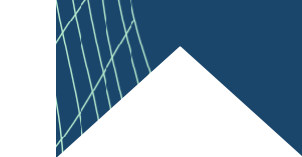


ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

**ПРОЕКТУВАННЯ РОБОТОТЕХНІЧНИХ
СИСТЕМ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Конспект лекцій

Запоріжжя 2024



УДК 621.9.0077:621.865.85
П79

Рекомендовано Науково-методичною
радою ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
(протокол № 8 від 12.07.2024 р)

Укладачі:

Налобіна О. О., докт. техн. наук, професор кафедри АВЕРС,
Голотюк М.В., канд. техн. наук, доцент кафедри АВЕРС,
Бундза О.З., канд. техн. наук, доцент кафедри АВЕРС,

П79 **Проектування** робототехнічних систем спеціального
призначення : конспект лекцій / уклад. О. О. Налобіна, М.В.
Голотюк, О.З. Бундза. Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024. 89 с.

Конспект лекцій присвячено вивченню проектування
робототехнічних систем спеціального призначення, вивченню засад
проектування промислових роботів, обґрунтування їх параметрів, методи
вибору схем та компоновок, методик кінематичного, силового
розрахунків, проектування та розрахунку механізмів та передач, а також
методу вибору двигунів.

Рекомендовано для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
усіх форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти, що вивчають курс
«Проектування робототехнічних систем спеціального призначення» як обов'язкову
дисципліну.

УДК 621.9.0077:621.865.85

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024

ЗМІСТ

ВСТУП	5
ТЕМА 1. ОСНОВИ ТЕОРІЇ І МЕТОДІВ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ	7
1.1. Загальні поняття про проектування технічних систем	7
1.2. Методи проектування технічних систем	8
1.3. Особливості проектування деяких типів технічних систем: системи автоматичного керування (САК); автоматизовані системи керування (АСК); уніфіковані технічні системи; мехатронні системи; робототехнічні системи	9
1.4. Загальна послідовність етапів проектування робота	12
Контрольні питання	13
Література	13
Тема 2. ВИБІР ПАРАМЕТРІВ, КІНЕМАТИЧНИХ І КОМПОНУВАЛЬНИХ СХЕМ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ	15
2.1. Типорозмірні ряди ПР	15
2.2. Вибір кінематичних схем і кінематичних параметрів	16
2.3. Вибір параметрів точності та швидкості	18
2.4. Розрахунки кінематики та точності	19
2.5. Силовий розрахунок ПР	22
Контрольні питання	25
Література	26
Тема 3. РОБОТИЗОВАНА ВИРОБНИЧА СИСТЕМА (РТС)	27
3.1. Основні поняття й означення РТС	27
3.2. Гнучкість виробничої системи	28
3.3. Класифікація РТС	30
3.4. Промисловий робот як компонент РТС.	31
3.5. Технічні параметри ПР	31
3.6. Структура промислових роботів	32
3.7. Принципи побудови промислових роботів	34
3.8. Транспортні роботи	37
Контрольні питання	41
Література	41
Тема 4. АВТОМАТИЗОВАНІ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКІ СИСТЕМИ	42
4.1. Модулі складування й комплектації	42
4.2. Транспортно-складська тара і штабелююче обладнання	43
4.3. Пристрої для переміщення й перевантаження об'єктів	44
4.4. Типові компоновки і параметри модулів складування і комплектації для гнучких виробничих систем	46
4.5. Проектування автоматизованих транспортно-складських систем	49
Контрольні питання	50
Література	50
Тема 5. МЕХАНІЗМИ І ПЕРЕДАЧІ ПР	51

5.1	Важільні механізми	51
5.2	Важильно-зубчасті механізми	54
5.3	Хвильові передачі	54
5.4	Планетарно-цевочні зубчасті передачі	55
5.5	Планетарні та диференціальні механізми	56
5.6	Передачі з зубчастими пасами	58
5.7	Стрічкові передачі	59
5.8	Ланцюгові передачі	59
5.9	Гвинтові передачі	60
	Контрольні питання	61
	Література	62
Тема 6. ПРИСТРОЇ ПОДАВАННЯ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ		63
6.1	Призначення, галузь застосування	63
6.2	Класифікація пристроїв	63
6.3	Типові конструкції та розрахунок.	64
	Контрольні питання	67
	Література	67
Тема 7. ТРАНСПОРТНІ ПРИСТРОЇ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ		68
7.1	Призначення, галузь застосування	68
7.2	Класифікація пристроїв	69
7.3	Типові конструкції. Розрахунок і проектування	70
	Контрольні питання	77
	Література	77
Тема 8. ПРОЕКТУВАННЯ ПРИВОДІВ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ		78
8.1	Порівняльний аналіз приводів	78
8.2	Електромеханічний привод	78
8.3	Кінематичні характеристики привода	79
8.4	Вибір електродвигуна привода	80
8.5	Розміщення приводів на виконавчому устаткуванні.	
	Розробка приводних модулів	82
	Контрольні питання	83
	Література	84
Тема 9. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОСНАЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ.		84
9.1	Проектування механічних захватних пристроїв	84
9.2	Проектування вакуумних захватів	85
9.3	Електромагнітні захвати	86
	Контрольні питання	87
	Література	88



ВСТУП

Проектування робототехнічних систем спеціального призначення - дисципліна, яка сприяє формуванню у студентів навичок створювати, удосконалювати та застосовувати математичні, наукові й технічні методи для розв'язування інженерних задач галузевого машинобудування, розуміння моделей формування процесів, методик пошуку проектних рішень робототехнічних систем. Також формує здатність критично осмислювати передові для галузевого машинобудування наукові факти, концепцій, теорій, принципи та застосовувати їх для розв'язання складних задач галузевого машинобудування і забезпечення сталого розвитку.

Особливістю дисципліни є формування навичок до виконання аналізу інженерних об'єктів, процесів та методів; здійснення необхідних інженерних розрахунків з метою вирішення складних проектних задач.

Набуті знання і розуміння засад технологічних, фундаментальних та інженерних наук, що лежать в основі створення мехатронних і робототехнічних систем, дозволять виконати дослідження в рамках виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

Дисципліна складається з двох модулів.

Змістовий модуль 1.

Тема 1. Основи теорії і методів проектування технічних систем.

Тема 2. Вибір параметрів, кінематичних і компоновальних схем промислових роботів.

Тема 3. Роботизована виробнича система.

Тема 4. Автоматизовані транспортно-складські системи.

Тема 5. Механізми і передачі ПР.

Змістовий модуль 2.

Тема 6. Пристрої подавання робототехнічних систем.

Тема 7. Транспортні пристрої робототехнічних систем.

Тема 8. Проектування приводів робототехнічних систем.

Тема 9. Технологічне оснащення промислових роботів.

Таблиця відповідності програмних результатів вивчення дисципліни компетентностям та програмним результатам, визначеним освітніми програмами, для яких ця дисципліна є обов'язковою

ОПП	Компетентності	ПРН
<p>Комп'ютерне конструювання мехатронних систем (спеціальність 133 Галузеве машинобудування)</p>	<p>ЗК2. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями</p> <p>ЗК8. Здатність приймати обґрунтовані рішення</p> <p>СК1. Здатність створювати, удосконалювати та застосовувати кількісні математичні, наукові й технічні методи та комп'ютерні програмні засоби, застосовувати системний підхід для розв'язування інженерних задач галузевого машинобудування, зокрема в умовах технічної невизначеності.</p> <p>СК2. Критичне осмислення передових для галузевого машинобудування наукових фактів, концепцій, теорій, принципів та здатність їх застосовувати для розв'язання складних задач галузевого машинобудування і забезпечення сталого розвитку.</p> <p>СК6. Здатність проектувати, створювати, експлуатувати мехатронні та робототехнічні системи.</p> <p>СК7. Здатність використовувати комп'ютерний інструментарій проектної діяльності у галузевому машинобудуванні</p>	<p>РН1) Знання і розуміння засад технологічних, фундаментальних та інженерних наук, що лежать в основі створення мехатронних і робототехнічних систем.</p> <p>РН3) Знати і розуміти процеси галузевого машинобудування, мати навички їх практичного використання.</p> <p>РН5) Аналізувати інженерні об'єкти, процеси та методи.</p> <p>РН8) Проектувати та організовувати експлуатацію робототехнічних та мехатронних комплексів з використанням діджитальних інструментів;</p> <p>РН9) Проектувати і використовувати техніку з комп'ютерним управлінням</p>



ТЕМА 1. ОСНОВИ ТЕОРІЇ І МЕТОДІВ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Мета вивчення теми: ознайомитись із методами проектування технічних систем і особливостями проведення даної процедури. Вивчити основні етапи проектування робіт та засвоїти їхній зміст.

Питання до розгляду

- 1.1. Загальні поняття про проектування технічних систем.
- 1.2. Методи проектування технічних систем.
- 1.3. Особливості проектування деяких типів технічних систем: системи автоматичного керування (САК); автоматизовані системи керування (АСК); уніфіковані технічні системи; мехатронні системи; робототехнічні системи.
- 1.4. Загальна послідовність етапів проектування робота.

1.1. Загальні поняття про проектування технічних систем

Технічна система - цілісна сукупність складових її частин (підсистем, компонентів, елементів), між якими є суттєві стійкі відносини, що закономірно обумовлюють властивості системи як цілого і дозволяють виділити її з довкілля. Система як ціле має особливу, системну властивість (властивості), якої немає у неї компонентів за будь-якого способу декомпозиції.

Проектування (від латин. projectus - кинутий вперед) - процес створення проекту – прототипу нової системи (або її варіантів), який задовольняє вимогам до неї.

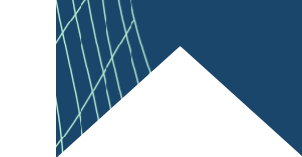
1.1.1. Завдання та види проектування

Завдання проектування можуть вирішуватись як у процесі розробки нової системи, так й в процесі її модернізації чи реконструкції.

Модернізація (від англ. Модерн – сучасний, новий, удосконалений) – оновлення системи відповідно до поставлених вимог та норм шляхом заміни або додавання нового обладнання, розширюючого, наприклад, функціональні можливості системи та покращує її показники ефективності.

Наприклад, модернізація локальної комп'ютерної мережі деякої фірми, спрямованої на підвищення якості обслуговування користувачів, що може полягати в заміні сервера мережі (маршрутизатора, комутатора або каналу зв'язку), що є вузьким місцем, на більш потужний сервер або додавання другого сервера, що дозволяє розвантажити вихідний сервер.

Реконструкція – (від лат. constructio – побудова) – глобальна зміна (перебудова) системи з метою удосконалення, спрямована на підвищення якості функціонування системи. Наприклад, для тієї ж



локальної комп'ютерної мережі реконструкція може означати суттєва зміна як складу обладнання.

Види проектування:

- інженерне проектування – проектування інженерних систем (електромереж, газопроводів тощо);
- промислове проектування (промислові об'єкти);
- технічне проектування (технічні системи та пристрої, зокрема робототехнічні комплекси);
- проектування програмних засобів та інформаційних систем;
- інші види проектування.

Етапи проектування та всього життєвого циклу створеного виробу:

- розробка технічного завдання;
- попереднє проектування;
- ескізне проектування;
- технічне проектування;
- виробництво;
- експлуатація.

1.2. Методи проектування технічних систем

Дамо коротку характеристику деяким із методів проектування, які з'явилися та розвиваються в рамках традиційного креслярського методу, маючи на меті подолання його недоліків. Всі ці методи можна розбити на дві групи: алгоритмічні та евристичні.

Алгоритмічні методи – це формалізовані методи, доведені до математичних алгоритмів процедури проектування.

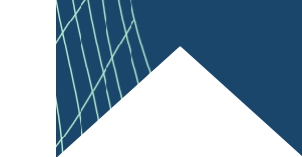
До них належать методи:

- морфологічних карток;
- графів залежностей;
- сіток зв'язків;
- «через поділ до цілого»;
- елементарних комбінацій;
- винятки надмірності;
- структурних карт;
- феноменологічних та математичних моделей;
- прямої мінімізації при непрямому обмеженні;
- складної оптимізації та ін.

Метод морфологічних карт має на меті розширити область пошуку рішень. Послідовність дій з цього методу така:

- визначається перелік максимально незалежних функцій, які має виконувати виріб;

- складається перелік можливих технічних реалізацій кожної з цих функцій у вигляді таблиці – морфологічної карти, в першому стовпці якої перераховуються функції, а в кожному рядку - способи їх здійснення [1.1, 1.2].



Метод графів залежностей – це графічний метод побудови графа пошуку рішення у вигляді «дерева рішень» та застосування до нього певних правил пошуку шляху розв'язання. Правила ці формалізовані у вигляді завдання на оптимум обраного критерію якості рішення (якщо пошук не формалізований, тоді цей метод буде віднесено до евристичних методів).

Евристичні методи ґрунтуються на передумові, що процес проектування - це творчий процес і як такий він у принципі не формалізується і базується на накопиченому та впорядкованому в мозку людини досвіді і інтуїції. До таких методів належать:

- метод мозкової атаки (мозкового штурму);
- метод синектики;
- метод елементарних питань;
- принцип «синергії» та ін.

Метод синектики полягає у пошуку нових ідей шляхом стимулювання спонтанної діяльності мозку на основі використання аналогій.

Практика створення нової техніки та винахідництва накопичила велику кількість методик та окремих прийомів рішення інженерних завдань поряд із перерахованими вище. Цей досвід отримав порівняльну оцінку та узагальнення в літературі, у тому числі у навчальній [1.1, 1.2, 1.3, 1.4 та ін.]. Для інженерів-творців нової техніки – це найважливіше джерело професійної підготовки.

1.3. Особливості проектування деяких типів технічних систем: системи автоматичного керування (САК); автоматизовані системи керування (АСК); уніфіковані технічні системи; мехатронні системи; робототехнічні системи.

АСК ТП як об'єкт дослідження відрізняється такими специфічними особливостями:

- складністю автоматизованих систем управління - включає велику кількість різних технічних засобів, персонал і т. п.;
- багатофункціональність систем управління технологічними процесами - як правило, виконує ряд функцій;
- багатоспрямованістю використання елементів у системі — той самий компонент бере участь у виконанні кількох функцій;

- множинністю видів відмов автоматизованих систем управління - має місце ряд видів відмов, що різняться з причин виникнення, наслідків;

- взаємозв'язком надійності та економічної ефективності систем автоматизації - підвищення надійності збільшує ефективність АСК ТП, але потребує додаткових витрат, що знижують ефект;

- залежністю надійності від технічної експлуатації систем управління технологічними процесами - АСК ТП розраховані на тривале



використання із заміною елементів та відновленням ремонтпридатності;

- не транспортабельністю, незберігання автоматизованих систем керування — АСК ТП не розраховані на зберігання у недіючому стані; транспортуванню у зібраному вигляді вони не підлягають;

- залежністю надійності від комплектування і структури алгоритмів систем управління технологічними процесами — надійність системи залежить від надійності її складових частин;

- впливом персоналу на надійність автоматизованих систем управління - людина в ланцюгу управління знижує надійність системи, людина поза ланцюгом управління може підвищувати надійність.

Рівень експлуатаційної надійності АСК ТП визначається такими основними факторами:

- складом та структурою використовуваних технічних засобів систем автоматизації;

- стратегією, режимами та параметрами обслуговування та відновлення систем автоматизації;

- умовами експлуатації окремих компонентів та системи в цілому;

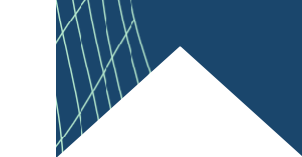
- змістом, організацією та структурою реалізованих алгоритмів управління та машинних програм промислових систем керування;

- змістом завдань та організацією діяльності операторів промислових систем керування.

Мехатронні системи – типовий приклад технічних систем, що потребують системного підходу та не допускають їх проектування з урахуванням декомпозиції. Як новий науково-технічний напрямок мехатроніка виникла в результаті органічного злиття механіки та мікроелектроніки, звідки та її назва. Аналогічно у свій час виникла електромеханіка в результаті інтеграції механіки та електротехніки. Типові об'єкти електромеханіки – електрична машина, реле тощо. Динамічні об'єкти не можуть бути створені шляхом співробітництва механіків та електротехніків. Для цього

необхідні принципово нові синтетичні спеціалісти – електромеханіки. І технічні вимоги та, відповідно, критерії оптимізації для таких об'єктів не можуть бути розбиті на механічні та електротехнічні. Головним обґрунтуванням мехатроніки як самостійного науково-технічного спрямування є аналогічна наявність саме таких об'єктів нового типу, які вимагають системного підходу та критеріїв, що охоплюють механіку, що виникла в надрах електротехніки.

У зв'язку з цим відповідно до загальної тенденції розвитку техніки одним з основних напрямків розвитку мехатроніки найближчими роками стане, мабуть, мікротехніка на основі освоєння мікроелектронікою тривимірних (3D) структур з рухомими частинами. Саме в мікротехніці електромеханіка перетворилася на мікроелектромеханіку, тобто, по суті, мехатроніку. З мікротехніки вже сьогодні можна назвати цілу низку істинно мехатронних об'єктів.



Важливими методичними наслідками підходу до проектування мехатронних систем є такі принципи їх створення:

1. Децентралізація управління до конструктивного вбудовування пристроїв керування окремими частинами механічної системи у ці частини. Останнє дозволяє здешевити всю систему загалом, підвищити її надійність та швидкодію за рахунок скорочення зв'язків, розпаралелювання та ієрархічної побудови інформаційних процесів та процесів керування. Для таких систем розроблено різні варіанти структур із сильними та зі слабкими зв'язками (Розподілені системи). А також методи їхнього проектування.

2. Забезпечення значно більшої надійності керування, ніж зазвичай вважається прийнятним для інших типів об'єктів. Це викликано тим, що у цих системах відмова керування, як правило, веде до аварії всієї системи. Розроблено та вдосконалюються відповідні програмні методи вирішення цього завдання.

3. Широке застосування комп'ютерного моделювання без чого такі складні системи, як правило, не можуть бути створені на сучасному науково-технічному рівні.

Проектування робототехнічних систем. Предмет робототехніки включає власне засоби робототехніки та засновані на них робототехнічні системи [1.5, 1.6].

Розглянемо спочатку особливості засобів робототехніки як об'єкта проектування. При розробці технічних вимог до роботів та подальшому аналізі шляхів їх реалізації необхідно системно дослідити взаємодію робота з іншим працюючим спільно технологічним обладнанням та об'єктами маніпулювання з метою виявлення нових можливостей за рахунок досить несуттєвих змін останніх. Найбільший техніко-економічний ефект при цьому може бути досягнуто, коли все це обладнання проектується одночасно з роботом. Найчастіше це має місце при проектуванні роботів, які виконують основні технологічні операції.

Одночасно з тією ж метою необхідно досліджувати можливості створення оснастки та інших засобів упорядкування та спрощення зовнішнього середовища робота.

На першому етапі проектування після складання функціональної схеми робота має бути проведено його розбиття на три частини – механічну систему, апаратуру управління та програмне забезпечення, проектування яких потребує фахівців різного профілю.

На підставі викладеного складається схема процесу (системи) проектування, що складається із зазначених вище паралельних гілок, кожна з яких містить загальні етапи (технічна пропозиція, ескізний, технічний та робочий проекти, виробництво та експлуатація).

1.4. Загальна послідовність етапів проектування робота

Загальна послідовність етапів проектування робота стосовно промислових роботів (ПР) виглядає наступним чином:

1. Формулювання замовником вихідних даних для розробки ПР, включають призначення ПР, параметри об'єкта маніпулювання (маса, розміри, форма, фізико-хімічні властивості), технічні вимоги до переміщень, швидкостей, точності, до конструкції, комплектуючих, умови експлуатації (температура, склад атмосфери; механічні та інші впливи), вимоги до надійності, ремонтпридатності, налагодження та регулювання, кваліфікації обслуговуючого персоналу, вимоги щодо техніки безпеки, економічної ефективності, вимоги до оснастки та спільно працюючого обладнання.

2. Розробка технічного завдання (ТЗ).

3. Вибір прототипів.

4. Розробка календарного графіка роботи з проектом, наприклад, у вигляді мережевого графіка.

5. Розробка технічної пропозиції.

В результаті виконання останнього етапу мають бути визначені наступні параметри робота:

- вантажопідйомність (відповідно до стандартизованого ряду при деякому (приблизно на 10%) перевищенні заданої маси об'єкта маніпулювання);

- розміри робочої зони (відповідно до робочого місця робота, спільно працюючого обладнання, оснащення);

- число ступенів рухливості (виходячи з необхідних траєкторій робочого органу з урахуванням перешкод, необхідної точності та швидкодії);

- система координат (у тому числі з урахуванням необхідності мінімізації числа ступенів рухливості);

- кінематична схема маніпулятора (на підставі попередніх пунктів та обраної геометрії ланок маніпулятора);

- швидкість переміщення робочого органу (виходячи з необхідної продуктивності);

- похибка позиціонування робочого органу маніпулятора (відповідно до необхідної точності виконання маніпуляційних операцій з урахуванням точності пристроїв, що подають об'єкти маніпулювання, та іншого оснащення);

- режими роботи приводів (виходячи з маси об'єктів маніпулювання, часу роботи, типових траєкторій).

За цими даними далі має бути здійснено:

- вибір серійних приводів та їх розміщення чи формулювання технічних вимог до розробки нових приводів;

- вибір серійного пристрою керування або формулювання технічних вимог до нового пристрою керування;

- вибір або проектування робочих органів (захоплювальних пристроїв або робочого інструменту);
- складання повної кінематичної схеми маніпулятора (як результат виконання попередніх пунктів);
- статичний розрахунок цієї схеми;
- розрахунок похибок;
- динамічний розрахунок (зусиль та деформацій);
- синтез алгоритмів керування маніпулятором;
- висновок про виконання ТЗ та порівняння з прототипами.

6. Розробка ескізного проекту.

7. Розробка технічного та робочого проектів.

Проектування уніфікованих технічних систем. Розглянемо особливості проектування сукупностей технічних систем, об'єднаних близькістю принципу дії та призначення. Природним техніко-економічним підходом до їх проектування є уніфікація основних компонентів та проектування на основі системного аналізу.

У машинобудуванні та приладобудуванні при проектуванні таких технічних систем застосовуються наступні три принципи їхньої побудови:

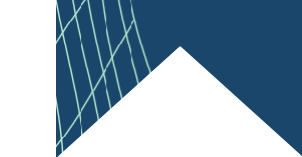
- принцип базового виробу,
- принцип агрегатної побудови,
- принцип модульної побудови.

Контрольні питання

1. Розкрийте зміст поняття ТЕХНІЧНА СИСТЕМА
2. У чому суть процесу проектування?
3. Основні завдання проектування.
4. Основні види проектування.
5. Яка відмінність процесів «модернізація» та «реконструкція»?
6. Основні види проектування.
7. Які основи евристичних методів проектування?
8. Специфіка проектування АСК ТП?
9. Назвіть фактори, які визначають надійність АСК ТП.
10. Особливості проектування роботів.
11. Етапи проектування роботів.

Література

- 1.1. Childs P. Creative Thinking: Techniques and Tools for Success. Coursera. URL: <https://www.coursera.org/learn/creative-thinking-techniques-and-tools-for-success/> (дата звернення 23.05.2024).
- 1.2. Флора В. Д. Принципи технічної творчості : навч. посібник. Запоріжжя : ЗНТУ, 2005. 398 с.

