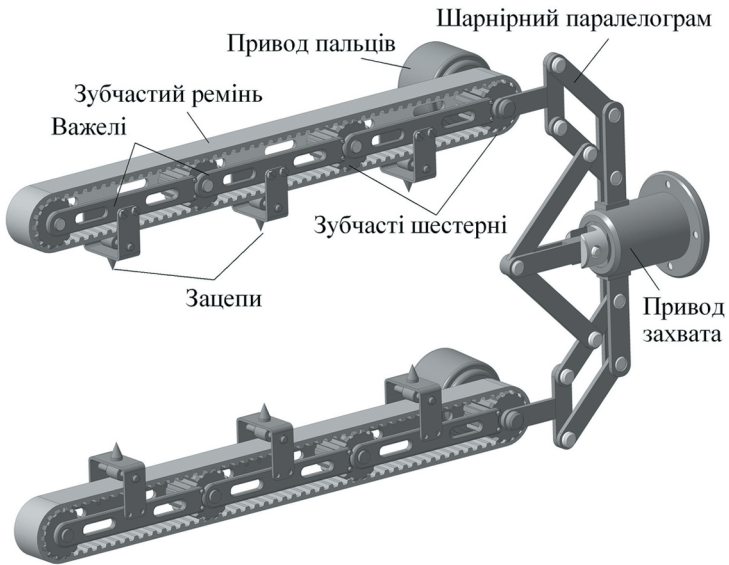


Рис. 17-Б. 3D модель захвата

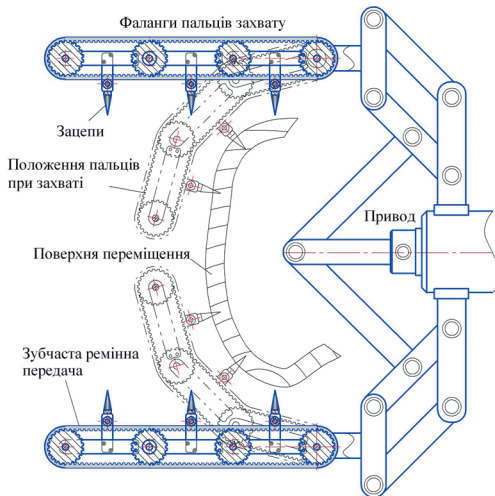


Рис. 18-Б. Положення пальців захвату при зчепленні з поверхнею переміщення

Кисть складального модуля промислового робота

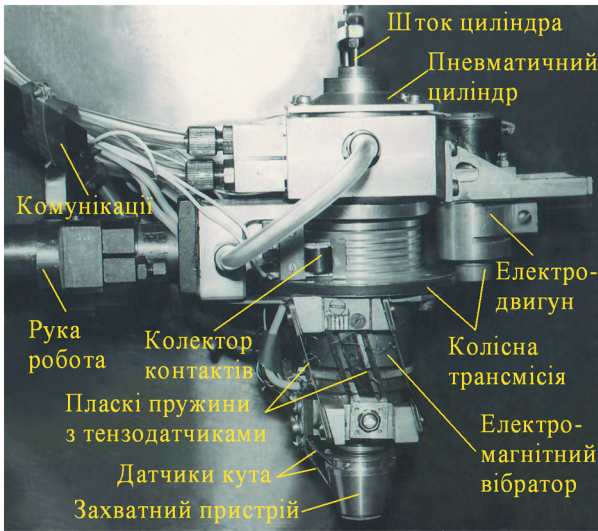


Рис. 19-Б. Автопошуковий модуль кисті для компенсації помилки позиціонування складального робота при складанні прецизійних деталей

