

Донбаська державна машинобудівна академія

Кафедра Підйомно-транспортних машин

Розглянуто і схвалено  
на засіданні кафедри підйомно-  
транспортних машин  
Протокол № 8 від 18 квітня 2019 р.

## **КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

з дисципліни  
«Робототехнічні комплекси»

галузь знань 13 – «Механічна інженерія»

спеціальність 133 – «Галузеве машинобудування»

ОПП «Галузеве машинобудування»

Професійне спрямування Підйомно-транспортні машини

Факультет Машинобудування

Розробник: Дорохов М.Ю., зав. кафедри ПТМ, к.т.н., доцент

Краматорськ – 2019 р.

## Лекція 1 Основні відомості про роботи та маніпулятори

**Робот (Р)** - автоматична машина, що включає перепрограмувальний пристрій керування й інші технічні засоби, що забезпечують виконання тих або інших дій (залежно від призначення Р), властивих людині в процесі його трудової діяльності. Сучасний Р являє собою машину, здатну самостійно й у комплексі вирішувати завдання самовдосконалення, адаптації з навколишнім середовищем і виконання технологічних задач. Різняться технічним рівнем і показниками систем управління, інформаційного забезпечення й виконавчих органів, роботи утворюють великий клас машин, призначених для виконання найрізноманітніших операцій. Загальною ознакою роботів є можливість швидкого перенастроювання для автоматичного виконання різних дій, передбачених програмою.

Робототехніка (від робот і техніка; англ. robotics) (англ. robotics, нім. Robotertechnik) - прикладна наука, що опікується проектуванням, розробкою, будівництвом, експлуатацією та використанням роботів, а також комп'ютерних систем для їх контролю, сенсорного (на основі вихідних сигналів датчиків) зворотного зв'язку і обробки інформації автоматизованих технічних систем (роботів).

Мета робототехніки - виробляти програмування задля контрольованої співпраці електроніки і механіки роботів.

Термін «робототехніка» запровадив письменник-фантаст Айзек Азімов 1942 році. Слово «робототехніка» походить від слова робот, яке було представлено публіці чеським письменником Карелом Чапеком в 1920 році.

За даними Національної асоціації учасників ринку робототехніки, у світі на 10 тисяч працівників, 2015 року доводилося у середньому 69 промислових роботів.

По закінченню Другої світової війни, в галузі робототехніки спостерігався швидкий поступ. 1942 року Айзек Азімов створив три закони робототехніки.

1948 року Норберт Вінер сформулював принципи кібернетики, які лягли в основу практичної робототехніки.

В 1973 році українською під керівництвом Віктора Глушкова, у Києві було видано першу у світі «Енциклопедію кібернетики» у 2-х томах.

Повністю автономна роботизована система, з'явилася у другій половині ХХ-го століття. Перший програмований робот з управлінням Unimate було встановлено 1961 році для підняття гарячих злитків металу з машини для лиття під тиском.

**Маніпулятор (М)** – пристрій для виконання рухових функцій, аналогічних функціям руки людину при переміщенні об'єктів у просторі, оснащене робочим органом.

**Об'єктом маніпулювання** називають тіло, переміщуване в просторі маніпулятором. До об'єктів маніпулювання відносять заготовки, деталі, загарбні пристрої, допоміжний, міряльний або обробний інструмент, технологічне оснащення й т.п.

**Промисловий робот (ПР)** - стаціонарна або пересувна автоматична машина, яка складається з виконавчого органу у вигляді маніпулятора і має кілька ступенів рухомості, і пристрою програмного управління для виконання у виробничому процесі рухових функцій. У технічній літературі часто зустрічаються й більш коротке визначення: ПР - програмований автоматичний М промислового застосування. Характерними ознаками ПР є автоматичне управління; здатність до швидкої заміни керуючої програми; здатність до виконання технічних операцій.

**Механічна система (МС)** - забезпечує виконання рухових функцій і реалізацію технологічного призначення ПР. Її часто називають властиво маніпулятором. МС являє собою просторовий механізм із розімкнутим кінематичним ланцюгом. Конструктивно складається з наступних вузлів: несучих конструкцій, приводів, передавальних механізмів, виконавчих механізмів і загарбних пристроїв.

Виконавчий механізм ПР (або М) - сукупність рухливо з'єднаних ланок МС, призначених для впливу на об'єкт маніпулювання або оброблюване середовище. Виконавчий механізм, що здійснює транспортуючі рухи, що й орієнтують, називають рукою ПР. Якщо

ланки виконавчого механізму ПР з'єднані між собою тільки обертальними кінематичними парами, то в сукупності вони утворюють руку шарнірного типу (шарнірну руку).

### Устрій маніпулятора

Маніпулятор промислового робота по своєму функціональному призначенню повинен забезпечувати рух вихідної ланки й, закріпленого в ньому, об'єкта маніпулювання в просторі по заданій траєкторії й із заданою орієнтацією. Для повного виконання цієї вимоги основний важільний механізм маніпулятора повинен мати не менш шести рухомостей, причому рух по кожній з них повинне бути керованим. Промисловий робот із шістьма рухомостями є складною автоматичною системою. Ця система складна як у виготовленні, так і в експлуатації. Тому в реальних конструкціях промислових роботів часто використовуються механізми із числом рухомостей менш шести. Найбільш прості маніпулятори мають три, рідше дві, рухомості. Такі маніпулятори значно дешевше у виготовленні й експлуатації, але висувають специфічні вимоги до організації робочого середовища. Ці вимоги пов'язані із заданою орієнтацією об'єктів маніпулювання щодо механізму робота. Тому встаткування повинне розташовуватися щодо такого робота з необхідною орієнтацією.

Розглянемо для прикладу структурну й функціональну схеми промислового маніпулятора. Основний механізм руки маніпулятора складається з нерухливої ланки 0 і трьох рухливих ланок 1, 2 і 3 (рис. 1).

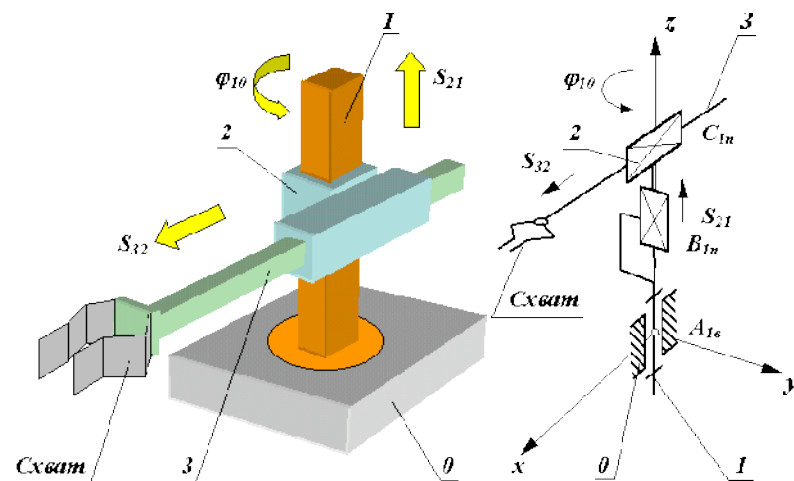


Рис. 1

Механізм цього маніпулятора відповідає циліндричній системі координат. У цій системі ланка 1 може обертатися щодо ланки 0 (відносно кутового переміщення  $j_{10}$ ), ланка 2 переміщається по вертикалі щодо ланки 1 (відносно лінійне переміщення  $S_{21}$ ) і ланка 3 переміщається в горизонтальній площині щодо ланки 2 (відносно лінійне переміщення  $S_{32}$ ). На кінці ланки 3 укріплений загарбний пристрій або схват, призначений для захвату й утримання об'єкта маніпулювання при роботі маніпулятора. Ланки основного важільного механізму маніпулятора утворюють між собою три однорухливі кінематичні пари (одну обертальну А і дві поступальні В і С) і можуть забезпечити переміщення об'єкта в просторі без керування його орієнтацією. Для виконання кожного із трьох відносних рухів маніпулятор повинен бути оснащений приводами, які полягають двигунів з редуктором і системи датчиків зворотної зв'язку. Функціональна схема промислового робота наведена на рис. 2.

**Формула будови** - математичний запис структурної схеми маніпулятора, що містить інформацію про число його рухомостей, виді кінематичних пар і їх орієнтації щодо осей базової системи координат (системи, пов'язаної з нерухливою ланкою).

Рухи, які забезпечуються маніпулятором діляться на:

- глобальні (для маніпуляторів з рухливою підставою) - рухи стійки маніпулятора, які суттєво перевищують розміри механізму;

- регіональні (транспортні) - рухи, що забезпечуються першими трьома ланками маніпулятора або його рукою, величина яких порівнянна з розмірами механізму;
- локальні (орієнтуючі) - рухи, забезпечувані ланками маніпулятора, які утворюють його кисть, величина яких значно менше розмірів механізму.

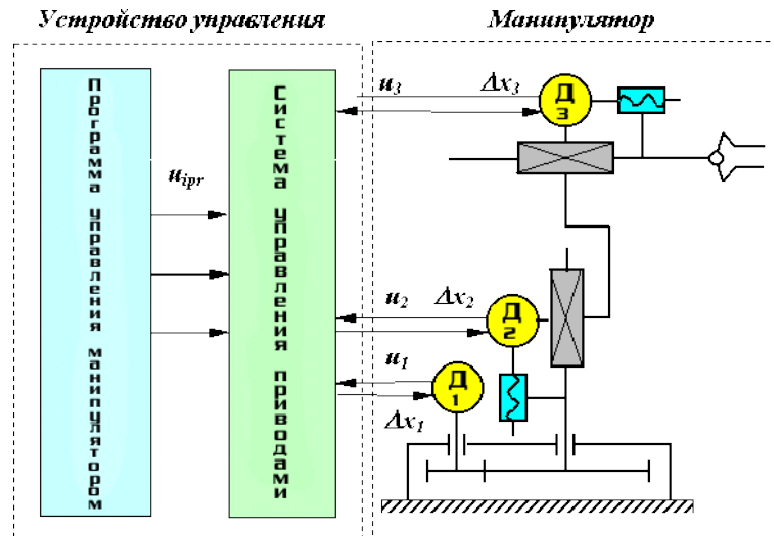


Рис. 2

Відповідно до цієї класифікації рухів, у маніпуляторі можна виділити дві ділянки кінематичного ланцюга з різними функціями: механізм руки й механізм кисті. Під рукою розуміють ту частину маніпулятора, яка забезпечує переміщення центру схвата - крапки М (регіональні рухи схвата); під кистю - ті ланки й пари, які забезпечують орієнтацію схвата (локальні рухи схвата).

Розглянемо структурну схему антропоморфного маніпулятора, тобто схему яка в першому наближенні відповідає механізму руки людини (рис. 3).

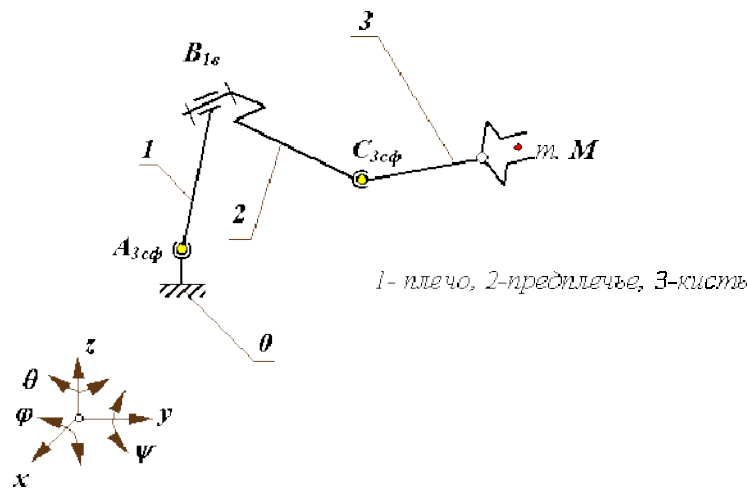


Рис. 3

Цей механізм складається із трьох рухливих ланок і трьох кінематичних пар: двох сферичних  $A_{3сф}$  і  $C_{3сф}$  і однієї обертальної  $B_{1с}$ .

Кінематичні пари маніпулятора характеризуються: іменем або позначенням - заголовна буква латинського алфавіту (А, В, С і т.д.); ланками, які утворюють пари (0/1,1/2 і т.п.); відносним рухом ланок у парі (для однорухливих пар - обертальне, поступальне й гвинтове); рухливістю кінематичної пари ( для нижчих пар від 1 до 3, для вищих пар від 4 до 5); віссю орієнтації осі кінематичної пари щодо осей базової або локальної системи координат.

**Робочий простір маніпулятора** - частина простору, що обмежена поверхнями, які описуються можливим положенням його ланок.

**Зона обслуговування маніпулятора** - частина простору відповідна можливих положень центру схвата маніпулятора. Зона обслуговування є важливою характеристикою маніпулятора. Вона визначається структурою й системою координат руки маніпулятора, а також конструктивними обмеженнями накладеними відносно переміщення ланок у кінематичній парі.

**Рухливість маніпулятора  $W$**  - число незалежних узагальнених координат, які визначають положення схвата в просторі.

$$W = 6n - \sum_{i=1}^5 (6-i) \cdot p_i,$$

або для незамкнених кінематичних ланцюгів:

$$W = \sum_{i=1}^5 i \cdot p_i.$$

**Маневреність маніпулятора  $M$**  - рухливість маніпулятора при нерухливому схвату.

$$M = W - 6.$$

Можливість зміни орієнтації схвата при розміщенні його центру в заданій точці зони обслуговування характеризується кутом сервісу - тілесним кутом  $\psi$ , який може описати остання ланка маніпулятора (ланка, на якій закріплений схват) при фіксації центру схвата в заданій крапці зони обслуговування.

$$\psi = \frac{f_c}{l_{CM^3}}$$

де  $f_c$  - площа сферичної поверхні, описувана точкою 3 ланки 3,

$l_{CM^3}$  - довжина ланки 3.

Відносна величина  $k_y = \psi / (4\pi)$  називається коефіцієнтом сервісу. Для маніпулятора, зображеного на рис. 4:

- рухливість маніпулятора:

$$W = 6 \cdot 3 - (3 \cdot 2 - 5 \cdot 1) = 7;$$

- маневреність:

$$M = 7 - 6 = 1;$$

- формула будови:

$$W = [q_{10} + j_{10} + y_{10}] + j_{21} + [q_{32} + j_{32} + y_{32}].$$

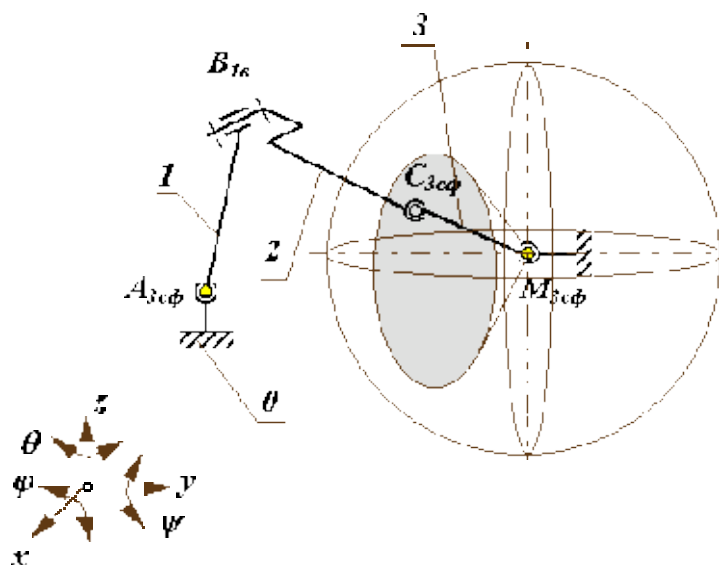


Рис. 4

## Кінематичні пари

Структура кінематичного ланцюга маніпулятора повинна забезпечувати необхідне переміщення об'єкта в просторі із заданою орієнтацією. Для цього необхідно, щоб схват маніпулятора мав можливість виконувати рух мінімум по шести координатах: трьом лінійним і трьом кутовим. Розглянемо на об'єкті маніпулювання крапку М, яка збігається із центром схвата. Положення об'єкта в нерухливій (базовій) системі координат  $0x_0y_0z_0$  визначається радіусом-вектором крапки М і орієнтацією одиничного вектора початком у цій крапці. У математику положення крапки в просторі задається в одній із трьох систем координат:

- прямокутної декартової з координатами  $x_M y_M z_M$  ;
- циліндричної з координатами  $r_M j_M z_M$  ;
- сферичної з координатами  $r_M j_M q_M$  .

Орієнтація об'єкта в просторі задається кутами  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , які вектор орієнтації  $\bar{A}$  утворює з осями базової системи координат. На рис. 5 дана схема шести рухливого маніпулятора з обертальними кінематичними парами з координатами об'єкта маніпулювання.

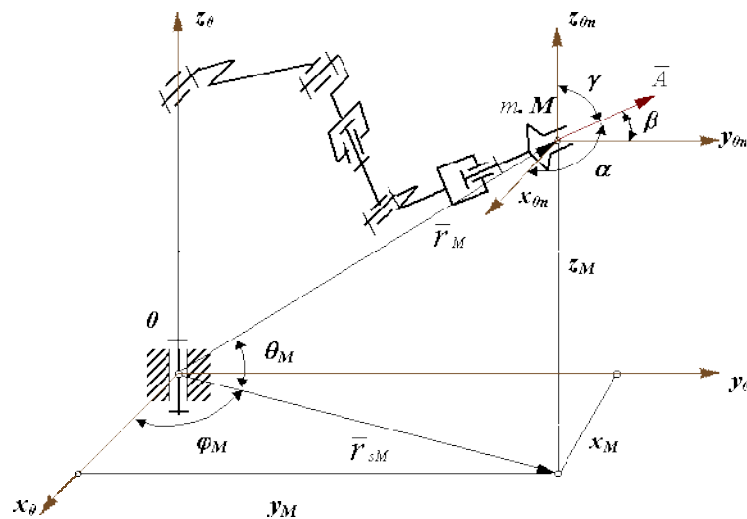


Рис. 5

При структурному синтезі механізму маніпулятора необхідно враховувати наступне:

- кінематичні пари маніпуляторів забезпечуються приводами, що включають двигуни й гальмові пристрої, тому в схемах маніпуляторів звичайно використовуються однорушнівкі кінематичні пари: обертальні або поступальні;

- необхідно забезпечити не тільки задану рухливість свата маніпулятора, але й таку орієнтацію осей кінематичних пар, яка забезпечувала необхідну форму зони обслуговування, а також простоту й зручність програмування його рухів;

- при виборі орієнтації кінематичних пар необхідно враховувати розташування приводів ( на підставі або на рухливих ланках), а також спосіб зрівноважування сил ваги ланок.

При виконанні першої умови кінематичні пари з декількома рухомостями заміняють еквівалентними кінематичними з'єднаннями. Приклад такого з'єднання для сферичної пари даний на мал. 6.

Переміщення схвата в просторі можна забезпечити, якщо орієнтувати осі перших трьох кінематичних пар по осях однієї з осей координат. При цьому вибір системи координат визначає тип руки маніпулятора й вид його зони обслуговування. За ГОСТ 25685-83 певні види систем координат для руки маніпулятора, які наведені на рис. 7. Структурні схеми механізмів кисті, застосовувані в маніпуляторах, показані на рис. 8. Приєднуючи до вихідної

ланки руки той або інший механізм кисті, можна одержати більшість відомих структурних схем маніпуляторів, які застосовуються в реальних маніпуляторах.

Структура маніпулятора визначається й місцем розміщення приводів. Якщо приводи розміщуються безпосередньо в кінематичних парах, то до мас рухливих ланок маніпулятора додаються маси приводів. Сумарне навантаження на приводи і їх потужність збільшуються, а відношення маси маніпулятора до корисного навантаження (максимальній масі об'єкта маніпулювання) зменшується. Тому при проектуванні роботів приводи ланок руки, як найбільш потужні, що й володіють більшою масою, прагнуть розмістити ближче до підстави робота. Для передачі руху від привода до ланки використовуються додаткові кінематичні ланцюги. Розглянемо схему руки маніпулятора мал. 9. До тризв'язного механізму з ангулярною системою координат додані для привода ланки 2 - найпростіший кулісний механізм, утворений ланками 4, 5 і 2; для привода ланки 3 - ланцюг, що полягає з кулісного механізму - ланки 6, 7 і 8, і шарнірного чотиризв'язника - ланки 8, 9, 2).