- 
- 1.3. Пальчевський Б. О. Дослідження технологічних систем: моделювання, проектування, оптимізація : навч. посіб. Львів : Світ, 2001. 232 с.
 - 1.4. Шевцов В. Ю. ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ І КОНСТРУЮВАННЯ ТЕХНІКИ І ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ. *Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки*, 2022. Т. 26, № 1. С. 63–70. DOI: <https://doi.org/10.15421/471909>.
 - 1.5. Основи автоматики та робототехніки : навч. пос. / А. М. Гуржій, А. Т. Нельга, В. М. Співак, О. С. Ітякін. Дніпро : «Гарант СВ», 2021. 244 с.
 - 1.6. Поліщук М. М., Ткач М. М. Робототехнічні системи: проектування і моделювання : навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 112 с.



ТЕМА 2. ВИБІР ПАРАМЕТРІВ, КІНЕМАТИЧНИХ І КОМПОНУВАЛЬНИХ СХЕМ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

Мета вивчення теми: ознайомитись із методиками вибору параметрів роботів.

Питання до розгляду

- 2.1. Типорозмірні ряди ПР.
- 2.2. Вибір кінематичних схем і кінематичних параметрів.
- 2.3. Вибір параметрів точності та швидкості.
- 2.4. Розрахунки кінематики та точності.
- 2.5. Силовий розрахунок ПР.

2.1. Типорозмірні ряди ПР.

Для вибору основних проектних параметрів ПР, що застосовуються у машинобудуванні, передбачені типорозмірні ряди, що включають значення вантажопідйомності, максимальних лінійних і кутових переміщень [2.1]. Нижче наведено ряди вантажопідйомності ПР наступних груп:

надлегкі (до 1,0 кг) - 0,08; 0,1 6; 0,3 2; 0,6 3;

легкі (1,0...10 кг) - 1,2 5; 2,5; 5,0; 10,0;

середні (10 ..200 кг) - 20; 40; 8 0; 1 2 0; 1 6 0; 2 0 0;

важкі (200...1000 кг) — 2 5 0 3 2 0 ; 5 0 0; 1000;

надважкі (понад 1000 кг) - 1 2 5 0; 1 5 0 0; 2 0 0 0; 2500; 3000; 5000; 7500; 10 000.


Вантажопідйомність ПР, що вибирається із зазначених рядів, повинна бути щонайменше ніж 10 % більше маси об'єкта маніпулювання.

Ряд максимальних лінійних переміщень включає наступні значення, мм: 12; 20; 32; 50; 80; 1 2 5; 16 0; 2 0 0; 2 5 0; 3 2 0; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1400; 1600; 1800; 2000.

Ряд максимальних кутових переміщень, *: 30, 4 5, 60, 90, 120, 180, 210, 260, 300, 360.

Відомості параметрів ПР у ряди полегшує під час проектування проведення уніфікації, а також створення агрегатно-модульних конструкцій [2.1]. На основі агрегатно-модульних конструкцій розробляються базові конструкції П Р. Для скорочення різноманіття конструкцій ПР рекомендуються групи з поєднанням параметрів, які найчастіше зустрічаються, наприклад [2.2]:

підлогові ПР із середньою вантажністю 10...200 кг, горизонтальними і вертикальними переміщеннями в діапазоні 1...1.5 м, двома і трьома орієнтованими ступенями рухомості, з позиційною або контурною системою управління;



підвісні (або порталні) з середньою вантажопідйомністю 10...200 кг, горизонтальним переміщенням по порталі 2...10 м, вертикальним переміщенням 0,5 ...1 м , д в у м я або трьома орієнтованими ступенями рухомості з позиційною або цикловою системою управління;

легкі підлогові ПР вантажопідйомністю 1...10 кг з радіальним переміщенням 0,5...1 м, переміщенням вздовж осі руки 0,1...0,2 м , одним або двома орієнтованими ступенями рухомості з цикловою системою управління; підлогові ПР міні-ПР вантажопідйомністю 0,05...0,2 кг, горизонтальним переміщенням 50...200 мм, підйомом руки 20...30 мм, двома або трьома орієнтованими ступенями рухливості із цикловою системою управління.

2.2. Вибір кінематичних схем і кінематичних параметрів

Кожен ПР включає цілу групу механізмів, зв'язаних в загальний кінематичний ланцюг. Такий механізм, як правило, має свій привод та забезпечує рух одного ступеня рухливості ПР.

Число ступенів рухливості ПР визначає кількість ступенів вільності його повного кінематичного ланцюга щодо ланки, прийнятої за нерухому, тобто. суму можливих координатних рухів об'єкта маніпулювання щодо нерухомої стійки чи підстави без урахування руху затискача об'єкта маніпулювання ЗУ.

Таким чином, кількість ступенів рухливості визначає маніпуляційні можливості ПР.

У загальному вигляді число ступенів кінематичної рухливості ланцюга ПР розраховують за формулами, що застосовуються у теорії механізмів [2.3]. Наприклад, за формулою Сомова — Малишева для просторового кінематичного ланцюга число ступенів рухливості

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1, \quad (2.1)$$

де n - загальна кількість рухомих ланок; $p_1 - p_5$ - число кінематичних пар відповідно I - V класу.

За наявності в ПР тільки плоского кінематичного ланцюга число ступенів рухливості визначається за формулою П. Л. Чебишева:

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 \quad (2.2)$$

Приклад 1. Визначення числа ступенів рухливості руки маніпулятора типу "Маасот" з просторовим кінематичним ланцюгом (рис.2.1, а). Кінематичний ланцюг складається з нерухомої стійки 0; чотирьох рухомих ланок 1 – двох циліндричних шарнірів А, В, однієї поступальної пари С та одного кульового шарніра Д. Число ступенів

рухливості руки $W = 6n - 5p - 3p_3 = 6 \cdot 4 - 5 \cdot 3 - 3 \cdot 1 = 6$. Всі шість ступенів рухомості позначені стрілками.

2. Визначення числа ступенів рухливості ПР із плоским кінематичним

ланцюгом (типу "Вереатран"). Кінематичний ланцюг (рис.2.1, б) складається зі стійки О, чотирьох рухомих ланок 1 - 4 двох циліндричних шарнірів А, Д та двох поступальних пар В, С. Число ступенів рухливості ПР $W = 3n - 2p_5 = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 4 = 4$

Чотири ступені рухливості позначені на рис.2.1, б стрілками.

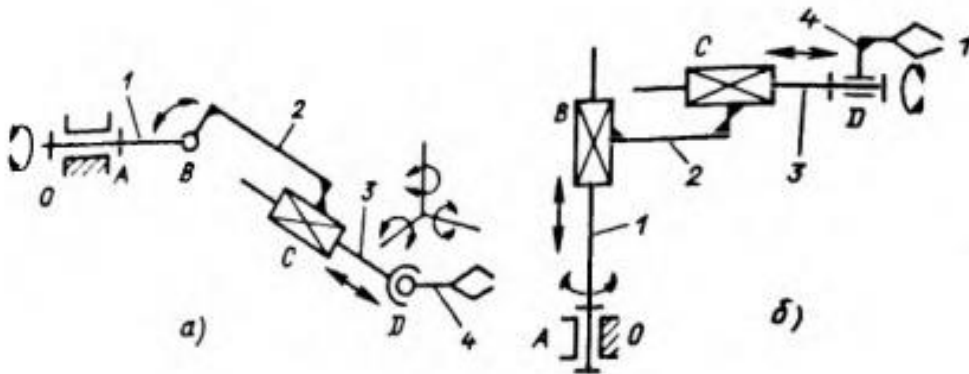


Рисунок 2.1 - Визначення числа ступенів рухливості ПР із плоским кінематичним ланцюгом (типу "Вереатран")

ПР, що мають 1...3 ступеня рухливості, використовуються для операцій, які повторюються, під час автоматизації нескладних технологічних процесів. ПР, призначені для більш складних, часто перепрограмованих технологічних процесів, мають до 5...6 ступенів рухливості.

Вибір кінематичної схеми ПР пов'язаний з необхідним числом ступенів рухливості та взаємним розташуванням їх механізмів.

Кінематична схема ПР визначає також його експлуатаційні показники - форму і розміри робочої зони.

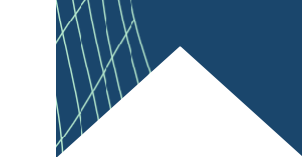
Робоча зона характеризує досяжність робочим органом різних точок простору.

Форма та розміри робочої зони ПР визначаються розташуванням технологічного обладнання, що обслуговується ПР, числом робочих позицій, місцем захоплення та максимальним переміщенням деталі, а також формою та розмірами ділянок траєкторії руху ЗУ.

Розмір робочої зони можна оцінити одиницями об'єму .

У практиці проектування ПР зазвичай використовують такі рекомендовані значення об'єму робочої зони: малі 0,01...0,09 м, середні 0,1...0,99 м³ і більші 1,..9,99 м .

Як правило, при більшому обсязі робочої зони технологічні можливості проектного ПР збільшуються.



Основні переміщення ЗУ в робочій зоні, що розглядається, забезпечуються механізмами з переносними ступенями рухливості. Додаткові переміщення ЗУ, що виконуються механізмами з орієнтуючими ступенями рухливості (наприклад, поворот, хитання та ротація кисті), малі в порівнянні з основними переміщеннями. Тому при розрахунку об'єму робочих зон ПР переміщення механізмів орієнтовних ступенів рухливості не враховують.

Під час розробки кінематичної схеми ПР спочатку вибирають основну частину схеми, що відповідає переносним ступеням рухливості, а потім, як буде показано нижче, визначають ту її частину, яка забезпечує рух кисті та ЗУ.

2.3. Вибір параметрів точності та швидкості.

Точність позиціонування. Цей параметр є найбільш важливим, оскільки визначає можливості ПР при виконанні транспортних та технологічних операцій. Він повинен відповідати точнісним вимогам, що пред'являються до якості обслуговування обладнання, виконання збирання та обробки.

Поняття точності в дискретних технологічних процесах, виконуваних ПР (з позиційною системою управління), пов'язане з кінцевим положенням робочого органу, а в процесах з безперервними технологічними циклами (при контурній системі управління) - з відтворенням траєкторії робочим органом.

Точність - це одна з основних властивостей ПР, визначається ГОСТ 4.480-87.

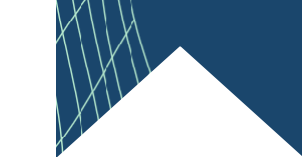
Для дискретних процесів ця властивість характеризується похибкою позиціонування - відхиленням фактичної позиції виконавчого механізму від заданої програмою при багаторазовому позиціонуванні (повторенні руху).

Похибка оцінюється в лінійних та кутових одиницях.

Для уточнення поняття, що розглядається, для дискретних процесів запроваджено *термін похибка позиціонування робочого органу ПР* — це сумарна похибка позиціонування всіх виконавчих механізмів, наведена до фактичного положення об'єкта маніпулювання, що відрізняється від заданого, програмою роботи.

Для *безперервних* процесів введений термін *похибка відпрацювання* проекту робочого органу ПР — відхилення фактичної траєкторії від заданої програмою.

Джерелом похибок, від яких залежать похибка позиціонування і похибка відпрацювання траєкторії, є кінематичні помилки механізмів і передач окремих ступенів рухливості ПР. У зв'язку з тим, що ланки механізмів і кінематичні пари схильні до деформацій і коливань під навантаженням,



виникають динамічні помилки. У ПР, у яких приводи мають датчики зворотного зв'язку за положенням, складові помилок залежать від точності цих датчиків і точності відстеження приводом переміщень, заданих програмою. Вказанні помилки стадії проектування визначають шляхом розрахунків кінематичної і динамічної точності механізмів, а також точності стежучих приводів.

Технологічні вимоги похибки позиціонування зазвичай ділять на три групи: мала точність - похибка від ± 1 мм і вище (у важких ПР), середня точність — похибка $\pm 0,1 \dots 1,0$ мм (у середніх ПР); висока точність – похибка $\pm 0,01 \dots 0,05$ мм (у середніх та малих ПР, що застосовуються при складанні, а також у прецизійних ПР).

2.4. Розрахунки кінематики та точності

Характеристики швидкості та вибір параметрів.

Швидкість переміщення за окремими ступенями рухливості визначає швидкодію ПР, отже, і його продуктивність. Нині потреба у ПР зі збільшеною швидкодією досить велика (зі зростанням швидкостей вона збільшилася вдвічі і більше). Основні труднощі при проектуванні таких ПР пов'язані з протиріччям між швидкодією та точністю позиціонування. Збільшення швидкостей часто призводить до зростання динамічних навантажень і втрати точності. З досвіду проектування ПР (за умов виконання технологічних операцій), середні значення усталених швидкостей, вибирають наступним чином: малі — при лінійних швидкостях за окремими ступенями рухливості до 0,5 м/с (у важких ПР); середні - при лінійних швидкостях 0,5...1,0 м/с (у середніх ПР); високі - при лінійних швидкостях понад 1 м/с (у середніх та малих ПР). Деякі нові моделі ПР проектуються з розрахунку на швидкості 3...8 м/с і більше.

В результаті експериментального вивчення великої групи типових ПР для попереднього вибору були встановлені залежності між значеннями швидкості та допустимими значеннями похибки позиціонування [2.4]. Наприклад, для ПР із лінійним горизонтальним переміщенням руки в діапазоні $L_x = 0,4 \dots 1,2$ м швидкість руки V_{px} (м/с) визначають за формулою

$$V_{px} = \frac{1,4(\sqrt{L_x}^4 \sqrt{\Delta l})}{\sqrt[3]{m_d}}, \quad (2.3)$$

де Δl - похибка позиціонування, мм;

m_d – маса об'єкту маніпулювання деталі, кг;

У діапазоні $L_x = 0,5 \dots 0,8$ м дана формула набуває вигляду

$$V_{px} = \frac{2(\sqrt{L_x}^4 \sqrt{\Delta l})}{\sqrt[3]{m_d}}.$$

Для ПР з лінійним вертикальним переміщенням Lz швидкість руки розраховують за формулою

$$V_{pz} = \frac{k_{\pi}(\sqrt{Lz}^4 \sqrt{\Delta l})}{\sqrt[3]{m_D}} \quad (2.4)$$

де k_{π} – коефіцієнт, який визначає вид привода (наприклад, за умови використання гідропривода $k_{\pi} = 3$).

Для попереднього оцінювання кутової швидкості ω повороту руки з максимальним переміщенням L (в м) можна використовувати формулу

$$\omega = (\sqrt{\varphi} \sqrt[4]{\Delta\varphi/2} \sqrt[3]{(2L)^4}) \quad (2.5)$$

де φ – кут повороту руки, рад.;
 $\Delta\varphi$ – похибка кутового позиціонування.

Важливим фактором при виборі швидкої характеристики ПР є встановлення не тільки середнього значення швидкості, але також характеру її зміни при розгоні і гальмуванні.

Типовий графік трапецеїдального закону зміна швидкості за цикл руху руки ПР показано на рис. 2.2, а. Цикл включає наступні ділянки: АВ - розгону, ВС – усталеного руху і СД - гальмування. Наприкінці гальмування (точка Д) відбувається позиціонування. Зазначені тимчасові ділянки позначені на рис. t_p , t_y , t_T . На ділянках розгону і гальмування рух руки відбувається з прискоренням a_p і a_T , значення яких визначаються інтенсивністю наростання швидкості, яка характеризується кутами α_p і α_T . Цикл руху руки при трапецеїдальному законі швидкості може бути оцінений (при лінійному переміщенні) по формулі

$$t_{\text{ц}} = \frac{\sqrt{\frac{L}{a_T}} [1 + k_a (V_y / \sqrt{a_T L})^2]}{\left[\frac{V_y}{\sqrt{a_T L}} \right]} \quad (2.6)$$

де $t_{\text{ц}}$ – тривалість циклу, с;
 L – загальний шлях, що проходить рука за цикл, м;
 $k_a = \frac{a_p}{a_T}$ – коефіцієнт співвідношення прискорень;
 V_y – швидкість усталеного руху, м/с.

Досвід розрахунку та експлуатації ПР показує, що значення прискорень a_p і a_T повинні бути обмежені таким чином, щоб не виникли

неприпустимі динамічні навантаження і пружні коливання ланок механізмів, особливо при позиціонуванні.

Наприклад, значення aT для типових ПР зазвичай вибирають в діапазоні $aT = 3 \dots 6 \text{ м / с}^2$ (у малих і середніх ПР при довжині ходу $L = 0,15 \dots 0,3 \text{ м}$) і $aT = 8 \dots 15 \text{ м / с}^2$ (у середніх ПР при довжині ходу $L = 0,5 \dots 0,8 \text{ м}$).

Для зменшення коливань необхідно, щоб час гальмування t_T був значно більшим за період власних коливань руки T_p при позиціонуванні (наприклад, при $T_p = 0,02 \dots 0,04 \text{ с}$ час $t_T \geq 0,08 \dots 0,1 \text{ с}$).

На рис. 2.2, б показаний графік руху руки ПР. Внаслідок пружності ланок механізму руки швидкість v і переміщення L мають коливальний характер.

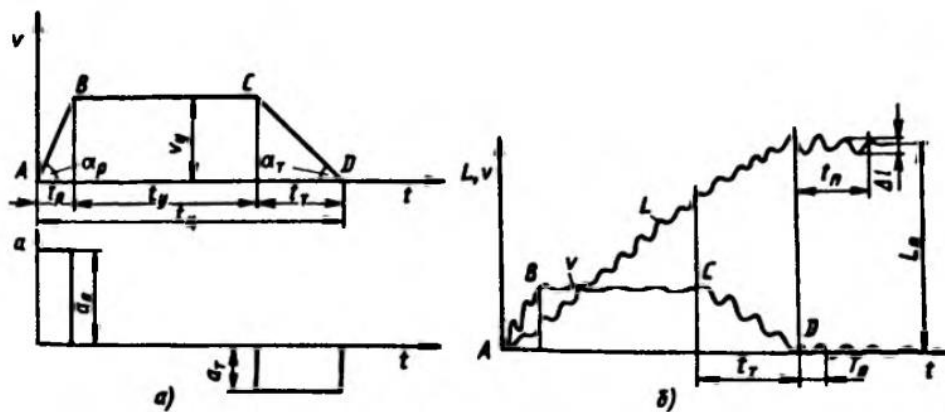


Рисунок 2.2 – Графіки руху для вибору характеристик швидкості ПР

При зупинці руки кінці гальмування (точка Д) з'являються власні коливання з періодом t_p .

Повне згасання коливань відбувається під час позиціонування t_p . Переміщення L відповідає заданій програмі. Амплітуда коливань наприкінці руху має бути більше похибки позиціонування Δl .

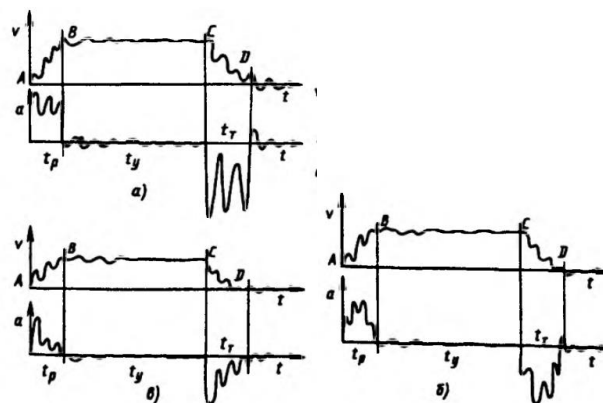


Рисунок 2.3- Порівняння законів швидкості та прискорення

Амплітуда і тривалість коливань руки безпосередньо пов'язані з характером зміни прискорення на ділянці розгону і, особливо, гальмування. Наприклад, трапецієдальний закон швидкості (рис. 2.3, а) викликає стрибки прискорення на початку та в кінці руху (точки А і Д), що супроводжуються зростанням коливань.

Більш сприятливий характер змін прискорення відповідає іншим законам руху, які використовуються в швидкохідних ІР. В якості прикладу розглянемо два таких закони: з синусоїдальною зміною прискорення (рис. 2.3 ,б); зі зміною швидкості та прискорення за експонентами (рис. 2.3, в).

У тому і іншому випадку немає різких стрибків укорінення, і рух руки ІР супроводжується меншими по амплітуді коливаннями протягом всього циклу руху, у тому числі у зоні позиціонування (точка Д).

Вибрані закони швидкості формуються надалі у вигляді програмного завдання в системі управління ПР . Двигуни ступенів рухомості ПР отримують управляючий вплив за вказаним програмним завданням.

2.5.Силовий розрахунок ПР

Силовий (кінетостатичний) розрахунок дозволяє у процесі проектування визначити сили, що діють на окремі ланки механізмів ступенів рухливості ПР при їх програмному русі. За отриманими значеннями сил і реакцій в кінематичних парах проводять розрахунок ланок на міцність і жорсткість, визначають необхідні рушійні сили в приводах, вибирають підшипники і розраховують на міцність деталі, що труться в сполученнях.

Сили та моменти сил інерції ланок ПР [2.5, 2.6]

Сили інерції кожної і-ї ланки можуть бути приведені до її центру мас S_i і замінені головним вектором сил інерції $F_{S_i}^i$ і головним моментом сил інерції $M_{S_i}^i$ ланки відносно його центру мас S_i (рис.2.4). При цьому головний вектор сил інерції ланки

$$F_{S_i}^i = m_i a_{S_i} \quad (2.7)$$

Де m_i – маса і-ї ланки; a_{S_i} – прискорення мас ланки ($i = 1, 2, \dots, n$).

Головний момент сил інерції ланки

$$M_{S_i}^i = J_{S_i} \varepsilon_{S_i} \quad (2.8)$$

Де J_{S_i} -момент інерції ланки відносно осі, яка проходить через його центр мас S_i ; ε_i - кутове прискорення ланки.

Момент сил інерції $M_{S_i}^i$ може бути виражений також за відомою в механіці залежності зміни кількості руху твердого тіла відносно центру мас

$$\frac{dK_{S_i}}{dt} = M_{S_i}, \quad (2.9)$$

де K_{S_i} – головний момент кількості руху (кінетичний момент) i -ї ланки відносно його центру мас;

M_{S_i} – момент зовнішніх сил і реакцій зв'язків відносно центру мас i -ї ланки.

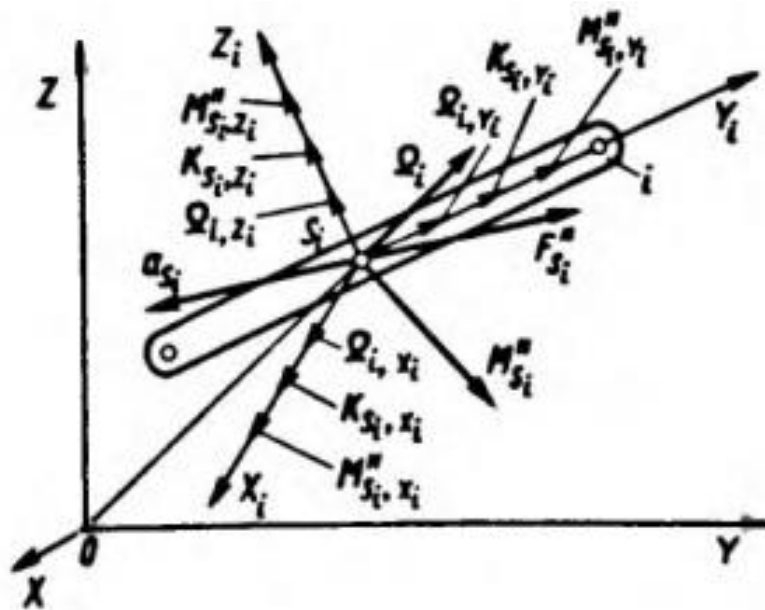


Рисунок 2.4 - Сили та моменти сил інерції ланок ПР

На підставі принципу Даламбера діючий на ланку момент зовнішніх сил та реакцій зв'язку врівноважується моментом сил інерції, тобто:

$$M_{S_i} + M_{S_i}^i = 0. \quad (2.10)$$

Порівнюючи два останні рівняння, отримаємо значення головного моменту сил інерції

$$M_{S_i}^i = -\frac{dK_{S_i}}{dt} \quad (2.11)$$

Застосовуючи відоме з механіки поняття про повну та відносну похідну вектора, представимо векторну похідну

$\frac{dK_{S_i}}{dt}$ у вигляді суми двох складників

$$M_{S_i}^i = - \left(\frac{d\bar{K}_{S_i}}{dt} + \Omega_i \cdot K_{S_i} \right), \quad (2.12)$$

де $\frac{d\bar{K}_{S_i}}{dt}$ – відносна похідна вектора кінетичного моменту \bar{K}_{S_i} (у рухомій системі координат $X_iY_iZ_i$); Ω_i - абсолютна кутова швидкість i -ї ланки (у нерухомій системі координат XYZ).