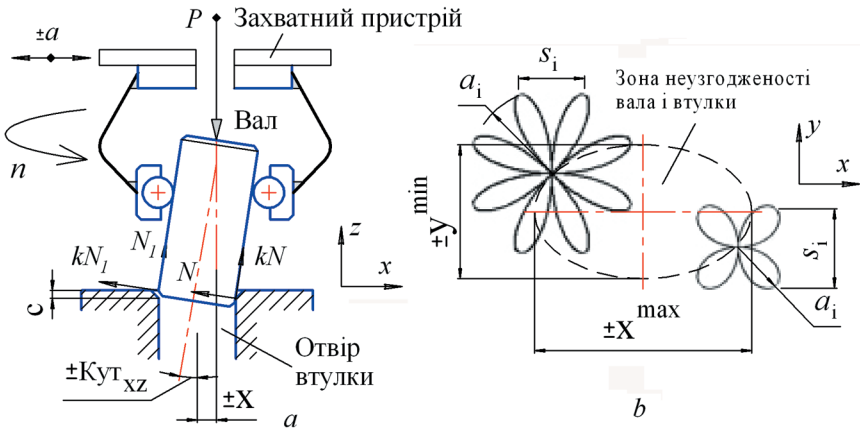


Рис. 20-Б. Схема складання прецизійних деталей
а) схема з'єднання типу вал-втулка; б) зона неузгодженості об'єктів складання; a – амплітуда коливань; n – швидкість обертання захвату; a_i, s_i – радіус і крок пошукової траєкторії типу рози Гвідо Гранді; N – сила нормальної реакції; k – коефіцієнт тертя

Морфологічний граф структурно-параметричного синтезу технічних розв'язків патентів UA 117065, 111021 та 117979 (див. Розділ 6.5)

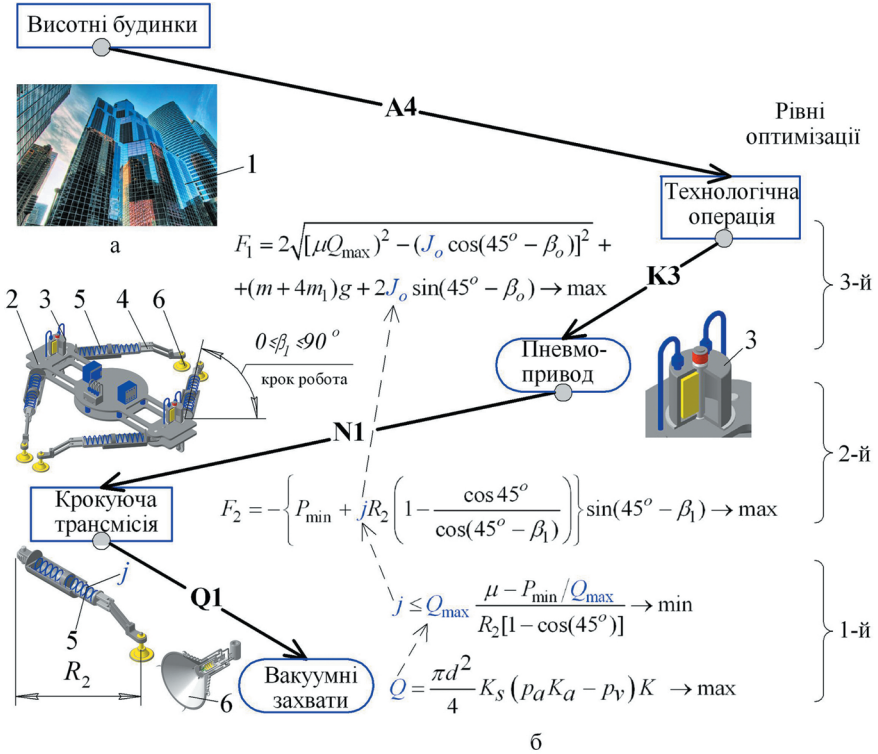


Рис. 21-В. Структурно-параметричний синтез мобільного робота для обслуговування висотних будинків (а) та рівні ієрархічної системи (б) з відображенням цільових функцій:

F_1 – сила руху на етапі накопичення енергії; F_2 – сила руху на етапі перетворення енергії; J – зусилля пружного акумулятора енергії; Q_{\max} – сила зчеплення з поверхнею переміщення; R – радіус ноги робота; β_1 – кут повороту підпулятора; p_a, p_v – атмосферний тиск та тиск вакууму в захваті; d – діаметр камери накопичувача енергії; m_1 – ноги робота; m – маса робота;

1) висотний будинок; 2) корпус робота; 3) блок керування;
4) підпулятори; 5) накопичувач енергії; 6) захвати робота

Морфологічний граф структурно-параметричного синтезу
технічних розв'язків патентів UA 119633 та 120410
(див. Розділ 6.5)

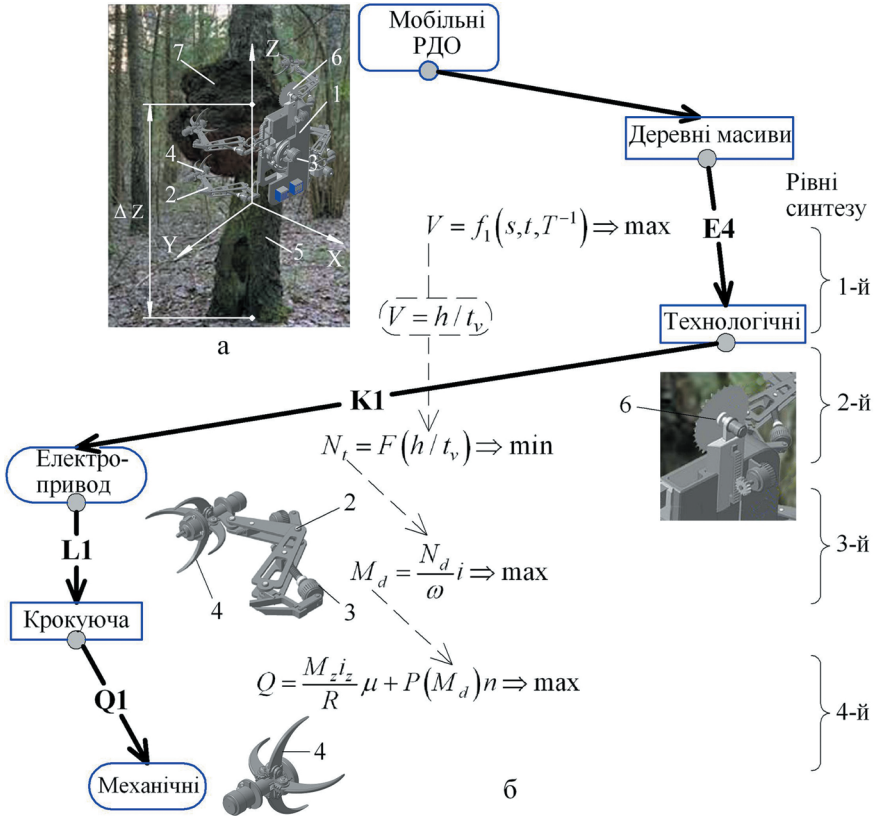
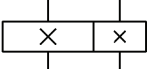

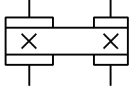
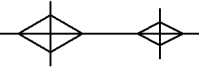


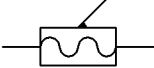
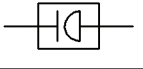







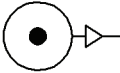
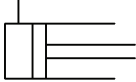

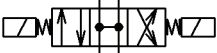





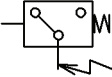
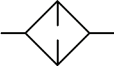
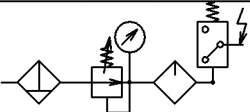

Рис. 22-Б. Структурно-параметричний синтез мобільного робота для обслуговування деревних масивів (а) та рівні ієрархічної системи (б) з відображенням цільових функцій параметричного синтезу:

V – швидкість руху; s – відстань руху; t – час руху; T – стійкість інструменту; N_1 – технологічне зусилля; M_d – момент приводу; N_d – потужність приводу; i – передаточне відношення трансмісії; Q – сила зчеплення з поверхнею переміщення; M_z – момент приводу захвату робота; i_z – передаточне відношення приводу захвату; R – радіус ноги робота; P – сила зчеплення ноги робота; n – кількість педипуляторів.

Позначення елементів кінематичних схем

Позначення	Назва елементу
	Передача зубчаста циліндрична
	Передача зубчаста конічна
	Передача ремінна
	Передача ланцюгова
	Кінематична пара обертальна
	Кінематична пара поступальна
	Гвинтова пара
	Муфта компенсуюча
	Підшипник кочення радіальний
	Підшипник ковзання радіальний
	Пружина розтягання
	Гальмо
	Нерухлива ланка

Позначення елементів пневматичних і гідравлічних схем

Позначення	Назва елементу
	Джерело живлення, насос
	Пневмо- або гідроциліндр
	Електромагнітний пневморозподільвач
	Електромагнітний гідророзподільвач
	Клапан редукційний
	Клапан запобіжний
	Дросель регульований
	Вентиль
	Манометр
	Реле тиску
	Фільтр
	Блок підготовки стисненого повітря
	Гідробак закритий

М.М. Поліщук, М.М. Ткач

Робототехнічні системи:
проектування і моделювання

Навчальний посібник

Технічний редактор Поліщук М.М.
Комп'ютерна верстка Савельєва Т.О.
Поліграфічний макет Поліщук М.М.
Коректор Савельєва Т.О.

Підписано до видання 02.03.2021 р. Формат 60x90 1/16.

Гарнітура UkrainianPeterburg.

Електронне видання

Видавець і виготовлювач: Кафедра технічної кібернетики
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського

(044) 204-94-70
(044) 229-95-40
borchiv@ukr.net