Таким чином, у важільному механізмі можна виділити кінематичний ланцюг руки (ланки 1, 2 і 3) і кінематичні ланцюги приводів. Маніпулятори, що використовують принцип розміщення приводів на підставі мають більш складні механізми. Однак збільшення числа ланок і кінематичних пар компенсується зменшенням мас і моментів інерції, рухливих ланок маніпулятора. Крім того, замкнені кінематичні ланцюги підвищують точність і жорсткість механізму. У цілому маніпулятори, що використовують принципи комбінованого розміщення приводів (частина приводів на підставі, частина на рухливих ланках), мають кращі енергетичні й динамічні характеристики, а також більш високою точністю.

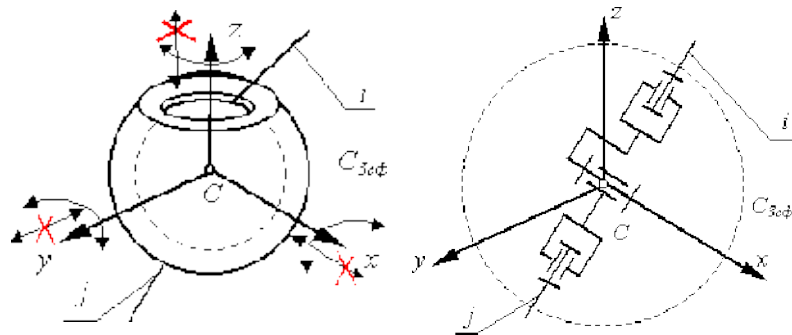
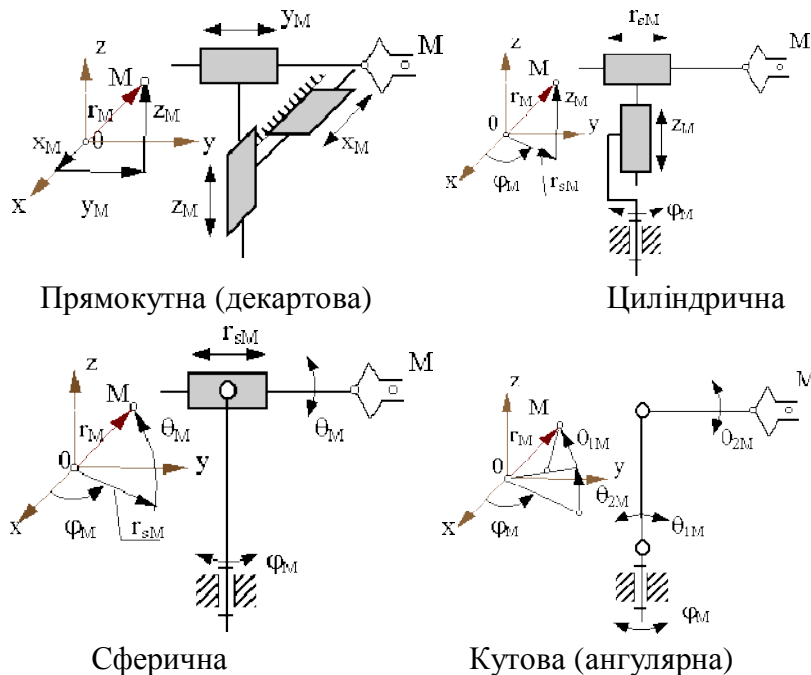


Рис. 6 - Сферична кінематична пара

Еквівалентне кінематичне з'єднання



Прямокутна (декартова)

Циліндрична

Сферична

Кутова (ангулярна)

Рис. 7

Таблиця 1 – Умовні позначки елементів структурних кінематичних схем

Елемент	Ескіз	Характеристика
Ланка (стрижень)		-
Нерухливе закріплення ланки (стійка)		Рух відсутній
Жорстке з'єднання ланок		
Рухливе з'єднання з переміщенням уздовж прямолінійних напрямних		Возвратно-поступальний рух (поступальна пара класу V)
Гвинтове рухливе з'єднання		Возвратно - поступальний рух і взаємозалежний обертаний рух (поступально - обертальна пара класу V)
Циліндричне з'єднання ланок		Возвратно - поступальний рух і незалежний обертання навколо поздовжньої осі (циліндрична пара класу IV)
Плоске шарнірне з'єднання ланок		Обертання навколо поперечної осі (обертальна пара класу V)
Кульовий шарнір с пальцем		Обертання навколо двох осей (обертальна пара класу IV)
Кульовий шарнір		Обертання навколо трьох осей (обертальна пара класу III)
Захватний пристрій		Затискні елементи рухливі
		Затискні елементи нерухливі

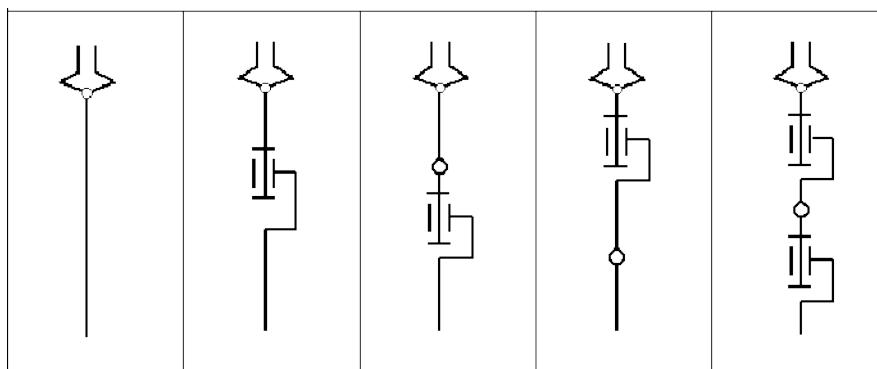
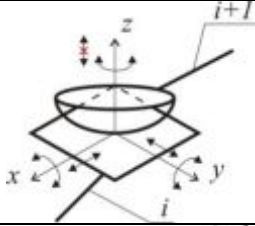

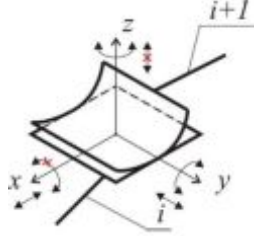

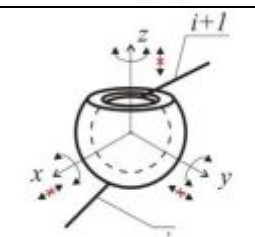



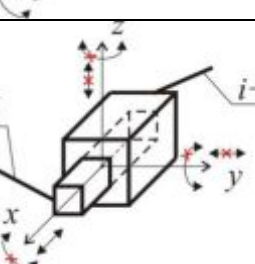
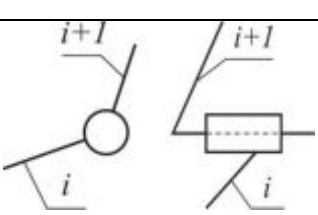


Рис. 8 – Структурні схеми кисті маніпулятора



Табл. 2 – Кінематичні пари

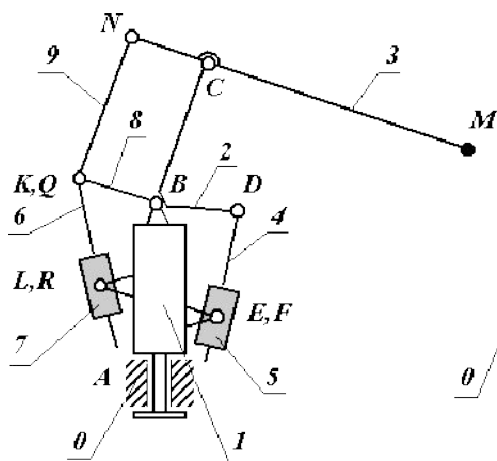
Загальний вигляд пари	Клас пари	Кількість ступенів рухомості	Умовне позначення
	1	5	
	2	4	
	3	5	
	4	2	
	5	1	

У кінематичних схемах маніпуляторів ваги ланок викликають додаткове навантаження на приводи. У маніпулятора по рис. 10 ваги приводів і ланок сприймаються кінематичними парами, а на момент двигунів впливають тільки через сили тертя. Така структурна схема механізму зажадала збільшення розмірів кінематичних пар, однак у цілому був отриманий істотний вигравш по енергетичних і динамічних показниках.

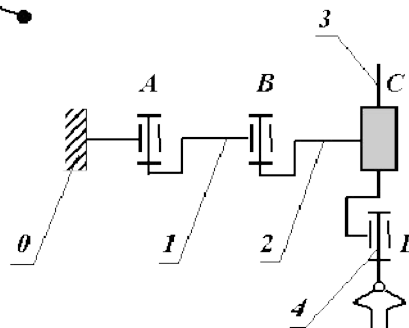
Дані приклади не охоплюють усіх можливих ситуацій раціонального вибору структури маніпуляторів. Вони тільки демонструють найбільш відомі із удалих структурних схем.

Важлива особливість маніпуляторів - зміна структури механізму в процесі роботи, про що говорилося на лекції за структурою механізмів. Відповідно до циклограми або програми роботи робота, у деяких кінематичних парах включаються гальмові пристрої. При цьому дві ланки механізму жорстко з'єднуються з один одним, утворюючи одна ланку. Зі структурної схеми механізму виключається одна кінематична пара й одна ланка, число рухомостей схвата механізму зменшується (звичайно на одиницю). Змінюється структура механізму й у тих випадках, коли в процесі виконання робочих операцій (наприклад, при складанні або зварюванні) схват з об'єктом маніпулювання стикається з навколишніми предметами,

утворюючи з ними кінематичні пари. Кінематичний ланцюг механізму замикається, а число рухомостей зменшується. У цьому випадку в ланцюзі можуть виникати надлишкові зв'язки. Ці структурні особливості маніпуляторів необхідно враховувати при програмуванні роботи промислового робота.



$n=9$   $p_1=12$   $W=3$   
Рис. 9



$n=4$   $p_1=4$   $W=4$   
Рис. 10

Швидкодія маніпулятора визначають максимальною швидкістю лінійних переміщень центру схвата маніпулятора. Розрізняють маніпулятори з малою ( $V_M < 0,5 м/с$ ), середньою ( $0,5 м/с < V_M < 1,0 м/с$ ), і високою ( $V_M > 1,0 м/с$ ) швидкодією. Сучасні маніпулятори мають в основному середню швидкодію й тільки близько 20% - високу.

Точність маніпулятора характеризується абсолютною лінійною погрешністю позиціонування центру схвата. Маніпулятори діляться на групи з малою (1мм), середньою (від 0,1 мм до 1 мм) і високою (менш 0,1 мм) точністю позиціонування.

**Відносні рухи** ланок механічної системи ПР, за допомогою яких реалізується ступені рухливості, розділяють на три групи: що орієнтують (локальні), що транспортують (регіональні) і координатні (глобальні).

**рухами, що орієнтують**, називають переміщення загарбного пристрою (інструмента), порівнянні з його розмірами. Транспортуючі рухи захватного пристрою або інструмента в різні зони робочого простору визначаються розмірами ланок руки й порівнянні з розмірами робочого місця, що обслуговується встаткування).

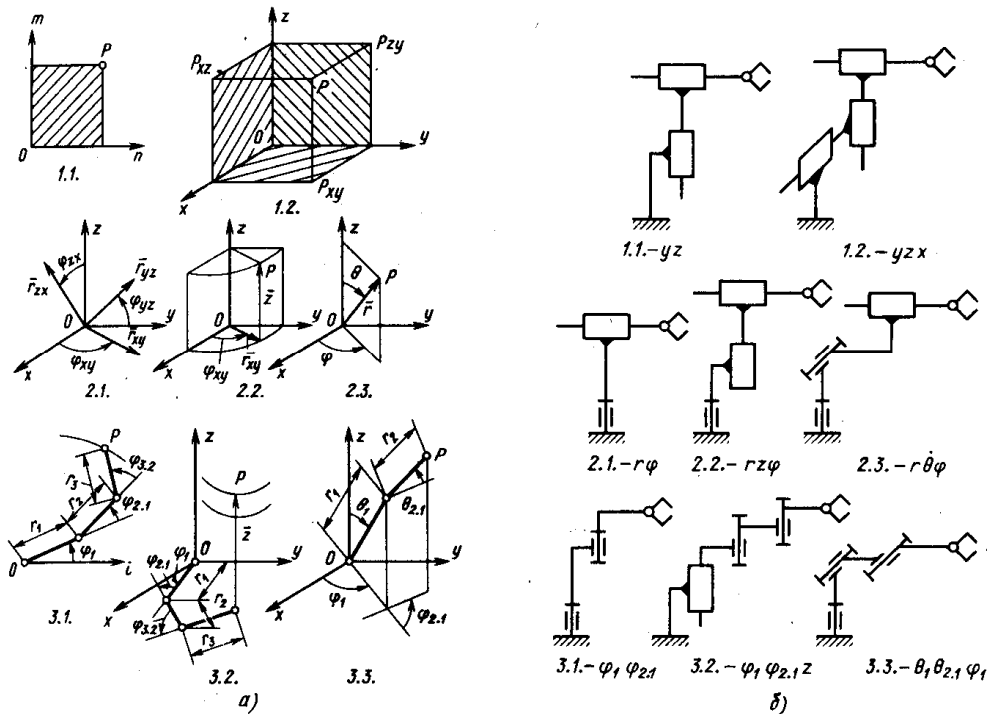
**Координатні рухи** – це переміщення на відстані, що перевищують розміри самого ПР і розміри встаткування, що обслуговується, або робочого місця.

Механічна система маніпулятора може бути розділена на 4 структурних елемента, що відрізняються функціональним призначенням і характером виконуваних рухом: підстава (нерухома основа), яким, зокрема, може бути опорна конструкція або шляхопровід; корпус (стійка); механічна рука; захватний пристрій.

Число ступенів рухливості: основи  $W_0 = 0$ ; корпуса (каретки, стійки)  $W_k \geq 0$  (визначається мобільністю маніпулятора); механічної руки  $W_M \geq 1$  (визначається призначенням маніпулятора); захватного пристрою  $W_s \geq 0$  (залежно від способу втримання об'єкта маніпулювання й конструктивного виконання).

**Маневреність**  $M$  - число ступенів рухливості  $M$  при фіксованому положенні загарбного пристрою; визначає можливість обходу рукою перешкод у робочому обсязі й здатність  $M$  до виконання складних операцій.

**Коефіцієнт сервісу**  $M$  - характеризує можливість підходу захватного пристрою  $M$  до заданої точки з різних напрямків і дає відомості про рухові можливості  $M$ .



1.1-прямокутна система координат; 1.2-прямокутна просторова система координат; 2.1, 2.2, 2.3-полярні системи координат відповідно плоска, циліндрична й сферична; 3.1, 3.2, 3.3-ангулярні системи координат, відповідно плоска, циліндрична й сферична  
 Рис. 11 - Системи основних координатних переміщень ланок механічної системи М и ПР (а) і відповідні їм приклади структурних кінематичних схем (б)

Сукупність можливих положень осі захвата, при яких центр його перебуває в заданій крапці робочого простору, визначає тілесний кут  $\mathcal{Q}$ , названий просторовим кутом обслуговування, або кутом сервісу.

Відношення  $\xi = \frac{\mathcal{Q}}{4\pi}$  називають коефіцієнтом сервісу в даній точці. Він може змінюватися від нуля на границі робочого простору (де вісь захвата може займати тільки одне положення) до одиниці для точок так званої зони 100%-кового, або повного, сервісу (у цих крапках вісь захвата може займати будь-яке просторове положення).

Повним коефіцієнтом сервісу ПР і М прийнято називати середнє значення коефіцієнта сервісу в робочому просторі обсягом V

$$\xi = (1/V) \int_V \xi_i \cdot dV .$$

Коефіцієнт сервісу  $\xi$  дає можливість якісної оцінки кінематичних властивостей ПР у цілому.

Оцінка кінематичних властивостей М коефіцієнтом  $\xi$  дозволяє вибрати раціональний варіант структурної схеми руки. Завдання оптимізації зводиться до вибору для ланок, виду й розташування кінематичних пар, при яких значення  $\xi$  досягає максимуму.

Залежно від конструктивної схеми МС рука ПР і М може перебувати в робочому обсязі, що має ту або іншу форму, а її рухи – здійснюються в різних системах координат.

**Система координатних переміщень** (система координат) ПР визначає кінематику основних рухів і форму робочої зони. До основних рухам відносять усі рухи МС без обліку руху захвата (затискача) деталі додаткових переміщень, що орієнтують рух і, підстави ПР.

**Системи координат** бувають двох видів: прямокутні й криволінійні.

У прямокутній системі координат (плоска й просторова) об'єкт маніпулювання міститься в певну крапку простору Р шляхом прямолінійних переміщень ланок механічної системи ПР по трьом (або двом) взаємно перпендикулярним осям.

У криволінійній системі координат найпоширеніші координати: плоскі полярні (переміщення об'єкта відбувається в одній координатній площині в напрямку радіус – вектора  $r$  і кута  $\varphi$ ); циліндричн, що характеризують переміщенням об'єкта в основній координатній площині в напрямках  $r$  і  $\varphi$ , а також по нормалі до неї  $z$ ; сферичні (полярні), де переміщення об'єкта маніпулювання в просторі здійснюються за рахунок лінійного руху руки ПР на величину  $r$  і її кутових переміщень  $\varphi$  і  $\vartheta$  у дві взаємно перпендикулярні площинах.

Різновидом криволінійної системи є ангулярна (кутова) плоска або просторова (циліндрична й сферична) система координат, характерна для рухів багатоланкових шарнірних рук ПР і М.

В ангулярній плоскій системі координат об'єкт маніпулювання переміщається в координатній площині завдяки відносним поворотам ланок руки, що мають постійну довжину. Ангулярна циліндрична система характеризується додатковим зсувом щодо основної координатної площини в напрямку перпендикулярної до неї координати  $z$ . В ангулярній сферичній системі координат переміщення об'єкта в просторі відбувається тільки за рахунок відносних кутових поворотів ланок руки, при цьому хоча б одна ланка має можливість повороту на кути  $\varphi$  й  $\vartheta$  у дві взаємно перпендикулярних площинах.

### **Класифікація та кінематичні показники роботів та маніпуляторів**

По характеру виконуваних операцій усі ПР підрозділяють на три групи, що мають різні технологічні ознаки.

1 Технологічні (виробничі) роботи (ТПР) виконують основні операції технологічного процесу. Вони безпосередньо беруть участь у технологічному процесі в якості виробляючих або обробних машин, що виконують такі операції, як гнучка, зварювання, фарбування, складання й т.п.

2 Допоміжні (підйомно-транспортні) роботи (ВПР) виконують дії типу взяти-принести-покласти. Їх застосовують при обслуговуванні основного технічного встаткування для автоматизації допоміжних операцій установки - зняття заготовок, деталей, інструмента й оснащення, очищення баз деталей і встаткування, живлення конвеєрів, а також на транспортно- складських і інших операціях.

3 Універсальні роботи (УПР) виконують різнорідні технологічні операції – основні й допоміжні, тобто вони поєднують у собі ознаки перших двох груп. Даний термін характеризує ПР як по характеру виконуваних операцій, так і по ступеню спеціалізації (див. нижче).

По ступеню спеціалізації технологічні або допоміжні ПР підрозділяють на спеціальні, спеціалізовані й багатоцільові. Функціональні можливості спеціального ПР дозволяють йому виконувати певну технологічну операцію або обслуговувати конкретну модель основного технологічного встаткування. Спеціалізовані ПР призначені для виконання технологічних операцій одного виду(зварювання, фарбування, складання, гнучка, штабелювання й т.п.) або (якщо це допоміжні ПР) - для обслуговування широкої номенклатури моделей основного технологічного встаткування, об'єднаних спільністю маніпуляційних дій. Багатоцільові ПР призначені для виконання різних основних (ТПР) або допоміжних (ВПР) операцій, у тому числі й таких, виконання яких здійснюється різнотипними прийманнями.

### **Основні технічні показники промислових роботів**

Основні технічні показники ПР визначаються передбачуваною областю застосування й умовами виробництва, для яких призначає робот.