Проектуючи вектори, що описуються рівностями на осі рухомої системи координат $X_iY_iZ_i$, отримуємо рівняння

$$\begin{aligned} M_{S_iX_i}^i &= - \left(\frac{dK_{S_iX_i}}{dt} + \Omega_{iY_i} \cdot K_{S_iZ_i} - \Omega_{iZ_i} \cdot K_{S_iY_i} \right), \\ M_{S_iY_i}^i &= - \left(\frac{dK_{S_iY_i}}{dt} + \Omega_{iZ_i} \cdot K_{S_iX_i} - \Omega_{iX_i} \cdot K_{S_iZ_i} \right), \\ M_{S_iZ_i}^i &= - \left(\frac{dK_{S_iZ_i}}{dt} + \Omega_{iX_i} \cdot K_{S_iY_i} - \Omega_{iY_i} \cdot K_{S_iX_i} \right). \end{aligned} \quad (2.13)$$

$K_{S_iX_i}, K_{S_iY_i}, K_{S_iZ_i}, \Omega_{iY_i}, \Omega_{iZ_i}, \Omega_{iX_i}$ - відповідно проекції кінетичного моменту і вектора абсолютної кутової швидкості i -ї ланки на рухому систему координат, яка пов'язана з ланкою.

Користуючись методами силового розрахунку, розмикають кінематичний ланцюг ПР по черзі в кожній кінематичній парі і складають для ланок вільної частини ланцюга рівняння Даламбера, які можуть бути представлені у вигляді системи рівнянь проєкцій зовнішніх (активних) сил і моментів, а також інерційних сил і моментів на осі декартової системи координат, пов'язаної з однією з ланок кінематичної пари, що розмикається.

Отримана система рівнянь дає змогу визначити для обертальної кінематичної пари п'ять невідомих складових реакцій — три проєкції сили та дві проєкції моменту на осі координат, перпендикулярні до осі обертання цієї пари, а

також момент приводу зазначеної пари; для поступальної кінематичної пари - дві проєкції реакцій на осі координат, перпендикулярні до осі пари, що розглядається, три проєкції реактивного моменту, а також зусилля приводу в парі.

У загальному випадку такі рівняння можуть бути зведені до наступної системи

$$\sum_{i=k}^n (F_{S_{iX_i}}^i + P_{iX_i}) + R_{kX_i} = 0 \quad (2.14)$$

$$\sum_{i=k}^n (F_{S_{iY_i}}^i + P_{iY_i}) + R_{kY_i} = 0 \quad (2.15)$$

$$\sum_{i=k}^n (F_{S_{iZ_i}}^i + P_{iZ_i}) + R_{kZ_i} = 0 \quad (2.16)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=k}^n M_{S_{iX_i}}^i + \sum_{i=k}^n M_{iX_i} + \sum_{i=k}^n F_{S_{iY_i}}^i l_{ikZ_i} + \sum_{i=k}^n F_{S_{iZ_i}}^i l_{ikY_i} + \sum_{i=k}^n P_{iY_i} h_{ikZ_i} + \sum_{i=k}^n P_{iZ_i} h_{ikY_i} \\ + M_{kX_i} = 0 \\ \sum_{i=k}^n M_{S_{iY_i}}^i + \sum_{i=k}^n M_{iY_i} + \sum_{i=k}^n F_{S_{iX_i}}^i l_{ikZ_i} + \sum_{i=k}^n F_{S_{iZ_i}}^i l_{ikX_i} + \sum_{i=k}^n P_{iX_i} h_{ikZ_i} + \sum_{i=k}^n P_{iZ_i} h_{ikX_i} \\ + M_{kY_i} = 0 \\ \sum_{i=k}^n M_{S_{iZ_i}}^i + \sum_{i=k}^n M_{iZ_i} + \sum_{i=k}^n F_{S_{iX_i}}^i l_{ikY_i} + \sum_{i=k}^n F_{S_{iY_i}}^i l_{ikX_i} + \sum_{i=k}^n P_{iX_i} h_{ikY_i} + \sum_{i=k}^n P_{iY_i} h_{ikX_i} \\ + M_{kZ_i} = 0 \end{aligned} \quad (2.17)$$


де k - номер пари, що розмикається; $F_{S_{iX_i}}^i, F_{S_{iY_i}}^i, F_{S_{iZ_i}}^i$ - проекції головного вектора сили інерції i -ї ланки; $P_{iX_i}, P_{iY_i}, P_{iZ_i}$ проекції активної сили, що діє на i -ту ланку; $R_{kX_i}, R_{kY_i}, R_{kZ_i}$ - проекції реакції k -ї кінематичної пари,

$M_{S_{iX_i}}^i, M_{S_{iY_i}}^i, M_{S_{iZ_i}}^i$ - Проекції головного моменту сил інерції i -ї ланки; $M_{iX_i}, M_{iY_i}, M_{iZ_i}$ - проекції активного моменту, що діє на i -ту ланку; . - шита проекції сил інерції і активних сил, діючих на i -е звено

Для визначення зусилля приводу у поступальній кінематичній парі у трьох інших рівняннях системи (2.17), що містять реакції $R_{kX_i}, R_{kY_i}, R_{kZ_i}$ замість однієї з них записується сила приводу Q_k . Для визначення моменту приводу у обертальній кінематичній парі в трьох рівняннях системи (2.17), що містять реактивні моменти $M_{kX_i}, M_{kY_i}, M_{kZ_i}$ замість одного з них записується шуканий момент приводу M_k .

Контрольні питання

1. Як поділяють ПР за вантажопідйомністю?
2. Якого співвідношення між вантажопідйомністю ПР і масою об'єкту маніпулювання потрібно дотримуватись?
3. Яка мета формування рядів параметрів ПР?
4. Як визначають число ступенів рухливості?
5. Флрмула Сомова – Малишева.
6. Формула Чебишева.

- 
7. Що таке робоча зона ПР?
 8. Дайте визначення поняття «точність позиціонування».
 9. Як оцінюють швидкодію ПР?
 10. Які фактори враховують при виборі швидкісної характеристики ПР?

Література

- 2.1. Заховайко О. П. Теорія механізмів і машин : курс лекцій для студентів спеціальності «Динаміка і міцність машин». Київ : НТУУ "КПІ", 2010. 243 с.
- 2.2. Homer D. Eckhardt. Kinematic design of machines and mechanisms. 1st Edition. New York : McGraw-Hill, 1998. 621 p.
- 2.3. Гнучкі комп'ютеризовані системи: проєктування, моделювання і управління : підручник / Л. С. Ямпольський та ін. Житомир : ЖДТУ, 2005. 680 с.
- 2.4. Павленко І. І., Мажара В. А. Роботизовані технологічні комплекси : навчальний посібник. Кіровоград : КНТУ, 2010. 392 с.
- 2.5. Павленко І. І. Рухові характеристики промислових роботів. Кіровоград : КДТУ, 2000. 124 с.
- 2.6. Павленко І. І. Структура промислових роботів. Кіровоград : КІСМ, 1998. 100 с.



ТЕМА 3. РОБОТИЗОВАНА ВИРОБНИЧА СИСТЕМА (РТС)

Мета вивчення теми: ознайомитись із організацією виробничих систем. Вивчити основні етапи проектування роботів та засвоїти їхній зміст.

Питання до розгляду

- 3.1. Основні поняття й означення РТС.
- 3.2. Гнучкість виробничої системи.
- 3.3. Класифікація РТС.
- 3.4. Промисловий робот як компонент РТС.
- 3.5. Технічні параметри ПР.
- 3.6. Структура промислових роботів.
- 3.7. Принципи побудови промислових роботів.
- 3.8. Транспортні роботи.

3.1. Основні поняття й означення 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. [3.1]

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:

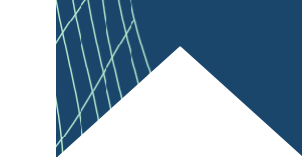
- збільшення обсягу виробництва досить обмеженого кола товарів шляхом зниження питомих витрат на випуск одиниці товару. Основний спосіб вирішення цього завдання зводився до поглиблення розподілу праці, коли робітник відносно вузької спеціалізації виконував найпростіші операції;

- 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.

Робототехнічна система є сукупність підсистем (рис. 3.1), 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 поєднує 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 переналадження 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.

3.2. 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.

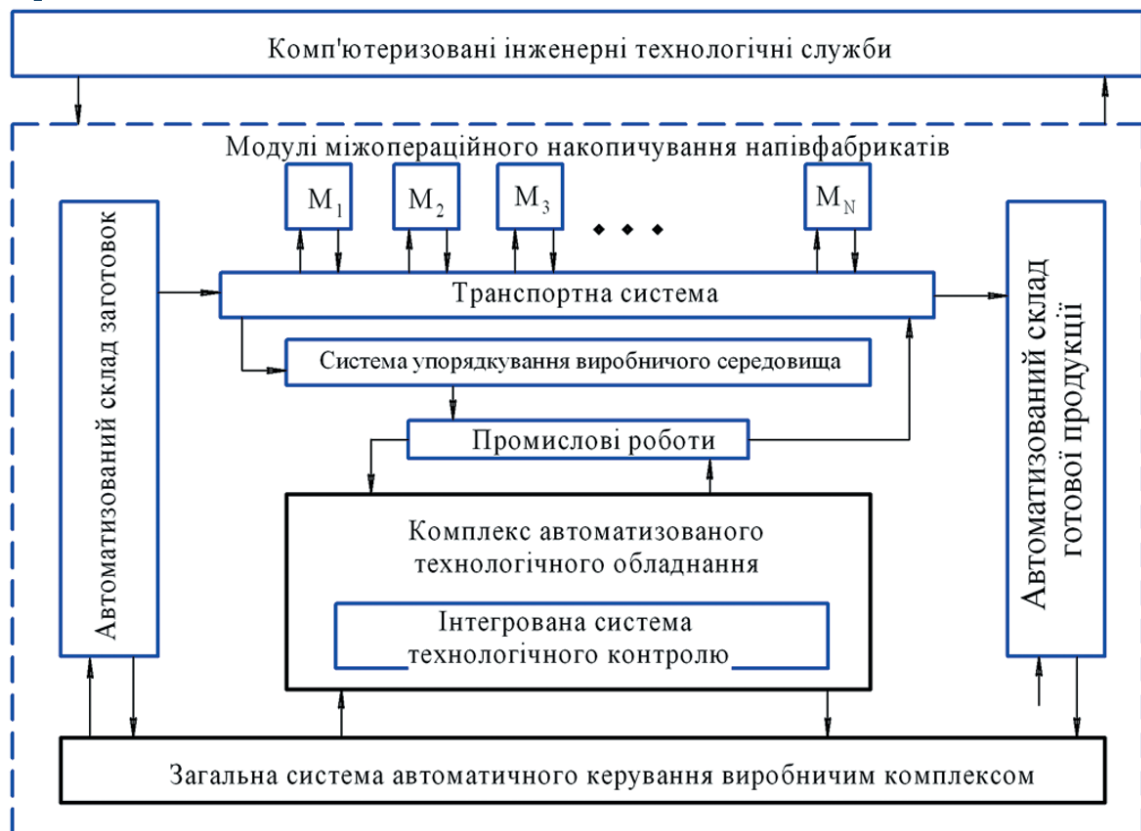


Рисунок 3.1- Узагальнена структура РТС

Гнучкість виробничої системи може бути досягнута застосуванням методу регулювання окремих параметрів процесу при збереженні моноблочної конструкції її функціональних елементів, але тільки в межах технологічного ряду виробів. Тому в разі автоматизації малосерійного багатомоделного 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:

$$K = \frac{T}{T+T_a} \quad (3.1)$$

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

3.3. Класифікація РТС

Роботизовані виробничі системи класифікуються за сферою використання, розвиненістю структури, гнучкістю, рівнем автоматизації, функціональним призначенням системи керування обладнанням і типом конфігурації АТСС (рис. 3.2).

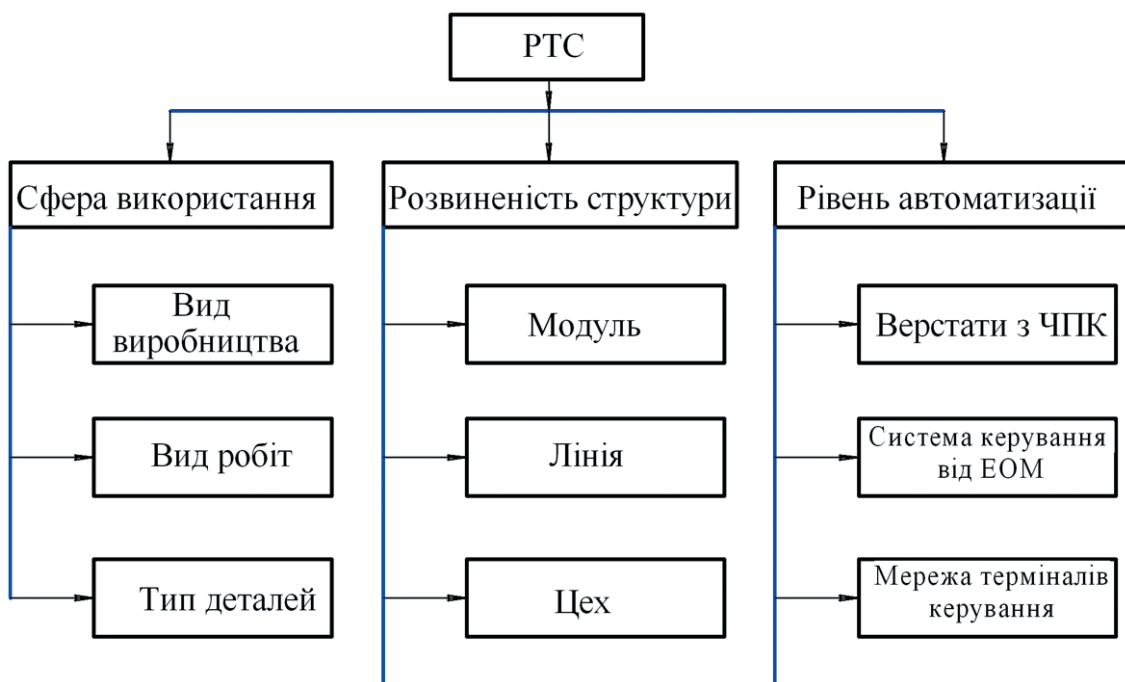


Рисунок 3.2- Класифікація РТС

3.4. Промисловий робот як компонент РТС

Роботи і робототехнічні системи, що створюються на їх основі, є досить складними пристроями. Включені в робототехнічні системи роботи та обслуговуване ними обладнання мають різноманітні зв'язки між собою: інформаційні, кінематичні, програмні та багато інших. [3.3, 3.5]

Інтенсивний розвиток промислової робототехніки почався з середини минулого століття, коли перші з них почали застосовувати для вивільнення людини від монотонних, одноманітних операцій на конвеєрах заводів із випуску автомобілів.

В даний час роботи, у тому числі і промислові, застосовуються у багатьох сферах людської діяльності: від виконання найпростіших операцій зі збирання виробів до виготовлення високоточних деталей; від обслуговування обладнання у виробничих приміщеннях до роботи в екстремальних умовах, де небажана чи неприпустима присутність людини (рис. 3.3).

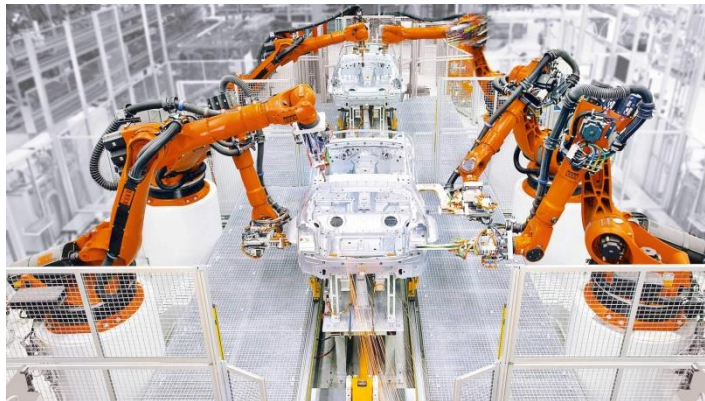


Рисунок 3.3 - Робото-технічна система

3.5. Технічні параметри ПР

Загальні технічні характеристики промислових роботів включають такі параметри: [3.1, 3.2-3.5].

1) конструктивне виконання маніпулятора, зокрема кількість робочих органів (однорукий, дворукий тощо);

2) ступінь автономності (вбудований у технологічне обладнання, автономний стаціонарний, автономний рухомий, підлоговий, підвісний, т.п.

3) вантажопідйомність (у кілограмах);

4) система координат;

5) кількість ступенів рухливості, у тому числі програмованих. Якщо робот пересувний, його переміщення розглядають як один із ступенів рухливості;

6) характеристики кожного зі ступенів рухливості (швидкість і величину переміщення);

7) точність повторного позиціонування - параметр, який характеризує здатність маніпулятора багаторазово повертатися в те саме положення;

8) роздільна здатність - характеристика, що визначає величину мінімального переміщення маніпулятора;

9) габаритні розміри (мм);

10) маса (у кілограмах).

Вантажопідйомність одна із найважливіших характеристик промислових роботів. Вона визначає тип приводу, масу та габаритні розміри робота.

3.6. Структура промислових роботів

Промислові роботи складаються з низки частин, які працюють разом для виконання різних завдань. У міру розвитку технологій вони також удосконалювалися, у результаті з'явилися більш продуктивні роботи.

5 основних компонентів робота

Роботизована рука (рис. 3.4), робочий орган (рис. 3.5), двигуни (рис. 3.6), контролер (рис. 3.7), датчики роботів (рис. 3.8).



Рисунок 3.4- Рука робота

Робочий орган - кінцевий ефектор є інструментальним пристроєм, прикріпленим до зап'ястя робота-маніпулятора. Це дає роботу-маніпулятору більше маневреності та робить його більш придатним для конкретних завдань. Приклади кінцевих ефекторів включають: захоплення, свердла, зварювальні пістолети тощо.



Рисунок 3.5 – Захоплення робота

Рисунок 3.6 - Двигун із прямим приводом

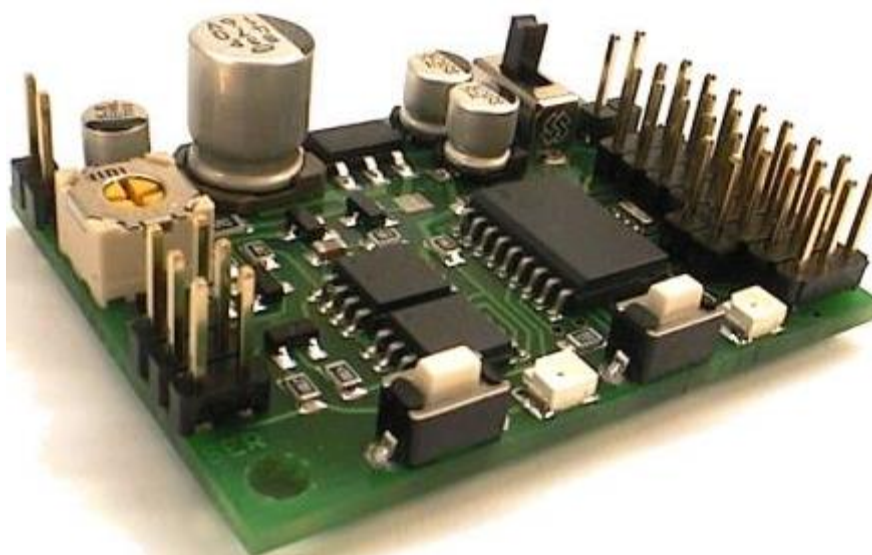


Рисунок 3.7 – Контролер



Рисунок 3.8 – Датчики роботів

3.7. 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.

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. 3.9) 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, кожен з модулів можуть бути при необхідності вилучені або замінений іншими модулями.

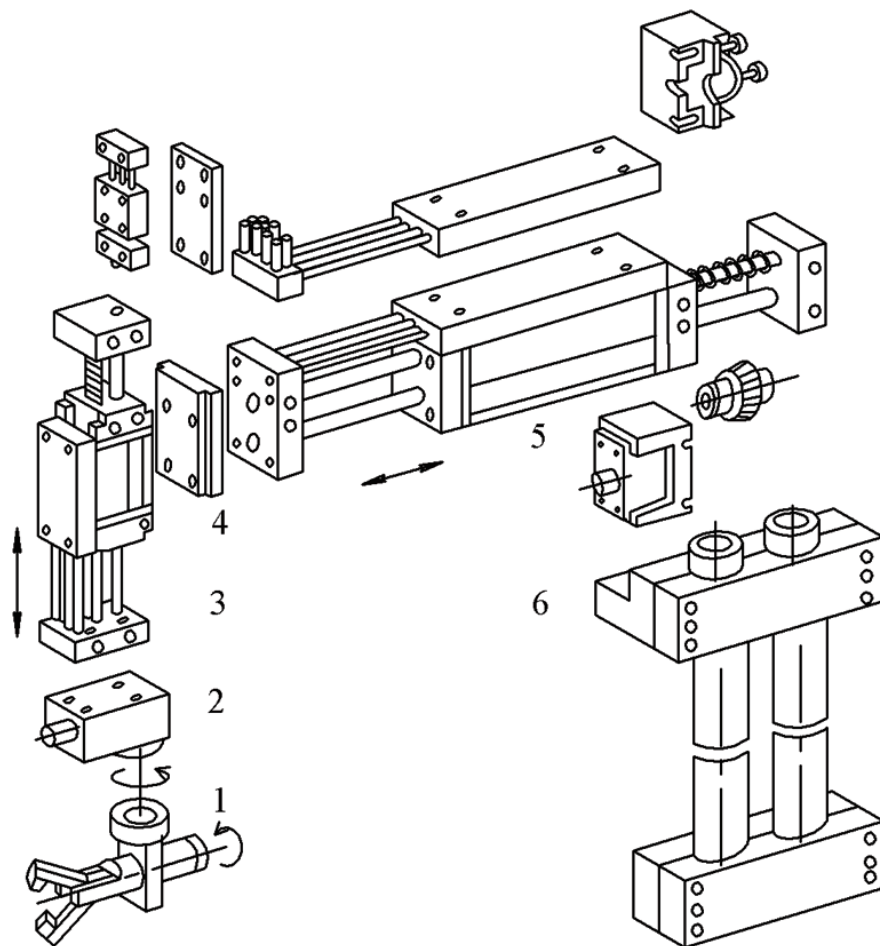


Рисунок 3.9 - Приклад агрегатно-модульного маніпулятора

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, повідомлюючи 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. 3.10). Причому, як видно з рисунку, ідентичність систем координат для різних компонувань визначає й менший набір модулів.