**Вантажопідйомність** ПР визначається як сумарна вантажопідйомність його рук.

**Вантажопідйомність руки ПР** - найбільша маса об'єктів маніпулювання (включаючи масу загарбного пристрою), які можуть переміщатися рукою при заданих умовах (при максимальній або мінімальній швидкості, при максимальному вильоті руки й т.п.).

При виконанні з декількома руками на ряді із сумарною вантажопідйомністю ПР слід указувати вантажопідйомність однієї руки.

Для деяких типів ПР важливим показником є зусилля (або крутний момент), що розбудовується виконавчим механізмом при заданих умовах. До таких показників можна віднести зусилля затискача (захвата, утримання) об'єкта маніпулювання загарбним пристроєм; робоче зусилля руки ПР уздовж її поздовжньої осі; крутний момент при ротації загарбного пристрою.

**Число ступенів рухливості ПР** - сума можливих координатних рухів об'єктів маніпулювання щодо опорної системи (стійки, підстави) ПР.

**Погрішність позиціонування** - відхилення заданої позиції виконавчого механізму від фактичної при багаторазовому позиціонуванні (повторенні руху). Погрішність позиціонування може оцінюватися в лінійних або кутових одиницях. Стосовно до ПР важливим показником є сумарна погрішність позиціонування всіх виконавчих механізмів, наведена до фактичного положення об'єкта маніпулювання, що відрізняється від заданого по програмі роботи. Такий показник називають погрішністю позиціонування робочого органа ПР. він визначається як величина відхилення робочого органа ПР від заданого керуючою програмою.

**Погрішність відпрацьовування траєкторії** робочого органа ПР - відхилення фактичної траєкторії від заданої по програмі.

**Робочий простір** промислового робота (маніпулятора або автооператора) – простір, у якому може перебувати виконавчий орган (пристрій) ПР, М або А.

**Робоча зона** ПР, М або А – простір, у якому може перебувати робочий орган (наприклад рука) при функціонуванні ПР, М або А.

**Зона обслуговування** ПР, М або А - частина робочої зони, де повністю зберігаються задані (паспортні) значення технічних характеристик ПР, М або А.

При роботі декількох ПР у якості характеристики робототехнічного комплексу приводиться **зона спільного обслуговування** - частина простору, у якому переміщення об'єкта маніпулювання можуть виконуватися декількома ПР.

**Мобільність** ПР визначається його можливістю робити рухи. По мобільності роботи підрозділяють на дві групи: стаціонарні ( транспортуючі рухи, що забезпечують, що орієнтують і) і пересувні (, що забезпечують додатково до названих ще й координатні рухи).

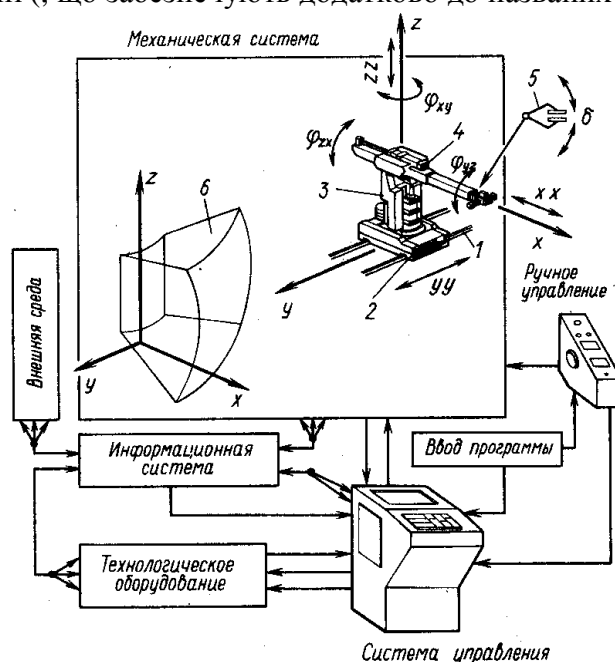


Рис. 12 - Структурна схема ПР

### Конструктивні схеми основних вузлів маніпулятора

Під вузлом розуміють конструктивно закінчену складальну одиницю, що має порівняно вузьке функціональне призначення, наприклад, що забезпечує тільки поступальне або тільки обертальний переносний рух. Вузол може містити в собі, крім несучих і кінематичних елементів, також виконавчу частину силового привода (мотори, пневмо- і гідроциліндри), передавальні механізми й різні додаткові пристрої - упори, амортизатори, датчики зворотного зв'язку й ін. Конструктивно до основних вузлам маніпулятора ставляться:

**робочий орган**, що прикріплюється до руки маніпулятора, що й має - від 0 до 3 ступенів, що орієнтують, рухливості;

**рука**, виконувана у вигляді одного або декількох ланок (багатоланкова рука), у першому випадку, що забезпечує робочому органу переносний прямолінійний рух за рахунок одного ступеня рухливості, у другому - переносне прямо - або криволінійний рух за рахунок двох або більш обертальних ступенів рухливості; при багатоланковій руці може окремо розглядатися кисть маніпулятора, що має від 1 до 3 ступенів, що орієнтують, рухливості;

**каретка**, переміщувана у твердих напрямних, що й забезпечує лінійне (частіше - прямолінійне вертикальне) переносний рух;

**колона**, що забезпечує обертальне щодо своєї поздовжньої осі переносний рух;

**підстава**, що представляє собою опорну конструкцію, на якій монтують усі вищевказані вузли, а крім того, можуть установлюватися елементи силового привода й системи керування. Найчастіше підстава нерухлива, але в окремих випадках йому надають одну - два координатні ступені рухливості.

Сучасна тенденція - створення автономних уніфікованих вузлів, так званих модулів; komponуючи їх, можна утворювати різні необхідні варіанти маніпуляторів. Використання тих або інших вузлів або модулів у конструкції маніпулятора і їх взаємне розташування залежать від призначення й умов роботи, прийнятої базової системи координат, вимог до геометричних і кінематичних параметрів маніпулятора.

Робочий орган промислового робота - це складова частина маніпулятора ПР для безпосереднього виконання технологічних операцій або допоміжних переходів. Робочі органи є важливими елементами ПР, формують їхні технологічні можливості. До робочих органів відносять загартні пристрої й технологічні інструменти.

Залежно від призначення ПР і особливостей технологічного процесу маніпулятори постачають тими або іншими робочими органами.

[1] с. 5...21; [2] с. 8..42.

### Лекція 2-3. Захватні пристрої

**Захватний пристрій** - вузол механічної системи ПР, що забезпечує захоплення й утримання в певному положенні об'єкта маніпулювання. Ці об'єкти можуть мати різні розміри, форму й масу, тому захвати відносять до змінних елементів ПР і М.

Як правило, ПР комплектують набором типових (для даної моделі) хватних пристроїв, які можна міняти залежно від вимог конкретного робочого завдання.

Захватні пристрої ПР (скорочено ЗП) призначені для захоплення об'єктів маніпулювання, надійного їхнього втримання в процесі зміни просторового положення, а також забезпечення їх установки із заданою точністю щодо базових поверхонь.

Конструктивне виконання й принцип дії хватних пристроїв досить різноманітні й обумовлені формою, видом, маркою матеріалу, масою, розмірами й фізичними властивостями переміщуваних об'єктів; незалежно від конкретного виконання до них пред'являють ряд загальних вимог. Вони повинні забезпечувати надійність захоплення й утримання об'єктів, швидкодія, стабільність базування, мати достатню міцність і твердість при мінімальних розмірах і масі, не повинні допускати руйнування або ушкодження об'єктів маніпулювання. Особлива увага при проектуванні ПР слід обертати на кріплення ЗП до руки

робота, яке повинне бути зручним, надійним, а при необхідності легко- і быстросъемным. Як правило, ПР постачають набором змінних ЗП, які можна замінити залежно від конкретних технологічних умов, а також установлювати на типові ЗП змінні робітничі елементи (губки, присоси, подхвати й т.п.), при цьому їх зміна в обґрунтованих випадках проводиться автоматично за допомогою самого робота.

У зв'язку з різноманіттям ознак, що характеризують технологічні особливості застосування загарбних пристроїв і визначальних їхньому різновиди, побудувати строгу класифікацію по ієрархічному принципу не представляється можливим. Тому ЗП ПР підрозділяють відповідно до окремих класифікаційних ознак; за принципом дії, характеру захоплювання вантажу, характеру базування, числу робочих позицій, виду керування, характеру кріплення до руки маніпулятора. Загальна класифікація загарбних пристроїв ПР показана на рис. 4.

За принципом дії ЗП підрозділяють на чотири групи:

- механічні, що захоплюють об'єкт за допомогою затискних або підтримуючих механічних пристроїв і у свою чергу, що різняться на **неприводні** й **приводні**. Переважно в ПР застосовують приводні механічні ЗУ, у яких використовують пневмо -, гідро - і електропривод; з еластичними камерами, що втримують об'єкт за допомогою камер різної конструкції зміною їх форми й розмірів при подачі у внутрішні порожнини стисненого повітря або рідини;

- вакуумні, що притягають об'єкт силою атмосферного тиску повітря за рахунок створення розрідження у вакуумній камері, що притискається до поверхні об'єкта;

- магнітні, що втримують об'єкт завдяки феромагнітним властивостям деяких матеріалів (наприклад, стали, чавуну), тобто здатності притягатися до магнітів.

По характеру захоплювання об'єкта ЗУ підрозділяють на три групи:

- захоплюють і утримують об'єкт кінематичним впливом робочих елементів (губок, кліщів, пальців і т.п.) за рахунок сил тертя або комбінації сил тертя й замикаючих зусиль. ЗП, названі звичайно **схватами**, відносять до пристроїв активного типу, які можуть бути як механічними, так і з еластичними камерами;

- підтримують, підхоплюють об'єкт за нижню поверхню, виступи або отвори без його затиснення. До них відносять гаки, вила, петлі, штирі й інші подібні пристрої;

- притягують, утримують об'єкт завдяки використанню різних фізичних ефектів. До цієї групи відносять вакуумні й магнітні пристрої, а, що також використовують електростатичне притягання, ефект адгезії, і ін.

По характеру базування об'єкта ЗП розділяють на п'ять груп:

- здатні до перебазування, що дозволяють змінювати положення утримуваної деталі завдяки керованим рухам робочих елементів;

- центрують, створюючи певне положення осі або площини симетрії захоплюваного об'єкта відносно ЗП. До них відносять механічні пристрої, оснащені кінематично зв'язаними елементами, наприклад губками у вигляді призм і ін., а також деякі пристрої з еластичними камерами;

- базують, забезпечуючи певне положення базових поверхонь захоплюваного об'єкта відносно ЗП, що характерно для підтримуючих пристроїв, що й схоплюють;

- фіксують, зберігаючи положення деталі в момент захоплювання;

- такі, що не забезпечують фіксації об'єкта (рідко застосовувані).



Рисунок 13 - Загальна класифікація захватних пристроїв ПР

По числу рабочих позиций ЗП подразделяют на две группы:

- однопозиционные, что позволяют обслуживать одну позицию технологического встаткування;
- многопозиционные, что обеспечивают обслуживание одновременно нескольких позиций технологического встаткування.

По характеру работы, у свою чергу, делят на:

- ЗП последовательной дй (звичайно двопозиційні), що мають завантажувальну, і розвантажувальну позиції з незалежною дією рабочих элементов на каждой з них;
- ЗП паралельної дії, що мають ряд позицій для одночасного захоплення або розвантаження групи об'єктів; ЗП комбінованої дії, оснащені декількома паралельно працюючими позиціями, що приводяться в дію незалежно одна від іншої.

По виду керування ЗП розрізняють чотири групи:

- некеровані, що захоплюють об'єкт без впливу керуючих сигналів. До цих пристроїв відносять постійні магніти або вакуумні ЗП без примусової відкачки повітря. Для зняття об'єкта в цьому випадку необхідний додаток додаткового зусилля, більшого зусилля втримання;

- командні, керовані тільки командами на захоплення або відпускання об'єкта. До цієї групи відносять ЗУ зі стопорними пристроями й губками, які розтискаються й зажимаються при взаємодії з об'єктом маніпулювання або елементами зовнішнього встаткування;

- жорстко програмувальні, керовані від системи програмного керування ПР. Величина переміщення губок, взаємне положення елементів і зусилля затиснення в таких пристроях змінюються відповідно до програми;

- адаптивні, гнучко програмувальні загартівні пристрої, оснащені пристроями інформаційно-виміральної системи, що дозволяють ЗУ пристосовуватися до виду й розташуванню об'єкта маніпулювання.

По характеру кріплення до руки маніпулятора ЗУ подразделяют на чотири групи:

- незмінювані, що є невід'ємною частиною конструкції маніпулятора;
- змінні, виконувані у вигляді самостійних вузлів, що мають базові поверхні для установки їх на ПР. Кріплення таких ЗУ може здійснюватися різними з'єднаннями, наприклад фланцевим, болтовим або гвинтовим, і не передбачає швидкої зміни;
- швидкозйомні, що дозволяють робити їхнє швидке зняття або установку на ПР, Кріпляться такі ЗУ за допомогою байонетного, кулачкового або клинового з'єднання;



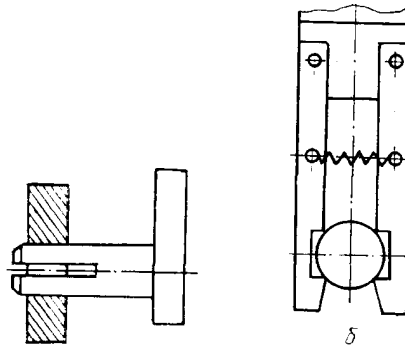
- автоматично змінювані, забезпечують можливість автоматичного зняття й установки.

Конструктивне виконання захватних пристроїв ПР обумовлене насамперед принципом їх дії, а також характером захоплювання вантажу.

Механічні захватні пристрої, застосовувані для захоплювання й утримання деталей всілякої маси, марок матеріалу й конфігурації за допомогою їхнього затиснення або підтримування, широко поширені в ПР. Найбільш прості, але й обмежені по можливості застосування підтримуючі ЗП у вигляді гаків, вильчатих захватів, петель, штирів і т.п. Більш досконалі й універсальні механічні загарбні пристрої, що схоплюють, або схвати, що мають багато конструктивних різновидів.

Найбільш прості по конструкції із групи схватів **некеровані неприводні ЗП**, виконувані у вигляді пінцетів, розрізних пружних валиків або втулок (цанг), кліщів з однієї або двома рухливими губками, що перебувають під впливом пружного елемента. На рис. 14 показана конструкція цангового й кліщового загарбних пристроїв. Розжимання некерованих схватів відбувається шляхом деформації пружних елементів ЗУ при взаємодії з деталлю або з додатковими розтискними пристроями, що примусово вивільняють деталь із охвату.

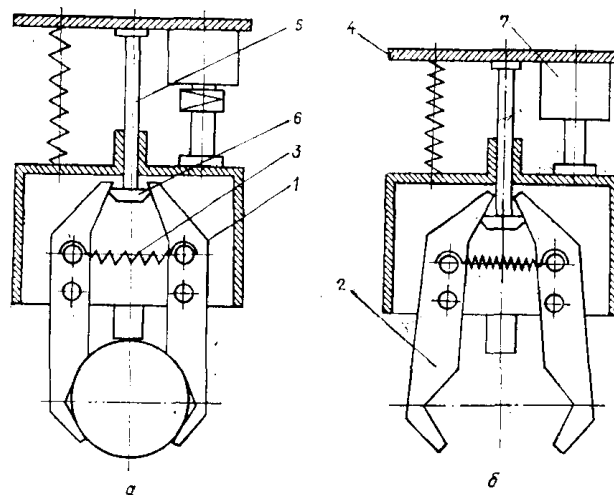
Утримання деталей забезпечується в результаті пружного впливу затискних елементів на деталь. Застосовують такі ЗУ при більших кількостях деталей малих мас і габаритних розмірів. До недоліків некерованих ЗУ ставиться можливість ушкодження поверхні деталі або самого охвату при захоплюванні й звільненні.



а - цанговий; б - кліщовий

Рис. 14 - Механічні некеровані ЗП

Більш складні по конструкції, **непривідні ЗП зі стопорними механізмами**, що забезпечують чергування циклів затиснення й розжимання деталей. Такі загарбні пристрої автономні, не пов'язані із системою керування ПР і не вимагають додаткового підведення енергії. Пристрій (рис. 15) складається з головки 1 із шарнірно встановленими губками 2, з'єднаними між собою пружиною 3, корпуса 4, на якому встановлена напрямна 5 з розтискною планкою 6, і стопорного механізму 7.



а - закрите положення; б - розкрите положення  
Рисунок 15 - Механічний непривідний ЗП зі стопорним механізмом

При втриманні деталі (рис. 15, а) розтискна планка входить між верхніми кінцями губок, перешкоджаючи їх розкриттю, а стопорний механізм фіксує корпус із головкою. Для звільнення деталі подають ЗП до упору, у результаті чого спрацьовує стопорний механізм, а розтискна планка, переміщаючись, звільняє губки, які розходяться під дією пружини (рис. 15, б). При повному розкритті губок стопорний механізм знову фіксує корпус із головкою в розкритому положенні губок.

При необхідності захоплення деталей за внутрішній діаметр застосовують аналогічні загарбні пристрої з робочими елементами у вигляді кульок або роликів, що распираемых конічної напрямної.

**Привідні** ЗП містять у собі, крім механізму затиснення й захоплюючих елементів, також приводний пристрій. Конструктивно вони можуть виконуватися із плоскопаралельним або обертотним рухом губок. Для розширення технологічних можливостей ЗУ обладнають знімними й легкозмінними губками різного призначення. Найбільше застосування знайшли приводні загарбні пристрої кліщового типу з важільними передавальними механізмами, що забезпечують вираш у зусиллі затиснення.

На рис. 16 показано ЗП з електроприводом і плоскопаралельним рухом губок 1 і 2, здійснюваним через зубчасту передачу 3 і передачу гвинт-гайка 4 від електродвигуна 5.

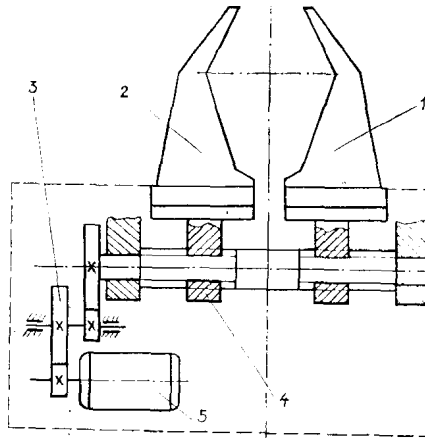


Рисунок 16 - Механічний приводний ЗП  
с плоскопаралельним рухом губок і електроприводом

Інший спосіб забезпечення плоскопаралельного руху показаний на мал. 17, де рух губок 1 здійснюється через паралелограмний пристрій 2, конічну зубчасту передачу 3 від привода.

У конструкціях загарбних пристроїв механічного типу широко застосовують рейкові передачі, що забезпечують широкий діапазон розкриття губок при малих габаритних розмірах і зручному компонуванню, по, що не дають вирашу в зусиллі затиснення, що слід віднести до їхніх недоліків. Загарбний пристрій з рейковою передачею й плоскопаралельним рухом губок показане на рис. 18. Рух губок 1 і 2 здійснюється через паралелограмний пристрій 3, рейкову передачу 4 від пневмоцилиндра двосторонньої дії 5.

Обертотний рух губок використовують часто в загарбних пристроях, що центрують (рис. 19). Губки 1 і 2 з виступами, що центрують, закріплено на корпусі 3 шарнірно, а передача руху забезпечується за допомогою рейкової передачі 4 від привода 5.

ЗП з еластичними камерами застосовують звичайно для переносу тендітних виробів невеликої маси, що мають неправильну форму або значні відхилення форми й розмірів від номінальних (скляні сулії, банки, колби й т.п.). Захоплення й утримання об'єктів здійснюються за рахунок деформування еластичних камер під впливом тиску повітря або рідини.

На рис. 20 показані схеми, що центрують загарбних пристроїв з еластичними камерами. Камеру 1, виконану з гуми або пластмаси, установлюють на корпусі 2 таким чином, щоб деформації могла зазнати тільки її бічна поверхня. Повітря або рідина під тиском подають у камеру через отвори 3 корпуса, у результаті чого вона розширюється, затискає деталь і втримує її.