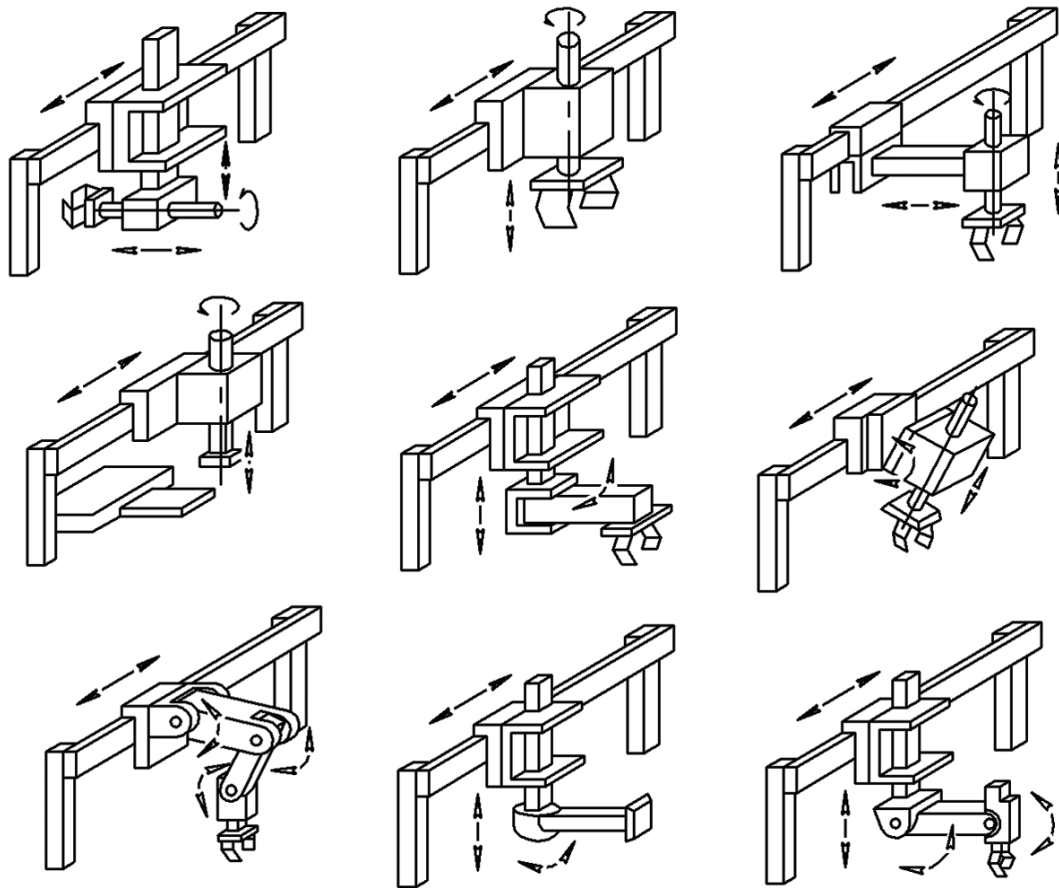
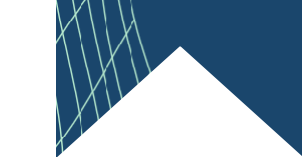


Рисунок 3.10 - Типові компоновки порталних ПР

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 компоновки 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 кілька 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 переналадження 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 гами. 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.

3.8. Транспортні роботи

Роботизовані транспортні засоби, що перебувають в експлуатації, можна розділити на дві основні групи: транспортні роботи із твердим шляхопроводом і робочари — транспортні візки з безконтактним індуктивним або оптичним шляхопроводом. [3.1, 3.2]. 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 оснащуються 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. 3.11.

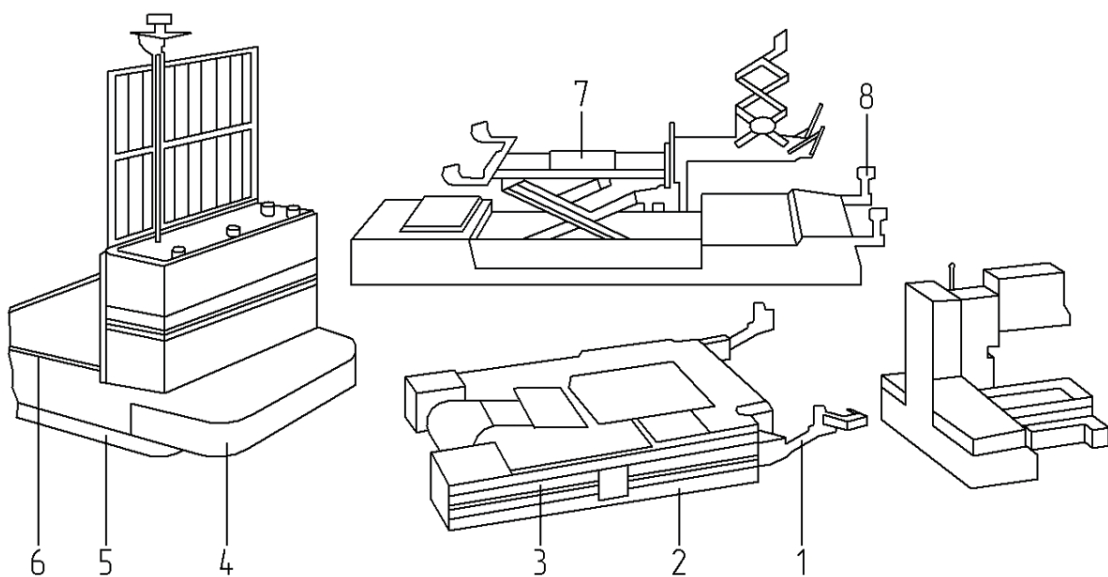


Рисунок 3.11 - Моделі транспортних автоматичних візків (робокарів): 1,4,8 – чутливі елементи; 3,6,7 – вантажна платформа

Робокари 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 робокарів 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 робокари, установлюють станції автоматичної зарядки. Незалежно від моделі до складу робокара входять запобіжні демпфери 1 (рис. 3.12), 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.

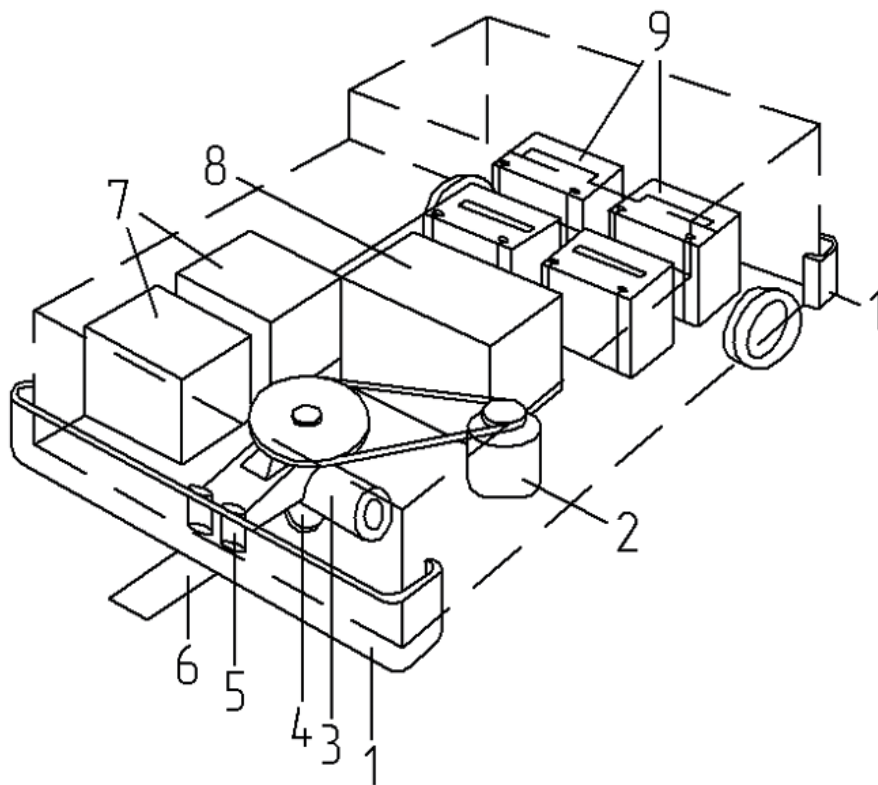
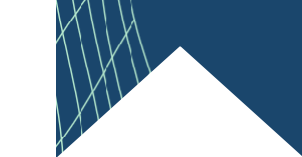


Рисунок 3.12 - Склад робокара

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 ізолюваного електропроводу, ринву підлоги заповнюють епоксидним клеєм або цементним розчином. 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 реалізовані два способи керування. Один з них припускає вимір амплітуди сигналу кожної котушки чутливого елемента. Пропорційно різниці амплітуд, викликані 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 сервоприводів і двигунів корекцію положення робокара. В умовах гнучкого автоматизованого виробництва бортові системи керування декількох робокарів, а також керуючі пристрої вантажнорозвантажувальних механізмів поєднують у єдину мережу з керуванням від центральної ЕОМ. Згідно з уведеною програмою ЕОМ верхнього рівня здійснює регулярне опитування робокарів, 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 робокарів.



Контрольні питання

1. Назвіть сфери застосування роботів.
2. Назвіть основні класифікаційні ознаки промислових роботів.
3. Проведіть класифікацію промислових роботів за основними класифікаційним ознакам.
4. Які технічні характеристики промислових роботів?
5. Що таке робокари?
6. Класифікація РТС
7. Структура РТС
8. Призначення транспортних роботів
9. Підсистеми РТС
10. Структура промислових роботів.

Література

- 3.1. Homer D. Eckhardt. Kinematic design of machines and mechanisms. New York : McGraw-Hill, 1998. 621 p.
- 3.2. Гнучкі комп'ютеризовані системи: проектування, моделювання і управління : підручник. / Л. С. Ямпольський та ін. Житомир : ЖДТУ, 2005. 680 с.
- 3.3. Павленко І. І., Мажара В. А. Роботизовані технологічні комплекси : навчальний посібник. Кіровоград : КНТУ, 2010. 392 с.
- 3.4. Павленко І. І. Рухові характеристики промислових роботів. Кіровоград : КДТУ, 2000. 124 с.
- 3.5. Павленко І. І. Структура промислових роботів. Кіровоград : КІСМ, 1998. 100 с.



ТЕМА 4. АВТОМАТИЗОВАНІ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКІ СИСТЕМИ

Мета вивчення теми: ознайомитись із організацією та складом автоматизованих транспортно-складських систем.

Питання до розгляду

- 4.1. Модулі складування й комплектації.
- 4.2. Транспортно-складська тара і штабелююче обладнання.
- 4.3. Пристрої для переміщення й перевантаження об'єктів.
- 4.4. Типові компоновки і параметри модулів складування і комплектації для гнучких виробничих систем.
- 4.5. Проектування автоматизованих транспортно-складських систем.

4.1. Модулі складування й комплектації (МСК)

Основними класифікаційними ознаками МСК є: вид оброблюваних об'єктів; строк їх зберігання; кількість найменувань об'єктів, які одночасно складуються (нагромаджуються); тип взаємодіючих із МСК зовнішніх систем; рівень механізації та автоматизації складських операцій; технологія роботи; спосіб складування об'єктів [4.1, 4.2].

За родом оброблюваних об'єктів МСК бувають тарно-поштучні, контейнерні, для довгомірних або великогабаритних об'єктів.

За строком зберігання об'єктів МСК поділяються на модулі безпосереднього перевантаження об'єктів (строк зберігання $T_{зб} = 0$), тимчасового ($0 < T_{зб} \leq 5$ діб), короткострокового ($5 < T_{зб} \leq 20$ діб), із середніми строками ($20 < T_{зб} \leq 40$ діб), тривалого ($40 < T_{зб} \leq 90$ діб), довгострокового ($90 < T_{зб} \leq 365$ діб) і багаторічного ($T_{зб} > 365$ діб) зберігання об'єктів.

За кількістю найменувань об'єктів, які складуються (нагромаджуються) одночасно, розрізняють склади та нагромаджувачі однотипних об'єктів (число найменувань об'єктів — 60...100), багатомономенклатурні склади (число найменувань об'єктів — понад 100).

За типом взаємодіючих зі складом зовнішніх систем МСК поділяються на склади прибуття (матеріали, комплектуючі вироби), проміжні виробничі склади (заготовки, напівфабрикати, інструмент, технологічне оснащення), склади відправлення (готова продукція). Склади ділянок належать до проміжних виробничих складів.

За рівнем механізації та автоматизації МСК бувають немеханізовані (застосовується ручна праця при перевантаженнях, переміщеннях і складуванні об'єктів), механізовані (використовуються засоби механізації з ручним керуванням для обслуговування зони зберігання об'єктів), високомеханізовані (застосовуються засоби механізації з ручним керуванням на операціях складування,

переміщення та навантаження-вивантаження об'єктів із відсутністю ручних робіт на цих операціях), автоматизовані (використовуються напівавтоматичні механізми із введенням команд на клавіатурі чи за перфокартами на операціях переміщення або складування об'єктів), автоматичні (застосовуються автооператори із введенням команд від ЕОМ по каналах зв'язку).

За технологією роботи МСК поділяються на комплектувальні та з пакетною переробкою об'єктів.

За способом складування та технічним оснащенням розрізняють конвеєрні, а також стелажні МСК (рис. 4.1).



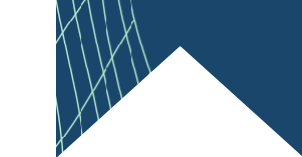
Рисунок 4.1 - Класифікація МСК за способом складування об'єктів і технічним оснащенням

4.2. Транспортно-складська тара і штабелююче обладнання

Основою технічного оснащення, а також механізації та автоматизації процесів переміщення та складування вантажів на складах заводів є застосування багатооборотної транспортно-складської або спеціалізованої технологічної тари (касет, супутників).

Вибір параметрів складської тари є одним з перших етапів проектування складської технології, оскільки тара пов'язує між собою номенклатуру вантажів, що переробляються, виробничі ділянки заводу, зовнішні і внутрішні вантажопотоки і всі елементи складської системи (стелажі, штабелююче обладнання, складська будівля).

Ув'язування тари із зовнішніми вантажопотоками складу повинно виконуватися за допомогою кращого заповнення транспортних засобів завантаженими піддонами та забезпечення безперевалочного процесу транспортування вантажів від споживачів до постачальників у пакетах.



Транспортним пакетом називається укрупнена вантажна одиниця, сформована з штучних вантажів у тарі та без неї із застосуванням різних способів та засобів пакетування, що зберігає форму в процесі обігу та забезпечує можливість комплексної механізації вантажно-розвантажувальних та складських операцій.

Одним з основних засобів пакетування є піддони (плоскі, стійкові та ящикові).

Усі піддони можна класифікувати

- за призначенням: транспортні та технологічні (касети, супутники).

- за родом вантажів, що транспортуються:

- а) універсальні (для вантажів широкої номенклатури);

- б) спеціальні (для певних вантажів);

- за конструкцією (плоскі, стоякові, ящикові, одно- та двонастильні, одно- та двозахідні);

- за матеріалом (металеві, дерев'яні, пластмасові, картонні, композитні із застосуванням деревинно-стружкових плит та інших матеріалів);

- за тривалістю використання (разового використання, багатооборотні);

- по галузі застосування (внутрішньоскладські піддони, для внутрішньозаводських перевезень, для зовнішніх магістральних перевезень);

- за розмірами (150 200, 200 300, 300 400, 400 600, 600 800, 800 800, 800 1000, 800 1200, 1000 1000, 1000 12).

Багатооборотні піддони є частиною транспортно-складського обладнання ДАП, дільниці, цеху, заводу.

Важливими засобами механізації робіт з навантаження-розвантаження, переміщення та складування вантажів є річтраки та штабелери.

Штабелери. Основне призначення цих пристроїв – розміщення вантажів на стелажах за умов обмеженого простору. Також з їх допомогою можна завантажити та розвантажувати транспортні засоби, переміщувати товари, комплектувати замовлення. Штабелери використовують тільки на складських територіях з твердим якісним покриттям для підлоги. У роботі зручні моделі з фіксатором висоти, що забезпечує підйом товару на задану висоту. На щоглі можуть встановлюватися відеокамери, що дозволяють точно та акуратно поставити вантаж на потрібне місце.

4.3. Пристрої для переміщення й перевантаження об'єктів

Процес переміщення – сукупність операцій, пов'язаних із пересуванням об'єктів у просторі без зміни геометричних форм, розмірів і фізико-механічних властивостей. В автоматичних МСК перевантажувальні пристрої виконують такі функції: розвантаження

об'єктів, які прибувають і порожньої транспортно-складської тари з внутрішньозаводського транспорту; передавання прибулих у тарі чи касетах об'єктів із зони дії автоматичних кранів-штабелерів на внутрішньозаводський транспорт або транспортну систему робототехнічних комплексів; укладання заготовок, деталей, виробів після їхнього приймання з внутрішньозаводського транспорту чи перед навантаженням на транспорт. З цією метою застосовують нестандартне обладнання, роликові, ланцюгові, перевантажувальні конвеєри, підйомні столи (рис. 4.2).



Рисунок 4.2- Стіл підйомний

Дуже перспективне використання на складах як перевантажувальні пристрої напівавтоматичних маніпуляторів та промислових робіт різних конструкцій, які можна застосовувати на автоматичних складах для сортування, комплектації та орієнтованого укладання в транспортно-складську тару або спеціальну технологічну тару заготовок, деталей та виробів. Ці роботи можуть бути більш простою конструкцією в порівнянні з технологічними роботами, які обслуговують верстати або виконують безпосередньо технологічні операції (забарвлення, зварювання тощо). Для перевантажувальних робіт потрібна менша кількість ступенів рухливості, хоча в ряді випадків необхідні додаткові властивості, наприклад, здатність запізнення виробів і деталей.

4.4. Типові компоновки і параметри модулів складування і комплектації для гнучких виробничих систем

При створенні автоматизованих транспортно-складських систем (АТСС) вирішують завдання не тільки зберігання заготовок, деталей, інструменту, оснащення, але і вибору найбільш ефективних, раціональних компонок обладнання і маршрутів [4.3]. Конструктивні варіанти побудови АТСС: з суміщеними і роздільними транспортною і складською підсистемами. На рис. 4.3 показана ГВС (гнучка виробнича система) з суміщеною транспортно-накопичувальною системою. Верстати 1 розташовані паралельно стелажу-накопичувачу 2. Кран-штабелер 4 переміщається уздовж фронту верстатів і обслуговує як стелаж-накопичувач, так і верстати. По команді від системи управління кран-штабелер забирає з певного осередку стелажу-накопичувача необхідну заготовку і переміщає її на перевантажувальний стіл 3 відповідні верстати. Готові деталі кран-штабелер забирає з перевантажувального столу і переносить у вільні осередки стелажу-накопичувача. В даному випадку не вимагається спеціальної транспортної системи для обслуговування верстатів, оскільки ці функції виконує кран-штабелер.

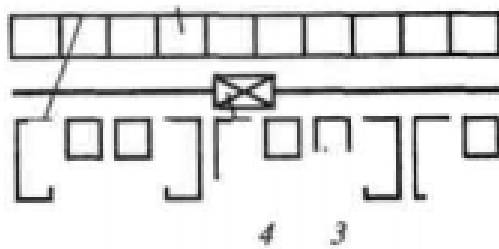


Рисунок 4.3- Схема ГВС зі зміщеною транспортно-накопичувальною системою: 1- верстати; 2 – стелажі-накопичувачі; 3 –перевантажувальний стіл; 4 –кранштабелер [4.3].

Схема ГВС з роздільною транспортно-накопичувальною системою з чотирма стелажними накопичувачами 7 і двома кран-штабелерами 6 показана на рис.4.4 [4.3].

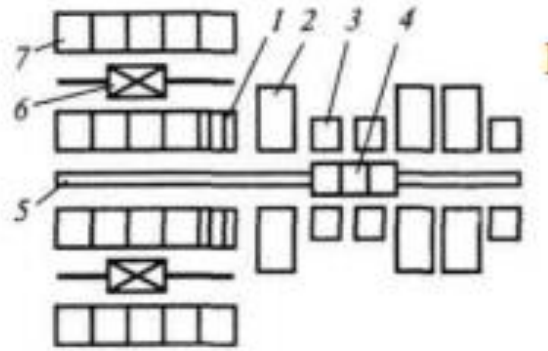


Рисунок 4.4 - Схема ГВС із роздільною транспортнонакопичувальною системою: 1 — перевантажний стіл; 2 — верстати; 3 — накопичувач; 4 — транспортний візок; 5 — рельсова дорога; 6 — кран-штабелер; 7 — стелажний склад [3]

Компонування складів залежить від факторів: тип виробництва, програма випуску, наявність внутрішньо-цехового і внутрішньо-системного транспорту, тип і кількість обладнання складів.. Найбільш раціональне компонування автоматизованих складів має бути максимально наближено до технологічного обладнання. Застосовують кран - штабелер для складування, розподілу матеріалів, заготовок, виробів по робочих місцях. При цьому один або декілька стелажів складу розміщують уздовж виробничої ділянки поряд з обладнанням.

Гнучкі виробничі модулі стали подальшим етапом розвитку використання верстатів із ЧПК (у тому числі багатоцільових верстатів). З метою підвищення ступеня автоматизації та продуктивності за збереження високої мобільності були створені гнучкі виробничі модулі (ГВМ), роботизовані технологічні комплекси (РТК), гнучкі виробничі осередки (ГВО), гнучкі автоматичні лінії (ГАЛ) та гнучкі виробничі системи (ГВС).

Під гнучким виробничим модулем розуміється одиниця технологічного обладнання, що автоматично здійснює технологічні операції в межах його технічних характеристик, здатна працювати автономно та у складі гнучких виробничих осередків або гнучких виробничих систем. Гнучкі виробничі модулі будуються з урахуванням багатоцільових верстатів обробки, зазвичай, корпусних заготовок. На рис. 4.5 показані компонувальні схеми ГВМ, в яких застосовані різні транспортно-накопичувальні пристрої для палет із заготовками: лінійні (рис. 4.5, а), кругові (рис. 4.5, б) та овальні (рис. 4.5, в).

Перший варіант пристрою (див. рис. 4.5, а) застосовується для важких заготовок з палетами, що встановлюються в стаціонарних позиціях 3 і підвозяться до верстата 1 транспортним візком 2.

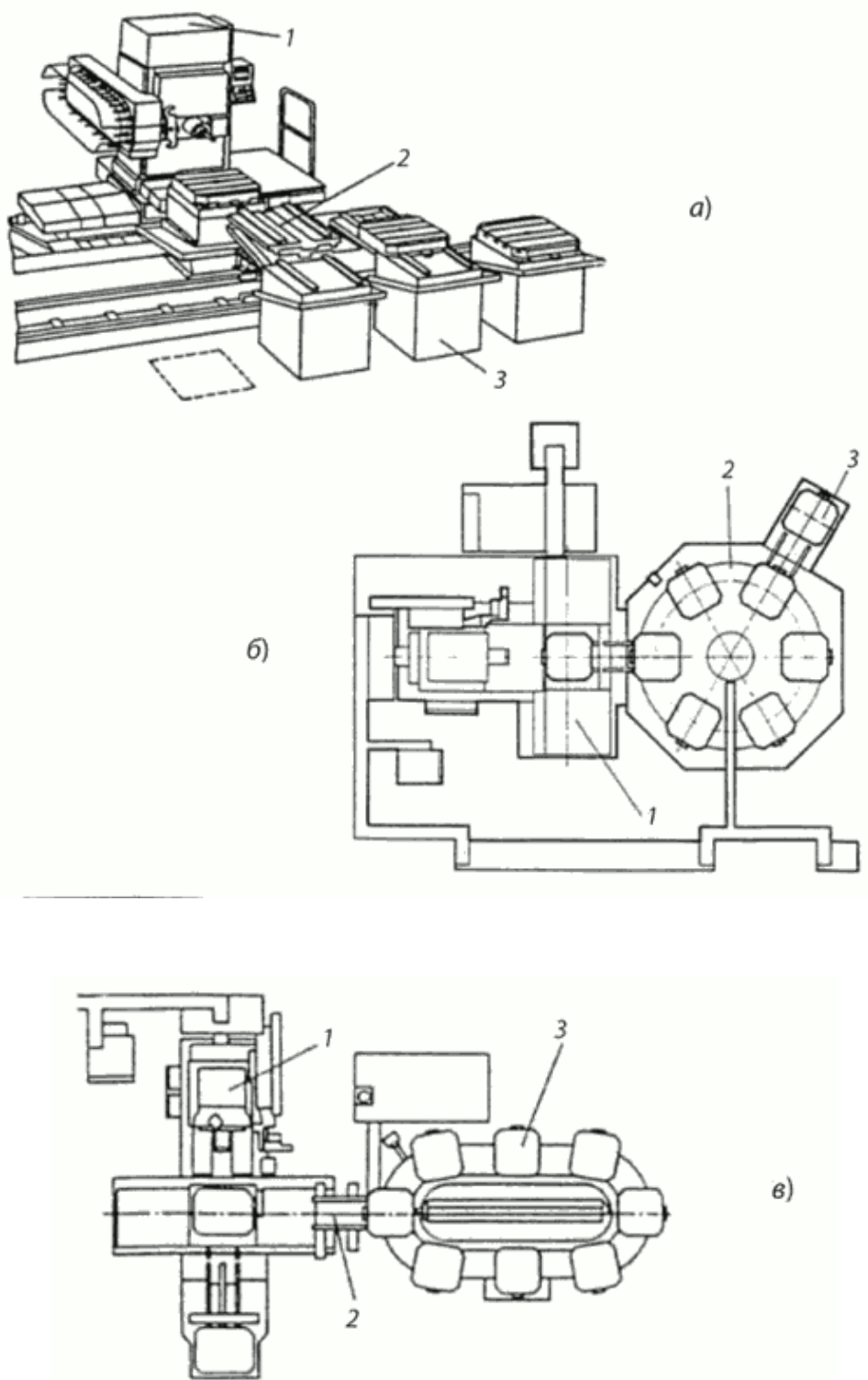
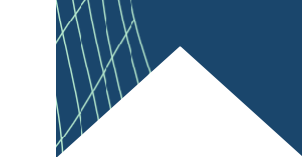


Рисунок 4.5 - Схеми компонування гнучких виробничих модулів (ГПМ): а, б, в — відповідно до лінійного, кругового та овального транспортно-накопичувального пристрою



Другий і третій варіанти пристроїв (див. рис. 4.5, б, в) застосовуються для більш легких заготовок і відрізняються кількістю позицій і виробничою площею, що займає. У другому варіанті палети з заготовками встановлюються, наприклад, на каруселі 2 і послідовно подаються в зону завантаження на верстат 1. Знімання палет з готовими деталями та завантаження позицій каруселі палетами з новими заготовками виробляються в позиції 3.

У третьому варіанті палети з заготовками 3 (див. рис. 4.5, в) встановлюються на овальному транспортері і послідовно подаються на перевантажувальний пристрій 2 і далі верстат 1.

4.5.Проектування автоматизованих транспортно-складських систем

Для проектних розрахунків необхідні такі вихідні дані:
номенклатура деталей, що виготовляються;
обсяг їхнього випуску;
маси деталей, що виготовляються;
маршрути виготовлення із зазначеним обладнанням та штучнокалькуляційним часом для кожної операції;
ефективний річний фонд часу роботи устаткування.

Послідовність проектування:

1. Вибір схеми розташування устаткування виробничому ділянці.
2. Розрахунок числа позицій завантаження та розвантаження.

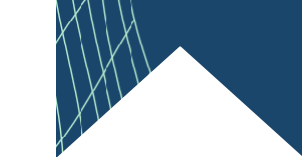
Розрахунок необхідної кількості позицій виробляють за формулою

$$n_{\text{поз}} = \frac{t \cdot k}{\Phi_{\text{п}} \cdot 60} \quad (4.1)$$

де t - середня трудомісткість операцій на позиції (тільки завантаження або розвантаження, якщо операції поділені, або сумарна, якщо обидві операції виконуються на одній позиції) (час формування або розформування транспортної партії в середньому близько 5 хв); k – кількість транспортних партій; $\Phi_{\text{п}}$ – ефективний річний фонд часу роботи позиції.

3. Вибір принципу формування виробничих ділянок та цехів. Важливим етапом при технологічному проектуванні ділянок та цехів є вибір принципу їх формування, який, у свою чергу, залежить від складності продукції, що випускається, програми випуску виробів та режиму роботи виробництва. Існують три принципи формування виробничих ділянок та цехів, що визначають форму організації виробництва: лінійний, предметний та технологічний.

4. Розрахунок необхідної кількості основного обладнання

- 
5. Присвоєння інвентарних номерів обладнання та розподіл операцій з обладнання.
 6. Визначення характеристик стелажу.

Контрольні питання

1. Перспективність використання автоматизованих транспортно-складських систем.
2. Складові автоматизованих транспортно-складських систем.
3. Класифікація модульних складських систем.
4. Як поділять модульні складські системи за способом складування?
5. Штабелери. Призначення та конструктивні виконання.
6. Які пристрої використовують у ГВС для переміщення й перевантаження об'єктів?
7. Наведіть приклади компонування модулів складування для ГВС.
8. Вихідні дані та порядок проектування автоматизованих транспортно-складських систем.
9. Які піддони рекомендовано застосовувати у ГВС?
10. Як обирають параметри складської тари?

Література

- 4.1. Павленко І. І., Мажара В. А. Роботизовані технологічні комплекси : навчальний посібник. Кіровоград : КНТУ, 2010. 392 с.
- 4.2. Поліщук М. М., Ткач М. М. Робототехнічні системи: проектування і моделювання : навч. посіб. для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 112 с.
- 4.3. Лисенко О. І., Тачиніна О. М. Конспект лекцій з дисципліни «Робототехнічні системи та комплекси». НАУ. Київ. 118 с.

ТЕМА 5. МЕХАНІЗМИ І ПЕРЕДАЧІ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ (ПР)

Мета вивчення теми: ознайомитись із механічними передачами, які застосовують для передачі руху в промислових роботах.

Питання до розгляду

- 5.1. Важільні механізми.
- 5.2. Важильно-зубчасті механізми.
- 5.3. Хвильові передачі.
- 5.4. Планетарно-цевочні зубчасті передачі.
- 5.5. Планетарні та диференціальні механізми.
- 5.6. Передачі з зубчастими пасами.
- 5.7. Стрічкові передачі.
- 5.8. Ланцюгові передачі.
- 5.9. Гвинтові передачі.

Механічна передача служить для передачі і перетворення механічної енергії від енергетичної машини (двигуна) до виконавчого механізму (органу), зазвичай, із зміною характеру руху, - напрями руху, сили, моменту, швидкості. [5.1 - 5.3].

5.1. Важільні механізми

Важельні механізми використовуються в переносних та орієнтованих ступенях рухливості ПР. Ці механізми можуть передавати великі зусилля в порівнянні з іншими механізмами і мають досить високим ККД (у шарнірах застосовуються підшипники кочення).

Шарнірні чотирьохланкові механізми. У ПР застосовуються два різновиди цих механізмів: кривошипно-коромислові та паралелограмні (двокоромислові).

Кривошипно-коромислові механізми (рис. 5.1, а) використовуються для перетворення обертального руху кривошипа a в коливальний рух коромисла c ; зв'язок здійснюється шатуном b .

Паралелограмні механізми застосовуються (рис. 5.1, б) для передачі гойдання з однієї ланки на іншу з обмежаним кутом повороту. У паралелограмному механізмі за умови сталого передаточного числа $i_{12} = \omega_1 / \omega_2 = 1$ ланки мають рівні розміри, $a=c$, $b=d$.

Пантографні механізми. Дані механізми також відносять до важільних і застосовуються у ПР для забезпечення переносних степенів рухомості.

Розрізняють два види пантографних механізмів: паралелограмні та зі схемою «ножиці».

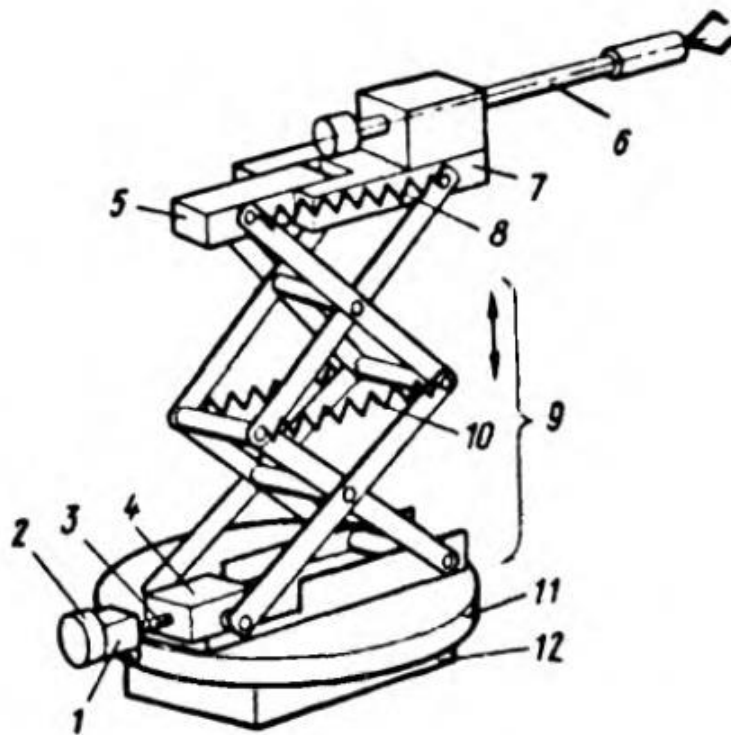


Рисунок 5.3 – Компонування ПР з пантиграфним механізмом підйому

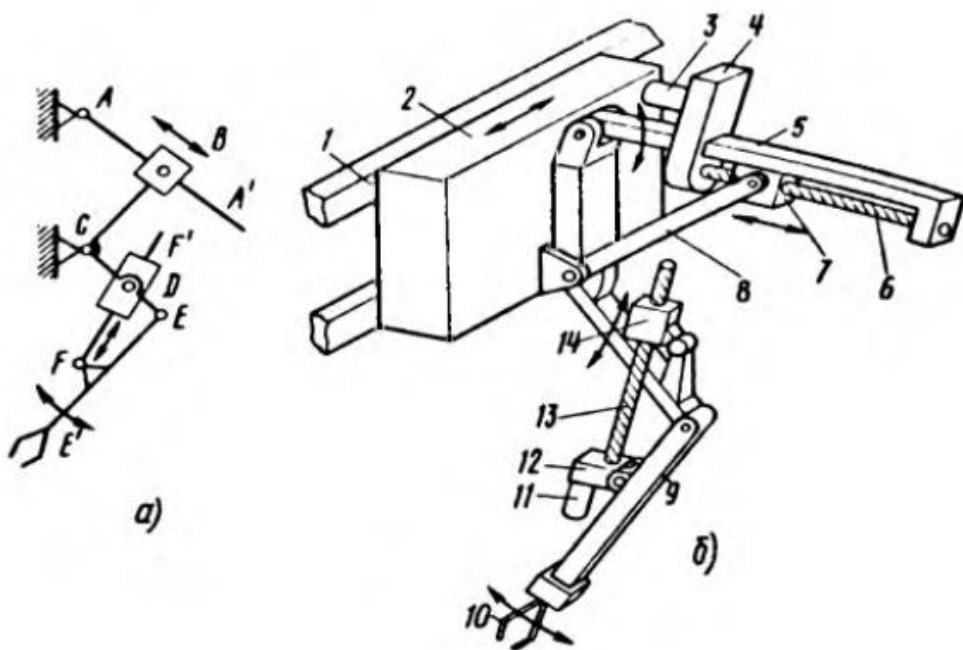


Рисунок 5.4 – Кулісний механізм руки

5.2. Важільно-зубчасті механізми

Важільно – зубчасті механізми, що містять важільні і зубчасті ланки, використовуються для прямолінійних переміщень руки ПР. Наприклад, у механізмі руки ПР, схема якого подана на рис.5.5, а, ведучими ланками є важіль 5 і зубчасте колесо z_4 . Вони можуть отримати повороти від різних двигунів (на схемі рис.5.5, а від гідроциліндрів 2, 3 і 1,4 через реєчну переду з шестернями z_1 і z_2). Важіль 5 (плече) повертається і переносить закріплені на ньому зубчасті колеса z_{11} і z_5 ; колесо z_3 закріплено нерухомо. Передаточне число $z_3/z_5 = 2$. Колеса z_{11} і z_5 обкочують колесо z_3 і повертають лікоть 6. При цьому вісь В ЗУ переміщується по прямій. Через колеса $z_2, z_4, z_6, z_7, z_8, z_9, z_{10}$ здійснюється поворот ЗУ 7 відносно шарніру В.

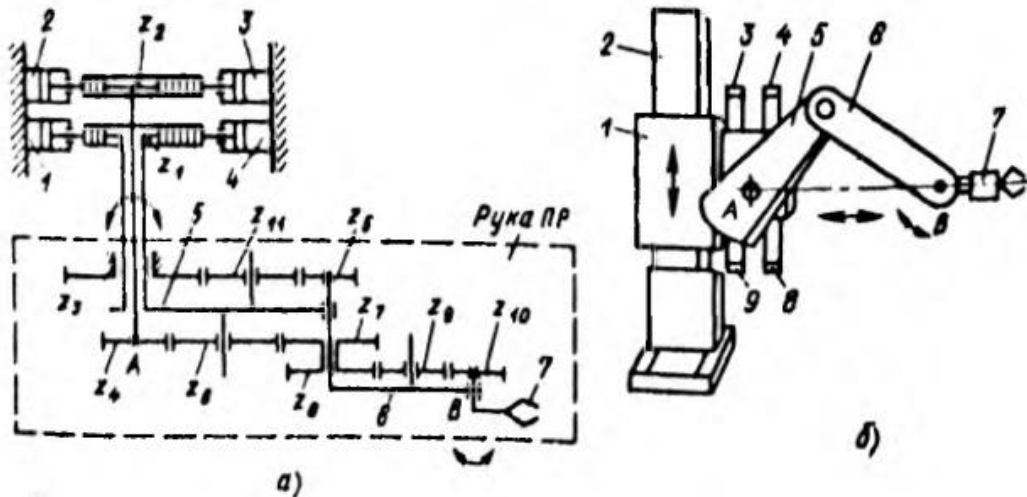


Рисунок 5.5- Важільно – зубчастий механізм руки ПР

5.3. Хвильові передачі

За конструкцією такі передачі мають різні варіації. Обов'язковими складовими конструкції хвильової зубчастої передачі є: жорстке зубчасте колесо (1) із внутрішніми зубами; тонкостінне гнучке зубчасте колесо (2) із зовнішніми зубами; генератор хвиль або хвилеутворювач (Н). Жорстке колесо нерухомо закріплюють у корпусі. Хвильоутворювач розтягує колесо (1) і змушує його обертатися з внутрішнього зачеплення жорсткого колеса (2) у протилежному обертальному руху напрямку. Утворення пар зачеплення зубчастих коліс здійснюється у двох і більше точках. Зсув гнучкого колеса по відношенню до жорсткого відбувається на певну кількість зубів. Різниця кількості зубів цих коліс дорівнює кількості хвиль деформації (рис. 5.6).

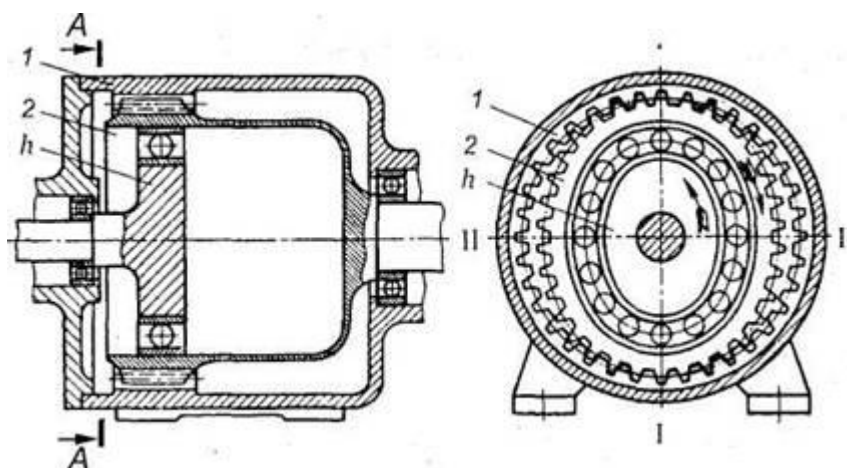


Рисунок 5.6 – Хвильова передача

Переваги:

- великі передатні числа (діапазон від 40 до 320);
- високий ККД (0.8 – 0.9);
- високий крутний момент на виході;
- передача руху крізь герметичну перегородку, що не вимагає додаткових ущільнень;
- компактність та малогабаритність (у кілька разів менше зубчастих передач);
- висока здатність навантаження при невеликих габаритах і масі;
- плавність ходу та низький рівень шуму під час роботи;
- багатопарність та багатозонність зачеплення забезпечують малу кінематичну похибку та високу жорсткість механізму;
- мала вібрація та похибки при виготовленні та монтажі;
- висока надійність та тривалість терміну служби (до 15 років) через простоту, міцність та симетричність конструкції;
- висока зносостійкість завдяки відсутності тертя ковзання;
- мінімальні витрати на технічне обслуговування (завдяки застосуванню пластичного мастила контроль за рівнем мастила не потрібний);
- швидкий запуски гальмування механізмів завдяки малій інерції та високій динамічності.

5.4. Планетарно-цевочні зубчасті передачі

Головними компонентами планетарно-цевочної передачі є швидкохідний вал із ексцентриками, внутрішній фланцевий тихохідний вал, циклоїдні диски та корпус редуктора. Дана передача має безліч контактних точок, що забезпечують одночасний розподіл робочого навантаження приблизно на половину всіх зубів, тому вона може

витримувати миттєве пікове ударне навантаження, яке в 5 разів перевищує розрахунковий крутний момент.

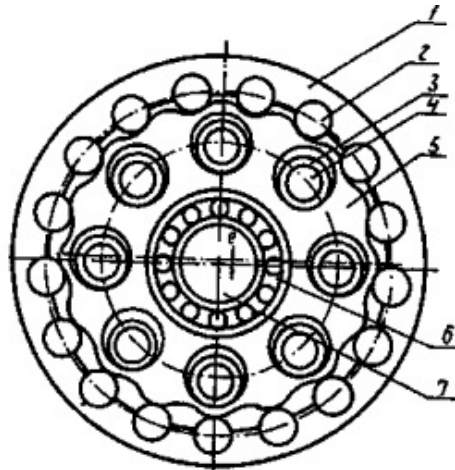


Рисунок 5.7 – Планетарно-цвочна передача

Сателітне колесо 5 із зовнішньою епіциклоїдною поверхнею встановлено на опорі 6 на вхідному валу 7 з ексцентриситетом e відносно сонячного колеса 1. Колесо виконане у вигляді корпусу, в якому закріплені цівки 2, які обкочують ротор 5.

Планетарний рух ротора через повідець W так званий механізм паралельних кривошипів у вигляді пальців 4 в опорах 3 передається на водило вихідного валу.

Планетарний рух сателітного або сонячного колеса забезпечує багатопарність зачеплення. Як відомо, в евольвентній зубчастій передачі взаємодіє одна пара зубів. У хвильовій передачі в зачепленні одночасно знаходиться близько чверті зубів, а в цівковій половина. Така багатопарність зачеплення забезпечує високу здатність навантаження і, відповідно, мінімальні масогабаритні характеристики які у цівкової передачі в 3-5 разів менше, ніж у зубчастої і в 1,2-1,5 рази менше ніж у хвильової.

Така передача реалізує передавальні відносини від 4 до 100 в одному ступені.

5.5. Планетарні та диференціальні механізми

До епіциклічних механізмів відносяться диференціальні та планетарні механізми. На рис. 5.8 показано: а - диференціальний, б - планетарний механізми. У цих механізмах ланки мають назви: колеса 1, 3 – центральні (сонячні). У цих коліс одна геометрична вісь $O-O$. Колесо 2 – сателіт (або планетарне колесо). Ці колеса роблять складний рух – обертаються навколо власної осі та щодо осі центральних коліс (рух планет у Сонячній системі, звідки й назви механізмів). Ланка H - водило - ланка, що несе вісь сателіту. На рис. 5.8 в - схема зверненого механізму

(зі зупиненим водилом). На рис. 5.9 наведено типові схеми планетарних механізмів із циліндричними зубчастими колесами із здвоєним сателітом 2–2'.

Планетарні редуктори, що застосовуються у робототехніці, виконують із числом сателітів щонайменше двох (крім окремих випадків). Це забезпечує врівноваження сил інерції, що виникають внаслідок того, що сателіти та центр маси водила обертаються на певній відстані щодо осі центральних коліс. Так як при цьому збільшується кількість пар зачеплення, то при одних і тих же габаритах можна передати більший крутний момент.

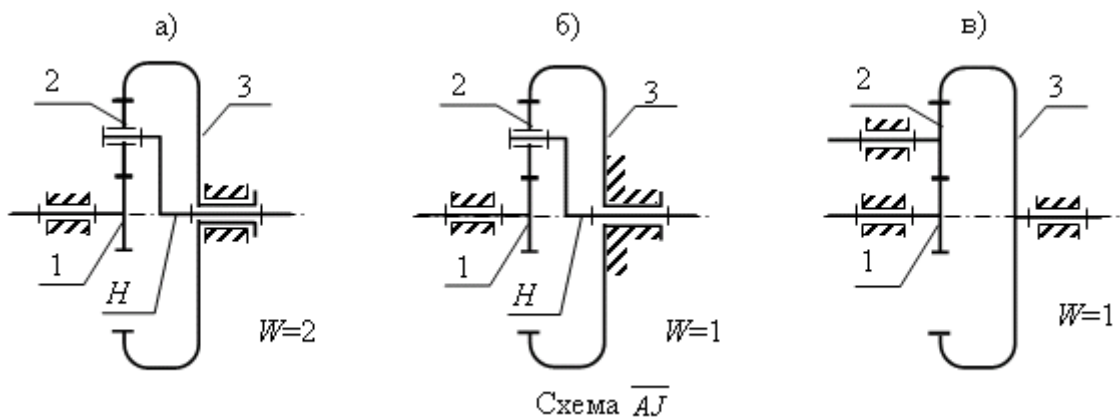


Рисунок 5.8.- Найпростіші епіциклічні механізми (а і б) та обернений механізм (в)

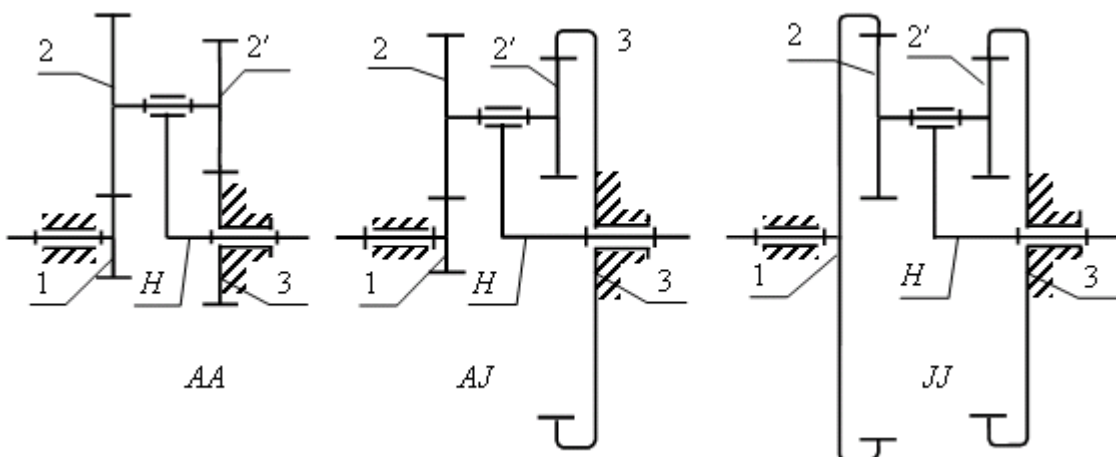


Рисунок 5.9. - Типові схеми планетарних механізмів із циліндричними зубчастими колесами із здвоєним сателітом 2–2'

Планетарний редуктор, що має нерухоме колесо, перетворюється на диференціал, якщо звільнити нерухоме (центральне) колесо та надати йому обертання. Навпаки, будь-який диференціал можна перетворити на планетарний редуктор, якщо закріпити одне (при $W=2$)

або кілька (при $W > 2$) із центральних коліс. Внаслідок цього для планетарних та диференціальних механізмів застосовуються однакові методи кінематичного дослідження. У переважній більшості практично використовують планетарні зубчасті механізми з циліндричними колесами. Механізми з конічними зубчастими колесами застосовують головним чином для диференціальних механізмів.