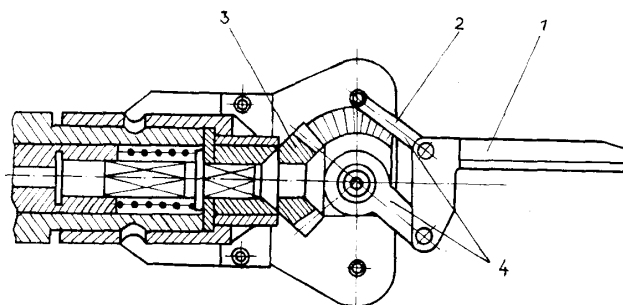


Рисунок 17 - Механічний приводний ЗП з паралелограмним механізмом і електроприводом

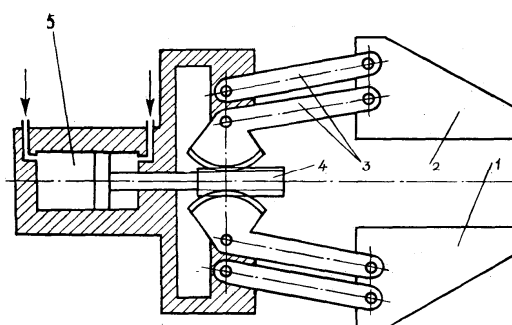


Рисунок 18 - Механічний приводний ЗП з плоско паралельним рухом губок і рейковою передачею від пневмопривода

Різновидом еластичних загарбних пристроїв є ЗП з камерами, що звиваються (рис. 21). Такий пристрій ставиться до, що базують і служить для захоплення об'єктів за зовнішню поверхню. На корпусі 1 закріплені призма, що базує, 2 і дві еластичні камери 3 і 4, з'єднані трубопроводом із пневмосистемою. Завдяки змінній твердості профілю при подачі повітря камери звиваються й притискають захоплену деталь до призми, що базує. Положення камер регулюють по висоті й ширині перестановкою їх у корпусі. При установці більш двох камер можна створити ЗП для захоплення об'єктів всілякої форми.

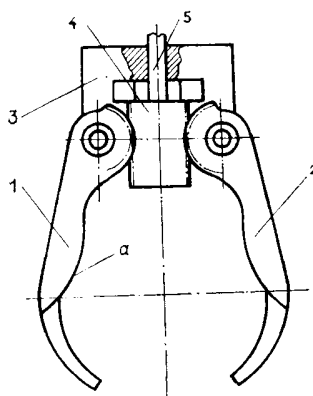
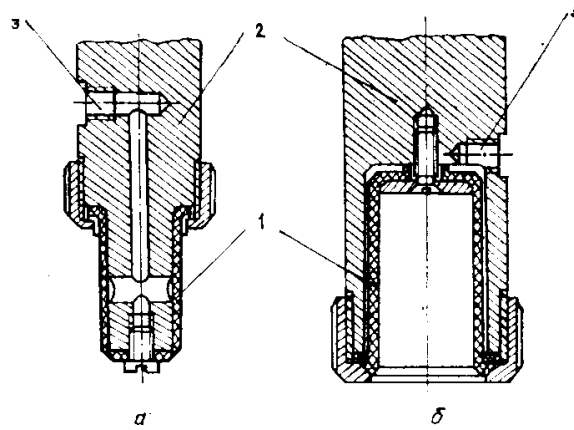


Рисунок 19 - Механічний приводний загарбний пристрій типу, що центрує, з обертовим рухом губок



а - для захоплювання за внутрішню поверхню;  
 б - для захоплювання за зовнішню поверхню  
 Рисунок 20 - Загарбний пристрій з, що розширюються еластичними камерами

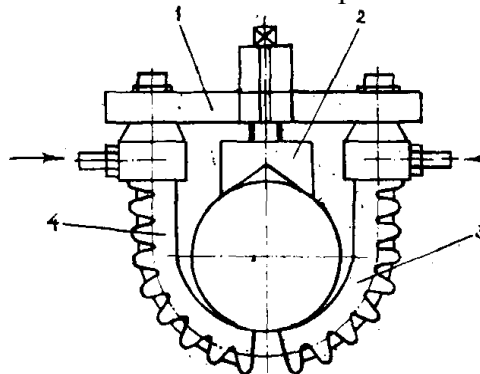


Рисунок 21 - ЗП з еластичними камерами, що звиваються

Вакуумні ЗП застосовують для переносу плоских деталей з рівними поверхнями й виконують у вигляді камер-присосів, у яких створюється вакуум. Захоплювання й утримання об'єктів забезпечуються силою атмосферного тиску повітря за рахунок створення в камері, притиснутої до поверхні деталі, розрідження. До переваг вакуумних ЗП слід віднести зручність захоплювання й звільнення деталей, збереження точних і гарне оброблених поверхонь, а також універсальність у порівнянні з магнітними ЗП, тобто можливість утримання об'єктів з матеріалів з будь-якими фізичними властивостями. До недоліків відносять обмежену піднімальну силу, знижену точність базування через еластичність камер, інерційність, пов'язану з деякою тривалістю підготовки вакууму, досить складну конструкцію для вакуумування, необхідність забезпечення герметичності з'єднань і самого загарбного пристрою.

По способу створення вакууму в системі вакуумні ЗП ділять на безнасосні, насосні, ежекторні. У безнасосних ЗП вакуум у камері створюється деформацією її пружної частини або зміною внутрішнього обсягу; у насосних - застосуванням спеціального вакуумного устаткування (вакуумних насосів, ресиверів, колекторів, апаратури керування й т.п.); в ежекторних - спеціальним ежекторним пристроєм, що використовують енергію стисненого повітря, яке надходить із пневматичної магістралі.

Безнасосні вакуумні ЗП застосовують для захоплювання деталей невеликої маси при невисокій точності їх установки. Вони прості по конструкції, не вимагають керуючих сигналів, але мають знижену вантажопідйомність.

Насосні ЗП служать для захоплювання деталей більшої маси й розмірів. Вони складні, вимагають спеціальних керуючих пристроїв, мають інерційність у зв'язку з більшим обсягом вакуумної системи.

Найбільше застосування в ПР знайшли ежекторні ЗП як більш прості по конструкції (у порівнянні з насосними), зручні в експлуатації, що не вимагають спеціального вакуумного устаткування, що працюють від цехової мережі стисненого повітря тиском 0,5...0,6 МПа.

Вакуумний насосний ЗП (рис. 22) складається з корпусу 1, еластичної загарбної камери, або присосу, 2 і встаткування для вакуумування. Присоси звичайно виготовляють із гуми або пластику н кріплять до корпусу шарнірно, що дозволяє їм самовстановлюватися по поверхні деталі. Як правило, для захоплення об'єктів застосовують вакуумні ЗП з декількома присосами на загальній рамі.

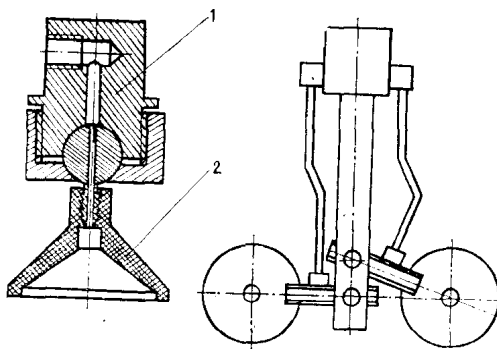


Рисунок 22 - Вакуумний загарбний пристрій

Магнітні ЗП використовують для переносу деталей з феромагнітних матеріалів. Захоплення й утримання об'єктів забезпечуються електромагнітною силою, створюваною або постійними, або електричними магнітами. Такі пристрої мають велику силу притягання на одиницю площі, високою точністю позиціонування за рахунок твердості сердечника, швидкістю захоплення й звільнення деталей, прості по конструкції. До недоліків магнітних ЗП відносять обмеженість матеріалів деталей, з якими вони можуть працювати, нагрівання конструкції від котушок, наявність залишкового магнетизму, що приводить до забруднення поверхонь деталі й ЗП.

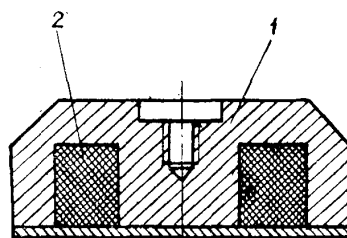


Рисунок 23 - Електромагнітний ЗП

У конструкціях магнітних ЗП переважно застосовують електромагніти; використання постійних магнітів спрощує конструкцію, однак вимагає оснащення пристроями для втримання деталі на позиції розвантаження або спеціальними скидачами.

Електромагнітне ЗП (рис. 23) складається з корпусу 1, усередині якого розташовані електричні котушки 2.

#### **Лекція 4-6. Конструктивні схеми пристроїв для забезпечення прямолінійного руху**

Конструкція цих пристроїв залежить від виду застосовуваних силових приводів і від величини необхідного переміщення якого - або вузла маніпулятора - руки, каретки або колони.

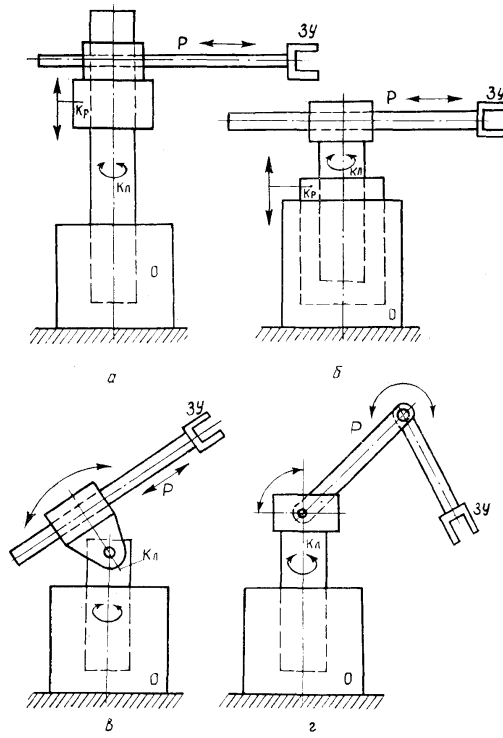
У якості силових приводів застосовують пневмо- і гідроциліндри, що забезпечують прямолінійний рух, або різні (електричні, пневматичні, гідравлічні) мотори, обертовий рух яких перетвориться в поступальне. У цих випадках широко використовують кінематичні

пари «гвинт - гайка» і «шестірня - зубчаста рейка». Для зниження частоти обертання й підвищення крутного моменту між мотором і цими кінематичними парами встановлюють ті або інші редуктори. Найбільш компактні редуктори планетарні й хвильов передаточні числа, що мають високі.

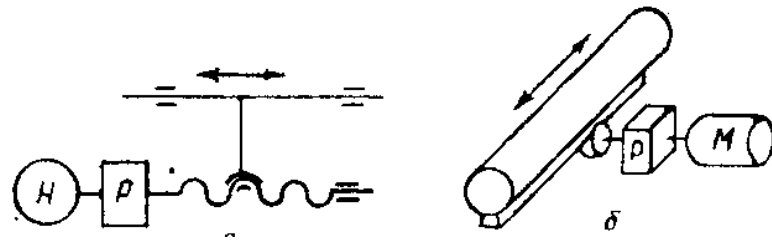
На рис. 4 дані схеми застосовуваних пристроїв для забезпечення прямолінійних рухів ланок МС із використанням пневмо- і гідроциліндрів. Вони (крім схеми *e*) характерні тим, що величина переміщення ланки маніпулятора дорівнює довжині ходу поршня циліндра, що обмежує можливість їх застосування при більших величинах переміщень ланок. У схемі *a* використано один циліндр двосторонньої дії; застосування двох циліндрів (схема *b*) дозволяє обпираючись шток на дві крайні крапки, що знижує згинаючі навантаження. У схемі *у* використаний циліндр одnobічної дії з переміщенням в одне із двох напрямків силою пружини, що трохи спрощує золотникову систему керування. Схеми *г* і *д* ілюструють застосування силових циліндрів для формування руки маніпулятора. Загарбний пристрій кріпиться безпосередньо до штока циліндра (схема *г*) або до спеціальної двохскальчатої рами, що рухається в напрямних (схема *д*). У першому випадку конструкція спрощується, але при висуванні захвата на повну величину  $H$  значно збільшуються навантаження на шток і ущільнюючі елементи поршня й сальника від сили ваги, що обмежує можливість застосування схеми *г* для більших переміщень і грузопідъемностей. Більш краща схема *д*, у якій шток циліндра сприймає тільки поздовжнє навантаження. При необхідності забезпечення великої величини  $H$  переміщення загарбного пристрою використовують телескопічні системи з декількома силовими циліндрами. Так, у схемі *e* встановлено три циліндри, а величина  $H$  переміщення загарбного пристрою підсумується з величин  $S1$ ,  $S2$  і  $S3$  ходів поршнів циліндрів. Циліндри можуть включатися в роботу одночасно й по черзі, що дає можливість регулювати швидкості руху, а також спрощувати позиціонування робочого органа. Істотна гідність цієї схеми - малий габарит руки з боку, протилежної загарбному пристрою.

При використанні для привода ланок маніпулятора моторів обертового руху широко застосовують пристрою (рис. 24), де ходова гайка або зубчаста рейка, жорстко пов'язані з переміщуваною ланкою, одержують прямолінійний рух від мотора  $M$ , через редуктор  $P$  і гвинт або шестірню.

У конструкціях маніпуляторів широко використовуються різні комбіновані пристрої для забезпечення прямолінійного руху, що дозволяють добитися значного переміщення ланок при гарній компактності. На рис. 6 наведені схеми таких пристроїв. Схема *a* являє собою комбінацію силового циліндра з кінематичною парою «зубчасте колесо - зубчаста рейка». Вісь зубчастого колеса закріплюють на кінці штока циліндра, а саме колесо розташовують між двома зубчастими рейками: однієї - встановленої на загальній рамі із циліндром, іншої - жорстко пов'язаної з переміщуваною ланкою. Такий пристрій дозволяє одержати величину переміщення ланки  $H$ , удвічі більшу величини  $S$  ходу поршня. Ще більшого збільшення довжини переміщення  $H$  при відносно малій величині робочого ходу штока можна добитися комбінацією силових циліндрів з різними шарнірно-важільними механічними системами. Так, схема *б* представляє систему із двох зв'язаних між собою паралелограмів однакових розмірів, до важеля одного з яких приєднаний шток гідроциліндра, до кінця іншого - загарбний пристрій. При переміщенні поршня зі штоком на величину  $S$  система паралелограмів деформується, забезпечуючи переміщення загарбного пристрою по прямої лінії на величину  $H$ . Розміри елементів цього пристрою вибирають із розрахунками одержання величини  $H$ , у кілька раз більшої  $S$ . Схема *в* являє собою комбінацію силового привода із шарнірно-важільною системою ромбовидної побудови («нюрнберзькі ножиці»). При русі по напрямним ведучих елементів на величини  $0,5S$  крайня права крапка шарнірно-важільної системи, пов'язана з якою-небудь ланкою маніпулятора (наприклад, з кареткою), переміщається на величину  $H$ , суттєво більшу стосовно  $S$ . У цьому випадку доцільно приводити в рух провідні елементи гвинтом із двома нарізками різних напрямків.



ПРО - підстава, Кр - каретка, Кл - колона, Р - рука, ЗУ - захват.  
 Стрілки - напрямок переносних рухів  
 Рисунок 24 - Блок - схеми розташування основних вузлів маніпуляторів



а - гвинтовий, б- рейковий

Рисунок 25 - Пристрою для створення прямолінійного руху

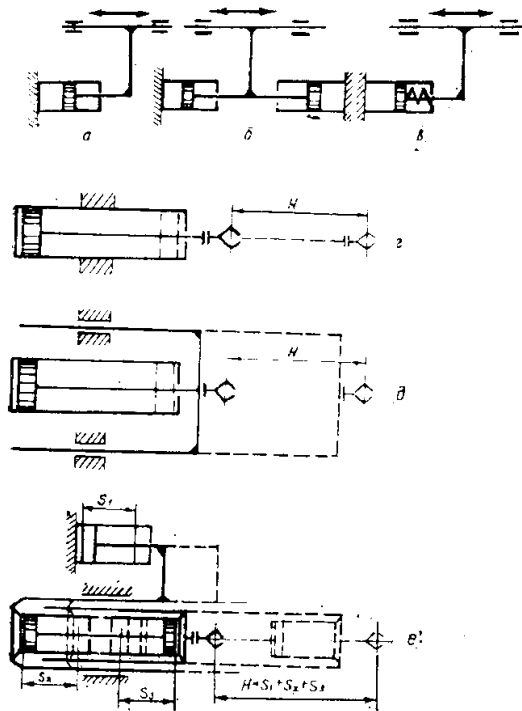


Рисунок 26 - Схеми пристроїв прямолінійного руху

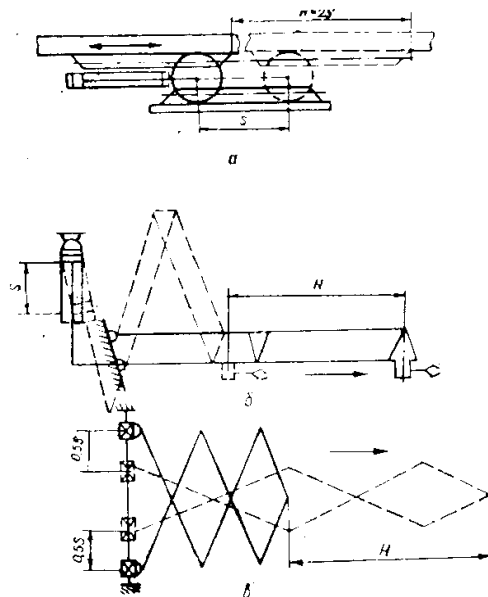


Рисунок 27 - Комбіновані схеми пристроїв для створення прямолінійного руху

### Конструктивні схеми пристроїв для забезпечення обертового руху

Вибір конструкції цих пристроїв залежить від типу силового привода й від необхідного кута повороту ланки маніпулятора. У якості силового привода використовують електричні й гідравлічні двигуни обертового руху або силивні циліндри поступального руху. Кут повороту ланок маніпулятора може доходити до 360, але частіше потрібно менший - 180, 120° і т.д.

На рис. 28 представлені різні конструктивні варіанти пристроїв для забезпечення обертового руху.

У схемах *а*, *б*, *у* й *г* забезпечується обертання ланки від двигуна *М* з проміжною понижувальною механічною передачею: зубчастою парою (схема *а*), ланцюговою передачею



(схема б), черв'ячною парою (схема а) або редуктором Р планетарного або хвильового типів (схема з). Такі схеми дають можливість повороту ланки на будь-який кут, у тому числі на  $360^\circ$  і більш. У схемах д и е до ланки жорстко прикріплюють важіль, з кінцем якого шарнірно зв'язана гайка ходового пінта або шток циліндра. Ці схеми досить прості, але не забезпечують кута повороту, більшого  $180$ , і постійної кутової швидкості обертання.

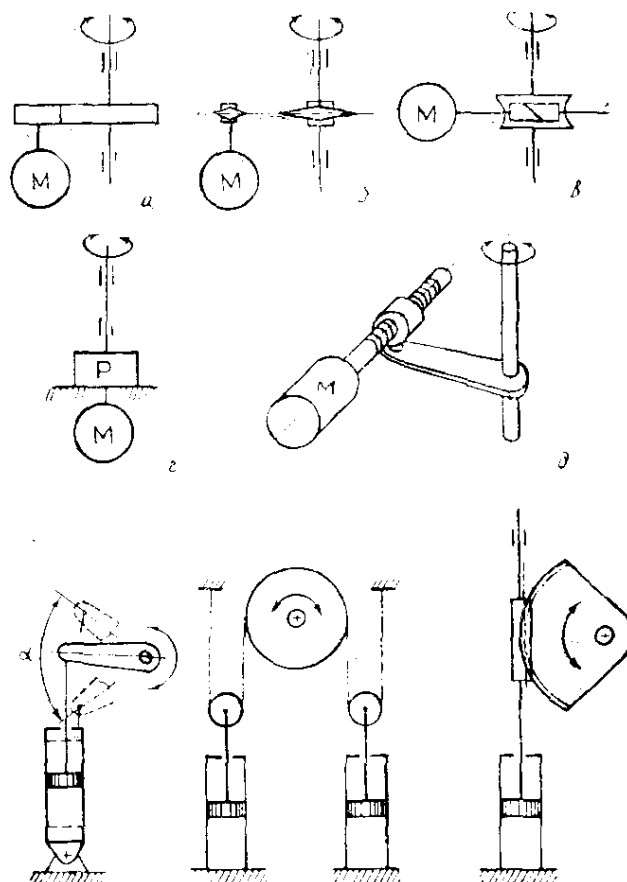


Рисунок 28 - Схеми пристроїв для забезпечення обертального руху ланок маніпулятора

У схемі ж використовують два силові циліндри з ланцюговою, ремінною або канатною передачею й рухливими зірочками (блоками), установленими на штоках циліндрів і утворюючими разом із гнучкою передачею поліспасну систему, завдяки чому хід ланцюга збільшується вдвічі в порівнянні з ходом поршня. Швидкості поршнів обох циліндрів повинні бути рівними, а напрямку рухів протилежним. Відповідним добором величини ходу поршнів і діаметра зірочки, закріпленої на обертальній ланці, можна одержати будь-який кут повороту ланки, однак практично доцільно виконувати його не більш  $360^\circ$ . У схемі з до обертальної ланки жорстко кріплять зубчастий сектор, що контактує із зубчастою рейкою, змонтованої на штоку циліндра. Кут повороту ланки приблизно дорівнює куту зубчастого сектору.

### Загальна кінематична схема маніпулятора

На рис. 29 як приклад представлена схема простого маніпулятора із пневматичним приводом. Маніпулятор улаштований і працює в такий спосіб. У напрямних Н підстави Про вертикально переміщається каретка Кр. Консоль каретки (на мал. 8 показана праворуч) пов'язана з вертикальним пневмоциліндром Ц1, за допомогою якого каретка може переміщатися нагору-униз. При підході до крайніх верхнього або нижнього положення постійний магніт, закріплений на консолі каретки, взаємодіє з відповідним верхнім або нижнім магнітним контактом, розмикаючи його й тим самим подаючи сигнал у ланцюг

керування, після чого електромагніт пневмораспределителя встановлює золотник у положення, що припиняє доступ повітря у відповідну порожнину циліндра Ц1. Величина вертикального ходу каретки може регулюватися перестановкою магнітних контактів уздовж напрямної Н підстави.

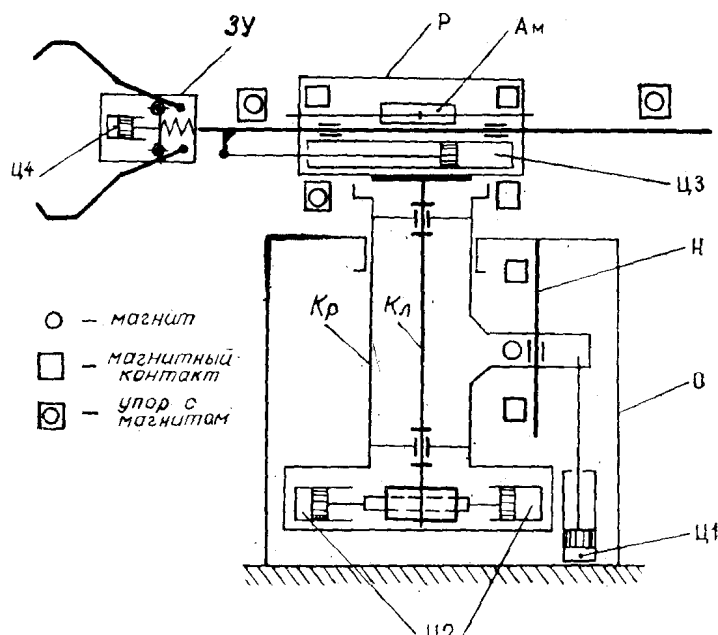


Рисунок 29 - Кінематична схема маніпулятора

У підшипниках каретки Кр змонтована вертикальна колона Кл, що має у верхній частині фланець для кріплення вузла руки Р, а в нижній - жорстко насаджене зубчасте колесо. Із зубчастим колесом перебуває в зачепленні зубчаста рейка, складова одне ціле зі штоками пневмоциліндрів Ц2. При подачі стисненого повітря поперемінно в лівий або правий циліндр зубчаста рейка переміщається відповідно вліво або вправо, обертаючи через зубчасте колесо в ту або іншу сторону колону Кл. Обмеження поворотного руху настає при підході упору з постійним магнітом, закріпленим на верхньому фланці колони, до одному із двох магнітних контактів, розташованих на верхньому фланці каретки. Величину кута повороту регулюють перестановкою цих магнітних контактів.

Вузол руки Р кріплять жорстко до фланця колони К.л. Переміщення штанги руки по горизонталі проводиться пневмоцилиндром Ц3, шток якого пов'язаний із кронштейном штанги. Обмеження й регулювання величини горизонтального ходу штанги здійснюють за рахунок двох розташованих на ній упорів з магнітами, які можна переставляти по довжині штанги. Магніти упорів взаємодіють із двома магнітними контактами, установленими в корпусі руки Р. У цьому ж корпусі монтують гідравлічний амортизатор Лм, штоки якого сприймають ударні навантаження від упорів на штанзі наприкінці її ходу. Загарбний пристрій у вигляді механічного охвату жорстко кріплять до штанги руки. Розмикання губок схвата проводиться зусиллям пневмоцилиндра Ц4. Процес розмикання супроводжується стиском пружини, розташованої в корпусі схвата, що й забезпечує змикання губок після виходу стисненого повітря з робочої порожнини циліндра.

Амортизаційні пристрої, що зм'якшують удари наприкінці рухів підйому каретки й повороту колони, на схемі не показані, хоча в конструкції маніпулятора їх передбачають. Ці пристрої, як і амортизатор руки, виконуються гідравлічними, сила опору в них створиться за рахунок перетекання рідини з однієї порожнини в іншу через регульоване по перетину отвір.

### Пристрої пересування

Оснащення маніпулятора ПР додатково координатними ступенями рухливості (від однієї до трьох) збільшує його робочу зону, підвищує універсальність, розширює

технологічні можливості. Такий промисловий робот може обслуговувати кілька технологічних машин, виконуючи, крім маніпулювання об'єктами, їх транспортування, що сприяє підвищенню ефективності його застосування. Природно, що в цьому випадку ускладнюються конструкція механічної частини ПР, пристрою його керування, підвищується загальна вартість промислового робота.

У загальному виді пристрою пересування можуть бути колісними, кульковими, гусеничними, на електромагнітній, рідинній або повітряній подушках, стопоходящими, що стрибають, тобто з будь-яким можливим способом переміщення. Реалізацію координатних ступенів рухливості маніпуляторів промислових роботів забезпечують установкою підстави маніпулятора на спеціальну каретку або візок, що переміщається по напрямним звичайно в одному або двох напрямках. Напрявні повинні бути досить твердими й точно розташованими по осі руху каретки, зазори між поверхнями напрямних і контактуючими з ними елементами каретки повинні бути мінімально можливими. Недотримання цих вимог знижує точність позиціонування загартованого пристрою ПР при переміщенні в робочому просторі, погіршує його динамічні характеристики. У якості напрямних використовують елементи типу «ласточкин хвіст», трубчасті напрямні, напольные й підвісні рейки з різною формою поперечного перерізу. Для забезпечення руху каретки (візка) можна застосовувати всі типи приводних пристроїв, використовуваних для прямолінійного переміщення ланок маніпулятора - пневмо- і гідроциліндри, електродвигуни в комбінації із зубчасто-рейковими, гвинтовими або хвильовими різьбовими парами й ін. Використовують також приводи від електро- і гідродвигунів безпосередньо на ходові колеса кареток, пристрою з лінійними електродвигунами.

Вибір типу напрямних і виду приводного пристрою для каретки залежить, насамперед, від величин необхідних переміщень по координатних ступенях рухливості, які слід підрозділяти на малі - до 0,2 метра, середні - до одного - двох метрів і більші - до декількох десятків метрів. При малих і середніх величинах переміщень доцільно використовувати тверді, з добре обробленою поверхнею напрямні типу «ласточкин хвіст», трубчастої форми, кулькові або роликові, тобто такі, які знаходять застосування, наприклад, у металорізальних верстатах. У якості приводних пристроїв у цих випадках слід застосовувати силові пневмо- або гідроциліндри, у тому числі телескопічні, приводи з рейковими або гвинтовими парами, з ланцюговою передачею. Для малих переміщень із високою необхідною кінематичною точністю можуть бути рекомендовані передатні пристрої із хвильовими різьбовими передачами гвинт-гайка. При малих і середніх переміщеннях використовують компонування з так званим зовнішнім розташуванням приводних пристроїв, коли основні елементи привода (циліндр, двигун з редуктором) закріплюють на нерухливій підставі поза кареткою, а до рами каретки приєднують виконавчі елементи, такі, як шток циліндра, рейку, гвинт, відому зірочку й ін. При такому компонуванні спрощується конструкція каретки, зменшуються її маса й габарити.

При більших переміщеннях переважно застосовують каретки (візка) з ходовими колесами, що опираються на напрямні у вигляді рейок, привод при цьому розташовують на каретці. Необхідне зусилля для переміщення каретки забезпечується тертям ободов приводних коліс із поверхнею рейок, у ряді випадків використовують рейкове зубчасте зачеплення, при якому протяжна зубчаста рейка закріплюється нерухомо на напрямній рейці, а зубчаста шестірня привода входить із нею в зачеплення.

Конструктивна схема пристрою пересування з більшими переміщеннями залежить від місця розташування ПР: на підлозі цеху або на деякій висоті. У першому випадку на рівні підлоги встановлюють рейки, по яких переміщається каретка ПР. У другому випадку на необхідній висоті (2...3 і більш метрів) установлюють протяжну балку таврової, коробчатої або іншої форми, уздовж якої кріпляться напрямні рейки (прямокутного, трапецієподібного або іншого перетину), а при необхідності й елементи, з якими взаємодіє привод каретки.

Розглянемо схеми деяких пристроїв пересування. На рис. 30 показаний пристрій для переміщення підстави 1 маніпулятора по напрямним 2 типу «ласточкин хвіст» за допомогою телескопічного гідроциліндра 3, призначене для малих передніх величин переміщень.

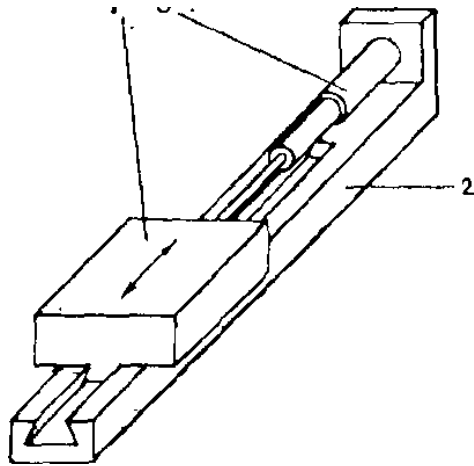


Рисунок 30 - Пристрій пересування з напрямними типу «ласточкін хвіст» і гідроциліндром

На рис. 31 зображена установка для малих величин переміщень підстави 1 по двом координатах. У якості напрямних застосовані труби 2, у якості привода - електродвигун 3 і гвинт 4. На мал. 11 представлений пристрій у вигляді чотириколісного візка 1, на якій встановлена підстава 2 маніпулятора. Візок постачаний електродвигуном з механічною передачею 4 і переміщається по рейках 5. На рис. 32 наведена конструкція для переміщення підстави 1 маніпулятора уздовж балки 2 коробчатої перетину. Візок 3 роликми опирається на рейки 4. Пересувається візок за допомогою електродвигуна 5 і зубчато-рейкової пари б.

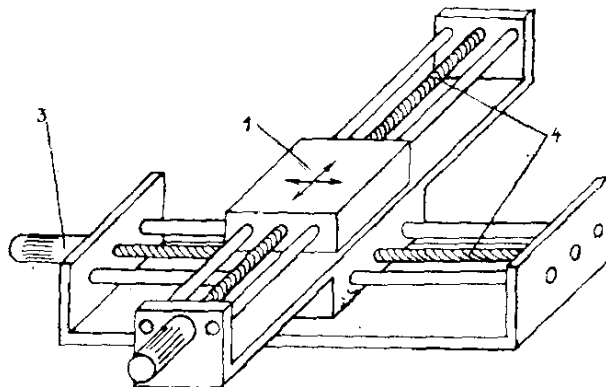


Рисунок 31- Пристрій пересування із трубчастими напрямними й із гвинтовим приводом

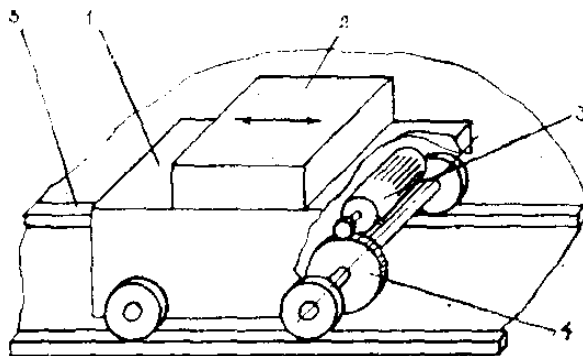


Рисунок 32 - Пристрій пересування на опорному візку

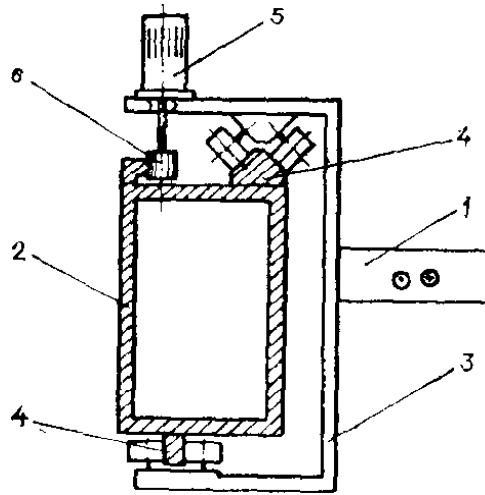


Рисунок 33 - Пристрій пересування на підвісному візку

Конструктивне виконання, складність і точність позиціонування пристроїв пересування ПР значною мірою залежать від принципу керування, який може бути з використанням:

- замкненого по положенню привода з постійним контролем положення ПР по всьому шляхові його пересування;
- розімкнутого привода зі східчастим регулюванням швидкості;
- комбінованого привода, розімкнутого між місцями зупинок і замкненого по положенню поблизу цих місць;
- розімкнутого привода з механізмами уточнення положення й фіксації.

Виконання пристрою пересування **по першому принципу** вимагає постійної інформації про поточне положення ПР. Цей спосіб є найбільш універсальним, тому що дозволяє позиціонувати роботу у будь-якій крапці траси пересування, однак ускладнює конструкцію й підвищує вартість ПР.

Пристрою пересування, виконані **по другому принципу** менш складні й дорогі, але мають недостатню точність позиціонування. У цьому випадку використовують електричний привод, а вихід на задані позиції здійснюється за допомогою однієї або декількох команд на гальмування від пристроїв релейної дії, установлених на шляху руху робота. Такий принцип використаний у пристрої пересування ПР ТРТ-1-250 «Спрут», його також можна застосовувати для позиціонування кранів-маніпуляторів із твердим підвісом вантажу (кранів - штабелерів, колодцевих кранів, кранів для роздягання злитків і ін.).

**Третій принцип** керування пересуванням ПР представляє комбінацію першого й другого. У цьому випадку датчики положення підключають тільки в районі безпосереднього обслуговування технологічного встаткування, і висока точність і твердість напрямних елементів потрібні тільки в цих місцях траси, а не на всьому її протязі. Недоліком способу є конструктивна складність здійснення кінематичної й електричної зв'язків з датчиками положення.

**Четвертий принцип** є модифікацією другого. З метою поліпшення точностних характеристик пристроїв пересування додатково вводять різні механічні пристрої фіксації положення (упори, ловителі та ін.), що забезпечують високу точність позиціонування.

### Привод маніпуляторів

Привод промислового робота є складовою частиною виконавчого пристрою й призначений для перетворення енергії в енергію руху виконавчих ланок маніпуляційної системи ПР і пристроїв пересування відповідно до сигналів, що надходять від системи керування.

Привод ПР складається з перетворювача енергії у вигляді енергоустановки, двигунів і передавальних механізмів. Елементи привода в складі маніпулятора ПР можуть бути

охоплені як внутрішніми, так і зовнішніми зворотними зв'язками, при наявності яких привод стає, що стежать, що дозволяє будувати ПР із елементами адаптації. Привод у значній мірі визначає структуру, параметри й технологічні можливості маніпулятора й ПР у цілому. Основними параметрами привода є потужність, швидкість і швидкодія, точність відпрацювання командного сигналу. Для вибору того або іншого привода при проектуванні ПР найбільш істотні наступні класифікаційні ознаки: вид енергоносія й виконавчих двигунів, спосіб керування й використання вступники енергії, що й приділяється від механічної системи.

По виду енергоносія розрізняють пневматичний, гідравлічний, електричний приводи і їх комбінації.

По виду виконавчих двигунів приводи можуть бути із двигунами поступального прямолінійного переміщення (пнеumoциліндрами, гідроциліндрами, лінійними електродвигунами), з обертальними малооборотними двигунами (роторними пневмо- і гідроциліндрами, радіально-поршневими гідромоторами), з обертальними високооборотними двигунами (пневмодвигунами, аксиально-поршневими гідромоторами, електродвигунами).

По типу управління розрізняють приводи ПР розімкнуті з позиціонуванням по упорах; розімкнуті із цифровим керуванням і застосуванням у якості двигунів шагових електромоторів або циліндрів; замкнені або зі зворотними зв'язками по положенню й деяким параметрам (швидкості, силі й ін.). Приводи на базі гідравлічного й електричного знайшли широке застосування в ПР і є найбільш перспективними.

По способу використання вступники енергії, що й приділяється, від механічної системи розрізняють активний і пасивний приводи. В активному приводі використовуються активні сили, що задаються двигуном, у пасивному - гальмові сили, що відбираються від механічної системи. У ПР переважно застосовуються активні приводи.

Першочерговим питанням, розв'язуваним при проектуванні ПР, є вибір того або іншого типу привода по виду енергоносія.

**Пневматичний привод** характеризується конструктивною простотою й дешевиною, особливо при наявності централізованої мережі стисненого повітря, високою швидкістю переміщень, простотою обслуговування, високою надійністю й пожежобезпекою. До його недоліків слід віднести труднощі реалізації привода, що стежить, і неможливість точного позиціонування через високу стискальність енергоносія; звідси - використання пневмопривода винятково в роботах із цикловим програмним керуванням і позиціонуванням по упорах; значні розміри виконавчих двигунів через обмежений тиск енергоносія (не більш 0,6 МПа); необхідність у спеціальних гальмових пристроях для зупинки виконавчих органів у заданих точках із припустимими прискореннями; знижений ККД (0,15...0,2).

У якості двигунів у пневматичних приводах використовують силові пневмоциліндри зі зворотно-поступальним рухом штока, поворотні й ротаційні пневмомотори. Найпоширеніші пневмоциліндри, які можуть безпосередньо з'єднуватися з ланками маніпулятора без допомоги передавальних механізмів, що спрощує механічну систему робота.

ПР із пневматичними приводами, обладнані цикловою системою програмного керування, мають невеликі (до 20...30кг) вантажопідйомності, високі (до 2м/с) швидкості руху ланок і можуть експлуатуватися в тяжких умовах навколишнього середовища (при високій пило- й загазованості, пожежо- і вибухонебезпечно і т.д.).

**Гідравлічний привід** відрізняють компактність і швидкодія, мала маса виконавчих двигунів, тверді статичні й високі динамічні характеристики, простота налаштування точних значень швидкостей ланок і надійності їх фіксації в поточних положеннях, необмежені потужність і вантажопідйомність. Завдяки високим точностним якостям гідропривід забезпечує здійснення складних технологічних рухів, необхідних, наприклад, при контурному зварюванні й складанню. У порівнянні із пневматичним, гідропривід має більш високий коефіцієнт корисної дії (при дросельній схемі регулювання 0,3, при об'ємній 0,6...0,7).

До недоліків гідроприводу ставляться: необхідність у власних енергоустановках для перетворення енергії - гідростанціях; порівняно мала швидкість передачі гідравлічного імпульсу, при великій довжині трубопроводів (більш 2 м), що знижує швидкодію; залежність витрати робочої рідини від впливу зовнішніх умов навколишнього середовища (у першу чергу температури), що приводить до коливань швидкості ланок маніпуляційного механізму; конструктивна складність і високі вимоги до виконання елементів гідросистеми: регулюючої апаратури, гідроперемикачів, що стабілізують пристроїв, що й диференціюють, що забезпечують автоматичне регулювання, що знижує надійність і довговічність гідроприводів; менша, чому в електропривода, гнучкість проводки; більш високі трудомісткість і вартість виготовлення й обслуговування трубопроводів; можливість витоків робочої рідини, що підвищує пожежо- і вибухонебезпечність, погіршує умови експлуатації; підвищені вимоги до обслуговування при експлуатації.

У якості двигунів у гідравлічних приводах використовують силові гідроциліндри зі зворотно-поступальним рухом штока, моментні гідроциліндри й гідромотори, що здійснюють безперервне обертання. Найпоширеніші силові гідроциліндри. Як і в пневматичних приводах, силові гідроциліндри й низькооборотні двигуни можна безпосередньо з'єднувати з ланками маніпулятора без допомоги передач, що значно спрощує механічну систему.

Гідравлічний привід застосовують у ПР переважно з позиційної й контурної системами керування й виконують у вигляді привода, що стежить. Гідравлічні приводи працюють при більших тисках у системі - до 20 МПа й використовуються в ПР вантажопідйомністю від 20 кг і вище. У роботах меншої вантажопідйомності вони застосовуються замість пневматичних, якщо потрібен слідячий привод.

**Електричний привід** відрізняють доступність енергоносія, легкість регулювання, простота монтажу й налагодження, а також обслуговування при експлуатації, досить високі показники надійності, високий коефіцієнт корисної дії й низький рівень шуму при роботі.

До недоліків електропривода ставляться: порівняно високі оберти електродвигунів, що вимагає застосування складних передавальних механізмів; інерційність, що викликає необхідність уведення пристроїв фіксації положень ланок, типу фрикційних гальм або самогальмуючих передач; менші швидкості ланок у порівнянні із пневматичним приводом; недостатньо високі показники питомої потужності.

У якості двигунів в електричних приводах використовують, як правило, електродвигуни постійного струму з незалежним або послідовним порушенням, керовані від малогабаритних і малоінерційних тиристорних і транзисторних підсилювачів потужності, а також двигуни змінного струму - в основному асинхронні, двофазні й крокові електродвигуни різних типів. Електропривод вимагає застосування тих або інших передавальних механізмів для передачі й узгодження швидкостей руху й силових характеристик валів електродвигунів і ланок маніпулятора.

Завдяки розробці в останні роки перспективних електродвигунів з поліпшеними параметрами й характеристиками (електродвигунів із плоскими й гладкими роторами, що дозволяють підвищувати швидкодію й зменшувати інерційність; малоінерційних високомоментних електродвигунів, що значно підвищують показники питомої потужності: лінійних) усе помітніше відчувається тенденція до більш широкого застосування електричних приводів у промислових роботах, особливо призначених для таких складних технологічних процесів, як контурне зварювання й складання.

**Комбінований привід** у промислових роботах поки застосовують обмежено, що пояснюється ускладненням конструкції й обслуговування робота, а також зниженням надійності його роботи. Найбільше часто застосовуваною комбінацією силових приводів є комбінація пневматичного й гідравлічного приводів. Одне з істотних її переваг - можливість регулювання стабільної швидкості в діапазоні менш 0,1 м/с і більш 1 м/с.

Приводи ПР конструктивно можуть компонуватися з маніпуляційною системою різним образом, від чого залежить принцип передачі руху відповідним до ланок маніпулятора. Можна виділити три основні варіанта компонування:

- привод розташований на ланці маніпулятора, забезпечуючи безпосередній вплив на, що рухається ланку;
- привод розташований на нерухливій підставі й зв'язаний з ланками через передавальні механізми;
- комбінований спосіб компоновання, коли частина приводних пристроїв розміщують безпосередньо на ланках маніпулятора, а частина - на нерухливій підставі.

Найпоширеніший, завдяки простоті кінематичних зв'язків між ланками й зручності керування маніпуляційною системою, перший варіант компоновання. Однак його реалізація приводить до збільшення маси й габаритів ланок маніпулятора, зниженню вантажопідйомності й погіршенню динамічних характеристик. У випадку твердих обмежень на масу й габарити ланок маніпулятора кращий другий варіант, хоча він вимагає довгих і складних кінематичних ланцюгів для передачі руху.

Останнім часом усе більше поширення одержує комбінований спосіб; при цьому в основу побудови конструкції маніпулятора закладається перший варіант компоновання, а окремі приводні пристрої системи встановлюють на нерухливій підставі.

Вибір того або іншого виду привода обумовлений функціональним призначенням ПР, пропонованими до нього технологічними вимогами, особливостями виробництва й умовами експлуатації, а також вартістю, складністю обслуговування, експлуатаційними витратами, наявністю тих або інших комплектуючих виробів і їх якістю. Вибір привода повинен здійснюватися разом з визначенням типу й структури системи керування.

При наявності централізованої пневмосеті й порівняно нескладних технологічних вимогах на перше місце виступають переваги пневмопривода, такі, як конструктивна простота, надійність, пожежобезпека, низька вартість. Основний недолік - труднощі реалізації привода, - обмежує його застосування в складних технологічних процесах, забезпечення яких вимагає досить розвинених зворотних зв'язків. Тому пневмопривід використовують переважно в простих ПР із цикловим керуванням.

При необхідності побудови привода, що стежить, перевагу віддають гідро- або електроприводу. При цьому гідропривід відрізняють компактність і мала маса двигунів, порівняльна простота реалізації привода, що стежить, більш просте керування малопотужними електрогідролічними перетворювачами в порівнянні з електроприводом, а також можливість побудови привода ланок маніпулятора без передавальних механізмів, що зменшує масу й інерційність ланок маніпуляційної системи, підвищує динамічні якості маніпулятора. У зв'язку із широким впровадженням ПР у промислове виробництво істотну роль при виборі типу привода стали відіграти такі якості, як доступність енергоносія й простота обслуговування при експлуатації, відсутність витоків робочої рідини, високий ККД і низький рівень шуму, характерні для електричного привода. Створення й застосування в приводах ПР нових перспективних малоінерційних електродвигунів підвищує динамічні характеристики електропривода, розширює можливості його застосування. Як гідролічний, так і електричний приводи маніпуляторів ПР виконують у вигляді, що стежать і застосовують переважно з позиційної й контурної системами керування.

Незалежно від типу привода критеріями порівняльної оцінки варіантів приводів при остаточному виборі можуть служити: маса привода; питома вихідна потужність; коефіцієнт корисної дії; адекватність джерел енергії механічної й керуючої систем; можливість агрегатно-модульної побудови; зручність обслуговування й безпека експлуатації.

Передавальні механізми приводів ПР служать сполучними ланками між двигунами й виконавчими органами й призначені для виконання наступних функцій: перетворення виду руху (обертального - у поступальне й навпаки); узгодження параметрів руху (швидкості й крутного моменту); узгодження осей двигунів і виконавчого органа.

У якості передавальних механізмів приводів ПР використовуються всілякі види передач: фрикційні, ремінні й ланцюгові, важільні й канатні, гвинтові, шарикогвинтові й роликотгвинтові, зубчасті й черв'ячні, планетарні й хвильові.

Конкретне призначення передавальних механізмів при різних комбінаціях типів двигунів і видів переміщень виконавчих ланок показане в табл. 3, з якої видно, що в



комбінаціях О2 і П1 передавальні механізми можуть взагалі бути відсутні, тому що двигуни в цих випадках можуть безпосередньо впливати на виконавчі ланки або самі виконувати їхні функції. Цей варіант найбільш кращий, хоча не завжди здійснимо, оскільки в деяких випадках з міркувань компоновання, технологічності або зручності обслуговування двигун не може бути розташований співвісно з виконавчою ланкою, а тому для узгодження осей необхідне застосування тих або інших передач, використовуваних також для узгодження швидкостей і силових характеристик. Комбінації О1 і П2 вимагають використання передач для перетворення виду руху (поступального в оберতальне й навпаки). У комбінаціях О3 і П3 необхідні передачі з більшими передаточними числами, для чого використовують, як правило, різні редуктори: зубчасті, черв'ячні, планетарні або хвильові, які для перетворення виду руху (П3) можуть сполучатися із зубчастою рейковою або гвинтовий (шарико-гвинтовий, роликгогвинтовий) передачами.

Для вибору того або іншого виду редуктора найбільш важливими оціночними показниками є мертвий хід або люфт у передачі, твердість, величина ККД, властивості самогальмування або оборотності, габаритні розміри й маса, зручність компоновання, рівень шуму при роботі, довговічність, складність, технологічність виготовлення й вартість.

Зубчасті циліндричні редуктори мають високу твердість і довговічність, технологічні у виробництві. Високі значення ККД дозволяють без більших втрат потужності застосовувати спеціальні методи усунення люфтів. Прийнятний рівень шуму досягається досить високим ступенем точності виготовлення. Недоліком зубчастих передач для застосування в ПР є їхня висока інерційність. Зубчасті конічні передачі, крім того, вимагають більш точного регулювання при складанні й мають підвищений шум при роботі.

Перевагою планетарних зубчастих передач є їхня висока компактність, однак вони менш технологічні у виробництві, вимагають підвищеної точності виготовлення й складання.

Черв'ячні редуктори відрізняються гарною твердістю, меншою інерційністю, відносно простою конструкцією й можливістю самогальмування, що дуже важливо для здійснення привода, що стежить. Недоліком черв'ячних передач є знижений ККД (0,4...0,5 в однозаходних передачах).

Комплексом важливих якостей мають хвильові зубчасті редуктори. Простота їх конструкції, можливість реалізації більших передаточних чисел в одному щаблі, малі габаритні розміри, практична безлюфтовість (многопарное зачеплення) і високий ККД (не менш 0,8) забезпечують усе більше поширення хвильових зубчастих редукторів. До їхніх недоліків ставляться знижена жорсткість, відносна складність виготовлення й досягнення достатньої довговічності.

Таблиця 3 - Призначення передавальних механізмів ПР

Тип двигуна	Вид переміщення виконавчої ланки	
	Оберতальне (О)	Поступальне (П)
Двигуни поступальні лінійні (гідро- і пневмоциліндри)	Передачі для перетворення поступального руху в оберতальний	Передачі відсутні або є для узгодження осей двигуна й виконавчої ланки
Двигуни оберতальні низькооборотні	Передачі відсутні або є для узгодження осей двигуна й виконавчої ланки	Передачі для перетворення поступального руху в оберতальне
Двигуни оберতальні високооборотні	Передачі з великим передатним числом для узгодження швидкостей і крутних моментів двигуна й виконавчої ланки	Передачі для перетворення обертового руху в поступальне з великими передаточними числами

## Лекція 7-8. Механіка маніпуляторів

До основних завдань механіки маніпуляторів можна віднести:

- розробку методів синтезу й аналізу виконавчих механізмів (включаючи механізми приводів);
- програмування руху маніпулятора;
- розрахунки керуючих зусиль і реакцій у кінематичних парах;
- зрівноважування механізмів маніпуляторів;
- інші завдання.

Ці завдання зважаються на базі загальних методів дослідження структури, геометрії, кінематики й динаміки систем із просторовими механізмами. Кожне з завдань може бути сформульовано як пряме (завдання аналізу) або як зворотне (завдання синтезу). При визначенні функції положення механізму, у прямому завданні знаходять закон зміни абсолютних координат вихідної ланки за заданими законами зміни відносних або абсолютних координат ланок. У зворотньому - за заданим законом руху схвата знаходять закони зміни координат ланок, звичайно, лінійних або кутових переміщень у приводах. Розв'язок зворотного завдання або завдання синтезу більш складно, тому що часто вона має безліч припустимих розв'язків, з яких необхідно вибрати оптимальне. У зворотньому завданні кінематики за необхідним законом зміни швидкостей і прискорень вихідної ланки визначаються відповідні закони зміни швидкостей і прискорень у приводах маніпулятора. Зворотне завдання динаміки полягає у визначенні закону зміни керуючих сил і моментів у приводах, що забезпечують заданий закон руху вихідної ланки.

Перше й основне завдання кінематики - визначення функції положення. Для просторових механізмів найбільш ефективними методами розв'язку цього завдання є векторний метод і метод перетворення координат. При розв'язку прямого завдання про положення схвата маніпулятора звичайно використовують метод перетворення координат. З безлічі методів перетворення координат, які відрізняються друг від друга правилами вибору осей локальних систем координат, для маніпуляторів звичайно використовується метод Денавіта й Хартенберга.

Опишемо два види матриць:

- матриці  $M$ , що визначають відношення між системами координат сусідніх ланок;
- матриці  $T$ , що визначають положення й орієнтацію кожної ланки механізму в нерухливій або базовій системі координат.

Скористаємося однорідними координатами тривимірного проєктивного простору  $PR^3$ , у яких рух  $R^3$  можна представити лінійним перетворенням  $\bar{r}_i = M_{ji} \cdot r_j$ ,

де  $M_{ji}$  - матриця  $4 \times 4$  виду  $\begin{vmatrix} U_{ji} & b \\ 000 & 1 \end{vmatrix}$ .

Це перетворення еквівалентне  $\bar{r}_i = U_{ji} \cdot r_j + b$ , де  $[\bar{r}_i, \bar{r}_j] \in R^3$ . Тобто перетворенню, яке включає поворот, обумовлений матрицею  $U_{ji}$  розмірністю  $3 \times 3$ , і паралельний перенос, що задається вектором  $\bar{b}$  розмірністю 3. В однорідному просторі положення точки будуть визначати не три  $x, y$  і  $z$ , а чотири величини  $x', y', z'$  і  $t'$ , які задовольняють наступним співвідношенням:

$$x = x'/t', y = y'/t', z = z'/t'.$$

Звичайно ухвалюють  $t'=1$ . У матриці повороту  $U_{ji}$  елементами  $u_{ji}$  є напрямні косинуси кутів між новою віссю  $i$  і старою віссю  $j$ . Вектор  $\bar{b} = (x, y, z)$  - тривимірний вектор, що визначає положення початку нової системи координат  $i$  у старій системі  $j$ . Вибір розташування осей повинен відповідати розв'язуваному завданню. При розв'язку завдання про положення необхідно: у прямому завданні визначити положення вихідної ланки як функцію переміщень у приводах, у зворотній - задане положення вихідної ланки представити як функцію переміщень у приводах. Вибір розташування й орієнтації локальних систем

координат повинен забезпечувати виконання цих завдань. При використанні методу Денавита й Хартенберга осі координат розташовуються за наступними правилами:

1. Для ланки  $i$  вісь  $z_i$  направляється по осі кінематичної пари, утвореної їм з ланкою  $(i+1)$ . Початок координат розміщують у геометричному центрі цієї пари.

2. Вісь  $x_i$  направляється по загальному перпендикуляру до осей  $z_{i-1}$  і  $z_i$  з напрямком від  $z_{i-1}$  до  $z_i$ . Якщо осі  $z_{i-1}$  і  $z_i$  збігаються, то  $x_i$  перпендикулярна до них і спрямована довільно. Якщо вони перетинаються в центрі кінематичної пари, то початок координат розташовується в крапці перетинання, а вісь  $x_i$  направляється за правилом векторного добутку  $\bar{x}_i = \bar{z}_i \times \bar{z}_{i-1}$  (найкоротший поворот осі  $z_i$  до сполучення з  $z_{i-1}$  при спостереженні з кінця  $x_i$  повинен відбуватися проти годинникової стрілки).

3. Вісь  $y_i$  направляється так, щоб система координат була правою.

У прямому завданні необхідно визначити положення схвата маніпулятора й пов'язаної з ним системи координат  $Mx_n y_n z_n$  стосовно нерухливої або базовій системі координат  $Kx_0 y_0 z_0$ . Це здійснюється послідовними переходами із системи координат ланки  $i$  у систему координат ланки  $i-1$ . Згідно із прийнятим методом, кожний перехід містить у собі послідовність чотирьох рухів: двох поворотів і двох паралельних переносів, здійснюваних у зазначеній послідовності (рис. 43):

- поворот  $i$ -ої системи навколо осі  $x_i$  на кут  $-\theta_i$  до паралельності осей  $z_i$  і  $z_{i-1}$  (позитивний напрямок повороту при спостереженні з кінця вектора  $x_i$  проти годинникової стрілки);

- перенос уздовж осі  $x_i$  на величину  $-a_i$  до сполучення початку системи координат  $O_i$  із крапкою перетинання осей  $x_i$  і  $z_{i-1}$  (відлік по осі  $x_i$  від точки перетинання осей  $x_i$  і  $z_{i-1}$ );

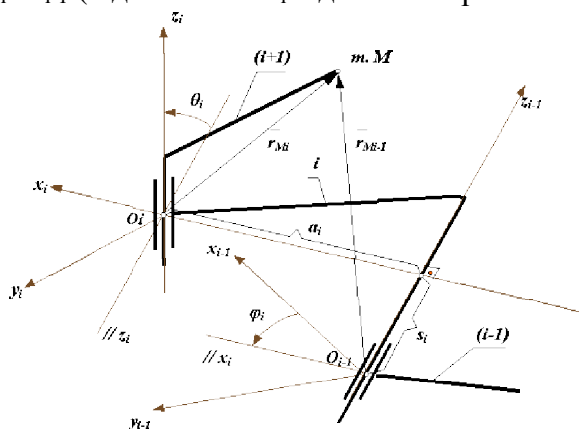


Рис. 43

- перенос уздовж осі  $z_{i-1}$  на величину  $-s_i$ , після якого початок системи координат  $O_i$  виявляється на початку координат  $O_{i-1}$  системи  $(i-1)$  (відлічується по осі  $z_{i-1}$  від її початку координат  $O_{i-1}$  до точки її перетинання з віссю  $x_i$ );

- поворот навколо осі  $z_{i-1}$  на кут  $-\phi_i$ , доти, поки вісь  $x_i$  не стане паралельною осі  $x_{i-1}$  (позитивний напрямок повороту при спостереженні з кінця вектора  $z_{i-1}$  проти годинникової стрілки).

Необхідно відзначити, що знак кута повороту не має значення, тому що в матрицях переходу використовуються напрямні косинуси (парні функції). Доцільно розглядати кут, що забезпечує найкоротший поворот осі старої системи  $i$  до сполучення (паралельності) з відповідною віссю нової  $(i-1)$ . Переміщення початку координат визначаються як координати початку старої системи  $O_i$  у новій  $O_{i-1}$ .

У маніпуляторах звичайно використовуються однорухливі кінематичні пари або обертальні, або поступальні. Обоє відносних руху як обертальний, так і поступальне, реалізуються в циліндричних парах. Тому при загальній виставі механізму використовуються циліндричні пари (рис. 43).

Матриці переходу їх системи  $O_i$  у систему  $O_{i-1}$  можна записати так:

$$M_i = M_i^\theta \cdot M_i^a \cdot M_i^s \cdot M_i^\phi,$$

$$\text{де } M_i^\theta = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta_i & 0 \\ 0 & \sin \theta_i & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \text{ - матриця повороту навколо осі } x_i \text{ на кут } -q_i;$$

$$M_i^\alpha = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & \alpha_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \text{ - матриця переносу уздовж осі } x_i \text{ на } -a_i;$$

$$M_i^s = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & s_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \text{ - матриця переносу уздовж осі } z_{i-1} \text{ на } -s_i;$$

$$M_i^\varphi = \begin{vmatrix} \cos \varphi_i & -\sin \varphi_i & 0 & 0 \\ \sin \varphi_i & \cos \varphi_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \text{ - матриця повороту навколо осі } z_{i-1} \text{ на кут } -j_i.$$

У цих матрицях змінні  $s_i$  і  $j_i$  відповідають відносним переміщенням ланок у кінематичних парах і є узагальненими координатами маніпулятора, що визначають конфігурацію механізму в розглянутому положенні. Змінні  $a_i$  і  $q_i$  визначаються конструктивним виконанням ланок маніпулятора, у процесі руху вони залишаються незмінними.

Положення деякої довільної крапки  $M$  у системі координат ланки  $i$  визначається вектором  $\bar{r}_{mi}$ , а в системі координат ланки  $(i-1)$  – вектором  $\bar{r}_{m(i-1)}$ . Ці радіуси зв'язані між собою через матрицю перетворення координат  $M_i$  наступним рівнянням:

$$\bar{r}_{M_{i-1}} = M_i \cdot \bar{r}_{M_i},$$

$$\text{де } M_i = \begin{vmatrix} \cos \varphi_i & -\cos \theta_i \cdot \sin \varphi_i & \sin \varphi_i \cdot \sin \theta & \alpha_i \cdot \cos \varphi_i \\ \sin \varphi_i & \cos \theta_i \cdot \cos \varphi_i & -\cos \varphi_i \cdot \sin \theta_i & \alpha_i \cdot \sin \varphi_i \\ 0 & \sin \theta_i & \cos \theta_i & s_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \text{ - матриця переходу з } i\text{-ої системи координат в } (i-1).$$

Розглянемо маніпулятор у вихідному або початковому положенні (рис. 12). За початкове положення ухвалюється таке, у якому всі відносні узагальнені координати дорівнюють нулю. Перехід із системи координат будь-якого  $i$ -го ланки до нерухливої або базовій системі записується у вигляді

$$\bar{r}_{M_0} = M_1 \cdot M_2 \cdot \dots \cdot M_i \cdot \bar{r}_{M_i}, \text{ або } \bar{r}_{M_0} = T_i \cdot \bar{r}_{M_i},$$

де  $T_i = M_1 \cdot M_2 \cdot \dots \cdot M_i$  - матриця перетворення координат  $i$ -ої системи в координати базової системи координат.

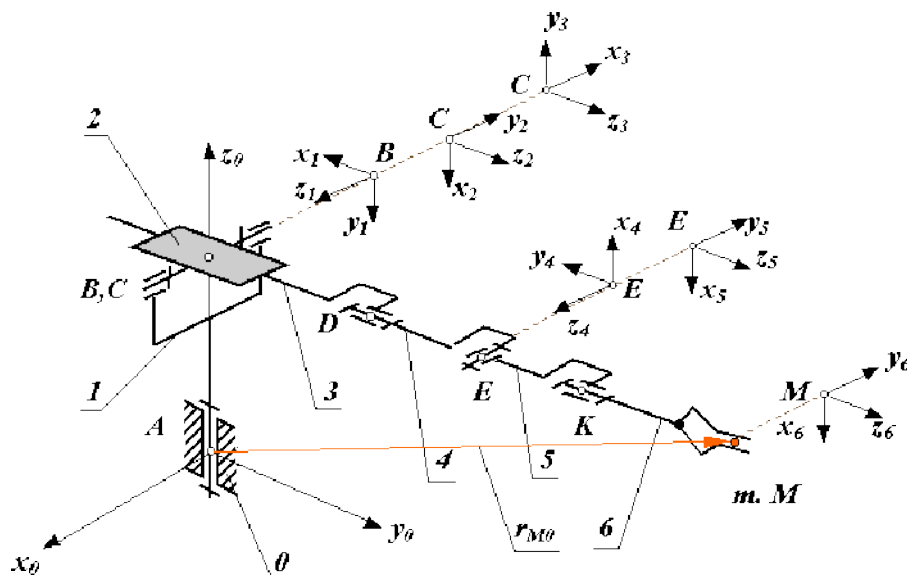


Рис. 44

Для схеми, зображеної на рис. 44, радіус  $r_{M6} = 0$ , а радіус  $r_{M0}$  визначиться по формулі  $\bar{r}_{M0} = T_n = T6$ , тобто положення вихідної ланки маніпулятора визначається матрицею  $T_n$ . Елементи цієї матриці визначають положення центру схвату крапки М і орієнтацію його в просторі. Четвертий стовпець визначає, декартові координати крапки М (проекції вектора  $r_{M0}$  на осі координат). Третій стовпець містить напрямні косинуси осі  $z_n$  системи координат, зв'язаної зі схватом, або вектора підходу  $\bar{A}$ , який характеризує напрямок губок схвату (рис. 45). Другий стовпець визначає напрямок осі  $u_n$  або вектора орієнтації  $\bar{O}$ , який проходить через центр схвату по осі перпендикулярної робочим поверхням його губок. У першому стовпці втримуються напрямні косинуси осі  $x_n$  або вектора. Кутом підходу схвату  $\alpha$  називається кут між вектором підходу  $\bar{A}$  й базовим вектором

$$R_\alpha = (\bar{O} \cdot \bar{k}_0),$$

де  $\bar{k}_0$  - орт вектора  $\bar{z}_0$  нерухливої або базової системи координат. З обліком сказаного, матриця  $T_n$  може бути представлена в наступному вигляді

$$T_n = \begin{pmatrix} (\bar{O} \cdot \bar{A})_x & O_x & A_x & r_{nMx} \\ (\bar{O} \cdot \bar{A})_y & O_y & A_y & r_{nMy} \\ (\bar{O} \cdot \bar{A})_z & O_z & A_z & r_{nMz} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

У результаті матричних перетворень одержуємо радіус-вектор крапки М схвату у функції узагальнених координат. Звичайно, за узагальнені координати ухвалюють лінійні й кутові переміщення в кінематичних парах або на вихідних валах приводів маніпулятора. У механізмі з  $n$  рухомостями в загальному виді функцію положення схвату можна записати так

$$\bar{r}_{OM} = T_n \cdot \bar{A} = \bar{P}(q_1, q_2, \dots, q_n),$$

де  $q_1, q_2, \dots, q_n$  - узагальнені координати маніпулятора.

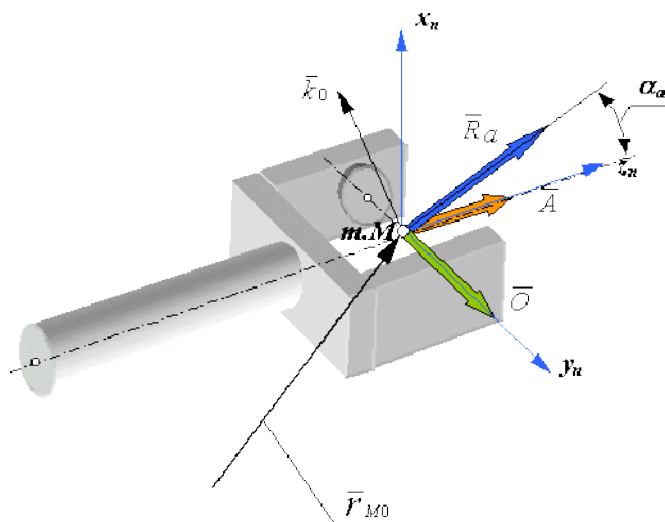


Рис. 45

При кінематичному аналізі маніпулятора в прямому завданні необхідно визначити лінійні й кутові швидкості й прискорення схвата при заданих кутових і лінійних узагальнених швидкостях і прискореннях (звичайно відносних швидкостях і прискореннях у кінематичних парах механізму). У зворотному завданні за заданим законом зміни швидкостей і прискорень схвата визначаються закони зміни швидкостей і прискорень у кінематичних парах або на вихідних ланках приводів. Розв'язок прямого завдання кінематики для точки М схвата можна одержати продиференціювавши четвертий стовпець матриці  $T_n$  за часом

$$r_{nM} = \begin{vmatrix} r_{nMx} \\ r_{nMy} \\ r_{nMz} \\ 1 \end{vmatrix}; \quad V_{nM} = \frac{dr_{nM}}{dt} = \begin{vmatrix} V_{nMx} \\ V_{nMy} \\ V_{nMz} \\ 1 \end{vmatrix}; \quad a_{nM} = \frac{d^2 r_{nM}}{dt^2} = \begin{vmatrix} a_{nMx} \\ a_{nMy} \\ a_{nMz} \\ 1 \end{vmatrix}.$$

Кутову швидкість і кутове прискорення схвата можна визначити векторним підсумовуванням відносних кутових швидкостей в обертових кінематичних парах механізму. Тому що вектора кутових швидкостей, при даному виборі орієнтації осей координат, збігаються з віссю z, те кутова швидкість схвата

$$\bar{\omega}_n = \sum_{i=1}^m \bar{k}_{i-1} \cdot \omega_{i,i-1}$$

де  $\bar{k}_{i-1}$  - орт осі z системи координат, розташованої в центрі кінематичної пари, що з'єднує ланка i і ланка i-1, m - число обертових кінематичних пар у механізмі.

Диференціюючи це вираження за часом, одержимо формулу для визначення кутового прискорення схвата:

$$\bar{\varepsilon}_n = \sum_{i=1}^m \bar{k}_{i-1} \cdot \varepsilon_{i,i-1} + \sum_{j=2}^m \left[ \left( \sum_{k=l-1}^{m-1} \bar{k}_{i-1} \cdot \omega_k \right) \times (\bar{k}_{j-1} \cdot \omega_j) \right].$$

### Динаміка маніпуляторів та промислових роботів. Силві розрахунки маніпулятора.

З великої різноманітності завдань динаміки маніпуляторів розглянемо дві: силів розрахунки й розрахунки швидкодії робота. При силі розрахунках маніпуляторів вирішується завдання по визначенню зовнішніх силі керуючих впливів, що забезпечують необхідний закон руху механізму, і за розрахунками реакцій у кінематичних парах. Першу частину часто називають завданням синтезу керування. При силі розрахунках звичайно застосовується метод кінетостатики, заснований на принципі Даламбера. По цьому методу

до зовнішніх сил і моментам, прикладеним до ланок механізму, додаються розрахункові сили інерції, які забезпечують силову рівноваженість системи й дозволяють розглядати рухливу систему у квазістатичній рівновазі, тобто, як умовно нерухливу. Силові розрахунки виконуються при заданому корисному навантаженні  $\bar{F}_n$ , відомих законах руху ланок  $\bar{\alpha}_{si}$  і  $\bar{\varepsilon}_i$  (з попереднього кінематичного розрахунків), відомих інерційних характеристиках ланок: масах ланок  $m_i$  і їх моментах інерції  $I_{si}$ . За цим даними визначаються головні вектора  $\bar{F}_{ni} = -m_i \cdot \bar{\alpha}_{si}$  й головні моменти  $\bar{M}_{in} = -I_{si} \cdot \bar{\varepsilon}_i$  сил інерції для кожного з ланок механізму. Для відкритого кінематичного ланцюга розв'язок починаємо з вихідної ланки (схвата). Відкинуті зв'язки ланки  $n$  з ланкою  $n-1$  й вихідним валом привода ланки  $n$  заміняємо реакціями  $\bar{M}_{n,n-1}$  і  $\bar{F}_{n,n-1}$  й становимо кинетостатичні векторні рівняння рівноваги сил і моментів для ланки  $n$  (рис. 46):

$$\bar{G}_0 + \bar{G}_n + \bar{F}_{un} + \bar{F}_{u0} + \bar{F}_{n,n-1} = 0;$$

$$\bar{M}(\bar{G}_n) + \bar{M}(\bar{G}_0) + \bar{M}(\bar{F}_{un}) + \bar{M}(\bar{F}_{u0}) + \bar{M}_{un} + \bar{M}_{n,n-1} + \bar{M}(\bar{F}_n) = 0,$$

де  $\bar{M}_{n,n-1}$  - вектор моменту в кінематичній парі (проекція цього вектора на вісь  $z$  є рушійним моментом привода в кінематичній парі, тобто  $\bar{M}_{z(n,n-1)} = \bar{M}_{d(n,n-1)}$ ).

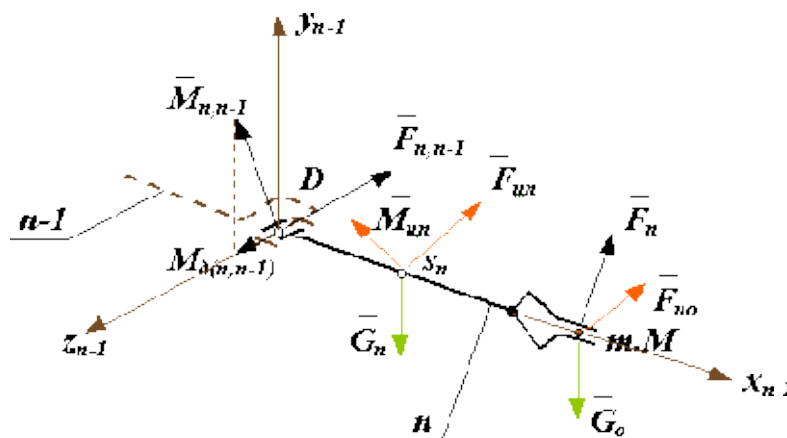


Рис. 46

Проектуючи векторні рівняння на осі координат, одержимо систему шести алгебраїчних рівнянь, звідки визначимо шість невідомих

$$F_{x(n,n-1)}, F_{y(n,n-1)}, F_{z(n,n-1)}, M_{x(n,n-1)}, M_{y(n,n-1)}, M_{z(n,n-1)} = M_{d(n,n-1)};$$

Далі розглядається рівновага ланки  $n-1$ . При цьому в місці його приєднання до ланки  $n$  прикладаються реакції з боку ланки  $n$

$$F_{x(n-1,n)}, F_{y(n-1,n)}, F_{z(n-1,n)}, M_{x(n-1,n)}, M_{y(n-1,n)}, M_{z(n-1,n)} = M_{d(n-1,n)},$$

рівні по величині й протилежні по напрямкові реакціям, певним на попередньому етапі розрахунків. Так послідовно складаються рівняння силової рівноваги для всіх  $n$  ланок механізму. З розв'язку отриманої системи  $6n$  рівнянь визначаються реакції в кінематичних парах, рушійні сили й моменти.

### Розрахунки швидкодії маніпулятора

Час виконання роботом циклу переміщень деталі багато в чому визначає продуктивність усього роботизованого комплексу. Тому вимоги до швидкодії маніпулятора звичайно достатньо високі. Час виконання роботом технологічної операції обумовлене законами зміни зовнішніх сил (рушійних і опору) і інертністю ланок механізму. Закон зміни керуючих сил залежить від типу використовуваного привода й від виду системи керування. Існують роботи з гідравлічними, пневматичними, електричними й комбінованими

приводами. У них застосовуються циклові, позиційні або контурні системи керування. Розглянемо розрахунки швидкодії одного із приводів маніпулятора із цикловою системою керування. При цикловій системі керування відносні переміщення ланок обмежуються пересувними упорами й кінцевими вимикачами.

На рис. 47 зображена кінематична схема маніпулятора (1,2,3 - рухливі ланки, 0 - нерухлива ланка). Тут же наведена циклограма настроювання командоапарата (суцільні лінії) і циклограма роботи маніпулятора (пунктирні лінії). Загальний час робочого циклу  $T_{\text{ц}}$  складається із часу встоя в заданих положеннях (на циклограмі вистій показаний прямими паралельними горизонтальної осі  $t$ ) і часу відносних переміщень ланок з одного заданого положення в інше  $t_{\text{пх}}$  і назад  $t_{\text{ох}}$  (похилі прямі на діаграмах). Час встоя звичайно задане умовами технологічного процесу. Час виконання роботом рухів визначається динамічними характеристиками приводів і маніпулятора - рушійними силами й силами опору, масами й моментами інерції ланок.

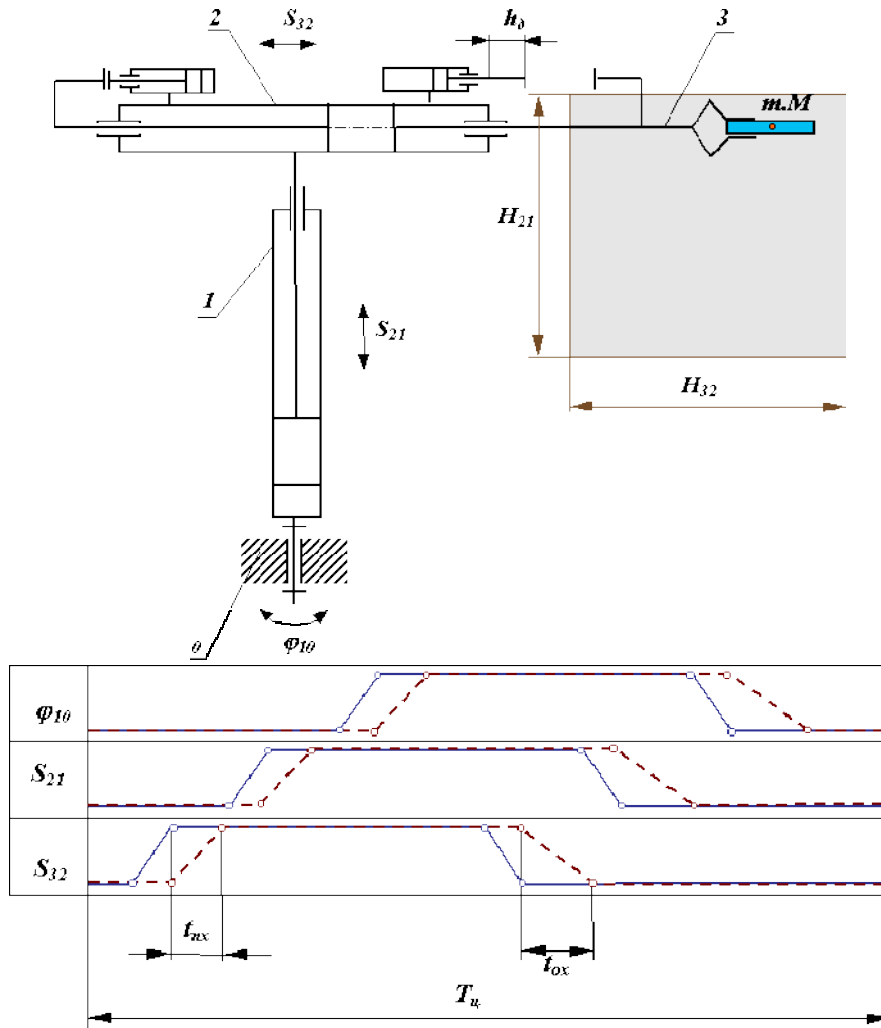


Рис. 47 - Циклограми командоапарата й промислового робота

Розглянемо роботу пневмопривода переміщення руки маніпулятора (рис. 48). По сигналу від командоапарата в праву порожнину циліндра подається стиснене повітря, яке діє на поршень із силою  $F_{\text{д3}} = pS_{\text{п}}$ , де  $p$  - тиск повітря,  $S_{\text{п}}$  - активна площа поршня. Під дією цієї сили поршень і рука 3 переміщуються вліво з постійним прискоренням і зі зростаючою швидкістю  $V_{32}$  (рис. 48,а). Обмеження ходу поршня може здійснюватися або жорстким упором без демпфера, або упором з демпфером.



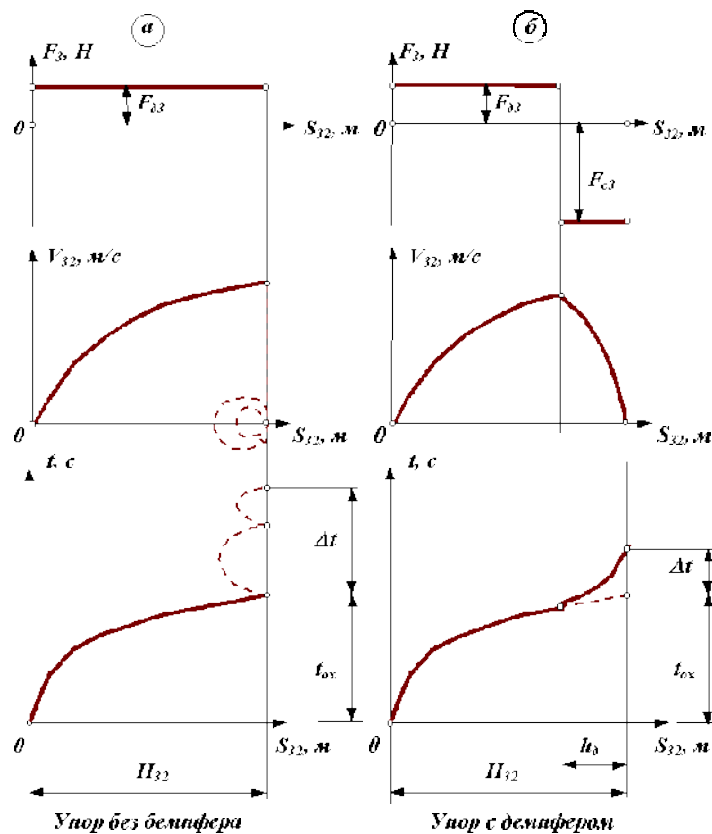


Рис. 48

При зупинці на упорі без демпфера, швидкість ланки 3 повинна миттєво поменшуватися з деякого кінцевого значення до нуля. При такій зміні швидкості прискорення  $a_{32}$  прямує до нескінченності. Така зупинка ланки називається твердим ударом. Вона супроводжується більшими динамічними навантаженнями на ланки механізму. Тому що реальний маніпулятор являє собою пружно-інерційну систему, те ці навантаження викличуть відскік ланки 3 від упору, а також коливання всього механізму. Схват буде робити коливання щодо заданого кінцевого положення. Час загасання цього процесу  $Dt$  (рис. 16,а) значно знижує швидкодія маніпулятора.

Зменшити ці коливання або взагалі виключити їх можна, забезпечивши ненаголошений останов  $V_{32n}=0$ ,  $a_{32n}=0$ ; де  $V_{32n}$ ,  $a_{32n}$  - відносна швидкість і відносне прискорення ланок у момент останова. Однак це здійсненне тільки в регульованому приводі при контурному керуванні. Крім того при останові наприкінці ходу відносна швидкість близька до нуля, тому час переміщення схвата в необхідне положення значно зростає. Компромісним розв'язком є останов з м'яким ударом, при якому відносна швидкість наприкінці ходу  $V_{32n}=0$ , а прискорення обмежене деяким припустимим значенням  $a_{32n} \leq [a]$ . У механізмах із цикловим керуванням режим руху з м'яким ударом забезпечується установкою упорів з демпферами, що гасять кінетичну енергію руки. Розрахунки демпфера ведеться з умови  $A_{sp}=0$ , яке забезпечується рівністю за цикл руху роботи рушійної сили  $A_{Fд3}$  і роботи сили опору демпфера  $A_{Fc}$  (рис. 16,б):

$$A_{Fд3} = -A_{Fc}, \text{ або } F_{д3}(H_{32-нд}) = -F_c h_d.$$

У цім вираженні невідомі дві величини  $F_c$  і  $h_d$ . Однієї з них задаються, другу - розраховують.

### Зрівноважування маніпуляторів

У більшості кінематичних схем маніпуляторів приводи сприймають статичні навантаження від сил ваги ланок. Це вимагає значного збільшення потужностей двигунів приводів і моментів гальмових пристроїв. Для боротьби із цим використовують три методи:

Використовують кінематичні схеми маніпуляторів, у яких сили ваги ланок сприймаються підшипниками кінематичних пар. На потужність приводів і гальмових

пристроїв при такому розв'язку сили ваги впливають тільки через сили тертя в парах. Як приклад можна привести кінематичну схему маніпулятора (рис. 49). Недоліком цього методу є більші осьові навантаження в підшипниках.

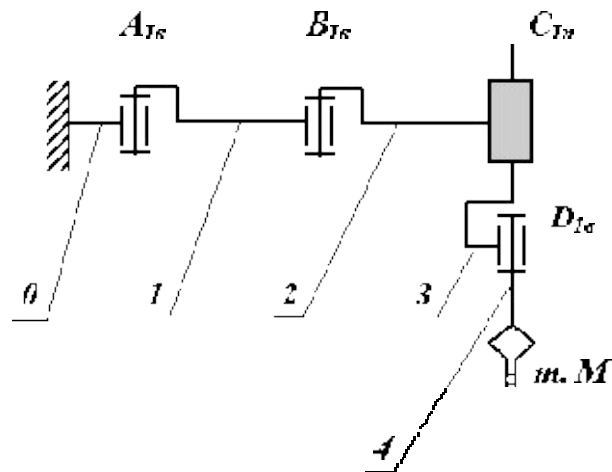


Рис. 49

Зрівноважування ланок маніпулятора за допомогою коректування їх маси. При цьому центр мас ланки за допомогою коригувальних мас зміщується в центр кінематичної пари (рис. 50). Недоліком цього методу є значне збільшення маси маніпулятора й моментів інерції його ланок.

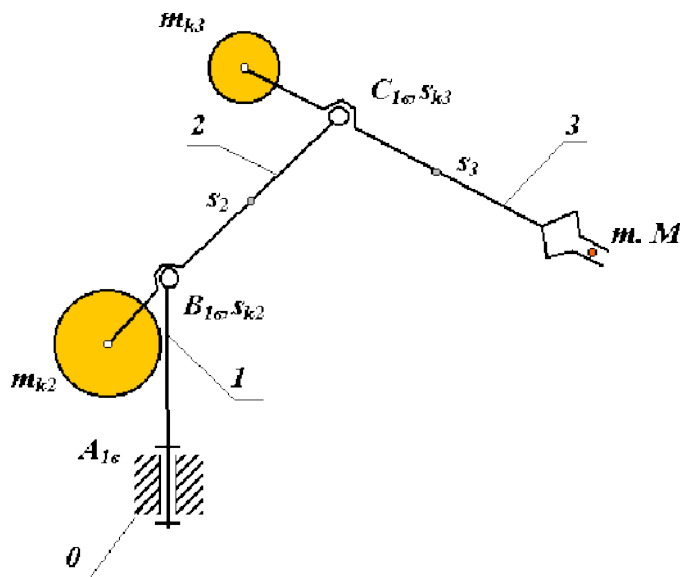


Рис. 50

Зрівноважування сил ваги ланок маніпулятора за допомогою пружних пристроїв, що розвантажують, - пружинних розгрузателів або урівновешивателів. Ці пристрої не дозволяють забезпечити повне розвантаження приводів від дії сил ваги на всьому відносному переміщенні ланок. Тому конструкція цих пристроїв включає кулачкові або важільні механізми, які погодять пружну характеристику пружини з характеристикою сил, що врівноважуються, ваги ланок. На рис. 51 показана схема маніпулятора в якому привод вертикального переміщення руки постачений механізмом для силового розвантаження, що полягають із пружини й кулачкового механізму із профілем, виконаним по спіралі Архімеда.

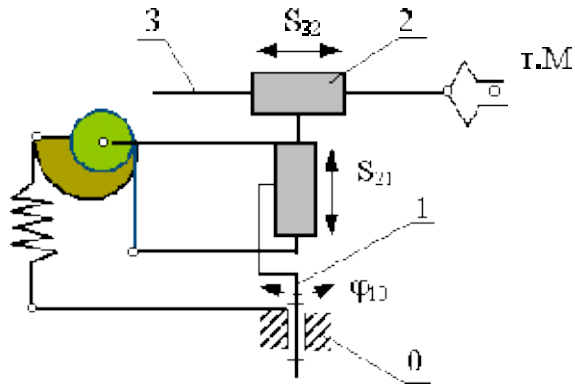


Рис. 51

### Точність маніпуляторів

Точність маніпуляторів визначається погрішностями позиціонування характеристичної крапки схвата (точка М) і погрішностями кутової орієнтації схвата. Погрішності позиціонування визначаються технологічними відхиленнями розмірів ланок маніпулятора, зазорами в кінематичних парах маніпулятора й механізмів приводів, деформаціями (пружними й температурними) ланок, а також погрішностями системи керування й датчиків зворотному зв'язку. У паспортних даних маніпуляторів вказується максимально припустиме відхилення центру схвата маніпулятора крапки М від її номінального розташування на безлічі можливих конфігурацій механізму. У результаті погрішностей крапка М описує в просторі деякий еліпсоїд, який називається еліпсоїдом відхилень (рис. 52).

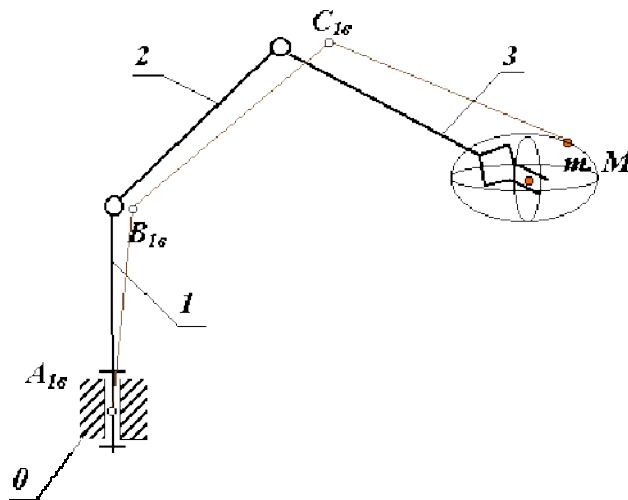


Рис. 52

### Лекція 9-10. Визначення економічної ефективності застосування роботів або маніпуляторів

При установці одного ПР до кожного верстата (пресу, ливарній машині й т.п.) простий основного встаткування, пов'язаний з обслуговуванням, може бути мінімальним, однак це часто приводить до необґрунтованого збільшення числа ПР і зниженню коефіцієнта їх використання. При обслуговуванні роботом групи верстатів необхідно забезпечити зниження простоїв як ПР, так і основного технологічного встаткування.

При обслуговуванні одним ПР групи машин, що працюють у режимі автоматичної лінії, їх оптимальну кількість установлюють виходячи із заданого темпу роботи лінії  $T_n$  і несполученого з роботою основного встаткування часу  $t$ , затрачуваного роботом для обслуговування однієї технологічної позиції

$$n < \frac{T_{\text{д}}}{t} + 1$$

У загальному випадку оптимальне число одиниць основного технологічного встаткування, імовірні значення його додаткових простоїв і коефіцієнт використання ПР можуть бути знайдені побудовою впорядкованого ряду обслуговування, якщо відомі конкретні значення  $T_i$  і  $t_i$ . Однак при широкій номенклатурі оброблюваних деталей і частій зміні об'єктів виробництва, а також при незалежній роботі встаткування доцільно вже на стадії проектування провести орієнтовну оцінку показників.

При закріпленні за ділянкою з  $n$  одиниць устаткування, що обслуговуються одним ПР, номенклатури деталей, тривалість основного часу обробки яких  $T_i$  розподілена в інтервалі  $(a-b)$  за законом  $P = F(T)$ , з достатньої для практики точністю можна вважати, що ймовірність обслуговування роботом у випадковий момент часу  $i$ -го верстата

$$P_1 = \frac{t_i}{T_i + t_i}.$$

Імовірність збігу періоду обслуговування  $k$  одиниць устаткування дорівнює добутку ймовірностей

$$P_{1;2;\dots;k} = P_1 P_2 P_3 \dots P_k.$$

Простої основного встаткування ділянки:

При обслуговуванні роботом двох верстатів

$$П_2 = P_{1;2} = P_1 P_2;$$

При обслуговуванні роботом ділянки із трьох верстатів

$$П_3 = P_{1;2} + P_{2;3} + P_{3;1} - P_{1;2;3};$$

При обслуговуванні ділянки із чотирьох верстатів

$$П_4 = 6(P_{1;2} - P_{1;2;3}) + 4(2P_{1;2;3} - P_{1;2;3;4}) + 3P_{1;2;3;4}.$$

Середні значення величин  $\bar{P}_1; \bar{P}_{1;2}; \bar{P}_{1;2;3}$  і т.д. можуть бути знайдені виходячи із закону розподілу  $P = F(T)$ .

При підстановці  $\tau = T/t$  одержимо

$$P = \int_a^b \frac{1}{\tau + 1} \cdot F(\tau) \cdot d\tau.$$

Для більшості законів розподілу обчислення інтеграла у квадратурах важко, і для знаходження шуканих значень слід користуватися методами чисельного інтегрування.

Коефіцієнт використання ПР при обслуговуванні  $n$  одиниць устаткування

$$K_P = \frac{1}{(\tau + 1) \cdot (1 + \frac{П_n}{n})},$$

де  $П_n$  - сумарні простої ділянки.

**Оцінка економічної ефективності** повинна проводитися на основі положень методики з обліком галузевих методичних вказівок і інструкцій з конкретних видів техніки, розроблених на її базі. Рекомендації з розрахунків економічної ефективності ПР із урахуванням соціальних факторів, що супроводжують процесу створення й впровадження роботів, етапи й послідовність розрахунків, що приводяться в цьому розділі, засновані на загальних методичних положеннях загальнодержавних і галузевих документів, що встановлюють порядок визначення.

На стадії проектування й освоєння випуску для техніко-економічного обґрунтування вибору конструкції основними критеріями оцінки економічної ефективності є економічний ефект від застосування одного ПР за весь строк його експлуатації; економічний ефект на весь обсяг виробництва ПР у розрахунковому році (при серійному випуску за розрахунковий

рік ухвалюють другий рік спочатку промислового виробництва); додатковий економічний ефект, одержуємо за рахунок соціальних факторів, пов'язаний зі зміною умов праці робітників, - так званий додатковий соціально-економічний ефект; строк окупності додаткових капітальних вкладень виготовлювача й споживача ПР.

На стадії впровадження ПР основними критеріями оцінки економічної ефективності служать річний економічний ефект, одержуємо споживачем при експлуатації одного ПР; додатковий соціально-економічний ефект; строк окупності додаткових капітальних вкладень споживача.

Економічну ефективність нової техніки встановлюють при зіставленні капітальних вкладень, пов'язаних із придбанням встаткування, і собівартості продукції, виробленої за допомогою цього встаткування, по двом варіантам: новому й базовому.

При визначенні економічної ефективності ПР слід розглядати як машини широкого призначення, відмітною ознакою яких є здатність до переналадження. Клас ПР сполучає в собі ознаки засобів автоматизації допоміжних операцій (підйомно-транспортні промислові роботи – ПТПР) і ознаки, властиві основному технологічному встаткуванню (виробничі промислові роботи – ППР).

Економічний ефект від створення й застосування ППР розраховують так само, як і ефект від застосування основного технологічного встаткування нових типів (обробних машин, зварювальних, гибочних або складальних автоматів і т.п.).

ПТПР, призначені для обслуговування основного технологічного встаткування, повинні розглядатися як складові комплексу “основне технологічне встаткування – робот”.

Економічну ефективність ПТПР, що виконують транспортні або складські операції, визначають, порівнюючи з ефективністю машин або механізмів аналогічного призначення.

Універсальні ПР (УПР) сполучають у собі ознаки, властиві засобам автоматизації допоміжних операцій і основному технологічному встаткуванню.

Додатковий соціально-економічний ефект від використання ПР являє собою економію, одержувану за рахунок скорочення витрат на охорону здоров'я й соціальне забезпечення у зв'язку зі зменшенням травматизму й захворювань, зниження втрат, пов'язаних з особливостями участі людини у виробничому процесі (стомлюваність, нестабільність якості продукції, неритмічність роботи протягом зміни й т.п.).

**На стадії проектування й освоєння виробництва** за базу порівняння ухвалюють показники кращої техніки, що мають порівнянні технічні параметри. Тому при виборі базового варіанта необхідно сформулювати всі конструктивно-технологічні вимоги до нового ПР, що дозволяють установити відповідність функціональних можливостей розроблювальної роботи передбачуваної області застосування.

У якості базового варіанта при порівнянні ухвалюють ПР із порівнянними технологічними можливостями й технічними показниками.

У випадку відсутності аналога як бази порівняння ухвалюють:

- для ППР - передове технологічне встаткування, використовуване для виконання тих же операцій;

- для ПТПР, призначених для роботи в комплексі з технологічним устаткуванням, - ті ж моделі встаткування, але з ручним обслуговуванням;

- для ПТПР, що працюють автономно й виконуючих складські або транспортні операції, - спеціальне транспортно-складське встаткування або ручні операції;

- для УПР, коли область їх застосування застережена технічним завданням, - устаткування, обране залежно від призначення УПР.

Якщо область застосування УПР не встановлена, розрахунки повинен проводитися для декількох варіантів використання УПР – як у якості ППР, так і ПТПР. Економічний ефект від створення УПР визначають у цьому випадку по середнім квадратичним показником, отриманим у результаті серії розрахунків.

**На стадії впровадження ПР у виробництво** як базовий варіант при порівнянні ухвалюють замінну техніку.

При виборі базового варіанта загальними для всіх груп ПР параметрами порівняльності є основні технічні показники: вантажопідйомність (кг), число ступенів рухливості, обсяг робочої зони ( $m^3$ ), погрішність позиціонування ( $\pm$  мм), коефіцієнт досконалості  $K_c$  і комплексний показник

надійності  $K_H$  конструкції. Додатковими параметрами порівняльності є:

- для ППР - номенклатура виконуваних операцій і час їх виконання;
- для ПТПР - те ж і номенклатура моделей устаткування, що обслуговується.

Технічні показники базової й нової моделі ПР можна порівнювати за допомогою умовного коефіцієнта досконалості конструкції ПР  $K_c$  і комплексного показника надійності  $K_H$

$$K_c = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8,$$

де  $K_1 = V_2/V_1$  - коефіцієнт, що враховує обсяг робочої зони;  $V_2 = (1 \pm 0,3) \cdot V_1$ ;

$K_2 = t_{ц_1}/t_{ц_2}$  - коефіцієнт, що враховує цикл ПР (час виконання заданого обсягу операцій):  $t_{ц_2} \leq t_{ц_1}$ ;

$K_3 = t_{H_1}/t_{H_2}$  - коефіцієнт, що враховує витрати часу на переналагодження ПР:  $t_{H_2} \leq t_{H_1}$ ;

$K_4 = Q_2/Q_1$  - коефіцієнт, що враховує вантажопідйомність  $Q$  однієї руки ПР:  $Q_2 = (1 \pm 0,2) \cdot Q_1$ ;

$K_5 = n_{об_1}/n_{об_2}$  - коефіцієнт, що враховує кількість устаткування (або робочих позицій)  $n_{об}$ , що обслуговується одним ПР у складі комплексу;

$K_6 = \Delta_1/\Delta_2$  - коефіцієнт, що враховує погрішність позиціонування  $\Delta$ :  $\Delta_2 \leq \Delta_1$ ;

$K_7 = n_{H_2}/n_{H_1}$  - коефіцієнт, що враховує номенклатуру моделей устаткування, яке здатний обслужити ПР (або номенклатуру операцій, виконуваних роботом):  $n_{H_2} \geq n_{H_1}$ ;

$K_8 = \eta_2/\eta_1$  - коефіцієнт, що враховує число ступенів рухливості  $\eta$  ПР:  $\eta_2 = \eta_1 \pm 2$ .

Комплексний показник надійності конструкції

$$K_H = \frac{T_0}{T_0 + T_B},$$

де  $T_0$  – наробіток на відмову, годин;

$T_B$  – середній час відновлення працездатності ПР, годин.

ПР може бути рекомендований для розробки, якщо  $K_c > 1$ , а  $K_{H_2} \geq K_{H_1}$ .

### Рекомендована література

1 Никитин К.Д. и др. Основы робототехники. - Красноярск: Изд-во Красноярского университета, 1986. – 208с.

2 Козырев Ю.Г. Промышленные роботы. Справочник - М.: Машиностроение, 1988. - 392с.

3 Челнаков И.Б., Калашников С.Н. Схваты промышленных роботов. - Л.: Машиностроение, 1989. – 287с.

4 Костюк В.И. и др. Промышленные роботы. Киев: Вища школа, 1985. - 360с.

5 Спиноу Г.А. Промышленные роботы. Конструирование и применение. Киев: Вища школа, 1985. - 176с.

6 Детали и механизмы роботов. Основы расчета, конструирование и технология производства. Под ред. Б.Б.Сомотокина. - Киев: Вища школа, 1990. - 343с.

7 Сбалансированные манипуляторы / И.Л.Владов, В.Н.Данилевский, П.Б.Ионов и др.; Под ред П.Н.Белянина. - М.: Машиностроение, 1988. - 264 с.