5.6. Передачі з зубчастими пасами

Серед різноманіття конструктивних рішень, що використовуються для руху будь-яких частин механізму в пристроях різного призначення, одним з варіантів виступають зубчасті паси. Найчастіше використовуються односторонні паси зубчасті, що являють собою багат шарову вулканізовану стрічку, де зовнішня сторона плоска, а внутрішня виконана з виступами (зубцями), розташованими один від одного на рівній відстані.

Принцип роботи механізму з використанням зубчастих пасів ґрунтується на зачепленні зубів ременя та шківів, що й обумовлює основні переваги такої передачі. Паси зубчасті забезпечують рівномірний плавний хід передачі практично без ковзання або ривків, при цьому навантаження на вали та підшипники механізму значно нижче, ніж створюють приводні ремені іншого типу. Зубчасті паси не чутливі до зміни інтенсивності навантаження, тобто навіть при частому переході від максимального навантаження до мінімального зношування пасу не посилюється. Паси зубчасті не потребують додаткового змащування, таким чином, при експлуатації зубчаста передача, володіючи досить високою надійністю та довговічністю, не потребує додаткового обслуговування.

Відповідно, широкий спектр переваг зубчастої пасової передачі передбачає їх широку сферу застосування.

У промислових роботах зубчасті пасові передачі часто застосовують для передачі руху від двигуна до обертової колони, плеча чи кисті руки.



Рисунок 5.9 - Передача з зубчастим пасом

5.7. Стрічкові пасові передачі

Пасові передачі відносяться до механічних передач тертя з гнучким зв'язком і застосовують у разі якщо необхідно передати навантаження між валами, які розташовані на значних відстанях і за відсутності строгих вимог до передавального відношення. Пасові передачі в промисловості та народному господарстві посідають друге місце після зубчастих.

Паси повинні мати досить високу міцність при дії змінних навантажень, мати високий коефіцієнт тертя при русі по шківу і високу зносостійкість. Дані передачі застосовуються для приводу агрегатів від електродвигунів малої та середньої потужності; для приводу від малопотужних двигунів внутрішнього згорання. Застосування плоскопасових передач обмежено, оскільки їх експлуатаційні властивості гірші, ніж пасових передач інших видів. Виняток становлять перспективні передачі з плівковими синтетичними пасами.

Передача потужності силових пасових передач практично досягає 50 кВт, хоча відомі плоскопасові передачі потужністю і 1500 кВт. Швидкість пасу $v = 5 - 30$ м/с (у надшвидкісних передачах $v = 100$ м/с). У механічних приводах пасова передача найчастіше використовується як знижувальна передача. Максимальне передатне відношення $U_{\max} = 5 - 6$ для передач без натяжного ролика та $U_{\max} = 6 - 10$ для передач з натяжним роликом допускають короткочасне навантаження до 200%.

Переваги пасових передач:

1. Можливість передачі руху на значній відстані
2. Плавність та безшумність роботи
3. Запобігання перевантаженням за рахунок прослизання ремня
4. Простота конструкції та експлуатації

Недоліки:

1. Підвищені габарити (для однакових умов діаметри шківів приблизно в 5 разів більші за діаметри зубчастих коліс)
2. Непостійність передатного відношення, викликане залежністю ковзання ремня від навантаження
3. Підвищене навантаження на вали та їх опори – у 2-3 рази порівняно із зубчастою передачею
4. Низька довговічність пасів (не більше від 1000 до 5000 год)
5. Знижений коефіцієнт корисної дії. $\eta = 0,96$, що передається потужність менше 50 кВт.

5.8. Ланцюгові передачі

Широке застосування ланцюгових передач в різних машинах і механізмах обумовлено набором наданих ними характеристик. Головними перевагами такого способу передачі енергії виступає універсальність, простота та економічність.

Під ланцюговою передачею розуміється передача обертального руху, яка здійснюється між розташованими паралельно один до одного валами за допомогою нескінченного ланцюга, що з'єднує розміщені на них зірочки. Як і пасова, ланцюгова передача відноситься до передач з гнучким зв'язком. Однак, вона здатна згинатися виключно в одній площині, тому може бути ефективно використана тільки для розташованих паралельно валів.

Особливості ланцюгової передачі та її відмінності від пасової.

Перша серйозна відмінність двох найпоширеніших видів передач – ланцюгової та пасової полягає у можливості згинання ланцюга тільки в одній площині і, як наслідок, використання виключно для валів, розташованих паралельно один одному.


Іншою важливою відмінністю є відсутність у ланцюговій передачі ключового значення такого важливого параметра, як кут обхвату ланцюгом зірочки. На відміну від пасової передачі він не відіграє настільки серйозної ролі в забезпечуванні при передачі енергії характеристиках.

5.9. Гвинтові передачі

Для перетворення обертання в лінійне переміщення використовують лінійні механічні передачі, наприклад гвинтові та рейкові. Одна з частин такої передачі обертається зовнішнім зусиллям та шляхом зачеплення чи тертя штовхає іншу частину, яка рухається поступально. Часто такий механізм є оборотним, тобто може перетворювати лінійний рух на обертальний.



Рисунок 5.10 – Гвинтова передача



Переваги кульково-гвинтової передачі полягають у наступних моментах:

- високий ККД (95-98%);
- слабка тертя у парі гвинт-гайка;
- низький рівень шуму;
- можливість мікронних переміщень гайки.

Експлуатаційні недоліки практично відсутні за винятком, можливо, поганої ремонтпридатності - передачу, що вийшла з ладу, доведеться замінити новою цілком. А ось економічний мінус кульково-гвинтової передачі значний. Це їхня неабияка вартість. Це, по-перше, складністю виготовлення і, по-друге, відсутністю згаданих вище експлуатаційних недоліків.

У парі гвинт-гайка ковзання для підвищення зносостійкості та зниження схильності до заїдання матеріал однієї з деталей має бути антифрикційним. Тому зазвичай використовують сталеві гвинти у поєднанні з бронзовими, рідше чавунними гайками. Для виготовлення гвинтів застосовують сталі 45, 50 покращені, сталі 65Г, 40Х із загартуванням і подальшим шліфуванням, сталі 40ХФА, 18ХГТ з азотуванням для зменшення спотворення форми та розмірів гвинтів в результаті загартування. Гайки виконують з олов'янистих бронз, наприклад БрО10Ф1, менш відповідальних конструкціях з безолов'янистого сплаву ЦАМ 10-5, а при малих швидкостях ковзання і навантаженнях використовують антифрикційний чавун.

Основною причиною відмови передач гвинт-гайка є знос різьблення. Для забезпечення опору зношування обмежують тиск у різьбленні.

Контрольні питання

1. Які передачі можна використати для перетворення поступального руху в обертальний?
2. Переваги й недоліки ланцюгових передач.
3. Переваги й недоліки пасових передач.
4. Переваги й недоліки шарнірних механізмів
5. Переваги й недоліки гвинтових передач
6. Передачі зубчастими пасами.
7. Переваги й недоліки планетарних передач
8. Характеристика хвильових передач
9. Наведіть схеми планетарних передач і дайте назви основних елементів.
10. Основні відмінності ланцюгових і пасових передач.



Література

- 5.1. Хомик Н. І., Довбуш А. Д., Цьонь О. П. Деталі машин : курс лекцій. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2016. 160 с.
- 5.2. Corves B. J., Lovasz E., Hüsing M., Maniu I., Gruescu C. *New Advances in Mechanisms, Mechanical Transmissions and Robotics : Proceedings of The Joint International Conference of the XII International Conference on Mechanisms and Mechanical Transmissions (MTM) and the XXIII International Conference on Robotics (Robotics '16), Aachen, Germany, October 26th-27th, 2016.* Springer, 2016. 497 p.
- 5.3. Righettini P., Strada R., Cortinovis F. Modal kinematic analysis of a parallel kinematic robot with low-stiffness transmissions. *Robotics*. 2021. Vol. 10(4). Issue 132. DOI: <https://doi.org/10.3390/robotics10040132>.



ТЕМА 6. ПРИСТРОЇ ПОДАВАННЯ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Мета вивчення теми: ознайомитись із конструкцією пристроїв подавання для РТС.

Питання до розгляду

6.1. Призначення, галузь застосування.

6.2. Класифікація пристроїв.

6.3. Типові конструкції та розрахунок.

6.1. Призначення, галузь застосування.

Пристрої подавання – це різного роду функціональні механізми, що здійснюють живлення технологічного обладнання заготовками чи деталями. [6.1-6.2].

Функції ПП полягають у захваті, утримуванні та встановленні виробів на робочу позицію технологічного обладнання.

Ознаки

- Ступень технологічної універсальності, що визначається діапазоном типорозмірів і форм завантажених на робочі позиції заготовок (спеціалізовані та переналагоджувальні ПП)

- Принцип дії, що визначається типом привода, який використовують у виконавчих органах;

- Конструктивне виконання, тобто формоутворення і відносне розташування виконавчих і робочих органів

Галузь застосування подавальних пристроїв визначається характером технологічного процесу.

6.2. Класифікація пристроїв

Пристрої подавання поділяють на три групи: живильники, дозатори, авьлоператори.

Пристрої кожної групи мають основні ознаки:

- Конструктивне виконання, що передбачає характерне формоутворення, розташування їхніх робочих елементів;

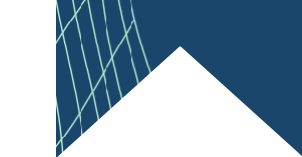
- Тип привода;

- Типорозміри;

- Характеристика заготовок, які завантажують на робочі органи пристроїв.

Живильники-це різновид ПП, що здійснюють поштучне подавання заготовок (деталей) на позицію їх обробки (складання).

Функції – відокремлення однієї заготовки з потоку зорієнтованих або завантажених навалом заготовок і встановлення їх або безпосередньо на базуючі елементи робочої позиції, або на позицію поштучного видавання



заготовок, звідки вони можуть бути забрані маніпулятором або автооператором.

Дозатори – це ПП, які здійснюють переважно, порційне подавання заготовок або матеріалів на позицію обробки.

Дозатори відрізняються конструктивним виконанням подавального робочого органу – елементу виконавчого механізму, який безпосередньо контактує з заготовками чи матеріалами.

Гвинтові та шнекові дозатори можуть здійснювати функції транспортування.

Автооператори – виконавчі механізми, які мають один або два ступені рухомості і, на відміну від живильників, здійснюють не лише завантаження, а й розвантаження технологічного обладнання.

Основний елемент – виконавчі механізми переміщення заготовок (деталей) та ЗП.

Автооператори за суттю є маніпуляторами але з обмежаним ступенем рухомості та спеціалізованим призначенням

6.3. Типові конструкції та розрахунок

6.3.1. Живильники

Вібраційні бункерні живильники (ВБЖ).

Два виконання:

- Одноярусне,
- Багатоярусне.

Основний елемент – бункер, куди навалом завантажуються деталі
Бункер – чаша, встановлена на пружних стрижнях або пластинах .

Чаша із спіральними лотками на периферії внутрішньої поверхні; електромагнітний вібратор, розміщений на станині з амортизаторами.

На виході лотка встановлено пристрій поштучного видавання деталей.

Бункерний віброживильник з багат шаровими підвісками (рис. 6.1) складається з чаши 1, на внутрішній поверхні якого є спіральний лоток 2. Дно чаши 3 закріплено на трьох багат шарових підвісках 4, які являють собою набори плоских ресор. У центрі масивної основи 5 закріплено електромагніт 6, якоря якого 7 кріпиться до дна чаши 3. Для віброізоляції бункер розташований на гумових амортизаторах 8. Регулювання продуктивності проводять зміною струму, який подається в електромагніт за допомогою реостату 9.

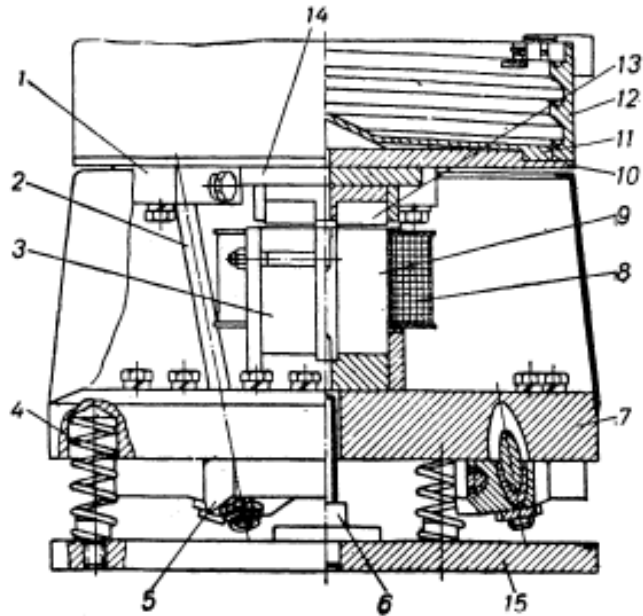


Рисунок 6.1 - Бункерний віброживильник з багатошаровими підвісками

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ВБЖ. Продуктивність, шт/с [6.1]

$$Q_{\text{ВБЖ}} = Q_{\text{ц}} K_{\text{П}} \quad (6.1)$$

$K_{\text{П}}$ - коефіцієнт переповнення, $K_{\text{П}} = 1,1$;
 $Q_{\text{ц}}$ - циклова продуктивність.

Швидкість руху заготовки

$$V = Q_{\text{ВБЖ}} l / K_1 K_2 \quad (6.2)$$

$K_{\text{П}}$ - коефіцієнт переповнення (1,1);
 l - довжина заготовки (деталі), м;
 K_1 - коефіцієнт заповнення (0,95...0,9);
 K_2 - коефіцієнт щільності потоку деталей (0,2...0,25).

Кишенькові бункерні живильники (КБЖ). Окрім функції живлення технологічного обладнання КБЖ грають одночасно роль пристроїв первинного, а часто і вторинного орієнтування об'єктів виробництва, здійснюючи організацію одношарових потоків об'єктів. Це досягається поворотом дисковідсікача в бункері (рис. 6.2, а) чи в кінці лотка (рис. 6.2, б), по якому з бункера надходять заготовки. На периферії барабану розташовано отвори (кишені) для попадання в них заготовок.

Крок між кишнями

$$t_k = l + \delta + s \quad (6.3)$$

l – довжина заготовки

δ – товщина перегородки, що включає можливість знаходження одночасно двох заготовок над приймачем

s – зазор між заготовкою та стінкою кишені, який вибираємо з умови вільного западання заготовки в кишень.

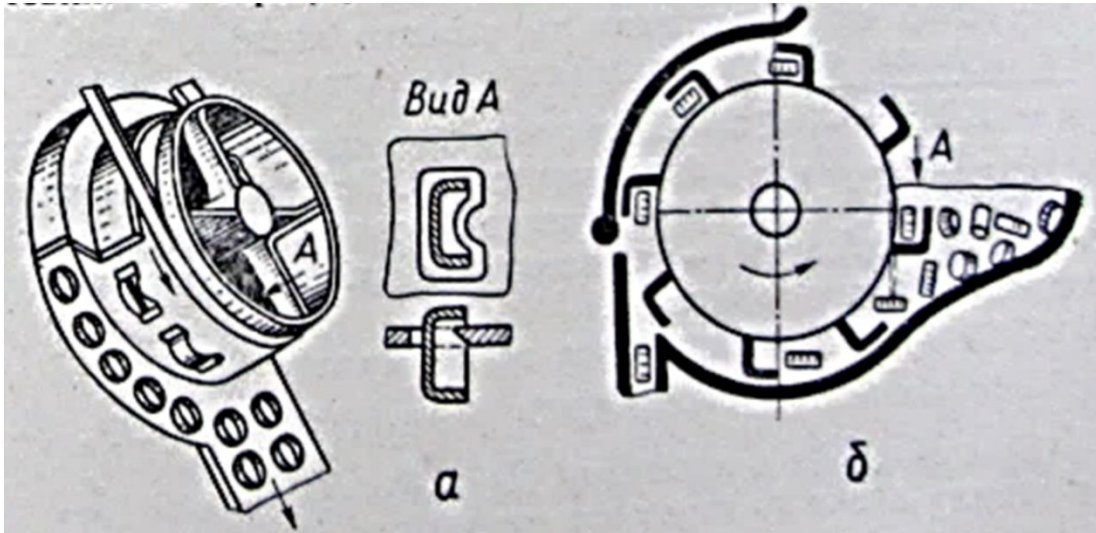


Рисунок 6.2- Схема до розгляду КБЖ

Продуктивність

$$Q_{ГЖ} = n_D z_{Г} \eta \quad (6.4)$$

n_D – частота обертання диска, несучого $z_{Г}$ захватних органів (гачків);
 η – коефіцієнт віддачі (0,54...0,68).

Продуктивність через колову швидкість

$$Q_{ГЖ} = 60V\eta/m \quad (6.5)$$

Крок розташування гачків по периферії обертового диску

$$m = L + l + \delta + \Delta l \quad (6.6)$$

L - Довжина відігнутої частини гачка;

δ Діаметр стрижня гачка;

Δl - Зазор за кроком гачків, розмір яких забезпечує вільне переміщення заготовки гачком.



Контрольні питання

1. Призначення та функції пристроїв подавання РТС.
2. Основні ознаки пристроїв подавання РТС.
3. Класифікація пристроїв подавання РТС.
4. Призначення живильників і дозаторів.
5. Призначення автооператорів.
6. Конструкція та призначення вібраційного бункерного живильника.
7. Призначення кишенькових бункерних живильників (КБЖ).
8. Визначення продуктивності КБЖ.
9. Визначення продуктивності вібраційних бункерних живильників.
10. Визначення кроку розташування гачків КБЖ.

Література

- 6.1. Ямпольський Л. С., Поліщук М. М., Ткач М. М. Елементи робототехнічних пристроїв і модулі ГВС. Київ : Вища шк. 1992. 431 с.
- 6.2. TOLIO Tullio. Design of flexible production systems : Methodologies and Tools. Berlin-Heidelberg : Springer, 2009. 316 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-85414-2>.

ТЕМА 7. ТРАНСПОРТНІ ПРИСТРОЇ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Мета вивчення теми: ознайомитись із конструкціями транспортних пристроїв робототехнічних систем та основами їхнього розрахунку.

Питання до розгляду

- 7.1. Призначення, галузь застосування.
- 7.2. Класифікація пристроїв.
- 7.3. Типові конструкції. Розрахунок і проектування.

7.1. Призначення, галузь застосування

Проміжне транспортування деталей усередині роботизованого технологічного комплексу здійснюється за допомогою простих роликів або покрових транспортерів або тактових столів, що мають фіксовані кроки переміщення, що реалізуються спеціальними механізмами. Використовуються також лінійні електродвигуни.[7.1-7.3] Транспортуючі пристрої можуть працювати як у прямокутних координатах, так і в полярних (у вигляді дисків) або по просторових траєкторіях (зокрема, спіралеподібних). Заготовки можна встановлювати безпосередньо на пластини тактового столу (рис. 7.4) або спеціальних пристосуваннях (супутниках), які кріпляться на пластинках.

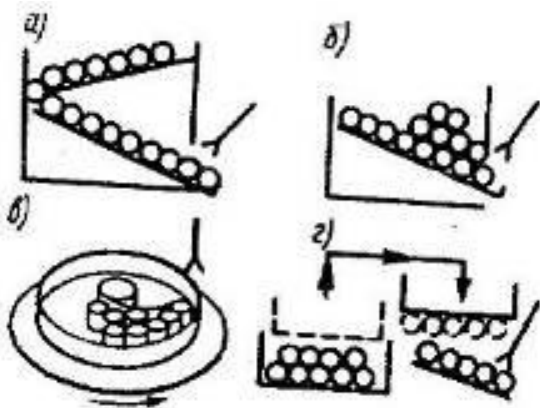


Рисунок 7.1 - Схема лотків та бункера

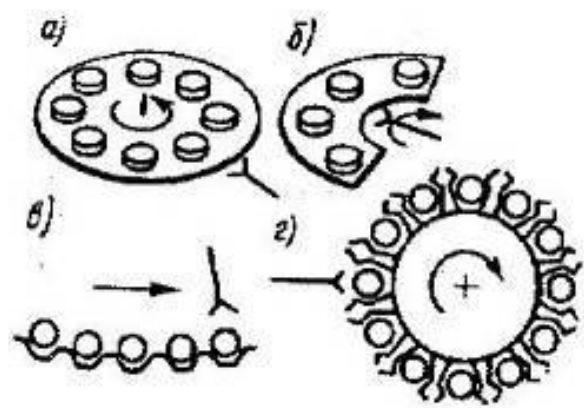


Рисунок 7. 2 - Схема піддонів з покровим обертанням їх чи маніпулятора

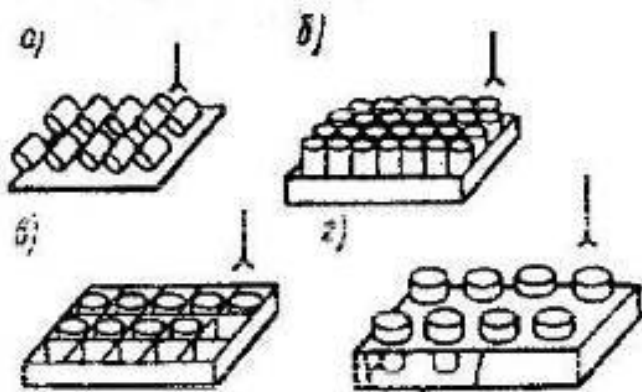


Рисунок 7.3 - Схеми касет (палет)

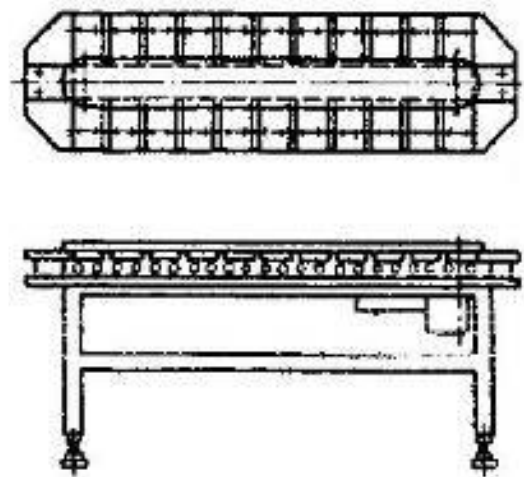


Рисунок 7.4 – Схема тактового столу

7.2. Класифікація пристроїв

Транспортні пристрої робототехнічних систем класифікують за наступними ознаками: [7.1]

- галуззю застосування;
- призначенням;
- рушійною силою;
- характером руху;
- видом переміщення заготовок (деталей);
- розташуванням росучого робочого органу;
- зв'язком об'єкту транспортування з несучим органом;
- видом циркулювання матеріального потоку;
- за конструктивним виконанням.

За галуззю застосування:

- транспортні засоби для внутрішньоопераційних переміщень;
- транспортні засоби для міжопераційних переміщень.

За призначенням:

- для транспортування насипних вантажів;
- для транспортування рідин;
- для транспортування поштучних виробів.

За рушійною силою:

- вироби переміщуються під дією сили тяжіння;
- вироби переміщуються під дією сили інерції;
- вироби переміщуються під дією зовнішньої рушійної сили.

За характером руху:

- вироби переміщуються з коченням;
- вироби переміщуються з ковзанням.

За видом переміщення:

- рух безперервний по поверхні робочих органів;
- по поверхні робочих органів вироби рухаються дискретно.

За розташуванням несучого органу:

- робочий орган розташовано горизонтально;
- робочий орган розташовано вертикально;
- робочий орган має похиле положення;
- в одному пристрої робочі органи мають змішане

розташування.

За характером зв'язку об'єкту транспортування з несучим органом:

- жорсткий;
- гнучкий.

За видом циркуляції матеріального потоку:

- замкнена траєкторія;
- розімкнена траєкторія.

За конструктивним виконанням:

- дотки;
- конвеєри;
- ротори;
- штабелери;
- промислові роботи.

7.3. Типові конструкції. Розрахунок і проектування

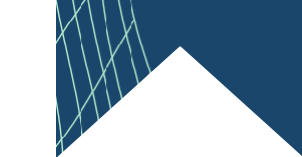
Конвеєром називають машину для безперервного транспортування виробів. Відмінною особливістю багатьох конструкцій конвеєрів, поряд з виконанням функцій переміщення заготовок, є можливість утворення невеликих міжопераційних заділів, що забезпечують незалежну роботу складних верстатів у складі автоматичних ліній. Є конструкції конвеєрів, які під час транспортування виробляють розподіл заготовок на кілька потоків.

Транспортні засоби бувають стаціонарні, тобто, нерухомо встановлені на підлозі цехи, та рухливі. До першого виду відносять різні конвеєри, до другого - різні візки (електрокари, самохідні візки, що працюють за автоматичним циклом, та ін.)

За способом транспортування конвеєри ділять на безперервну і переривчасту (дискретну) дію.

Конвеєри безперервної дії. Найбільш поширені стрічкові (рис. 7.5, а) та ланцюгові (рис. 7.5, б) конвеєри. Вантажонесучим та тяговим органом для переміщення заготовок у таких конвеєрах служить стрічка (зазвичай металева) або втулково-роликовий ланцюг, який натягнутий на барабани або зірочки, змонтовані в корпусі. Для запобігання їх провисанню передбачені напярмні планки.

Роликові конвеєри складаються з роликів, укріплених на осях у корпусі 5 (рис. 7.5, в). Роликам передається обертання від приводу через замкнутий ланцюг та зірочки, закріплені на осях роликів. Переміщення



заготовок або пристосувань-супутників відбувається під дією сил тертя, що виникають між утворюючими роликами та заготовками, що дозволяє подавати їх з підпором. Ролики посаджені на осі з невеликим натягом через фрикційні втулки, запресовані в ролики, що дозволяє їм прослизати під час перебування під зупиненими заготовками.

Конвеєр-розподільник складається з корпусу, всередині якого на зірочках натягнутий замкнутий ланцюг з консольно укріпленими (через крок) пальцями, що переміщують деталі (кільця, фланці) по напрямній (рис. 7.5, г). Заготівлі подаються у конвеєр через механізм прийому (з відсікачем), а видаються через механізми видачі. Такий конвеєр застосовують для розподілу заготовок, що котяться між паралельно діючими верстатами.

Двухвалкові конвеєри використовують для переміщення з підпором циліндричних заготовок (рис. 7.5, д), наприклад кілець, втулок, дисків. При переміщенні заготовки обертаються, що дозволяє застосувати зазначені конвеєри для завантаження - розвантаження безцентрових круглошліфувальних верстатів. Валкові конвеєри мають різні виконання залежно від форми валків. Найбільш поширеною конструкцією є конвеєр з конічними валками, з кутом конуса при вершині до 2° . Обертання двом валкам, укріпленим у корпусі, передається від приводу через ланцюгову передачу та зірочок, встановлені на осях валків.

Гвинтові конвеєри використовують для переміщення заготовок упоперек і вздовж осі. У першому випадку (рис. 7.5, е) спіралі гвинтів, що знаходяться в кориті, розташовані так, щоб заготовка лежала між ними без перекосу. Гвинтам надається синхронне обертання від приводу через ланцюгову передачу та зірочки. Для переміщення заготовок уздовж осі гвинти встановлені таким чином, щоб виступи одного гвинта вільно входили до западини іншого. У цьому випадку заготівля переміщується зовнішньою поверхнею спіралей між гвинтами.

Вібраційні конвеєри використовують у тих випадках, коли важко переміщати заготовки іншими способами (наприклад, через їх зчеплення). Основним недоліком зазначених конвеєрів є можливість вібрації сусідніх металорізальних верстатів. Конвеєр складається з лотка (рис. 7.5, ж), пружин та основи. Лоток отримує рух від електромагнітного вібратора 4 (або ексцентрикового механізму) з пружною ланкою 5.

Пневматичний напівсамотечний конвеєр (рис. 7.5, з). Переміщення заготовок у корпусі конвеєра, розташованого похило під кутом, меншим за кут тертя, здійснюється стисненим повітрям (тиск 0,01...0,02 МПа), що подається через отвори 5 або 2, просвердлені під кутом на опорній, а іноді і на бічних поверхнях. Заготовки рухаються в корпусі під дією струменів стисненого повітря, що утворюють повітряний прошарок товщиною 0,01...0,02 мм між заготовками і поверхнею.

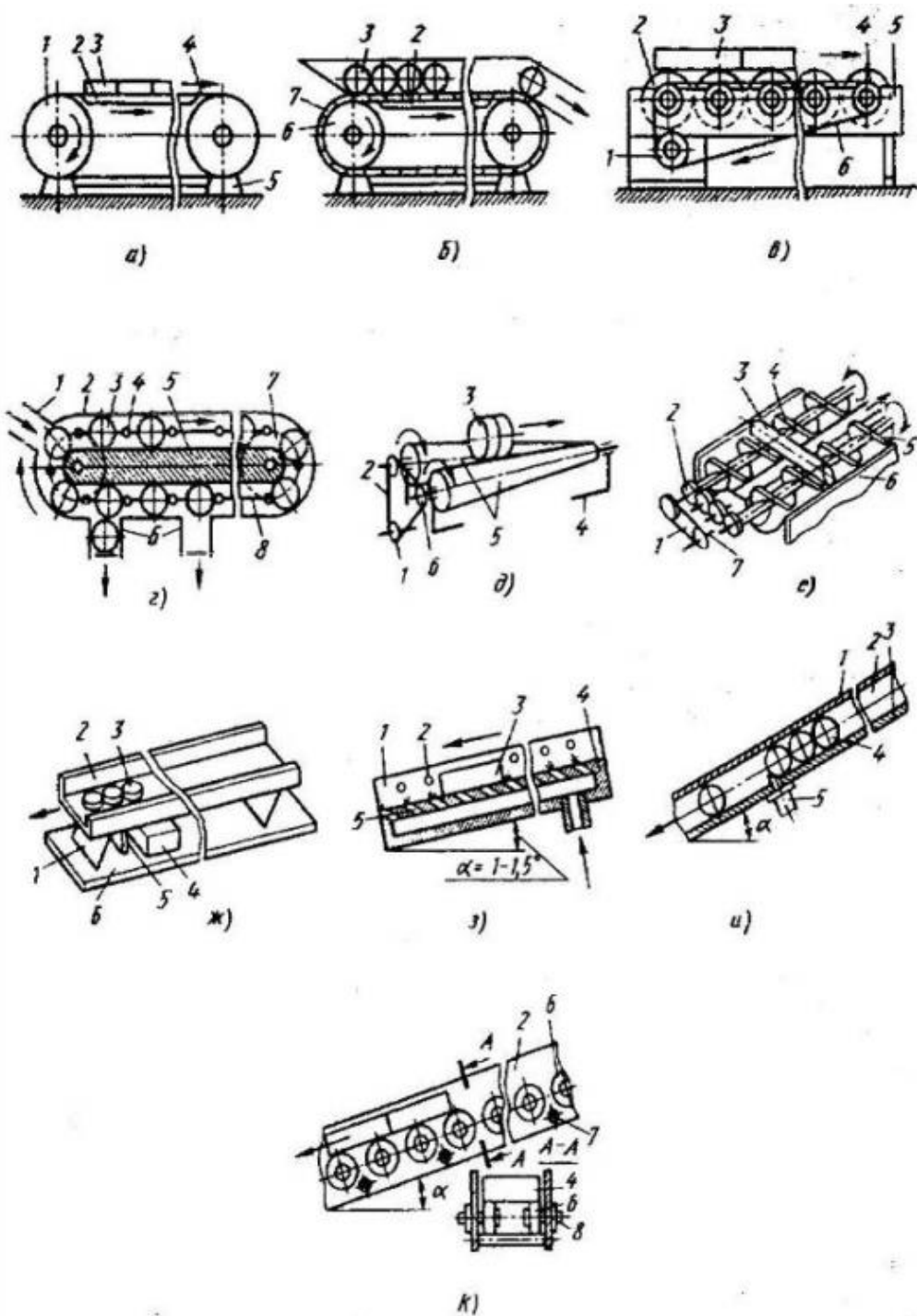



Рисунок 7.5 - Конвеєри безперервної дії

Лоткові самопливні конвеєри призначені для гравітаційного переміщення заготовок коченням по роликах або ковзанням по похилій (переважно прямій) поверхні довжиною 2.5 м і більше (рис. 7.5, і, к). Кут нахилу конвеєрів встановлюється залежно від способу переміщення заготовок, їхньої маси та матеріалу. При переміщенні деталей коченням $\alpha = 5.10^\circ$ (рис. 7.5, і), а при скочуванні по роликах $\alpha = 3..5^\circ$ (рис. 7.5, к). Для кожної конкретної заготівлі та способу її переміщення проводиться підбір кута нахилу конвеєра з урахуванням допустимої швидкості зіткнення



деталей, при якій на поверхні їх (при ударах) не утворюються дефекти у вигляді вибоїн, вм'ятин та ін.

Конвеєр для переміщення заготовок коченням складається з опорної та двох бічних стінок (рис. 7.5, і). Для запобігання мимовільному випаданню заготовок (особливо при великому куті нахилу) передбачено запобіжну смугу. У конвеєрах для переміщення заготовок вільно, обертовим роликам (рис. 7.5, д) останні встановлюють на осях, укріплених в бічних стінках, які між собою жорстко з'єднують стяжками. Як ролик використовують шарикопідшипник або два шарикопідшипники, запресовані у втулку.

Конвеєри уривчастої дії. Крокові конвеєри найбільш поширені і бувають двох типів: з собачками, що забираються (рис. 7.6, а) або захоплюючими пристроями, що повертаються (рис. 7.6, б). У першого типу конвеєрів заготовки (супутники) переміщують по напрямних захоплення у вигляді пружних храпових собачок, укріплених на осях у штанзі, що здійснює зворотно-поступальний рух за допомогою гідравлічного циліндра. Під час руху штанги вперед собачки впираються в заготовки та переміщують їх на крок. При зворотному ході песики утоплюються в штангу і проходять під заготівлі, не пересуваючи її. Основним недоліком конвеєра є засмічення стружкою храпових собачок.

У другого типу конвеєрів (див. рис. 7.6, б) заготовки переміщаються по напрямних захоплюючих пристроїв у вигляді прапорців, укріплених нерухомо на круглій штанзі, що здійснює послідовно зворотно-поступальний і обертальний рух за допомогою гідравлічних циліндрів 5 і 7 і важеля. Під час руху штанги вперед прапорці впираються в заготовки та переміщують їх на крок. Потім штанга повертається на кут (при якому прапорці не зачіпають деталі) і повертаються у вихідне положення. Далі прапорці опускаються і цикл повторюється. Імовірність засмічення стружкою прапорців у цьому конвеєрі менша.

Планчасті конвеєри зазвичай застосовують для переміщення заготовок, для яких не допускається пошкодження обробленої поверхні при ковзанні по напрямних (рис. 7.6, в). Заготівлі рухаються по напрямним послідовним перекиданням за допомогою планки, що здійснює рух від ексцентриків, що обертаються, по складному циклу - підйом, рух вперед, опускання, рух назад.

Пилоподібні конвеєри застосовують для переміщення заготовок типу вал упоперек осі. Конвеєр одинарної дії (рис. 7.6, г) складається з двох нерухомих пилкоподібних рейок, між якими розміщені дві рухомі рейки, що переміщуються вгору - вниз від кулачкового (кривошипного) механізму. Внаслідок цього руху рухливі рейки перекидають заготовки через вершини нерухомих рейок. Для збільшення продуктивності в конвеєрах подвійної дії (рис. 7.6, д) рухомі рейки зміщені щодо нерухомих на пів кроку. Принцип роботи конвеєра аналогічний до попереднього. Деталі скочуються похилою частиною рейок під дією сили тяжіння.

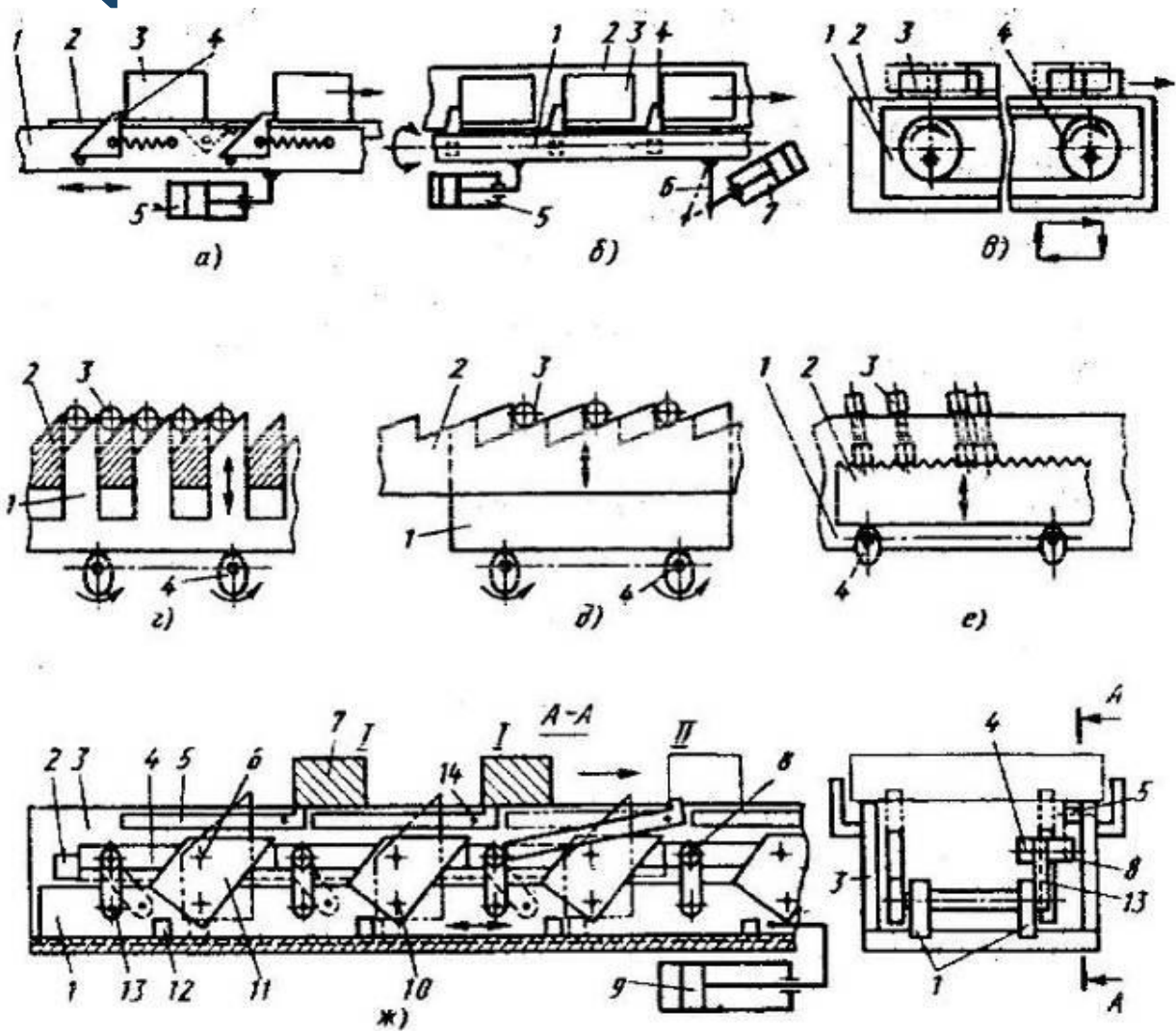


Рисунок 7.6 - Конвеєри уривчастої дії

Гребінчасті конвеєри призначені для переміщення заготовок із заплечиками, типу шатун (рис. 7.6, е) і мають дві напрямні, між якими розміщена гребінка, що здійснює рух вгору - вниз (з амплітудою 8 ... 10 мм) за допомогою приводного механізму. У процесі переміщення шатун заплечиками великої головки спирається на гладкі напрямні, а нижньою частиною малої головки - на зубці гребінки при нахилі шатуна на кут $6 \dots 10^\circ$ від вертикальної площини по ходу руху. При підйомі гребінки шатун зміщується великою головкою по напрямних у бік нахилу, а при опусканні гребінки він зміщується малою головкою в ту саму сторону; в результаті шатуни рухаються вперед.

Кроковий конвеєр-накопичувач із керованими собачками. Крім переміщення деталей виконує функцію їх накопичення. Він включає дві напрямні, якими рухаються деталі (рис. 7.6, ж) за допомогою подвійної штанги з собачками (діючими від гідроциліндра), що розміщується між напрямними. На одній із напрямних на осях 4 встановлені поворотні важелі контролю наявності заготовлі. За відсутності заготовки короткий кінець важеля піднімається, а довгий опускається.

Інші допоміжні пристрої

У зварювальних робототехнічних комплексах як допоміжне обладнання використовуються поворотні столи (рис.7.7). Поки робот зварює один виріб, оператор встановлює на іншій стороні столу новий виріб для зварювання, який подається йому на транспорті, що рухається. Такий спосіб ручної установки надалі може бути замінений автоматизованою системою, що зв'язує робочі позиції з транспортними пристроями, які подають та прибирають вироби із зони зварювання.

Деякі об'єкти специфічного допоміжного обладнання потрібно влаштовувати під час роботизування складальних операцій. Тут застосовуються механізми подачі, накопичувачі, напрямні, настановні пристрої та різні спеціальні пристрої для операцій кріплення, паяння, склейки та ін.

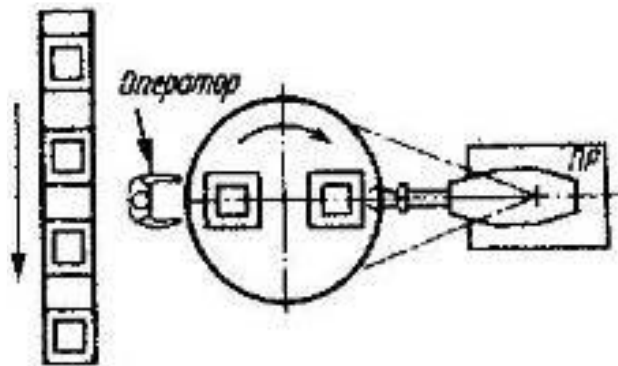


Рисунок 7.7 – Робот для зварювання й поворотний стіл

Розрахунок пристроїв із самопливним транспортуванням виробів. Коли виріб має точковий контакт з одним із бортів лотка – схилу, опір коченню складається із сили тертя кочення по площині, сили тертя виробів об борт і сил опору, спричинених поперечним ковзанням деталі.

Кут нахилу лотка

$$\sin \gamma_0 = kf \left[f \sqrt{\frac{2H}{R} + \operatorname{tg}(\alpha_0 - \gamma)} \right] \quad (7.1)$$

Де k – коефіцієнт, який залежить від чистоти поверхні лотка (для чистих лотків 1,2; для звичайних 1,5; для забруднених - 2,5...3,0.);

f - Коефіцієнт тертя ковзання між виробом і лотком;

H – висота лотка;

α_0 - Кут між діагоналлю та твірною виробу;

R - Радіус виробу.

При конструюванні роликів лотків необхідно встановити мінімальне число роликів, їхні розміри, крок між ними і кут нахилу лотка до горизонту (рис.7.8).

Для запобігання перекидання заготовок відстань між центрами роликів вибирають з умови зміщення центру ваги по довжині заготовки L на величину x

$$l = 0,45L - \sqrt{\frac{2QRs\sin\alpha}{F\rho}} \quad (7.2)$$

де Q – маса заготовки, кг; R – відстань від опори до центру ваги, м; F – площа поперечного перетину, m^2 ; ρ – густина матеріалу заготовок, kg/m^3 , α – кут нахилу роликів лотка.

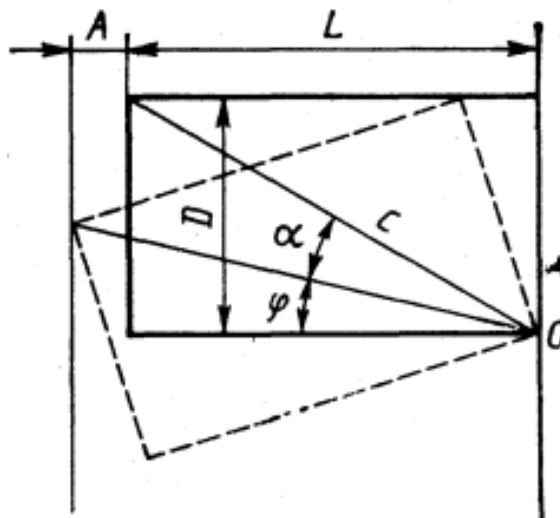


Рисунок 7.8 - Розрахункова схема лотка-скату коробчастого типу [3]

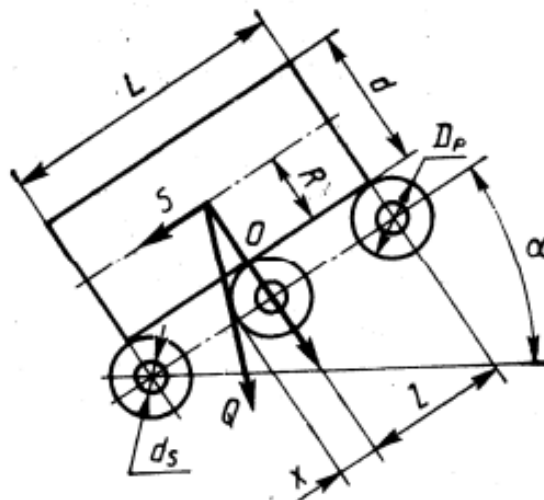


Рисунок 7.9 - Розрахункова схема роликів лотка

Контрольні питання

1. Класифікація пристроїв транспортування робототехнічних комплексів.
2. Які конвеєри відносять до пристроїв безперервної дії?
3. Конструкція роликів конвеєрів.
4. З чого складається конвеєр – розподільник?
5. Які конвеєри транспортують заготовки з підпором?
6. Які конвеєри використовують за умови зчеплення заготовок між собою?
7. Пневматичний напівсамотечний конвеєр.
8. Конвеєр для переміщення заготовок коченням
9. Конвеєри уривчастої дії
10. Яке допоміжне обладнання використовують к зварювальних робототехнічних комплексах?

Література

- 7.1. Ямпольський Л. С., Поліщук М. М., Ткач М. М. Елементи робототехнічних пристроїв і модулі ГВС. Київ : Вища шк. 1992. 431 с.
- 7.2. TOLIO Tullio. Design of flexible production systems : Methodologies and Tools. Berlin-Heidelberg : Springer, 2009. 316 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-85414-2>.
- 7.3. Іскович-Лотоцький Р. Д., Манжілевський О. Д. Обладнання автоматизованих виробництв. Частина 2. Автоматичні лінії. Гнучкі виробничі системи. Транспортно-завантажувальні пристрої : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання. Вінниця : ВНТУ, 2022. 155 с. https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2023/Iskovich_P2_2022_155.pdf



ТЕМА 8. ПРОЕКТУВАННЯ ПРИВОДІВ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Мета вивчення теми: ознайомитись із методами проектування робототехнічних технічних систем і особливостями приводів.

Питання до розгляду

- 8.1. Порівняльний аналіз приводів.
- 8.2. Електромеханічний привод.
- 8.3. Кінематичні характеристики привода.
- 8.4. Вибір електродвигуна привода.
- 8.5. Розміщення приводів на виконавчому устаткуванні. Розробка приводних модулів.

8.1. Порівняльний аналіз приводів

У роботах знайшли застосування практично усі відомі типи приводів :електричні, гідравлічні і пневматичні; з поступальною і обертальною ходою;регульовані(по положенню і швидкості) і нерегульовані; замкнуті(із зворотним зв'язком) і розімкнені; безперервної і дискретної дії(у тому числі крокові) [8.1].

Застосування пневматичних приводів в робототехніці об'яснюється їх простотою, дешивизною і надійністю. Що правда, ці приводи погано керовані і тому використовуються в основному як нерегулюємі з цикловим керуванням [8.1].

Гідравлічні пиводи найбільш складні і дорогі у зрівнянні з пневматичними та електричними. Проте при потужності 500-1000 Вт. і вище вони мають найкращі масогабаритні характеристики і тому являються основним типом приводу для важких і надважких роботів [8.1].

Електричний привід, не дивлячись на його хорошу керованість,простоту привода енергії, великий КІД і зручність експлуатації має найгірші масогабаритні характеристики, ніж пневматичний та гідравлічний приводи [8.1].

8.2. Електромеханічний привод

У промислових роботах знайшли застосування електроприводи наступних типів : на двигунах постійного струму традиційних колекторних і безколекторних (вентильних); на асинхронних двигунах як нерегульованих(з цикловим управлінням), так і з частотним управлінням; на крокових двигунах; на різного типу регульованих муфтах у поєднанні з нерегульованим асинхронним двигуном або двигуном постійного струму; на електромагнітах(соленоїдних й інших типів). В основному застосовують електроприводи з традиційним кутовим переміщенням, тобто тих що обертаються. Проте в роботах з

поступальними переміщеннями разом з двигунами, що обертаються, в комбінації з механізмами, що перетворюють обертальний рух в поступальне(типу передачі шестерня- рейка і т. д.) знайшли застосування спеціальні лінійні приводи постійного і змінного струму. Електроприводи для роботів в загальному випадку включають електродвигун, забезпечений датчиками зворотного зв'язку по положенню і швидкості, механічну передачу, часто гальмо, іноді муфту(наприклад, для зашиті двигуна від перевантаження) і облаштування управління [8.1].

8.3.Кінематичні характеристики привода

Таблиця 8.1 - Визначення силових і кінематичних параметрів приводу

Параметр		Вал	Послідовність з'єднання елементів приводу за кінематичною схемою			
			$\delta в \rightarrow вп \rightarrow зп \rightarrow м \rightarrow рм$		$\delta в \rightarrow м \rightarrow зп \rightarrow вп \rightarrow рм$	
Потужність P , кВт		дв	$P_{\delta в}$			
		Ш	$P_1 = P_{\delta в} \eta_{вп} \eta_{пк}$		$P_1 = P_{\delta в} \eta_м \eta_{пк}$	
		Т	$P_2 = P_1 \eta_{зп} \eta_{пк}$			
		рм	$P_{рм} = P_2 \eta_м \eta_{пс}$		$P_{рм} = P_2 \eta_{вп} \eta_{пс}$	
Частота обертання n , об/хв	Кутова швидкість ω , 1/с	дв	$n_{ном}$	$\omega_{ном} = \frac{\pi n_{ном}}{30}$		$\omega_{ном} = \frac{\pi n_{ном}}{30}$
		Ш	$n_1 = \frac{n_{ном}}{u_{вп}}$	$\omega_1 = \frac{\omega_{ном}}{u_{вп}}$	$n_1 = n_{ном}$	$\omega_1 = \omega_{ном}$
		Т	$n_2 = \frac{n_1}{u_{зп}}$	$\omega_2 = \frac{\omega_1}{u_{зп}}$	$n_2 = \frac{n_1}{u_{зп}}$	
		рм	$n_{рм} = n_2$	$\omega_{рм} = \omega_2$	$\omega_{рм} = \frac{\omega_2}{u_{вп}}$	$\omega_{рм} = \frac{\omega_2}{u_{вп}}$
Обертаючий момент T , Н·м		дв	$T_{\delta в} = \frac{P_{\delta в}}{\omega_{ном}}$			
		Ш	$T_1 = T_{\delta в} u_{вп} \eta_{вп} \eta_{пк}$		$T_1 = T_{\delta в} \eta_м \eta_{пк}$	
		Т	$T_2 = T_1 u_{зп} \eta_{зп} \eta_{пк}$			
		рм	$T_{рм} = T_2 \eta_м \eta_{пс}$		$T_{рм} = T_2 u_{вп} \eta_{вп} \eta_{пс}$	

8.4. Вибір електродвигуна привода

Електродвигун – механізм, що перетворює енергію електричного струму на кінетичну енергію. Сучасне виробництво та побут складно уявити без машин із електроприводом. Вони використовуються в насосному устаткуванні, системах вентиляції та кондиціонування, електротранспорті, промислових верстатах різних типів і т.д.

При виборі електродвигуна необхідно керуватися кількома основними критеріями:

- вид електричного струму, що живить обладнання;
- потужність електродвигуна;
- режим роботи;
- кліматичні умови та інші зовнішні чинники.


Давайте тепер розглянемо три типи електродвигунів, які найчастіше використовуються в роботизованій руці: двигуни постійного струму, степери та сервомотори.

Двигуни постійного струму бувають щітковими та безщітковими. Вважають, що безщіткові мотори постійного струму витіснили щіткові, але останні все ще досить популярні для певних роботизованих рішень. Щітковий двигун постійного струму має ККД близько 75-80%, забезпечує високий крутний момент на низьких швидкостях і простий в управлінні, але створює багато шуму через щітки, що використовуються для обертання механізму. Безщітковий двигун постійного струму, навпаки, тихіше, ще ефективніше і може підтримувати постійний максимальний крутний момент, але його важче контролювати аж до того, що іноді для управління може знадобитися спеціальний регулятор.

Хоча двигуни постійного струму зазвичай забезпечують низький крутний момент, вони можуть досягати високих швидкостей і підходять для пральних машин, вентиляторів, дрелів та інших машин, що вимагають постійного кругового руху.

Щоб збільшити крутний момент для робота-маніпулятора, завжди можна оснастити систему коробкою передач. Майте на увазі, що двигун і коробка передач повинні підходити один одному, так що покупка двигуна з вбудованим редуктором буде чудовою ідеєю.

Степери забезпечують точність руху, створюють максимальний крутний момент на низьких швидкостях і прості в управлінні, що робить їх популярним вибором у сферах автоматизації та робототехніки. Але й у них є недоліки: вони шумні та не надто ефективні. Також вони часто нагріваються через те, що постійно споживають максимальний струм. Крім того, при високих навантаженнях вони можуть пропускати кроки через низькі максимальні швидкості. Для роботизованої руки це може бути серйозною проблемою. Незважаючи на зазначені вади, степери дуже ефективні в медичних пристроях для обробки зображень, 3D-принтерах та камерах відеоспостереження.



Сервомотори гарантують надзвичайну точність руху завдяки зворотному зв'язку, який засікає та коригує розбіжності між дійсною та бажаною швидкістю. Вони здатні створювати високий момент, що крутить, на високих швидкостях і можуть справлятися з динамічними змінами навантаження. Крім цього, сервомотори відрізняються легкістю та продуктивністю. До недоліків сервомоторів відносяться можливі посмикування через реакцію зворотний зв'язок і потреби в складній системі управління. Незважаючи на дані вади, точність сервомоторів робить їх чудовим варіантом для роботизованої руки, рухи якої мають повторювати рухи руки людини.

Робот-маніпулятор виконує складні та відповідальні завдання, тому необхідно підібрати двигун, який не тільки забезпечуватиме функціонування системи, але й зробить вашого робота максимально відповідним для середовища, в якому він працює. При виборі двигуна переконайтеся, що ви точно знаєте, чого намагаєтеся досягти, і розставте пріоритети, щоб знайти розумний компроміс між функціональністю, оптимальною продуктивністю та сферою застосування.

8.5.Розміщення приводів на виконавчому устаткуванні. Розробка приводних модулів

Аналіз компоновок ПР дозволяє виділити основні елементи (модулі) [8.2-8.4] узагальненої структури маніпуляційної системи робота: основа; колона; рука; кисть; технологічні механізми (модулі), що кріпляться до кисті, робочий орган захватного пристрою. Для рухомих ПР додають напрямні та візки. За допомогою цих модулів можна створювати агрегатні конструкції ПР, що значно скорочує термін проектування. Крім того, використання уніфікованих модулів скорочує термін переходу на випуск нової продукції тому, що замість встановлення нового ПР можна досить обмежитись перекомпоновкою того, що є в наявності. Кожний модуль (*modulus*) – це конструктивно і функціонально незалежна одиниця, що містить як звичайні приводні пристрої та механізми, так і енергетичні та інформаційні комунікації. Модуль може забезпечувати одну чи декілька ступенів рухомості ПР, які будуть визначатися відповідним видом кінематичної пари, що з'єднує окремі ланки (рис. 8.1).

До кожного конструктивного модуля ПР висуваються такі основні вимоги:

- забезпечення конструктивної та функціональної незалежності;
- забезпечення проектних статичних і динамічних характеристик;
- можливість компоновки в різних положеннях і сполученнях з іншими модулями;

- уніфікація стикових елементів, комунікації та комплектуючих деталей;
- можливість уніфікації складальних одиниць як в межах окремих, так і суміжних типорозмірах, а також між різнотипними блоками чи вузлами.

Використання поступальних та ротаційних кінематичних пар V класу дає можливість створити ПР з необхідною зоною обслуговування, що працюють в заданій системі координат.

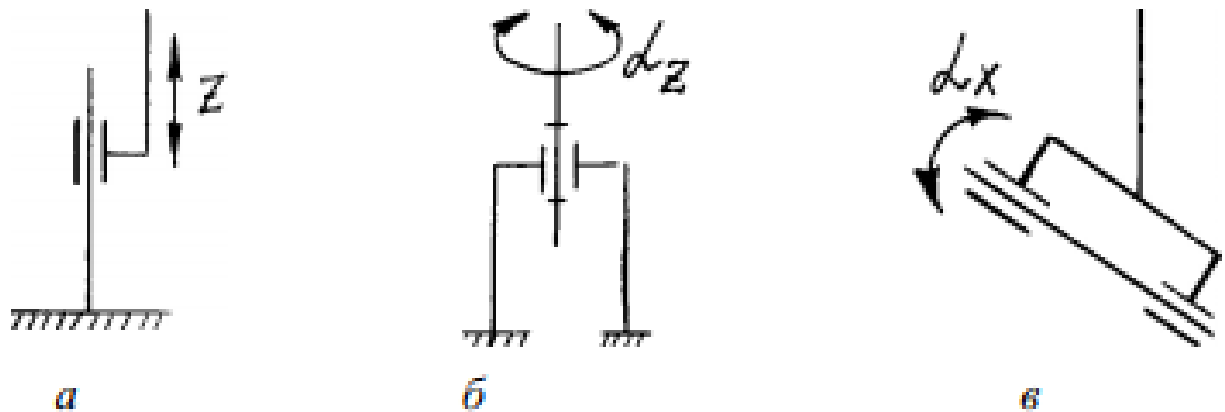


Рисунок 8.1 - Схеми основних модулів ПР: а – прямолінійного переміщення; б – обертання; в – гойдання

Незважаючи на очевидні переваги агрегатно-модульного принципу проектування ПР, у нього є і низка недоліків. Роз'єми модулів виконуються через ланки кінематичного ланцюга, що призводить до зменшення жорсткості чи збільшення маси та габаритних розмірів конструкції. До того ж стиковальні поверхні мають бути уніфіковані, а з'єднання комунікацій – швидкокороз'ємними, що створює додаткові технологічні ускладнення.

Контрольні питання

1. Назвіть основні переваги та недоліки електричного, пневматичного та гідравлічного 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 гідравлічного приводу ПР.
5. Вимоги до конструктивних модулів.



Література

8.1. Поліщук Л. К. Верстатні комплекси. Проектування роботів та маніпуляторів. Частина 1 : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2018. 132 с.

8.2. Агрегатно-модульне технологічне обладнання : в 3-х ч. / В. А. Крижанівський та ін. ; за ред. Ю. М. Кузнецова. Кіровоград, 2003. Ч.1 : Принципи побудови агрегатно-модульного технологічного обладнання. 422 с. Ч. 2 : Проектування та дослідження вузлів агрегатно-модульного технологічного обладнання. 286 с. Ч. 3 : Агрегатно-модульне технологічне обладнання нового покоління, його оснащення та інструментальне забезпечення. 507 с.

8.3. Prospects for the development of process equipment in aggregate-modular design for sustainable mechanical engineering / Yakovenko I. et al. *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*. 2023. Issue 13. P. 145–156.

8.4. Lifecycle management of modular machine tools / Yakovenko I. et al. *Advanced Manufacturing Processes III. InterPartner 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer Cham, 2021. P. 127–137. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-91327-4_13.

ТЕМА 9. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОСНАЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

Мета вивчення теми: ознайомитись із конструкціями захватних пристроїв роботів та методикою їхнього розрахунку.

Питання до розгляду

- 9.1. Проектування механічних захватних пристроїв.
- 9.2. Проектування вакуумних захватів.
- 9.3. Електромагнітні захвати.

9.1. Проектування механічних захватних пристроїв

Захватні пристрої промислових роботів є найбільш відповідальними робочими органами, які призначені для захоплення та утримання деталей при виконанні роботом необхідних рухів. Від обґрунтованості їх розрахунків залежать надійність утримання деталей, швидкість та точність рухів, можливість їх використання для різноманітних видів та типорозмірів деталей і т. ін.[9.1, 9.4]

Перший етап у розрахунку затискних пристроїв – це визначення сил затиску утримуваних деталей. Однією з особливостей виконання цих розрахунків є те, що в рівняннях рівноваги деталей, кількість невідомих сил затиску більша від кількості рівнянь. Тому для розв'язання вказаних рівнянь необхідно приймати умови: [9.2 -9.3]

1. Рівняння рівноваги складаються за умови визначення мінімальних сил затиску деталі.

2. При розрахунках необхідно реально оцінювати фізичні процеси утримування деталі, що особливо відноситься до урахування в рівняннях рівноваги сил тертя.

За вказаних умов розглянемо особливості визначення сил затиску циліндричних деталей захватним пристроєм з призматичними затискними елементами. Для даної конструкції захвату складемо розрахункову схему (рис.9.1), відповідно до якої запишемо рівняння рівноваги деталі:

$$\begin{aligned}\sum P_x &= -P_i \sin \alpha + P_1' \cos \left(90 - \frac{\beta}{2} - \varphi\right) + P_2' \cos \left(90 - \frac{\beta}{2} - \varphi\right) = 0; \\ \sum P_y &= -G - P_i \sin \alpha + P_1'' \cos \left(90 - \frac{\beta}{2} - \varphi\right) + P_2'' \cos \left(90 - \frac{\beta}{2} - \varphi\right) + \\ &F_1 \cos \left(90 - \frac{\beta}{2} - \varphi\right) + F_1 + F_3 \cos \left(90 - \frac{\beta}{2} - \varphi\right) + F_1 = 0;\end{aligned}$$

де G , P_i – відповідно, сила ваги деталі та сила інерції; F_1 , F_3 – сили тертя в точках затиску; α – кут дії сили інерції; β – кут призми затискного важеля; φ – кут розміщення вершини призми.

Вирішуючи ці рівняння, визначаємо сили затиску.

Аналізуючи ці та інші залежності, можна вибрати раціональні параметри захватів роботів з урахуванням особливостей їх цільового призначення, будови, умов функціонування. Для виконання подальших розрахунків визначені сили затиску збільшуємо на коефіцієнт запасу ($K=1,2\dots 1,5$) [9.1].

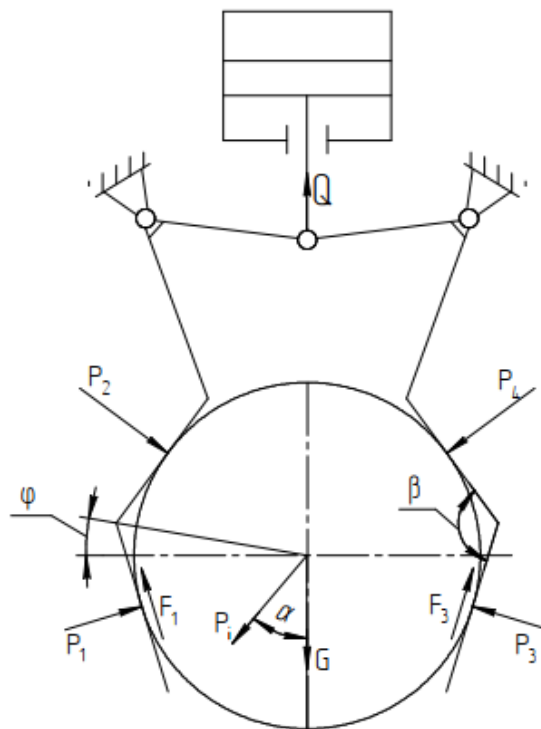


Рисунок 9.1 - Розрахункова схема захвату

9.2. Проектування вакуумних захватів

Вакуумні захвати (рис. 9.2, а) використовуються для роботи зі скляними і крихкими деталями з гладкими поверхнями.

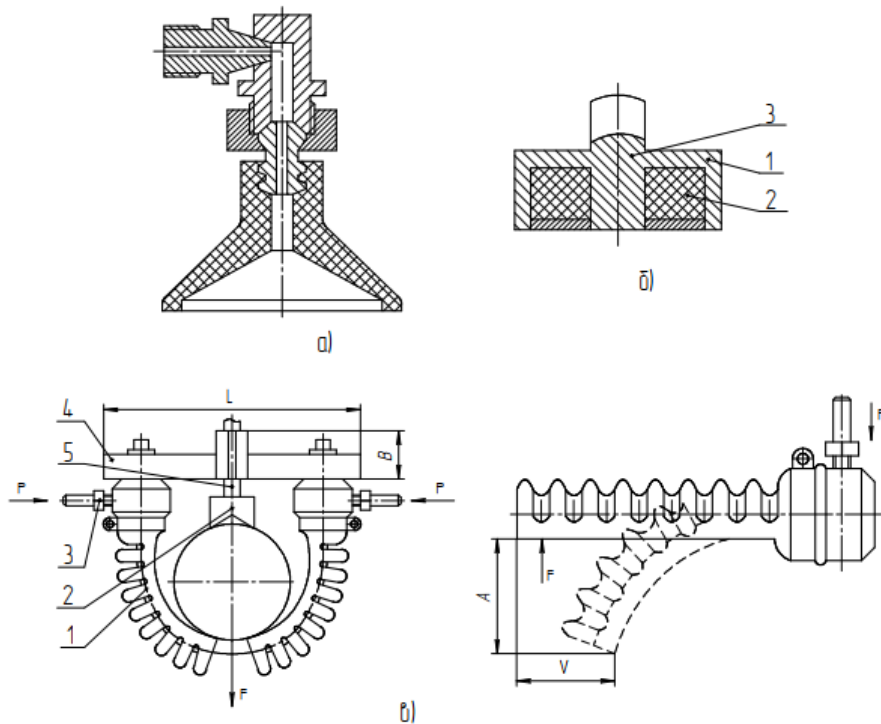


Рисунок 9.2- Вакуумні, магнітні та еластичні захватні пристрої

Утримання великих за розмірами чи вагою деталей досягається за рахунок одночасного накладання на них кількох присосок, які об'єднуються в єдину конструкцію. Сила притягування деталі присоскою визначається за формулою:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} (P_a - P_b) K$$

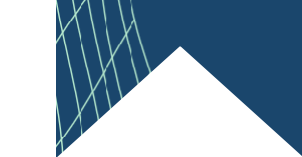
де D – діаметр присоски; P_a , P_b – відповідно, атмосферний тиск і тиск розрідження (вакуумний тиск) у середині присоски; K – коефіцієнт герметичності вакуумної системи та зміни площі присоски у зв'язку з її деформацією ($K = 0.8 - 0.85$).

9.3. Електромагнітні захвати

Електромагнітні притягальні захвати використовуються для утримання деталей з магнітопровідних матеріалів.

Переваги цих захватів:

- простота конструкцій;
- зручність в експлуатації;
- відсутність складного приводу;
- простота захоплення листових матеріалів.



Зазначені захватні пристрої (рис. 9.2, б) складаються з корпусу, в якому розміщена електромагнітна котушка. Внаслідок проходження струму по котушці виникають електромагнітні сили, які притягують деталь. Сила притягування F (кгс) залежить від площі контакту S (см²) деталі з магнітом і величини магнітної індукції B (Вб/м²):

$$F = 4.06 \times B \times S .$$

Еластичні захвати використовуються для роботи з деталями, де не допускається прикладання значних зосереджених сил, які можуть спричинити поломку деталі або пошкодження її поверхонь. Найбільше поширення отримали такі захвати у вигляді еластичних пальців, або камер. Так, захват, що наведений на рис. 9.2, в складається з корпусу 4, на якому закріплена центруюча призма 2, та двох еластичних пальців 1. Останні з'єднані з пневмоприводом патрубками 3. Профіль пальців має змінну жорсткість, а тому при подачі стиснутого повітря пальці згинаються і притискають захоплену деталь до призми.

При встановленні в захваті трьох і більше еластичних пальців можна забезпечити базоване утримування об'єктів довільної форми: електролампи, тонкостінні деталі тощо.

Контрольні питання

1. Для захоплення яких деталей використовують механічні захоплюючі пристрої?
2. Для захоплення яких деталей використовують вакуумні захоплюючі пристрої?
3. Для захоплення яких деталей використовують магнітні захоплюючі пристрої?
4. Від яких параметрів залежить сила притягування електромагнітних притягальних захватів?
5. Переваги електромагнітних притягальних захватів.
6. Переваги механічних захватів.
7. Від яких параметрів залежить сила притягування деталі присоскою?
8. Які залежності покладено в основу вибору раціональних параметрів захватів роботів?
9. З яких частин у загальному випадку складаються захвати?
10. Як класифікують захоплюючі пристрої за кількістю захватів?



Література

- 9.1. Павленко І. І., Мажара В. А. Роботизовані технологічні комплекси : навчальний посібник. Кіровоград : КНТУ, 2010. 392 с.
- 9.2. Павленко І. І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування. Кіровоград : КНТУ, 2007. 420 с.
- 9.3. Павленко І. І. Рухові характеристики промислових роботів. Кіровоград : КДТУ, 2000. 124 с.
- 9.4. Павленко І. І. Структура промислових роботів. Кіровоград : КІСМ, 1998. 100 с.



Навчально-методичне видання

Олена Олександрівна Налобіна
Микола Віталійович Голотюк
Олег Зіновійович Бундза

**Проектування робототехнічних
систем спеціального призначення:
конспект лекцій**

Самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції