

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Г. І. Костюк, О. О. Баранов, Ю. В. Широкий

КОНСТРУЮВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

Навчальний посібник

Харків «ХАІ» 2020

УДК 621.865
К64

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. С. С. Добротворський,
д-р техн. наук, проф. М. К. Резниченко

Костюк, Г. І.

К64 Конструювання промислових роботів [Текст] : навч. посіб. /
Г. І. Костюк, О. О. Баранов, Ю. В. Широкий. — Харків : Нац. аерокосм.
ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2020. — 136 с.

ISBN 978-966-662-757-8

Проаналізовано історію становлення поняття інженерної діяльності, розкрито основні поняття й аспекти сучасної інженерної діяльності, висвітлено комплекс питань, пов'язаних із формуванням і становленням професійної діяльності інженерів. Розглянуто роль і значення технічних наук для розвитку техніки та інженерії. Докладно описано роль і місце інженерів у сучасному суспільстві. Наведено приклади сучасної інженерної діяльності, зокрема робототехніки.

Для студентів вищих технічних закладів, що навчаються за спеціальностями «Прикладна механіка», «Галузеве машинобудування». Буде корисним при вивченні дисциплін «Основи гнучкого виробництва», «Інженерія логістичних систем», «Конструювання устаткувань для автоматизованого виробництва» та курсів, пов'язаних із застосуванням нових технологій у машинобудуванні та інших галузях промисловості.

Іл. 82. Табл. 10. Бібліогр.: 11 назв

УДК 621.865

ISBN 978-966-662-757-8

© Костюк Г. І., Баранов О. О., Широкий Ю. В.,
2020

© Національний аерокосмічний
університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», 2020

1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ

Розгляд промислових роботів доцільно починати з визначення основних понять промислових роботів (ПР) та їх складових частин: виконавчий пристрій, робочий орган – пристрій керування (рис.1.1).

Промисловий робот – це автономно функціонуюча машина-автомат, призначена для відтворення деяких рухових і розумових функцій людини при виконанні допоміжних і основних виробничих операцій без безпосередньої участі людини і наділена для цього деякими його здібностями (слухом, зором, дотиком, пам'яттю і т. п.), а також здатністю до самонавчання, самоорганізації й адаптації, тобто до пристосування до зовнішнього середовища.

Виконавчий пристрій ПР – пристрій, що виконує всі його рухові функції. У загальному випадку до складу ПР входять маніпулятор і пристрій пересування.

Робочий орган призначений для безпосереднього виконання технологічних операцій і (або) допоміжних переходів. Робочим органом маніпуляційних ПР, розглянутих у цьому посібнику, є захоплювальний пристрій.

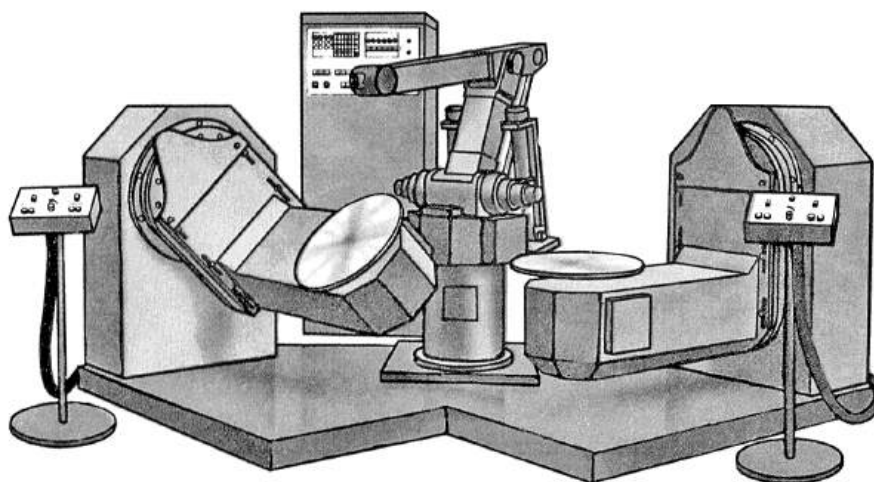


Рис. 1.1. Робототехнічний комплекс

Пристрій керування ПР призначений для формування і видачі керуючих впливів виконавчому пристрою відповідно до керуючої програми. Функціональні можливості ПР багато в чому визначаються системою програмного керування (СПК) та характером відпрацювання програм. Розрізняють роботи з цикловим, числовим програмним управлінням, а також адаптивні роботи.

Маніпулятор – пристрій, призначений для виконання рухових функцій, аналогічних функціям руки людини, оснащений робочим органом та керується оператором або автоматичною системою.

Механічна рука – це автоматичний (без участі у керуванні людини) пристрій для виконання допоміжних і транспортних виробничих операцій, переналагодження якого з однієї операції на іншу потребує регулювання або заміни кінематичних ланок (подовження або укорочення важелів, заміни кулачків, перестановки упорів та ін.). В основі керування механічною рукою лежить циклова автоматика – використання упорів, кінцевих вимикачів та релейних схем. Прикладом таких пристроїв є механічні руки, що застосовуються в автоматичних лініях для установлення і знімання оброблюваних деталей на верстатах, що входять до лінії.

Можливість виконання однієї або кількох простих операцій, наявність жорсткої програми, складність і тривалість переналагодження, що потребує зупинки, а також відсутність людини у ланцюгу керування є головними спільними ознаками механічних рук, які мають досить великий попит у виробництві (рис. 1.2).

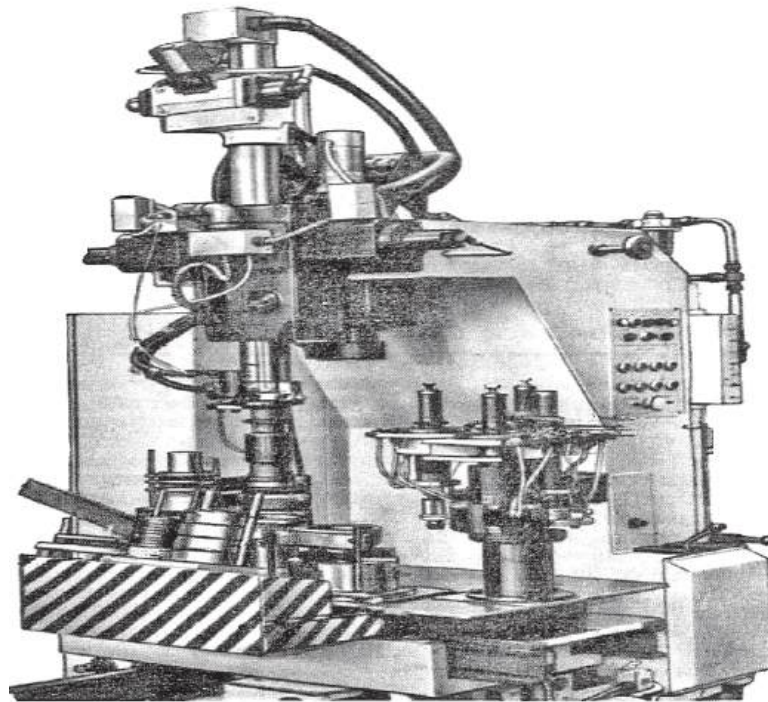


Рис. 1.2. Комплекс на базі робота РВ-50Ф2

Телеоператор – це пристрій з дистанційно керованим виконавчим (робочим) органом для виконання допоміжних і основних виробничих операцій, керованих людиною, яка за своїм бажанням здійснює перехід (переналагодження) від однієї операції до іншої (в межах можливих операцій). Телеоператори використовують для роботи у дуже важких умовах. Прикладом пристроїв типу телеоператора є «Луноход-1» і «Луноход-2», використані при вивченні Місяця для оцінювання властивостей місячного ґрунту, переміщення телекамери і обстеження особливостей місячної поверхні.

До телеоператорів належать також пристрої для подачі й поворотів нагрітої заготовки при відкритому куванні, для засипки шихти у плавильні печі та інші машини, які керуються людиною-оператором (у тому числі автооператорами для роботи з радіоактивними ізотопами).

Можливість виконання великої кількості простих операцій, відсутність програми, обов'язкова участь людини у керуванні, простий перехід (переналагодження) від однієї операції до іншої в різних послідовностях без припинення роботи, обмеженість кількості виконуваних виробничих операцій є основними ознаками телеоператорів.

При керуванні телеоператорами використовуються величезні інформаційні та адаптивні здібності людського мозку, тому телеоператори дуже широко застосовуються для робіт у небезпечному для людини середовищі, у тому числі для роботи в космічному просторі (рис. 1.3).

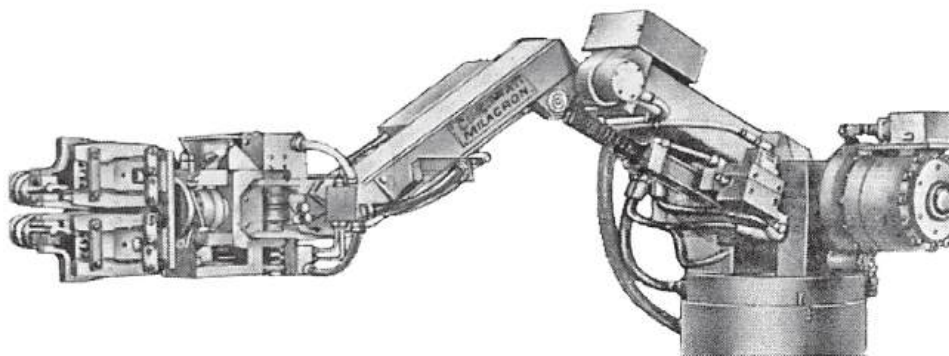


Рис. 1.3. Маніпулятор промислового робота Cincinnati Milacron

Адаптивні ПР мають сенсорне забезпечення, що дозволяє коригувати керуючу програму завдяки використанню інформації, отриманої в процесі роботи, про об'єкти і явища у зовнішньому середовищі. У ПР застосовуються три типи СПК, що класифікуються згідно з характером і дискретністю переміщень ступенів рухливості: позиційні (від точки до точки), контурні за безперервною траєкторією, коли стан робочих органів визначено у кожний момент часу, й комбіновані (універсальні).

За способом подання інформації СПК можна розділити на електромеханічні, циклові (ЦПК), аналогові (АПК), числові (ЧПК) й аналогово-числові (гібридні). В електромеханічних системах інформація задається положенням упорів, налаштуванням реле часу, кулачками розподільного механізму, копірами і т. п. У системах ЦПК керуючі команди задаються в числовому вигляді, а геометрична інформація – станом механічних упорів або підключенням кінцевих вимикачів. В аналогових СПК інформація задається у вигляді потенціалів. Як елементну базу у таких системах використовують вирішальні й операційні підсилювачі постійного струму. У системах ЧПК (позиційних і контурних) інформація подана у вигляді цифрових кодів, що зберігаються на швидкозмінних

носіях. У гібридних СПК може використовуватися інформація, подана у різному вигляді: числовому, аналоговому і т. д.

Номенклатура основних показників ПР. До них належать такі: номінальна вантажопідйомність; максимальна похибка позиціонування; геометрична характеристика робочої зони; показники ступенів рухливості; показники пристрою і надійності керування. Більшість наведених параметрів не потребує спеціальних пояснень, однак такі, як вантажопідйомність, кількість ступенів рухливості, похибка позиціонування і деякі інші, потребують пояснень.

Під вантажопідйомністю ПР розуміють найбільше значення маси об'єктів маніпулювання, при якій гарантується їх захоплення, утримання і забезпечення встановлених значень експлуатаційних характеристик ПР. Маса захоплювального пристрою входить до вантажопідйомності. Ряд номінальних вантажопідйомностей ПР передбачає їх розподіл за цим показником на групи: надлегкі вантажопідйомністю до 1 кг, легкі (1,25...10 кг), середні (12,5...200 кг), важкі (250...1000 кг) і надважкі ПР вантажопідйомністю понад 1250 кг.

Кількістю ступенів рухливості ПР називається кількість ступенів свободи ланок кінематичного ланцюга щодо ланки, прийнятої за нерухому. Для ПР кількість ступенів рухливості визначається як сума можливих координатних рухів об'єкта маніпулювання відносно нерухомої ланки (стояк, опорна система, підстава і т. п.) без урахування руху затискання об'єкта маніпулювання захоплювальним пристроєм.

Під похибкою позиціонування розуміють відхилення положення робочого органу маніпулятора від заданого керуючою програмою. Оскільки ПР зазвичай не мають явно вираженої вимірювальної системи і програмуються методом навчання, у більшості випадків похибка вимірюється похибкою повторюваності приходу ланки робота в задану точку протягом ряду циклів.

Місткість пам'яті пристрою, що запам'ятовує СПК, – найбільша кількість інформації, яке може в ньому зберігатися. Для систем ЧПК місткість пам'яті визначається кількістю машинних слів або двійкових знаків. Для систем ЦПК місткість пам'яті – максимальна кількість керуючих команд.

У технічних характеристиках ПР наводяться максимальні значення швидкості переміщення за ступенями рухливості, що відповідають зазначеній вантажопідйомності. Середні швидкості, що визначають продуктивність робота, вказують дещо меншими, вони залежать від довжини ходу.

Залежно від конструктивно-компонувальної схеми ПР об'єкт маніпулювання може перебувати в робочому об'ємі, що має ту чи іншу форму, а його переміщення здійснюються в різних системах координат. Система координатних переміщень (система координат) ПР визначає кінематику основних рухів механічної системи робота і форму робочої

зони. При оцінюванні основних рухів не враховують руху затискання (захоплення та утримання) об'єкта маніпулювання, що орієнтують (локальні) рухи захоплювального пристрою, які є порівнянними з його розмірами, і (у ряді випадків) додаткові координатні (глобальні) переміщення основи ПР (рис. 1.4).

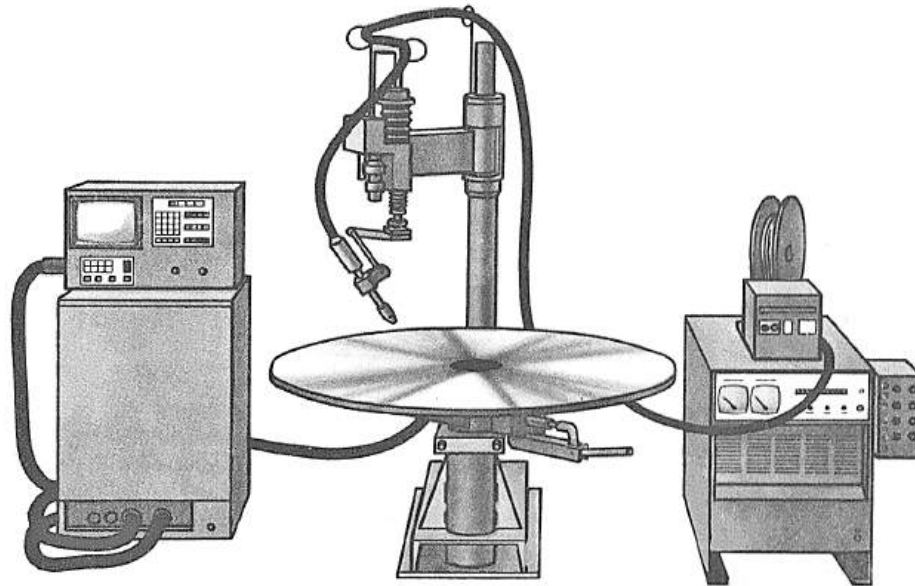


Рис. 1.4. Робот для дугового зварювання PW-150 Shin Meiwa

Види систем координат:

- прямокутна (декартова) система координатних переміщень (плоска і просторова). Переміщення об'єкта маніпулювання у певну точку простору здійснюється внаслідок прямолінійних переміщень ланок механічної системи у трьох (або двох – при плоскій системі) взаємно перпендикулярних координатних осях X , Y , Z ;

- плоска полярна, яка характеризується переміщенням об'єкта маніпулювання в одній координатній площині у напрямку радіуса-вектора r і кута;

- циліндрична, яка характеризується переміщенням об'єкта маніпулювання в основній координатній площині в напрямках r і ρ , а також по нормалі до неї;

- сферична, яка характеризується переміщенням об'єкта маніпулювання в точку простору в напрямку радіуса-вектора r і його кутовими переміщеннями ρ і α в двох взаємно перпендикулярних площинах;

- кутова (ангулярна), плоска або просторова (циліндрична і сферична), яка характеризується тим, що переміщення об'єкта маніпулювання в напрямку радіуса-вектора здійснюється внаслідок відносних кутових поворотів ланок руки ПР, які мають постійну довжину.

Залежно від ступеня досконалості і головним чином від їх інформаційних можливостей промислові роботи поділяють нині на три покоління. До першого покоління належать роботи УМ-1, Versatran, Unimate та інші аналогічні моделі, що не мають пристроїв для збору

інформації про зовнішнє середовище, але мають пам'ять, яка дозволяє легко навчатися. Порівняно з механічною рукою роботи першого покоління легко переналагоджуються на виконання різних операцій. Вони універсальні й застосовуються в основному у машинобудівній промисловості (рис. 1.5).

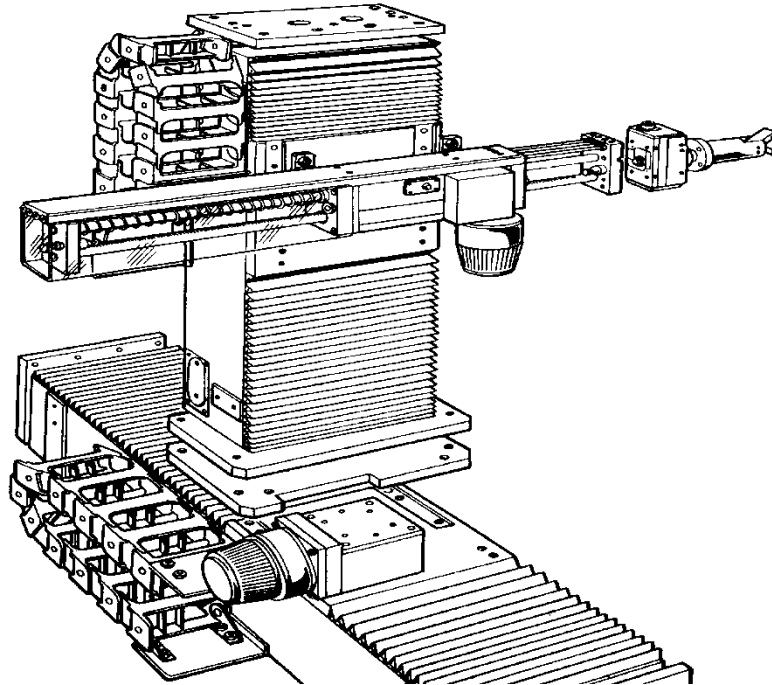


Рис. 1.5. Промисловий робот фірми Bosh

Роботи першого покоління працюють за жорсткою програмою, для керування ними використовується пам'ять на твердих елементах, на магнітних стрічках, дисках, барабанах та інших програмоносіях. У більшості роботів першого покоління використовуються системи з ЧПК. Роботи запам'ятовують програму і здатні виконувати її в автоматичному циклі будь-яку кількість разів. Застосування жорстких програм, уведених в пам'ять робота, істотно спрощує його конструкцію, полегшує переналагодження. Однак багато виробничих операцій (наприклад, складальні, монтажні) через складність не можуть бути запрограмовані жорсткою програмою. Для таких процесів потрібні роботи, що мають здібності самонавчання, адаптації та більшої інформаційної потужності.

У роботи другого покоління частково закладаються системи керування, здатні до самоорганізації, навчання та адаптації з використанням ЕОМ. Інформація про зовнішнє середовище збирається під час руху руки людини або робота. Керуючою ЕОМ задається тільки кінцева мета процесу.

Першим представником цього покоління роботів можна вважати «руку Ернста», створену в Массачусетському технологічному інституті. Цей робот має зачатки доцільної «поведінки» при взаємодії з зовнішнім

середовищем. Програма має загальний характер, містить лише алгоритм пошуку. Захоплювач руки реагує завдяки розташованим на ньому датчикам; спереду захоплювача вмонтовано фотодіод, що подає сигнал ще до зіткнення з деталлю або перешкодою (рис. 1.6).

Роботи третього покоління здатні розпізнавати предмети в просторі, виробляти плани вирішення поставлених перед ними завдань і контролювати їх виконання з використанням сукупності аналізаторів (зорових, слухових та ін.). Коло завдань, що вирішуються цими системами, не обмежене. Об'єктами маніпулювання можуть бути предмети з плоскими поверхнями або поверхнями тіл обертання; зовнішнє середовище для переміщення робота також має спрощений вигляд, але вже проводять експерименти зі створення роботів для вирішення більш складних завдань.

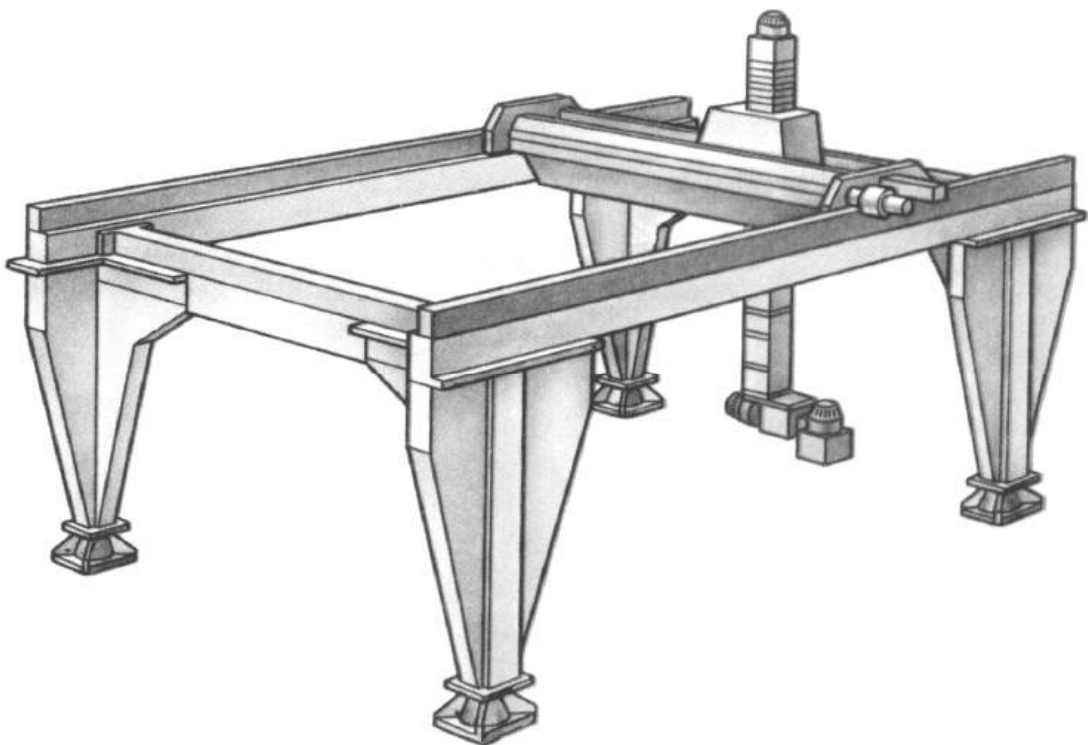


Рис. 1.6. Промисловий робот Nimak

Інформаційні можливості роботів третього покоління значно вище, ніж другого. Вони мають більшу автономність і «розумність» дій, більш високу швидкість і точність позиціонування порівняно з роботами другого покоління.

За ступенем універсальності всі роботи можна розділити на три групи:

– **спеціальні**, наприклад маніпулятор для перевертання і установлення у вакуумі кінескопів або маніпулятор для установлення заготовок в спеціальний штамп. Зазвичай ці пристрої мають одну–три ступені свободи і працюють за строго зафіксованою програмою, виконуючи просту операцію;

– **спеціалізовані**, область застосування яких обмежена визначеними умовами і простором. Наприклад, роботи, що мають регульовану довжину рук і кілька ступенів свободи в просторі, використовують для виконання тільки «гарячих» робіт – лиття або термообробки;

– **універсальні пристрої**, що переміщуються в просторі, наприклад роботи з великою кількістю ступенів свободи і регульованою довжиною функціонуючих кінцівок, здатні виконувати найрізноманітніші операції з широкою номенклатурою деталей. Універсальний промисловий робот загального призначення можна перевести на іншу роботу та швидко перепрограмувати для виконання будь-якого в межах технічних можливостей циклу.

За кінематичними, геометричними і енергетичними параметрами пристрої поділяють таким чином.

За кінематичними параметрами роботи можна класифікувати залежно від кількості ступенів свободи, можливих варіантів дії та переміщень функціональних органів, а також за швидкістю їх руху. За геометричними параметрами як класифікаційної ознаки роботи поділяють залежно від розмірів функціонуючих органів і діапазону їх лінійних і кутових переміщень. За енергетичними параметрами роботи поділяють на групи за вантажопідйомністю та потужністю, яку вони розвивають.

За методами керування промислові роботи перших поколінь можна розділити на роботи:

- керовані від систем числового програмного керування;
- з цикловими системами керування;
- керовані від ЕОМ (керуючих машин, здатних збирати і аналізувати інформацію в процесі дії, реагувати на цю інформацію, відповідно змінюючи програму).

Запитання для самостійної перевірки знань

1. Дайте визначення терміна «промисловий робот».
2. Що розуміють під поняттям «виконавчий пристрій ПР»?
3. Що називають робочим органом?
4. Розкрийте поняття «пристрій керування ПР».
5. Що розуміють під поняттям «механічна рука»?
6. Розподіл ПР за енергетичними параметрами?
7. Що розуміють під вантажопідйомністю ПР?
8. Як поділяють ПР за методами керування?
9. Що розуміють під похибкою позиціонування?
10. Як поділяють ПР за кінематичними параметрами?
11. Як роботи розділяють за ступенем універсальності?
12. Як поділяють ПР за геометричними параметрами?

2. ТИПОВІ КОНСТРУКЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

2.1. Промислові роботи з висувною рукою

Уперше було розроблено роботи саме такого типу, і деякий час вони були найбільш поширеними за загальним обсягом випуску. Конструктивна особистість маніпуляторів таких роботів – наявність висувної руки, яка може обертатися навколо вертикальної осі (у роботів, які працюють у циліндричній системі координат) або одночасно обертатися навколо вертикальної осі й гойдатися навколо горизонтальній осі (у роботів, які працюють у сферичній системі координат).

2.1.1. Робот Unimate фірми Unimation

Характерним представником підлогових роботів з висувною рукою, які працюють у сферичній системі координат, є робот Unimate фірми Unimation (США) (рис. 2.1, табл. 2.1).

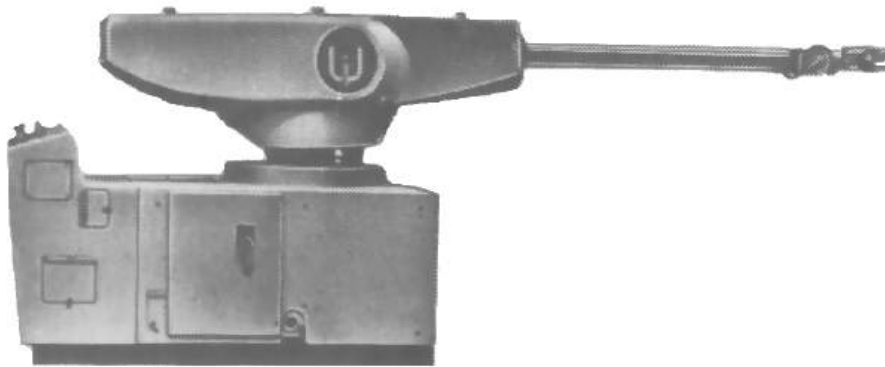


Рис. 2.1. Універсальний робот Unimate моделі Mark II серії 2200 (Mark II Series 2200) фірми Unimation Incorporated

Назва фірми утворена від слів Universal automation (універсальна автоматизація). Фірма Unimation Incorporated була створена в 1962 р. у результаті злиття фірм Condec Corporation і Pullman Incorporated. Unimation виробляла роботи довгий час, поки не була куплена компанією Westinghouse приблизно в 1980 році, а потім – фірмою Stäubli у 1989 році [4].

Хоча фірма Unimation була організована в 1962 р., роботи над створенням роботів були розпочаті раніше. У 50-ті роки минулого століття Джордж К. Девол запатентував принцип пристрою промислового робота – універсальної машини, здатної виконувати різні виробничі операції типу «взяти», «покласти» і т. п., отже, здатної замінити некваліфікованих робітників у виробництві. У 1958 р. Д. Девол уклав ліцензійну угоду з фірмою Consolidated Controls – дочірнім підприємством корпорації Condec. У 1960 р. почала працювати лабораторна модель промислового робота, а у 1962 році було виготовлено три дослідницькі зразки робота.

За період від 1962 р. до 1966 р. було виготовлено 70 роботів Unimate та організовано його серійне виробництво. Усі наступні роки поліпшувалися конструкції робота та його модернізація. Характерною особливістю діяльності фірми Unimation є випуск сім'ї загальних за конструкцією роботів на базі однієї моделі робота Unimate, що працює в сферичній системі координат (див. рис. 2.1 і 2.2). До числа виключень і відступів від цього принципу належать модернізація конструкції та продаж в США фірмою Unimation норвежського робота Tralffa з контурною системою керування.

За роки своєї діяльності фірма Unimation запатентувала більш 700 нових конструктивних рішень в області промислових роботів. Фірма приділяла багато уваги питанням надійності роботів, прагнучи забезпечити їх безвідмовну роботу протягом декількох років. Для цього на фірмі було організовано спеціальний контроль усіх вузлів роботів, а також випробування не тільки всіх вузлів, але й кожного повністю зібраного робота Unimate за спеціальною програмою, яка передбачала напрацювання робота не менше 100 часів під час випробувань, у тому числі при підвищеній температурі.

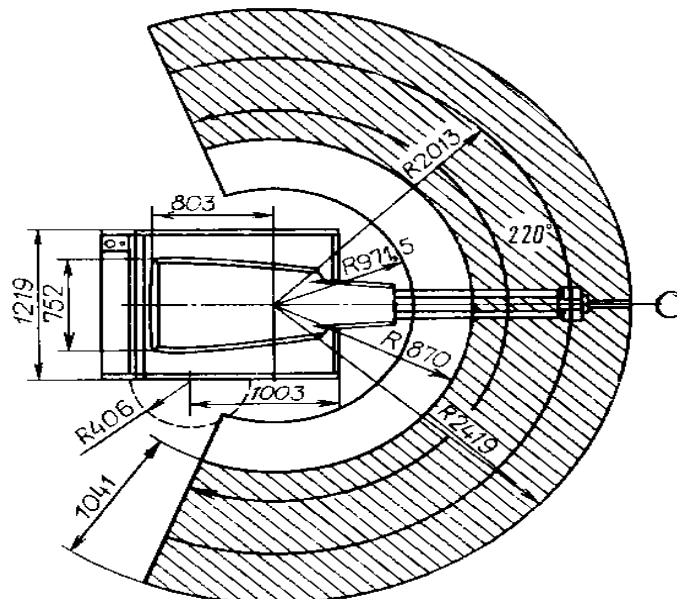


Рис. 2.2. Робоча зона робота Unimate

Фірма Unimation забезпечувала гарантійне обслуговування всіх проданих роботів. Для цього фірма організувала, наприклад, школу, в якій фахівці фірм-замовників проходили спеціальне навчання (курси) щодо правил експлуатації роботів. Фірма Unimation на вимогу замовників здійснювала шеф-монтаж роботів, проектувала та виготовляла різне сервісне обладнання для комплектування роботів, а також поставляла

найрізноманітніші захоплювачі та спеціальне оснащення, тобто комплексно вирішувала різні виробничі завдання універсальної автоматизації (за термінологією Д. Деволі) (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Технічні характеристики робота Unimate

Показник	Значення
Радіальне переміщення руки, мм	1067
Переміщення руки по вертикалі, мм	80 — 2300
Поворот руки навколо вертикальної осі, град	220
Поворот кисті навколо поздовжньої осі, град	180
Поворот кисті у вертикальній площині, град	220
Швидкість лінійного переміщення, мм/с:	
– радіального	762
– вертикального	1270
Швидкість повороту, град/с:	
– руки	110
– кисті	110
Точність відпрацювання по кожній координаті, мм	±1,27
Вантажопідйомність, кг	
При заниженій робочій швидкості	34
При нормальній робочій швидкості	11.3
Величина затискного зусилля на кінці захоплювача довжиною 100 мм, кгс	136
Споживна потужність, кВт	11.5
Строк служби, год	40000
Габаритні розміри, мм	1520 × 1220 × ×1370
Вага, кг	1590

Робот Unimate моделі Марк II показано на рис. 2.1, а його розміри та розміри робочої зони – на рис. 2.2. Як і всі промислові роботи фірми Unimation, цей робот складається з основи, до якої приєднана шафа системи керування, і руки. Роботи Unimate мають руку досить складної конструкції (рис. 2.3), яка складається з двох телескопічних висувних штоків (плече руки), кисті, зап'ястя та захоплювального пристрою, який часто оформлюється у вигляді двох пальців.

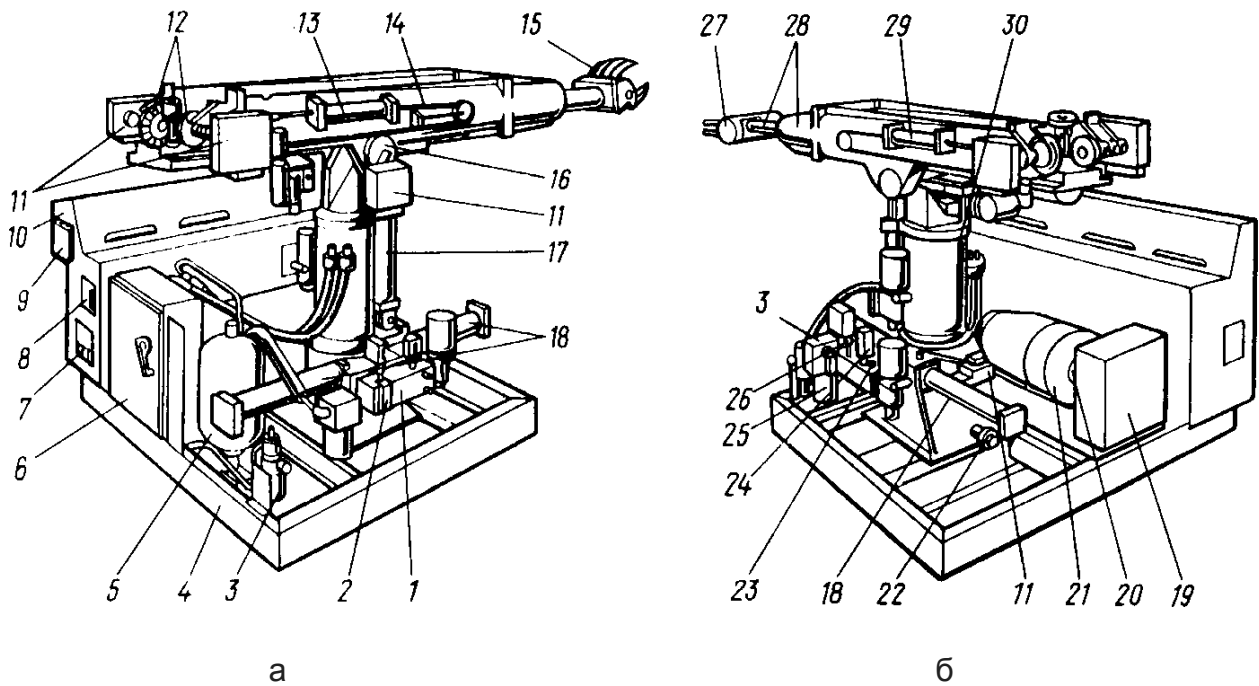


Рис. 2.3. Конструктивна схема робота Unimate моделі Марк I: а – з рукою, оберненою вліво; б – з рукою, оберненою вправо; 1 – головний колектор; 2 – клапан розвантаження насоса; 3 – фільтр повітряний; 4 – основа; 5 – гідроаккумулятор; 6 – шафа силового електрообладнання; 7 – електричний запобіжник; 8 – рознім пульта ручного керування; 9 – пристрої блокування системи ПК; 11 – кодовий датчик; 12 – конічні зубчасті колеса приводів кисті; 13 – гідроциліндр обертання кисті; 14 – ланцюгові передачі; 15 – захоплювальний пристрій; 16 – привід кодового датчика нахилу руки; 17 – гідроциліндр піднімання і опускання руки; 18 – гідроциліндри повороту руки; 19 – повітряно-масляний радіатор; 20 – вентилятор; 21 – електродвигун приводу гідронасоса; 22 – фільтр; 23 – реле тиску; 24 – датчик тиску в гідросистемі; 25 – гідравлічний фільтр; 26 – розвантажувальний клапан; 27 – механізм обертання поворотної головки; 28 – висувна рука; 29 – гідроциліндр; 30 – вертикальна поворотна колона

Основні вузли робота змонтовано на звареній рамі основі (див. рис. 2.3). На ній встановлено опору вертикального валу, пов'язаного шарнірно з рукою, яка може гойдатися у вертикальній площині на осі, закріпленій нерухомо на вертикальному валу. Рука також може повертатися разом з вертикальним валом відносно його осі. У корпусі руки є циліндричні напрямні, в яких переміщуються два паралельних несучих елементи руки трубчастого перерізу. На одному кінці несучих елементів монтується вузол кисті із захоплювачем. На корпусі руки монтуються гідроциліндри і передавальні механізми приводів поздовжнього переміщення руки, нахилу і повороту кисті, а також передавальні механізми датчиків зворотного зв'язку разом з датчиками, електрогідравлічні перетворювачі цих приводів. Гідроциліндр приводу піднімання і опускання руки встановлено шарнірно на опорі вертикального вала.

У корпусі цієї ж опори змонтовано гідроциліндри приводу повороту руки. На основі встановлені електродвигун з гідронасосом, гідроаккумулятор і силова електрошкафа. На тій же основі встановлено пульт системи керування. У верхній частині пульта передбачена панель керування, яка містить вимірювальні прилади і рукоятки перемикачів.

Усі вузли, встановлені на підставі, закриваються облицювальними панелями із сталевих листів. Вузли, змонтовані на корпусі руки, захищаються легкознімним розрізним кожухом, відштампованим з матеріалу типу фібри. Роботу додається пульт навчання, який підключається до системи керування; в процесі навчання оператор тримає пульт у руках. Роботи оснащені системами позиційного програмного керування з місткістю пам'яті на 180 (або 200) команд, яка керує рухами руки і зап'ястя (кисті і захоплювача) за п'ятьма незалежними ступенями рухливості: за трьома – руки і за двома – зап'ястя.

Шостим рухом є рух захоплювачів, змонтованих на кисті робота, через систему важелів від пневмоциліндра. Живлення пневмосистеми робота здійснюється від зовнішньої мережі. Рука роботів серії Марк II повертається вправо-вліво на 220° , вверх-вниз – на 57° , а також висувається вперед-назад; при цьому максимальна відстань (радіус дії) захоплення від центру повороту руки робота моделі Марк II – 2412 мм, а моделі MII-FLR – 3250 мм. Робочий хід повністю висунутої руки робота моделі Марк II у вертикальній площині 76 – 2299 мм; регульоване зусилля затискання на кінці пальців захоплювача довжиною 100 мм – більше 136 кгс.

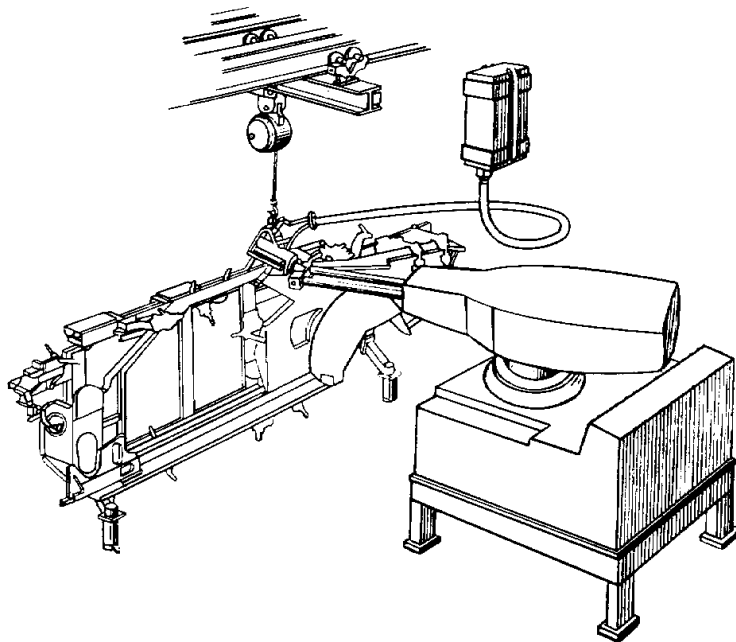


Рис. 2.4. Точкове зварювання вузла, зафіксованого у складальному пристрої

При максимальному ході вниз рука робота моделі Марк II наближається до підлоги на відстань 165 мм, тобто може брати багато деталей і заготовки, що лежать на підлозі. Розрахунковий термін служби роботів Unimate цієї та інших моделей – 40000 робочих годин. За даними фірми Unimation роботи

окупаються в середньому за два роки (відшкодування капіталовкладень перевищує 25 %), тобто придбання робота виправдовується за час, якого в багатьох випадках недостатньо на розроблення, виготовлення і налагодження конкурентної системи автоматизації спеціального призначення. Після кожних 2500 годин експлуатації робота рекомендується проводити його профілактичний огляд. Робот моделі Марк II має п'ять каналів зовнішнього зв'язку (по 5 А), за якими система ПК може керувати технологічним обладнанням. До цих роботів фірма Unimation поставляє різні захоплювачі (у тому числі вакуумні), захисні пристрої і огорожі, компресор для живлення пневмосистеми захоплення робота, тару для деталей і заготовок, з якими працює робот і т. п. Деякі приклади використання роботів Unimate у машинобудуванні показано на рис. 2.4 та 2.5.

Привід пневмозахоплювача надійно працює в умовах високої температури та живиться чистим стисненим повітрям з тиском $6,4 \text{ кгс/см}^2$ (витрати повітря – $0,07 \text{ м}^3/\text{хв}$). Для полегшення обслуговування роботів Unimate фахівці фірми Unimation рекомендують залишати вільний простір навколо основи робота шириною не менше 610 мм.

Об'єм робочої зони робота моделі Марк II – близько $9,9 \text{ м}^3$, а робота моделі MII-FLR – близько $12,6 \text{ м}^3$. Привід рухів руки роботів – гідравлічний (тиск масла в гідросистемі – $53 \dots 68 \text{ кгс/см}^2$; при тиску масла менше 32 кгс/см^2 рука робота автоматично зупиняється). До спеціальних конструкторських заходів, що забезпечують роботу робота «Unimate» з нагрітими заготовками і гарячими деталями, належать (крім використання стисненого повітря для приводу пальців захоплення) віддалення гідроциліндрів приводу кисті від самої кисті, а також механічна передача руху до кисті робота.

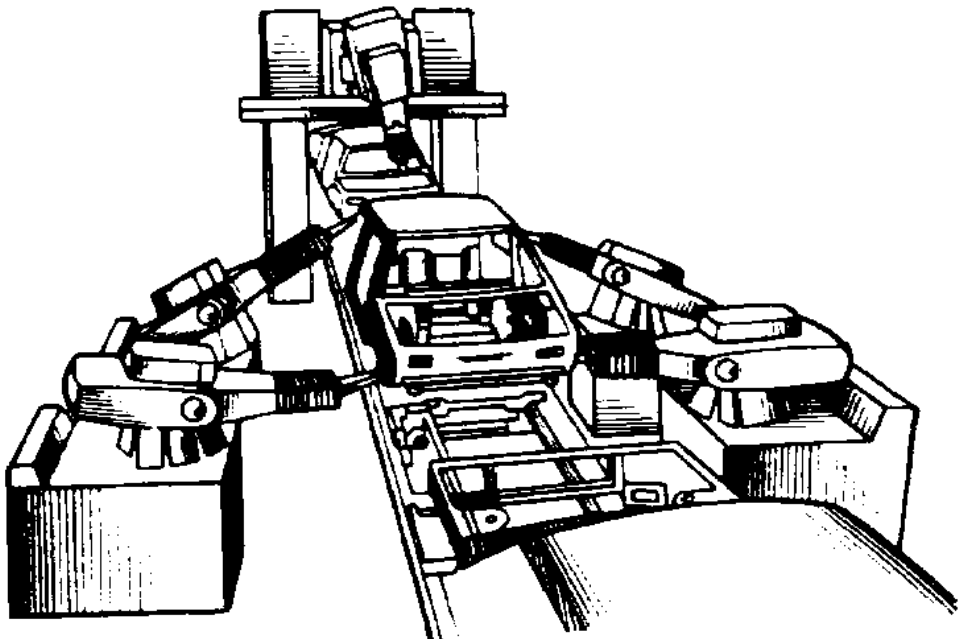


Рис. 2.5. Зварювання кузова автомобіля

Роботи використовують для контактного зварювання на стаціонарних універсальних зварювальних машинах, для газового зварювання вузлів, а також для газового і дугового різання заготовок з листа різної конфігурації.

В основному роботи Unimate застосовувалися в США для плазмового зварювання і різання, зварювання вольфрамовим електродом у середовищі захисних (інертних) газів, однак найбільш широко роботи використовувались для автоматичного точкового зварювання вузлів двигунів і автомобілів, що збираються з листових штампованих деталей (наприклад, для зварювання підлоги, бічних рам, дверей та інших вузлів легкових автомобілів), а також для остаточного зварювання кузовів автомобілів на конвеєрі (див. рис. 2.5).

Типові випадки застосування роботів Unimate для точкового автоматичного зварювання вузлів і виробів машинобудування:

- точкове зварювання деталей і вузлів, попередньо зібраних і закріплених у складальному пристрої (див. рис. 2.5), коли до кисті робота Unimate прикріплені зварювальні кліщі; робот нерухомий і за програмою переміщує руку з кліщами в потрібні точки, здійснюючи в них зварювання (такий зварювальний робот часто застосовується для приварювання шпильок у пристрої);

- точкове зварювання корпусних конструкцій (наприклад, днища кузова або всього кузова автомобіля), попередньо зібраних, а після цього нерухомо закріплених у зварювальній позиції конвеєра за допомогою рухомих або стаціонарних (див. рис. 2.5) зварювальних роботів з кліщами; у цьому випадку роботи утворюють автоматичну зварювальну лінію (рис. 2.6), що містить від 6 до 20 та більше роботів;

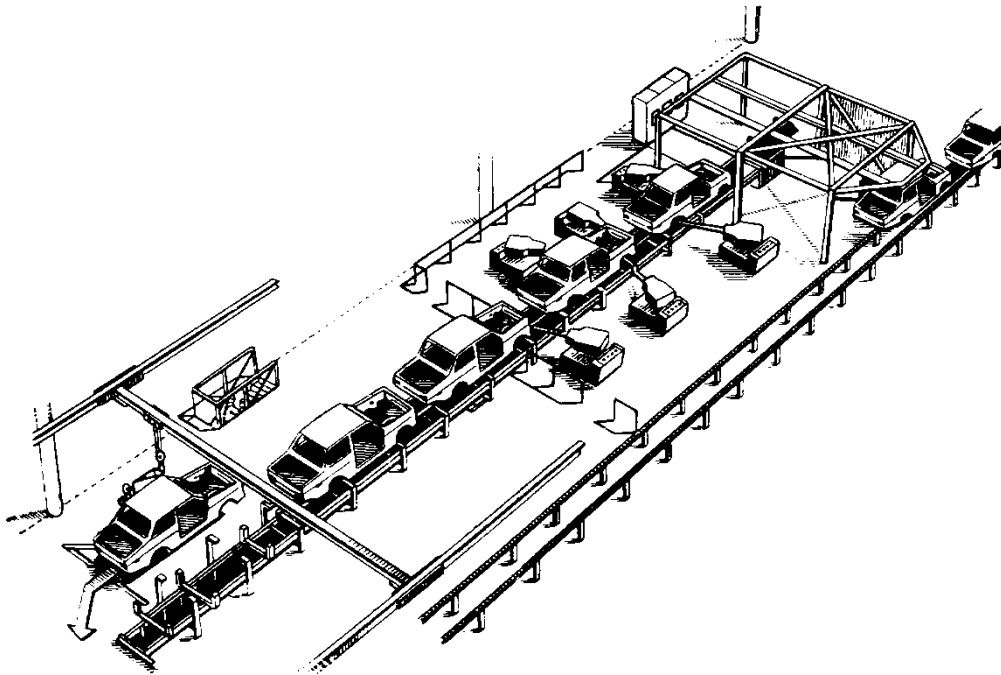


Рис. 2.6. Автоматична зварювальна лінія кузовів автомобіля, обладнана шістьма промисловими роботами Unimate

– точкове зварювання вузлів на універсальній зварювальній машині за допомогою позиціонування робота, коли робот бере попередньо зібраний методом прихоплювання вузол, вводить його у простір між електродами стаціонарної точково-зварювальної машини і переміщує зварюваний вузол у потрібні для виконання з'єднання положення, включаючи зварювальну позицію в машині, до тих пір, поки зварювання не буде завершено і робот перемістить готовий вузол у стелаж або на конвеєр;

– точкове зварювання вузлів, включаючи великі, на спеціальних стаціонарних зварювальних автоматах для багатоточкового зварювання, коли робот виконує тільки транспортні операції: завантажує попередньо зібраний на прихватках вузол або встановлює зварювані деталі (підвузли) у зварювальний автомат і витягує остаточно зварений вузол зі зварювального автомата (так зварюють, наприклад, двері легкових і вантажних автомобілів).

Від 1971 р. фірма Chrysler почала застосовувати роботи Unimate на зварювальних операціях (рис. 2.7). Роботи були оснащені зварювальними кліщами масою 18,9 кг. Навчання роботів точковому зварюванню здійснювалося звичайним способом.

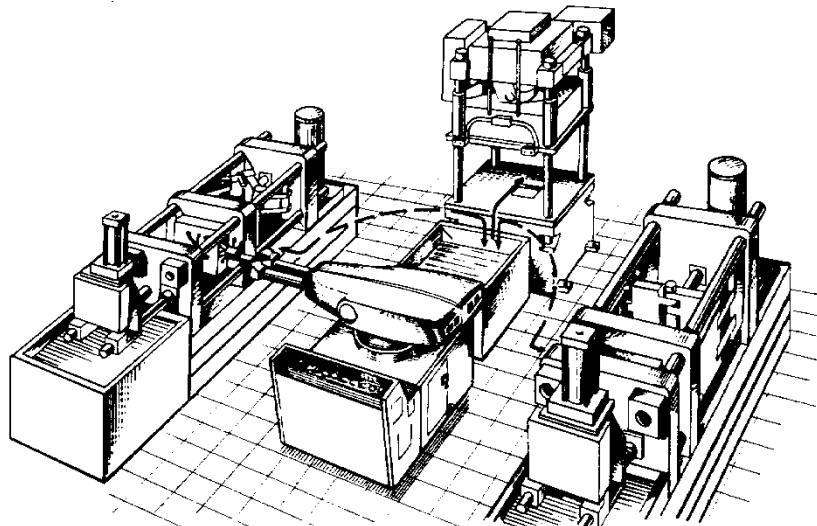


Рис. 2.7. Ливарна ділянка з промисловим роботом Unimate

На одному з типових зварних вузлів, що виготовляються роботом, кліщами ставиться 24 зварні точки, включаючи чотири подвійні точки для зварювання чотирьох деталей одночасно. Повертаючи і піднімаючи руку з кліщами під час зварювання, робот ставить перші чотири точки, потім рука розгортається, і кліщі зварюють ще дві точки, після чого ставиться поспіль 15 точок; ще раз повертаються кліщі і зварюються дві останні точки (весь процес продовжується 27 с). Один робот Unimate менш ніж за шість годин виконує такий же обсяг зварювальних робіт, який до застосування роботів виконували два зварника за вісім годин роботи.

На іншому заводі фірми Chrysler (Hamtramck Plant) один робот Unimate, що працює разом з оператором-складальником, здійснює 48 роздільних

переміщень зварювальних кліщів і виконує 24 зварювальні точкові з'єднання за 74 с, для чого раніше було потрібно два зварника. Безпечність роботи робота досягається шляхом блокування. Наприклад, якщо зварюваний вузол буде неправильно зібраний, погано затиснутий або неправильно зафіксований в складальному пристрої, то блокувальні пристрої подадуть відповідні сигнали і до усунення помилок збирання робот працювати не буде. Працюючи по дві восьмигодинні зміни щодня, роботи Unimate потребують профілактичного огляду один раз за 28 робочих днів.

Фірма General Motors здійснила переведення свого виробництва на автоскладальні заводи в м. Wilmington на випуск легкового автомобіля всього за дев'ять тижнів замість потрібних для цього 30–36 місяців, хоча в практиці американського автомобілебудування в минулому вдавалося підготувати випуск нового автомобіля і за 18 місяців (наприклад, випуск нової моделі Chevrolet в м. Детройті).

Для цього фірма General Motors для точкового зварювання днища кузова автомобіля використовувала 20 роботів Unimate, встановлених стаціонарно по 10 шт. з лівого та правого боків складального конвеєра. Довжина ділянки автоматичного зварювання днища роботами Unimate серії 4000 – близько 81 м; на цій ділянці конвеєра є 13 стаціонарних позицій кузова, через кожну з них виріб, що зварюється проходить під дією приводу примусового переміщення конвеєрних візків з днищами. Збирання-зварювання днищ починається на першій позиції, на якій за 5 хв до задалегідь встановлених бічних балок кріплення двигуна приварюються кронштейни, коробки, листи днища та інші деталі і вузли (всі деталі для зварювання встановлюються і затискаються вручну і подаються на складальний конвеєр бічним човниковим конвеєром).

На другій позиції зварювання приварюються деталі й вузли задньої частини днища кузова автомобіля; на третій позиції двох роботів приварюють елементи жорсткості до днища в середній його частині, а на четвертій–восьмій позиціях аналогічно виконуються інші зварювальні роботи щодо днища (на восьмій позиції, наприклад, приварюються панелі, кожен робот виробляє в середньому 15 точкових зварних з'єднань). На дев'ятій позиції зварювального конвеєра приварюються коробки, попередньо зварені на бічному конвеєрі, паралельному головному зварювального конвеєру.

Після контролю якості зварювання за допомогою робота (у дев'яти контрольних точках) роботи тривають аж до 13-ї позиції. Тут готове днище кузова передається на зварювання-збирання всього кузова автомобіля. На кожній з тринадцяти позицій конвеєра є затискна рама, до якої рама кожного конвеєрного візка з зафіксованим на ньому зварюваним днищем піднімається швидкодіючими гідравлічними домкратами і в строго певному положенні пристиковується (з подальшим фіксуванням притискачами) для точного позиціонування днища для зварювання. Гідродомкрати й затискачі лінії зварювання підключені до спеціальної гідросистеми конвеєра,

оснащеної двома гідронасосами потужністю 75 к. с. кожен. Після закінчення зварювальних робіт на всіх позиціях проводиться розфіксація рам, опускання їх з днищами на конвеєрні візки, які після вмикання приводу конвеєра пересуваються вперед на один крок.

2.1.2. Роботи SR-5 і SR-19 фірми «Сінко Денкі»

У промислових роботах SR-5 і SR-10 (рис. 2.8, табл. 2.2) для всіх переміщень застосовується уніфікований пневматичний привід, використовуються механічні упори, що дозволяють досягти точності позиціонування $\pm 0,5$ мм. У системі програмного керування роботів фірми «Сінко» використовувалась матрична штиркова панель, яка забезпечувала до 120 різних рухів у циклі. Застосування матричної панелі дозволяло легко коригувати програми. На пульті робота встановлено лічильник оброблених деталей. Швидкість кожного окремого руху можна регулювати незалежно від інших рухів.

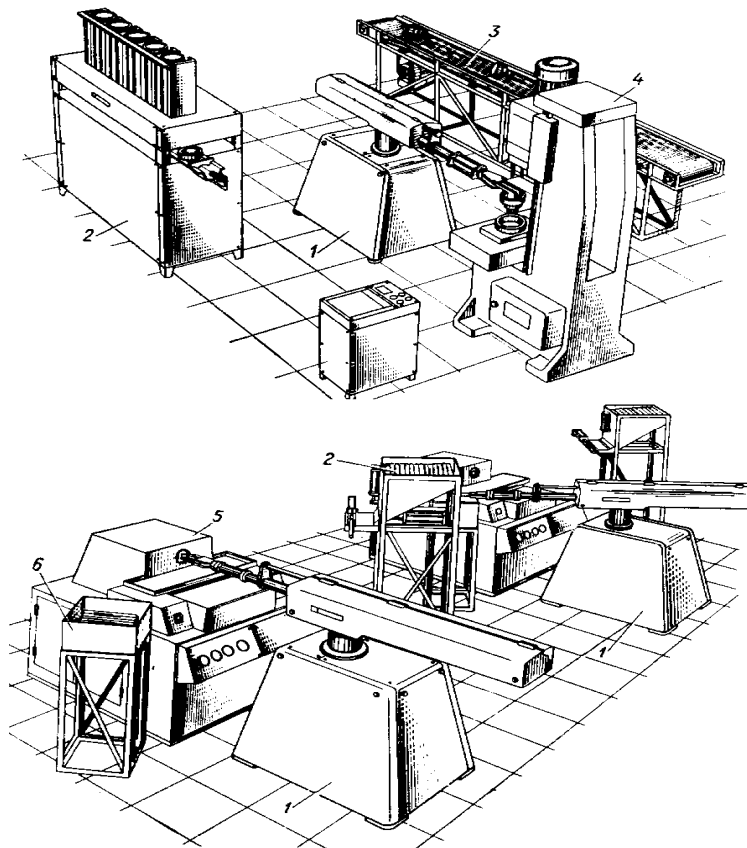


Рис. 2.8. Використання робота SR-10 в автоматичних лініях свердління отворів і нарізування канавок: 1 – робот; 2 – пристрій подачі заготовок; 3 – конвеєр; 4 – свердлильний верстат; 5 – верстат для нарізування канавок; 6 – ящик для деталей

Роботи SR-10 і SR-5 (табл. 2.2) складаються з механічного пристрою, пульта керування (знаходиться на деякій відстані від робота), пульта ручного керування, а також поєднувальних труб і дротів. Роботи SR-10 і SR-5 набули широкого застосування при обслуговуванні металорізальних

верстатів і устаткування для лиття під тиском, штампування, зварювання, кування та фарбування, для пресування виробів з пластмас, у цехах термообробки, упакування та ін. Роботи успішно використовуються на поточних лініях, де випускаються як великі партії виробів, так і невеликі партії деталей різних найменувань.

Таблиця 2.2

Технічні характеристики роботів SR-10 і SR-5

Показник	SR-10	SR-5
Кількість ступенів свободи	5	4
Рух руки, мм: по вертикалі по горизонталі	300	150
	500	500
Поворот руки біля вертикальної осі, град	240	135
Обертання кисті, град	180	—
Швидкість переміщення руки, мм/с:		
по вертикалі	500	500
по горизонталі	500	1000
Швидкість обертання навколо вертикальної осі, град/с	90	90
Швидкість обертання кисті, град/с	90	
Швидкість хитання, град/с	90	90
Тип системи керування	Циклова переналагоджувана (за жорсткими упорами)	
Тиск у пневмосистемі, кгс/см ²	4 — 6	5 — 6
Місткість пам'яті, кількість команд	24	24
Вантажопідйомність (при нормальній швидкості), кг	10	5
Габаритні розміри, мм: маніпулятора пульта керування	995×745×1371	1000×700×1140
	320×540×850	370×340×240
Маса маніпулятора, кг	400	350

На рис. 2.8 показано автоматичні лінії свердління отворів у виливках і нарізування канавок на інструменті з використанням робота SR-10. Перша лінія складається з пристрою подачі заготовок 2, багатошпindelного дреля 4, конвеєра 3 і одного робота. Пристрій подачі заготовок 2 встановлює заготовку у певне фіксоване положення. Рука робота переносить заготовку на свердлильний верстат 4 і встановлює її у певному

положенні. Після свердління готовий виріб переноситься роботом на конвеєр 3. Цикл повторюється автоматично. На рис. 2.8. б показано автоматичну лінію нарізування канавок різального інструменту, що складається з пристрою подачі заготовок 2, верстата для нарізування канавок 5 і одного робота. Рука робота, захопивши заготовку з пристрою подачі, ставить її на верстат для нарізування канавок, повертаючи заготовку на 90 °. Після нарізування канавки готова деталь укладається в ящик з точністю ± 0.05 мм.

На рис. 2.9 наведено промисловий робот Robotron. Роботи такого типу призначені для обслуговування металорізальних верстатів і виконання складальних операцій.

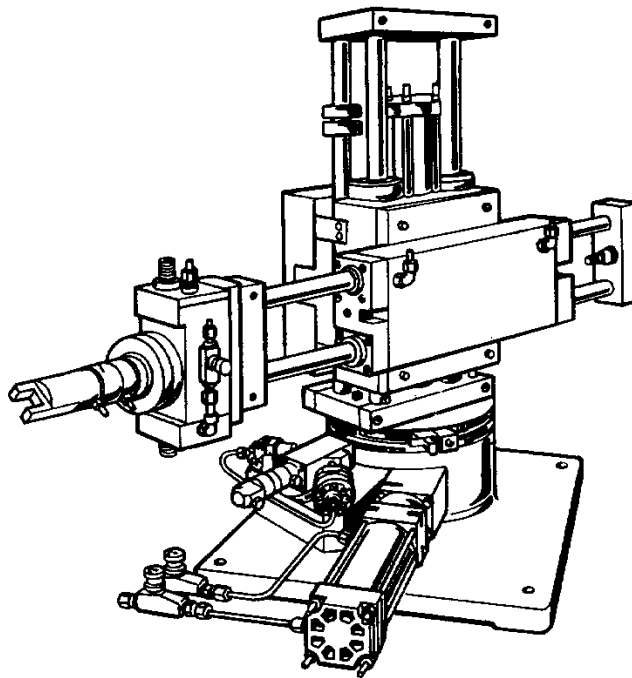


Рис. 2.9. Промисловий робот Robotron

2.2. Промислові роботи з шарнірною рукою

Кінематичні пари основного механізму таких роботів є обертальними, що дозволяє виконувати складні операції в обмеженому просторі. Рука такого робота може складатися, при цьому висувні частини відсутні. Промислові роботи з шарнірною рукою мають значну компактність при великій зоні обслуговування. Однак компактність досягається внаслідок ускладнення конструкції виконавчого механізму і програмування.

2.2.1. Промислові роботи з горизонтальними осями шарнірів

Особливість роботів такої схеми: висока маневреність у просторі, що має перешкоди великої висоти. Застосування: збирання, зварювання, фарбування, завантаження металорізального обладнання. Розглянемо

промисловий робот ПРК-20, призначений для нанесення лакофарбових, теплозахисних, зносостійких та інших покриттів (рис. 2.10, табл. 2.3).

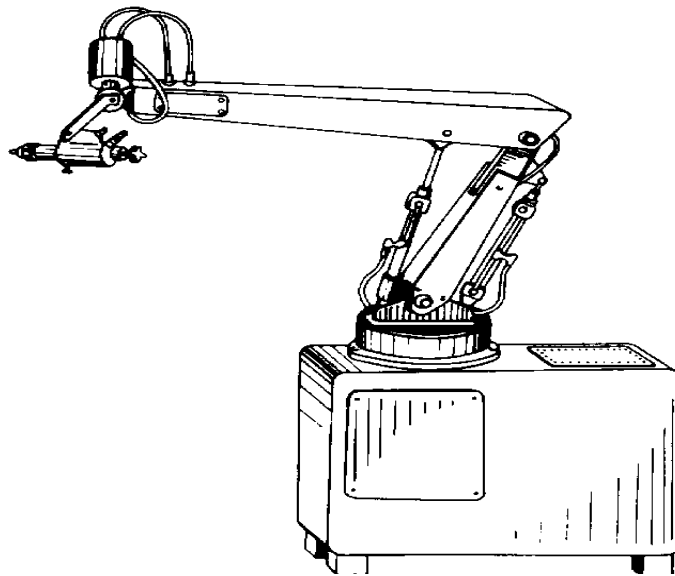


Рис. 2.10. Робот ПРК-20. Зовнішній вигляд

Робот оснащується системою ПК, що допускає можливість керування за програмою, розрахованою за допомогою ЕОМ, а також за програмою, занесеною у пам'ять робота в режимі навчання за допомогою пульта ручного керування.

Таблиця 2.3

Технічні характеристики робота ПРК-20

Показник	Значення
Вантажопідйомність, кг	20
Кількість ступенів рухливості	6
Переміщення руки, мм:	
– горизонтальне	1500
– вертикальне	1500
Переміщення робота вздовж виробів, мм	15000
Кут повороту, град:	
– руки у горизонтальній площині	180
– кисті у вертикальній площині	120
Швидкість, м/с:	
– вертикального переміщення руки	0,5
– горизонтального переміщення руки	0,5
Переміщення робота	0,1
Точність позиціонування, мм	±3
Система керування	Контурна

Маніпулятор робота виготовляють у вибухонебезпечному виконанні. У приводних установках використовуються гідропідсилувачі з кроковими електродвигунами ШД-5-1. Енергетичний блок гідросистеми можна встановлювати у тому ж приміщенні, що й маніпулятор; пульт з системою ПК має розташовуватися у сусідньому вибухонебезпечному приміщенні.

Фірма Cincinnati Milacron розробила універсальний промисловий робот моделі 6СН (рис. 2.11, табл. 2.4). Цей робот має робочий орган – руку шарнірної конструкції з шістьма ступенями рухливості та керується від міні-ЕОМ. Для рухів руки і кисті робота по кожній керованій координаті використовують окремий електрогідравлічний сервопривід. Важливою особливістю робота 6СН є здатність руки при роботі проходити у важкодоступні місця, брати деталі (заготовки) з підлоги і піднімати їх вертикально над маніпулятором. Максимальний радіус дії руки робота – 2464 мм, лінійна швидкість переміщення руки робота досягає 1,27 м/с, об'єм робочого простору робота може становити 28,32 м³ (при площі підстави маніпулятора 0,84 м²).

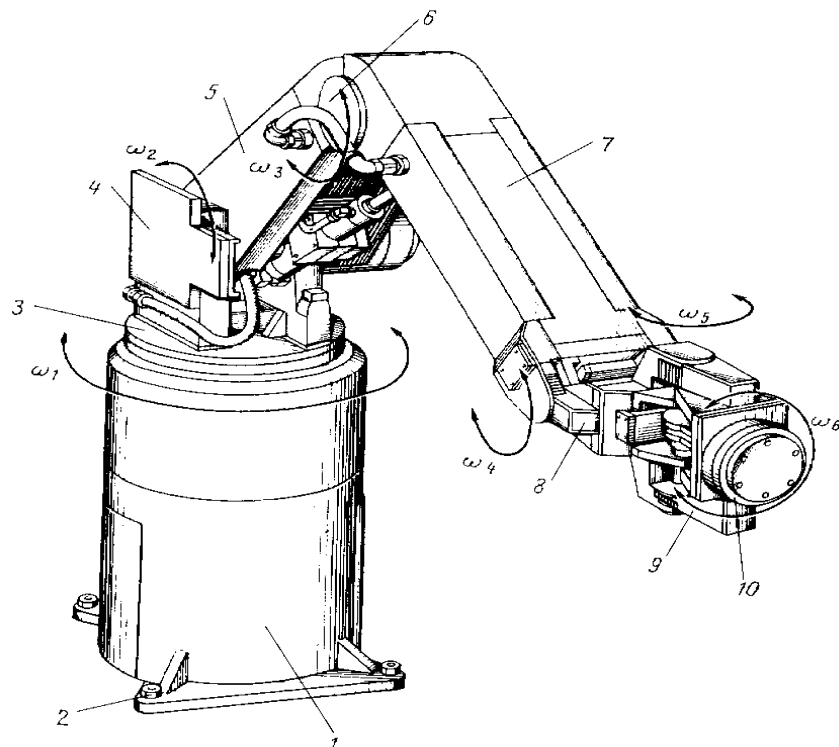


Рис. 2.11. Маніпулятор робота 6СН: ω_1 – поворот руки навколо вертикальної осі відносно основи; ω_2 – поворот плеча навколо поперечної горизонтальної осі; ω_3 – поворот передпліччя навколо поперечної горизонтальної осі; ω_4 – поворот кисті навколо поперечної горизонтальної осі; ω_5 – поворот кисті навколо вертикальної осі; ω_6 – поворот захоплювального пристрою кисті навколо поздовжньої горизонтальної осі; 1 – основа маніпулятора; 2 – болт кріплення основи; 3 – поворотна платформа; 4 – щока; 5 – плече руки; 6 – ось обертання передпліччя; 7 – передпліччя руки; 8, 9 – важелі кисті маніпулятора; 10 – поворотний фланець кріплення захоплювального пристрою кисті

Таблиця 2.4

Технічні характеристики робота 6СН

Показник	Значення
Максимальний кут повороту руки ω_1 у горизонтальній площині, град	240
Максимальний кут повороту ω_4 кисті у вертикальній площині, град	190
Максимальний кут повороту ω_5 кисті у горизонтальній площині, град	180
Максимальний кут повороту ω_6 захоплювального пристрою кисті навколо поздовжньої горизонтальній осі, град	240
Розмір (висота) зони дії руки робота від полу (відмітка 0 мм) у вертикальній площині, мм	3910 або 3962
Максимальний радіус дії робота у горизонтальній площині, мм	2464
Максимальна швидкість руху руки, мм/с	1250 або 1270
Вантажопідйомність робота, кгс	54 ... 136
Точність позиціонування (точність повторення позиції захоплювача у будь-якій запрограмованій точці робочого простору робота при постійній температурі), мм	± 1.27
Габаритні розміри, мм:	
– маніпулятора (діаметр основи)	990
– пульта системи ПК (розміри основи)	1320X685
– гідроблока з насосною станцією (розміри основи)	1016X1542
– шафи силового електрообладнання (розміри основи)	965X330
Вага, кг:	
– маніпулятора	2267
– пульта системи ПК	498
– гідроблока з насосною станцією	544
– шафи силового електрообладнання	317
Електроживлення	Змінний трифазний струм, 230/460 В, 60 Гц 22 кВА
Діапазон допустимої температури навколишнього середовища, °С	5 — 50
Вид приводу руки та кисті робота	Гідравлічний

Рух робочого органу робота 6СН за шістьма керованими від міні-ЕОМ координатами може здійснюватися як окремо, так і спільно, тобто одночасно.

До комплексу робота 6СН Arm входять як автономні агрегати маніпулятор, пульт системи керування Acromatic, що займає площу 0,9 м², гідроблок з насосною станцією (площа основи – 1,58 м²) і шафа силового електрообладнання, що займає площу 0,3 м². Рука маніпулятора, складається з кількох важелів, завдяки обертовим зчленуванням має хорошу гнучкість і рухливість. У з'єднаннях важелів руки і кисті робота 6СН встановлено підшипники, заповнені мастилом на весь термін служби робота.

Для приводу ланок руки і кисті використовують гідравлічну сервосистему, причому привід за п'ятьма ступенями рухливості робочого органу здійснюється від п'яти вбудованих в зчленування гідродвигунів, а для переміщення руки за одним ступенем свободи застосовують поворотний силовий гідроциліндр. Розмір робочої зони робота 6СН показано на рис. 2.12.

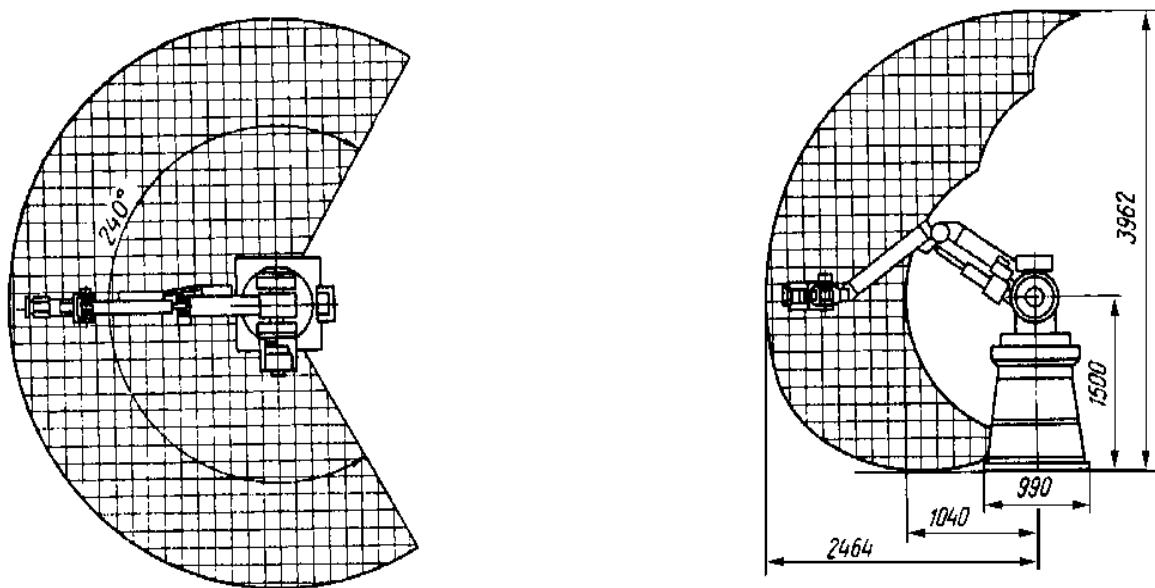


Рис. 2.12. Розміри робочої зони робота 6СН

Для забезпечення потрібної точності зупинки робочого органу маніпулятора робота 6СН у запрограмованій позиції по кожній з шести керованих координат $\omega_1 - \omega_6$ використовують шість пристроїв зворотного зв'язку, кожен з яких містить тахометр і вирішальний блок. Гідросистема робота оснащена баком для масла на 380 л. Для забезпечення високої надійності роботи сервосистеми масло в гідросистемі очищають від

механічних частинок фільтром очищення з розміром комірки у три мікрона. Для охолодження масла в гідросистемі застосовують теплообмінник (радіатор) з водяним охолодженням; є автоматичний регулятор температури масла, маслонасоси гідроблока приводяться в дію від трифазного електродвигуна потужністю 25 к. с. на 1500 оборотів робота у хвилину. Рівень шуму гідроблока не перевищує 85 дБ і може бути знижений на вимогу замовника. Електрообладнання робота змонтовано в шафі і відповідає всім нормам (включаючи протипожежні вимоги стандартів та норми техніки безпеки в США), за якими виготовляється електрообладнання металорізальних верстатів. У системі керування роботом 6СН, змонтованій в герметичній металевій шафі, використано міні-комп'ютер фірми Cincinnati Milacron CIP 2200.

Схема логіки системи ПК зібрана на інтегральних мікросхемах. Вона забезпечує вивід робочого органу робота 6СН у будь-яку точку робочого простору робота шляхом керування сервоприводами руки та кисті за шістьма програмованими координатами і переміщеннями захоплювача по прямій лінії, тобто по найкоротшій траєкторії між двома послідовними положеннями відповідно до програми роботи робота, що вводиться в оперативну пам'ять комп'ютера. На панелі керування є буквено-цифровий дисплей для виведення на екран інформації про функціонування системи ПК і маніпулятора робота, а також результатів самоконтролю та діагностики несправностей системи ПК. У системі діагностики та самоконтролю використовують чутливі елементи-датчики та схеми стеження.

2.2.1.1. Промисловий робот ТУР-10

Промисловий робот ТУР-10 призначено для виконання зварювальних, складальних, а також допоміжних технологічних операцій. Кінематичну схему промислового робота ТУР-10 показано на рис. 2.13.

У багатьох випадках доцільно двигун розміщувати не на основі, а на корпусі першої рухомої ланки. Саме таке конструктивне рішення було прийнято під час розроблення універсального електромеханічного робота ТУР-10. Цей робот випускається серійно і може бути використаний для обслуговування обладнання, автоматизації процесів складання, зварювання та при виконанні інших технологічних операцій з деталями масою до 10 кг. За структурою робота ТУР-10 аналогічний роботу IRb-6

фірми ASEA (Швеція), але відрізняється від нього конструктивним виконанням функціональних механізмів (табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Технічні характеристики робота ТУР-10

Показник	Значення
Вантажопідйомність, кг	10
Кількість ступенів рухливості	5
Максимальний вертикальний хід руки, мм	400
Максимальний кут повороту плеча, град	200
Максимальний кут повороту ліктя, град	140
Максимальний кут повороту захоплювача, град	±180
Максимальна швидкість вертикального переміщення руки, м/с	0,5
Максимальна швидкість вертикального повороту плеча, град/с	90
Максимальна швидкість вертикального повороту ліктя, град/с	120
Точність позиціонування, мм	0,05 ± 0,08

Маніпулятор робота виконано у вигляді шарнірно-важільного механізму з п'ятьма ступенями рухливості, що дозволяють переміщувати робочий орган у будь-яку точку робочого простору і орієнтувати його довільним чином у площині ланок у межах руху у зчленуваннях і передавальних механізмах. Рухливі ланки маніпулятора встановлено на нерухомій основі. Перша рухлива ланка являє собою поворотну платформу, що обертається в підшипниках, змонтованих на основі. До фланця останньої ланки кріпиться робочий орган робота – захоплювальний пристрій або технологічний інструмент. Електромеханічні приводи всіх ланок уніфіковані та виконані у вигляді сукупності двигунів постійного струму М1 – М5 типу 250Ф, хвильового редуктора з передавальним відношенням 102,5, кодового датчика положення ДП1 – ДП5 і тахогенератора типу 2,5ТГП-4.

У приводах руки узгоджувальний редуктор від вала двигуна до вала датчика положення виконано у вигляді пасової зубчастої передачі; її передавальне відношення у приводах руху ланок 2 і 3 (див. рис. 2.13) дорівнює 45/28, а в приводах механізму орієнтації – 90/28. У приводі поворотної платформи обертання на вал датчика передається з вихідного

вала редуктора через безззорну зубчасту пару з передавальним відношенням 15,6. Кінематичні ланцюги приводу від вихідних валів хвильових редукторів руки виконано у вигляді шарнірних паралелограмів. Приводи до ланок 4 й 5 виконано за допомогою ланцюгових передач, що містять по дві замкнуті гілки. Є модифікації конструкції маніпулятора, де замість ланцюгових передач застосовуються подвійні шарнірні паралелограми.

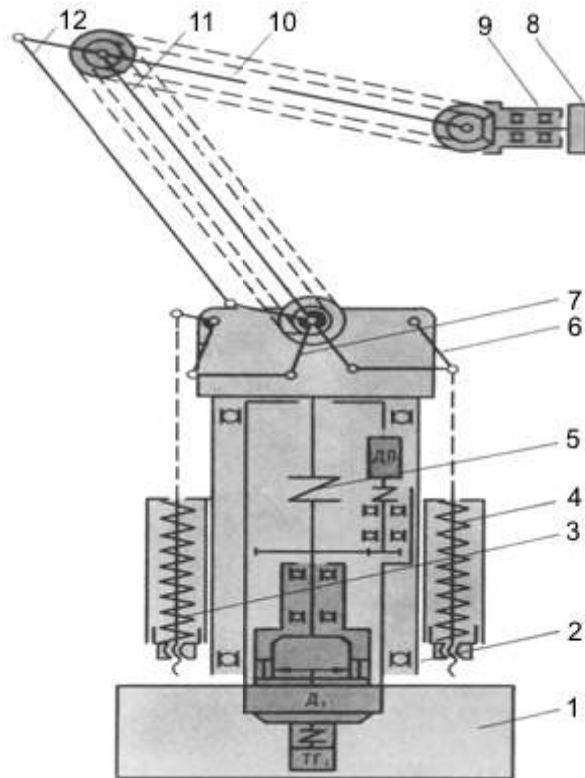


Рис. 2.13. Кінематична схема ТУР-10: 1 – основа; 2 – поворотна платформа; 3, 4 – зрівноважувальні механізми; 5 – муфта; 6, 7 – кривошипно-шатунні механізми; 8 – фланець для закріплення інструменту; 9 – кисть; 10 – горизонтальна ланка; 11 – вертикальна ланка; 12 – шарнірний паралелограм

Натяг ланцюгових передач виконується талрепами. У рухливих з'єднаннях передавальних кривошипно-шатунних механізмів і шарнірах маніпулятора зазори вибирають залежно від відносного осьового зміщення кілець підшипників. У кінчній передачі передбачено пружинний пристрій вибірки зазору. Для статичного зрівноважування ланок маніпулятора в конструкції передбачено пружинні механізми, встановлені на поворотній платформі. На заданому діапазоні переміщення додатково встановлений механізм має передавальну функцію, зворотну силовій характеристиці пружини зрівноваження. Підсумовування ефектів лінійного змінення зусилля на штоку пружини і наближено лінійного (на чверті обороту шківів

синусового механізму) відповідного змінення плеча прикладання цієї сили дозволяє отримати практично постійне зусилля, що діє уздовж ланцюга. Розміщення приводів (маса кожного ≈ 15 кг) на поворотній платформі й застосування системи передавальних механізмів у вигляді шарнірних паралелограмів і ланцюгів дозволило істотно полегшити конструкцію.

2.2.1.2. Робот фірми КУВ моделі KAR-2

Робот КУВ моделі KAR-2 (рис. 2.14) оснащений рукою шарнірної конструкції і електрогідравлічним сервомеханізмом приводу й керування. Рука робота має хорошу свободу рухів, достатню точність позиціонування і плавність ходу а наявність трьох обертальних рухів в шарнірах руки і двох обертальних рухів захоплювача дозволяє роботу виконувати досить складні маніпуляції.

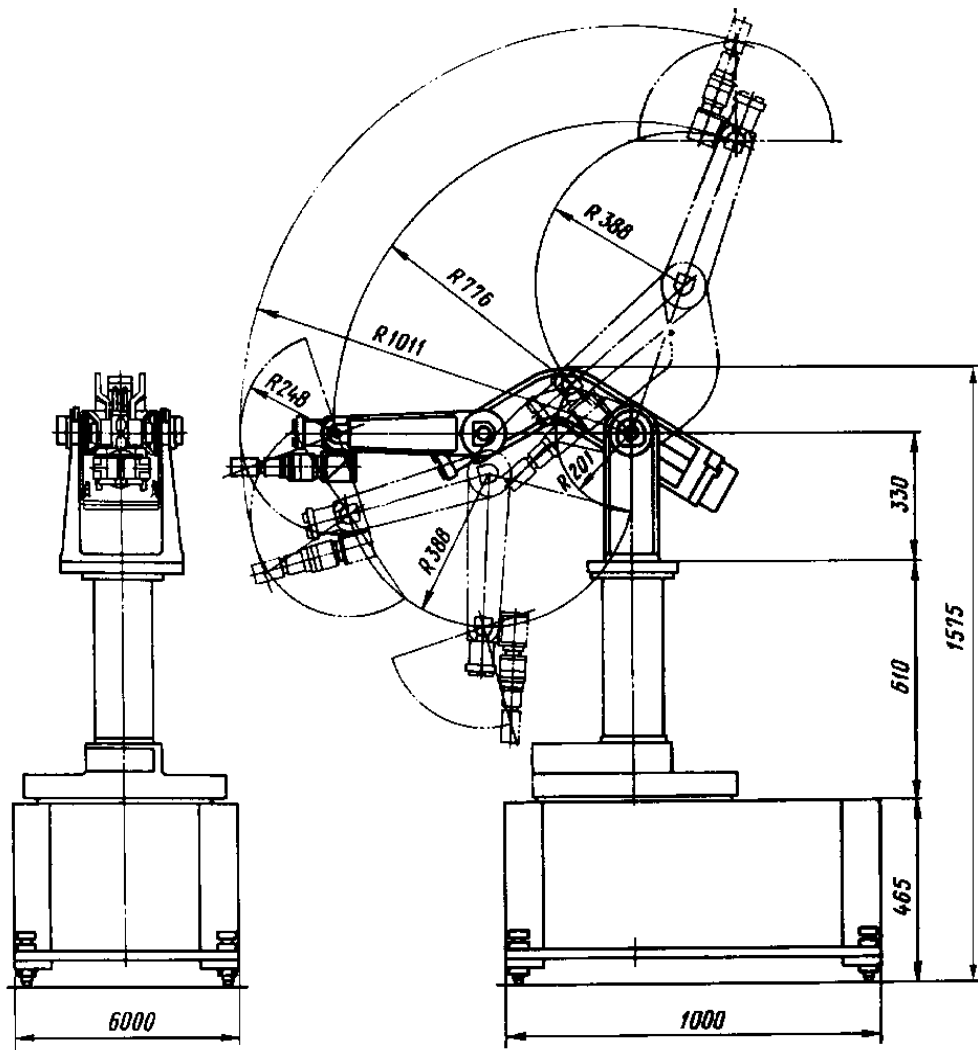


Рис. 2.14. Габаритні розміри і схема руху руки робота KAR-2

На рис. 2.14 показано габаритні розміри робота і радіус дії всіх ланок руки при різних її положеннях. Робот має систему ПК з досить великою місткістю пам'яті, що відрізняється легкістю запам'ятовування команд і можливістю їх коригування. Система керування робота позиційна, вона забезпечує плавне прискорення та уповільнення робочого органу: положення руки визначається положенням рухомих елементів кодових датчиків. Керування рухом губок захоплення здійснюється за принципом «включено – виключено». Рука робота приводиться в рух за допомогою гідроприводу (тиск масла в гідросистемі – 140 кгс/см²).

2.2.2. Промислові роботи з вертикальними осями шарнірів

2.2.2.1. Промислові роботи Skilam фірми San Kіo, Японія

Роботи призначені для автоматизації складальних операцій і завантаження верстатного та іншого технологічного обладнання. Гамма промислових роботів Skilam містить однакові за компонованням, але різні за максимальною вантажопідйомністю і розмірами моделі роботів, а саме: SR-2 (40 кг), SK-3 (20 кг) і SR-4 (5 кг). До складу робота входять: робот, електрошкаф, контролер з пультом керування та пристрій програмування. Електрошкаф, пульт управління і пристрій програмування пов'язані між собою та роботом кабелями (рис. 2.15, 2.17, табл. 2.6).

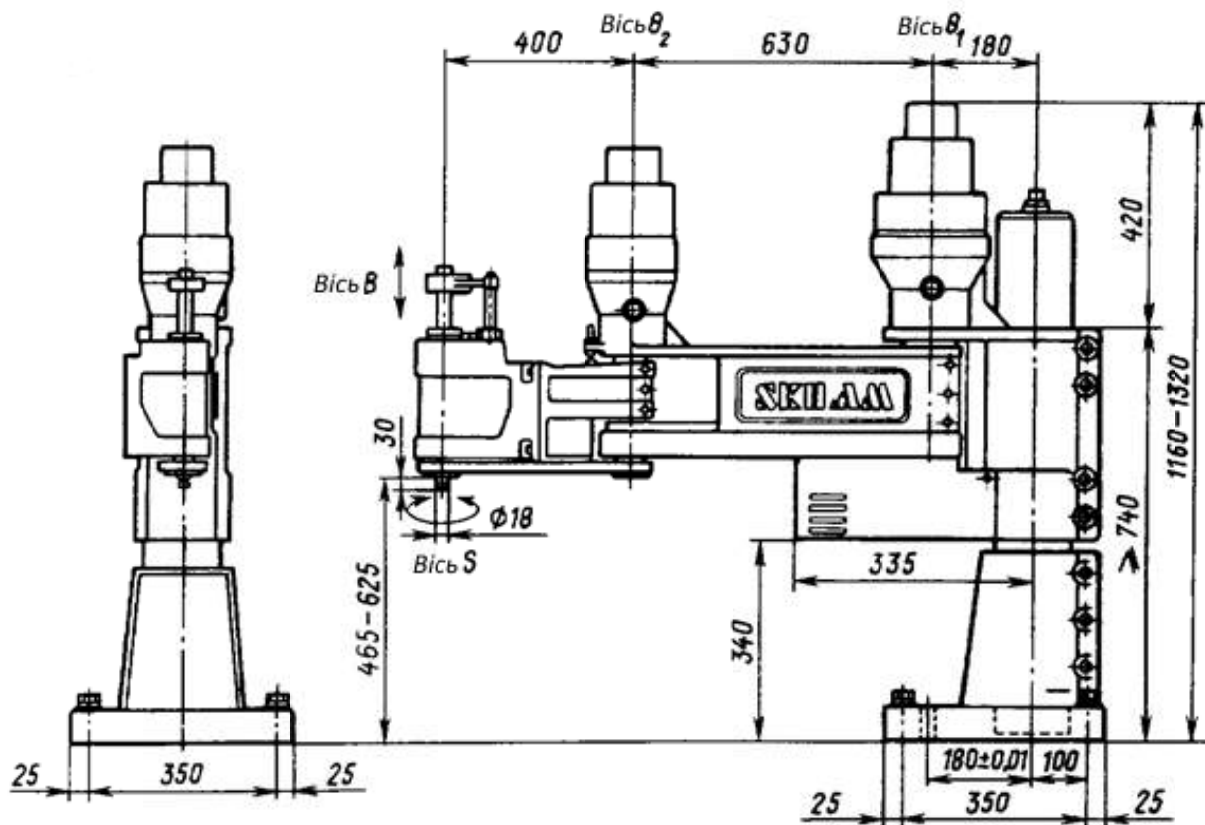


Рис. 2.15. Промисловий робот Skilam

Робот (рис. 2.16) містить чотири рухомі ланки. З них три – обертальні – плече 7, лікоть 4 і захоплювальний пристрій 1 і одна поступальна – кисть 2. Загальна кількість ступенів рухливості робота дорівнює чотирьом. За характером рухів і формою робочої зони робот належить до просторової ангулярної циліндричної системи координат. Плече 7 отримує поворотний рух від електродвигуна 9 через хвильовий редуктор 8, а лікоть 4 – від електродвигуна 6 через хвильовий редуктор 5. Кисть 2 має поступальне (вертикальне) переміщення від пневмоциліндра 3. Захоплювальна частина кисті повертається від електродвигуна 10 через зубчато-ремінну передачу 11. На кінематичній схемі осі і напрямки руху позначено таким чином: для плеча і ліктя – θ_1 і θ_2 , для кисті – B і S . Робот має горизонтальне конструктивне компонування.

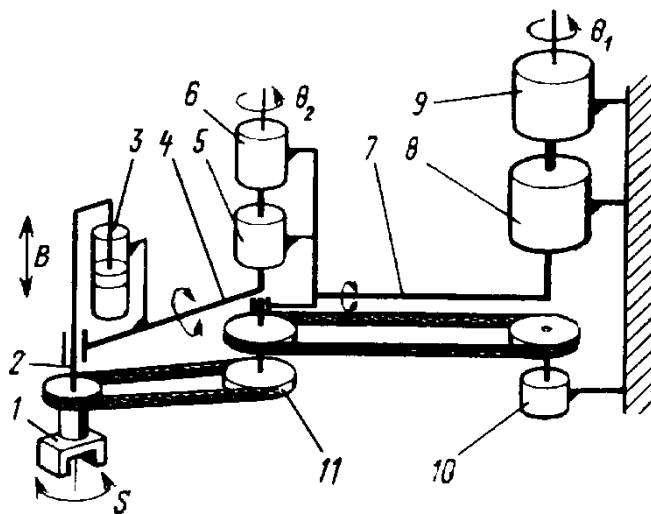


Рис. 2.16. Кінематична схема і конструктивне компонування робота Skillam

Таблиця 2.6

Основні технічні характеристики роботів Skillam

Показник	Значення
Система керування	Позиційна
Кількість керованих осей	3
Місткість ОЗУ (з можливістю розширення до 24 Кбайт)	6К
Метод програмування	Введення програм, підготовлених у пристрої програмування
Тип електродвигуна	Двигун постійного струму
Напруження живлення, В	200 ± 10 %
Габаритні розміри електрошкафи, мм	Не більше 530 × 530 × 950
Вага електрошкафи, кг	110

Плече 7 і лікоть 4 розташовані в горизонтальній площині. Опора плеча кріпиться до вертикальної колони клемовим болтовим з'єднанням. Колонна опирається на основу, яка призначена для його монтажу (на болтовому з'єднанні) до плити або до іншого нерухомого пристрою. Плече і лікоть мають приводні електродвигуни, розташовані безпосередньо на осях θ_1 і θ_2 . На тих же осях змонтовано хвильові зубчасті редуктори 5 і 8. Ці електродвигуни й редуктори дозволяють виконувати поворотні рухи плеча радіусом $R = 630$ мм на кут 200° і ліктя з $R = 400$ мм на кут 160° .

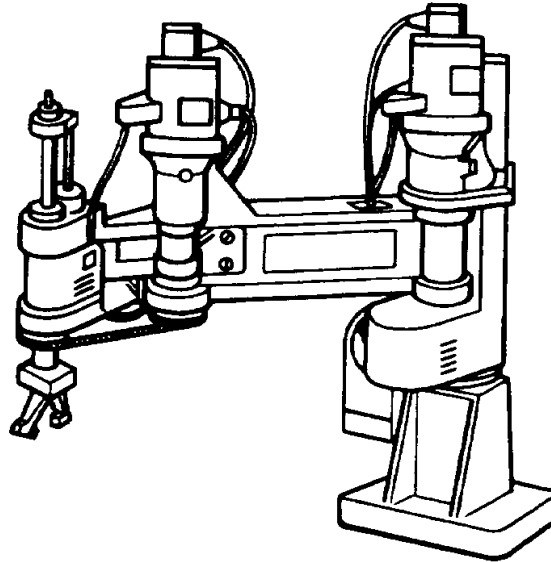


Рис. 2.17. Промисловий робот SR-2

Представником підлогових роботів з вертикальними осями шарнірів є робот M20K83 (рис. 2.18, табл. 2.7). На литій чавунній основі 14 встановлена колонна 12, по якій переміщується рука, що складається з плеча 6 і ліктя 3. На кінці руки кріпиться головка. Плече 6 шарнірно зв'язане з корпусом механізму вертикального переміщення руки 11 і від електродвигуна постійного струму 8 через хвильовий редуктор 7 ($i = 125$) приводиться в обертання навколо вертикальної осі. Лікоть 3 шарнірно вбудований в корпус плеча 6 і від електродвигуна постійного струму 5 через хвильовий редуктор 4 ($i = 80$) приводиться в обертання навколо вертикальної осі.

Поворот інструменту або захоплювального пристрою навколо вертикальної осі здійснюється механізмом обертання, який приводиться в рух електродвигуном постійного струму 1 через хвильовий редуктор 2 ($i = 80$), зубчасту циліндричну передачу ($i = 1,5$) і передачу зубчастим ременем. Міжосьова відстань зубчастої передачі регулюється прокладкою, встановленою між корпусом редуктора і корпусом механізму вертикального переміщення. Шестерня циліндричної зубчастої передачі закріплена разом зі шківом зубчато-пасової передачі на валу плеча. Через шків, розташований на валу плеча, на валу ліктя і вала головки передається обертання на інструмент. Усі рухи робота обмежуються безконтактними кінцевими вимикачами.

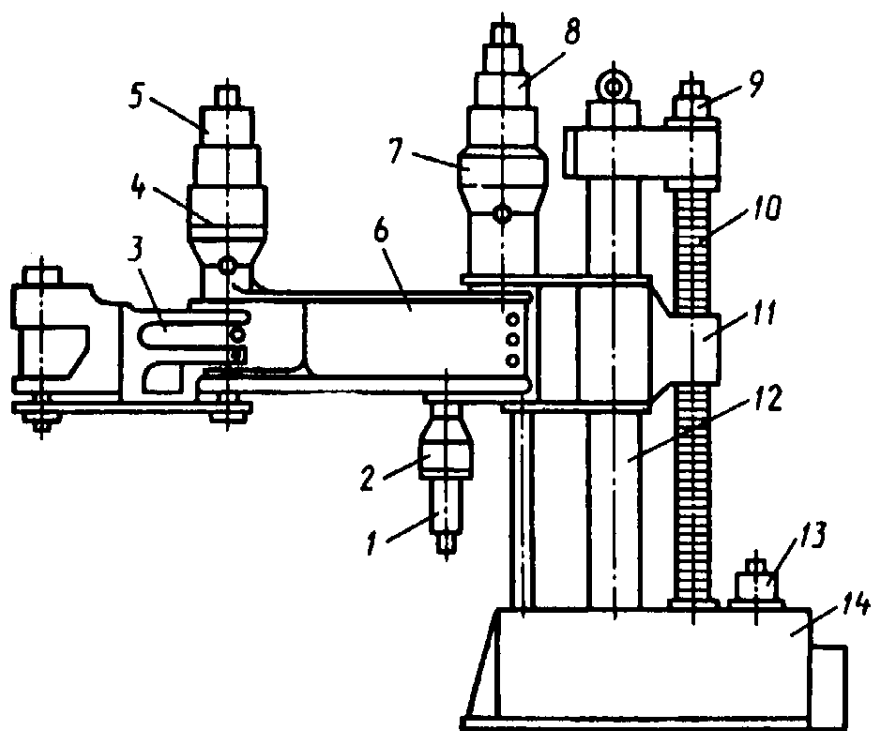


Рис. 2.18. Промисловий робот M20K83

Таблиця 2.7

Технічні характеристики робота M20K83

Показник	Значення
Вантажопідйомність, кг	20
Кількість ступенів рухливості	4
Максимальний вертикальний хід руки, мм	400
Максимальний кут обертання, град:	
– плеча	200
– ліктя	140
– робочого органу	±180
Максимальна швидкість вертикального переміщення руки, м/с	0,5
Максимальна кутова швидкість плеча, град/с	90
Максимальна кутова швидкість ліктя, град/с	120
Максимальна кутова швидкість повороту робочого органу, град/с	170
Точність позиціонування, мм	±0.05...0.08

На кінці ліктя жорстко кріпиться головка для автоматичної зміни інструменту. Головка має шпindel, в якому за допомогою байонетного з'єднання закріплюється хвостовик інструменту або захоплювального

пристрою. Через трубчастий шпindel підводиться повітря для пневмоприводу губок захоплювального пристрою. Поворот захоплювального пристрою відбувається за допомогою зубчато-пасової передачі через шків, закріплений на нижньому кінці шпинделя. Губки захоплювального пристрою приводяться в рух за допомогою кулачково-важільного механізму від пневмоциліндра однієї дії.

2.3. Портальні промислові роботи і роботи мостового типу

2.3.1. Портальні промислові роботи

Портальні промислові роботи зазвичай призначені для виконання операцій завантаження металорізального обладнання, а також для виконання зварювальних і завантажувально-розвантажувальних робіт. На рис. 2.19 зображено промисловий робот PW-150 виробництва фірми Shin Meiwa. Робот застосовується для зварювальних операцій і працює у прямокутній системі координат.

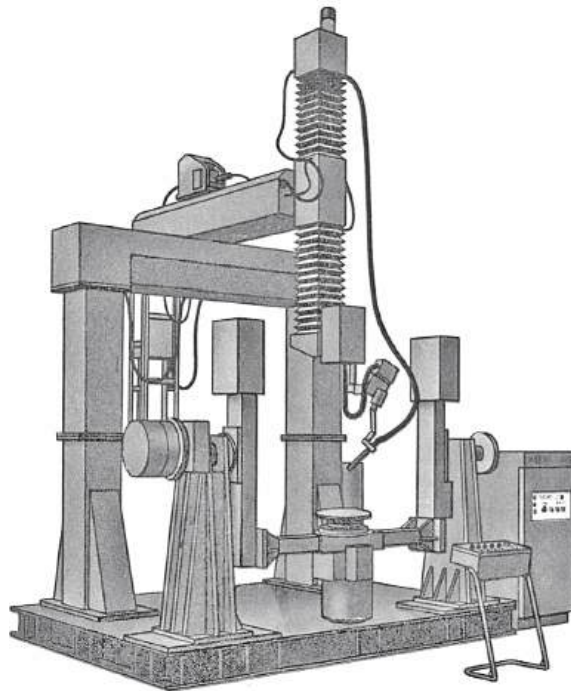


Рис. 2.19. Промисловий робот PW-150

2.3.1.1. Промислові роботи M20Ц

Промислові роботи M20Ц (рис. 2.20) побудовані на агрегатній основі й призначені для виконання операцій завантаження-розвантаження металорізальних верстатів та іншого обладнання, у тому числі з ЧПК. Номінальна вантажопідйомність – 10 кг. У серії передбачено вісім модифікацій, що враховують компоновальні особливості устаткування, яке обслуговує, а також характер (серійність) виробництва, в якому це обладнання використовують.

Модифікації відрізняються кількістю рук (одна або дві), а також наявністю руху нахилу руки та кантувача. Всі рухи виконавчих елементів ПР можуть здійснюватися в будь-якій послідовності і незалежно один від одного. Черговість їх виконання встановлюється шляхом кнопочного набору програми на пульті системи керування ПР. Максимальна маса завантажуваної деталі – 10 кг. Сумарна вантажопідйомність ПР – 20 кг. Типові деталі: фланці діаметром 40...200 мм і висотою до 100 мм; вали діаметром 20...60 мм і довжиною більше 150 мм.

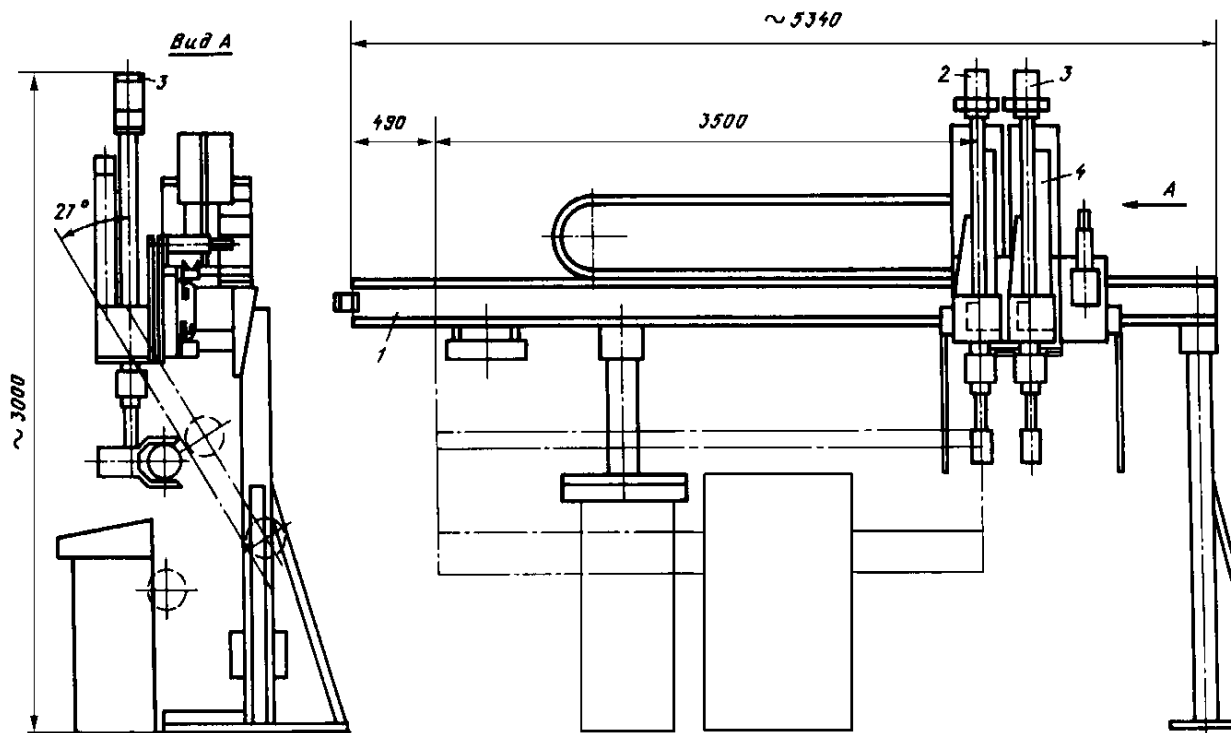


Рис. 2.20. Промисловий робот М20Ц

Для роботи з деталями типу фланців передбачено модифікації з двома руками і одномісними захоплювальними пристроями, для роботи з деталями типу валів – модифікації з однією рукою і двомісним захоплювальним пристроєм. Допускається інше застосування модифікацій. Робот пристосовано для роботи з накопичувачем при укладанні фланців стопами змінної висоти.

Робот являє собою опорну систему, по монорельсу 1 якої переміщується каретка 4 з установленою на ній поворотною плитою, на якій розташовуються одна або дві руки 2, 3, оснащені приводами і механізмами повороту і затиску захоплювального пристрою. До складу робота входить також система ЦПК УЦМ 663. Кінематичну схему робота наведено на рис. 2.21. Робот в усіх восьми виконаннях має порталну конструкцію. Каретка 1 переміщується по монорельсу 2. Привід каретки здійснюється від

електродвигуна 4 через зубчастий редуктор 5. Вихідний вал редуктора містить рейкову шестерню, яка зачіплюється з зубчастою рейкою 3. З іншим кінцем вала зв'язане електромагнітне гальмо 6.

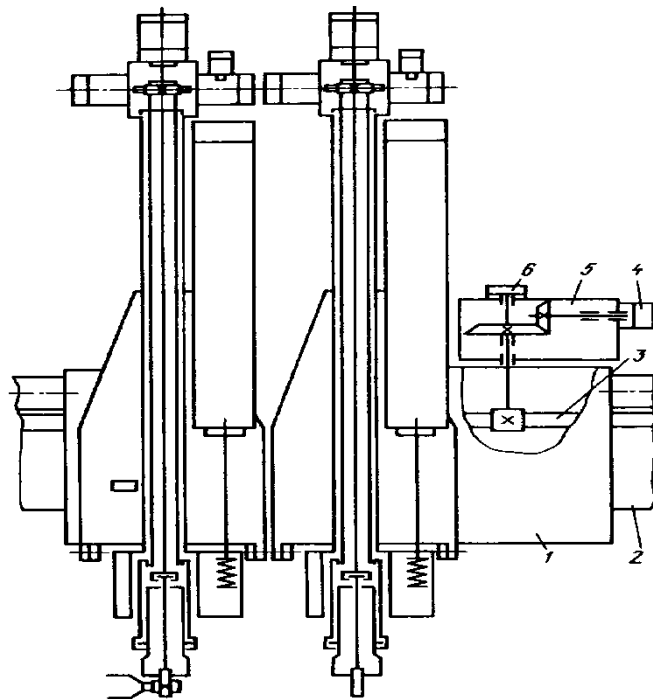


Рис. 2.21. Кінематична схема робота M20Ц

На каретці закріплені (залежно від виконання може і не бути) одна або дві однакові поворотні плити, до яких кріпляться корпуси висувних рук (також однакових). На основі поворотної плити шарнірно закріплюється пневматичний циліндр, при спрацьовуванні якого плита разом з рукою відхиляється від вертикалі. Кут нахилу можна обмежувати в діапазоні $0...27^\circ$. Плити за відсутності тиску фіксуються засувкою, яка відкривається пневмоциліндром. Основа плити кріпиться до каретки гвинтами з можливістю установчих переміщень по вертикалі в межах 50 мм. Для корпусу руки також передбачено можливість установчого переміщення в межах 50 мм уздовж плити. Рука переміщується на роликах. У нижній частині руки з можливістю повороту установлено шпиндель, в якому закріплюється захоплювальний пристрій.

У модифікації M20Ц.48.02 привід повороту шпинделя відсутній. Поворот шпинделя здійснюється пневмоциліндром через рейку і шестерню. Висувний упор, який переміщується пневмоциліндром, визначає місце установлення рейки в середньому положенні за необхідності повороту шпинделя на 90° . У середині труби проходить штовхач, який переміщується пневмоциліндром і пов'язаний з міхом захоплювального пристрою. Рука за відсутності тиску фіксується засувкою, яка відкривається пневмоциліндром. Переміщення рук або руки здійснюється пневмоциліндром через пружину.

При захопленні деталей зі стопки в момент дотику до верхньої деталі рука зупиняється, а шток циліндра продовжує рухатися, стискаючи пружину. Опорна система являє собою траверсу, встановлену на колонах. На траверсі кріпляться рейки, по яких переміщується каретка.

2.3.1.2. Робот типу М40П

Розроблено дві модифікації робота: М40П.05.02 і М40П 05.03. Робот з ЧПК моделі М40П.05.02 (рис. 2.22) призначено для виконання операцій завантаження-розвантаження металорізальних верстатів та іншого обладнання. Пристрій ЧПК позиційного типу дозволяє здійснювати різні цикли роботи. Робот може обслуговувати групу верстатів. Найбільша маса завантажуваних деталей – 40 кг. Робот може бути оснащений двомісними захоплювальними пристроями. Кількість ступенів рухливості дорівнює п'яти (без урахування руху губок), у тому числі три керуються від ЧПК. Є пристрої для автоматичного закріплення робочого органу в головці робота, що дозволяє здійснювати його автоматичне змінення.

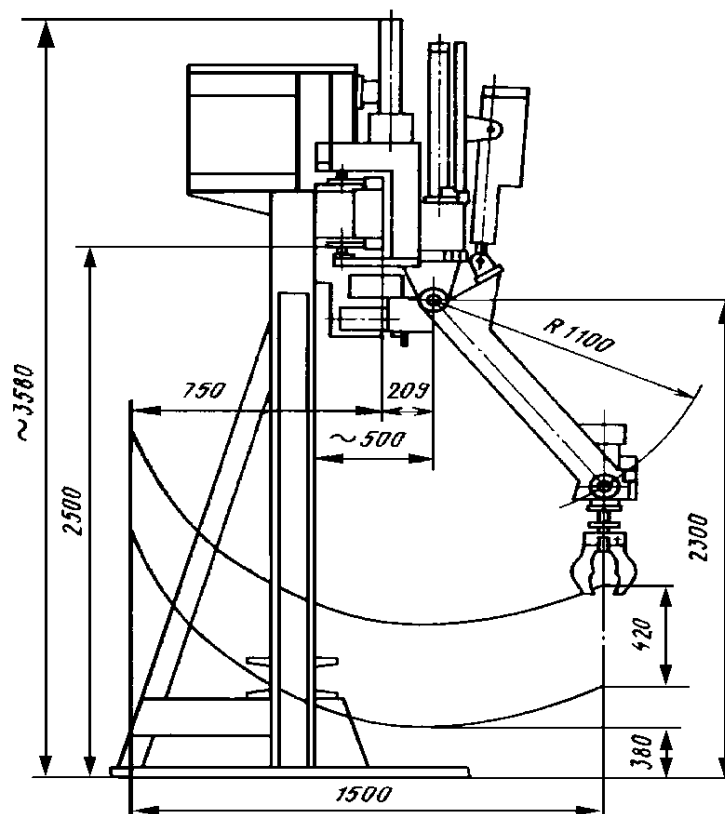


Рис. 2.22. Робот М40П

Робот М40П.05.03 (рис. 2.23) відрізняється від попереднього тим, що у нього відсутній механізм приводу кочення головки. Кількість ступенів рухливості – чотири (без урахування руху губок захоплення), у тому числі три керуються від ЧПК. Робот являє собою порталну конструкцію. Каретка

переміщується по монорельсу. Приведення каретки в дію здійснюється електрогідравлічним кроковим двигуном, який через редуктор і зубчасте колесо з'єднаний з рейкою. Для зменшення люфтів у ланцюзі приводу передбачено гідродвигун, з'єднаний через зубчастий редуктор з іншим рейковим зубчастим колесом.

На каретці закріплено корпус повзуна, по якому переміщується на опорах кочення повзун, з'єднаний зі штоком лінійного електрогідравлічного шагового двигуна. На кінці повзуна на осі закріплена рука, виконана у вигляді двоплечевого важеля. Рука робить рухи, що качають навколо цієї осі за допомогою лінійного електрогідравлічного приводу, розміщеного на кронштейні, закріпленому на повзуні. На нижньому кінці руки закріплена головка, в якій встановлюється захоплювальний пристрій. Для забезпечення постійного кутового положення в просторі осі головки при коченні руки передбачено випрямний механізм. Цей же механізм використовується для повороту головки (тільки для робота моделі М40П.05.02).

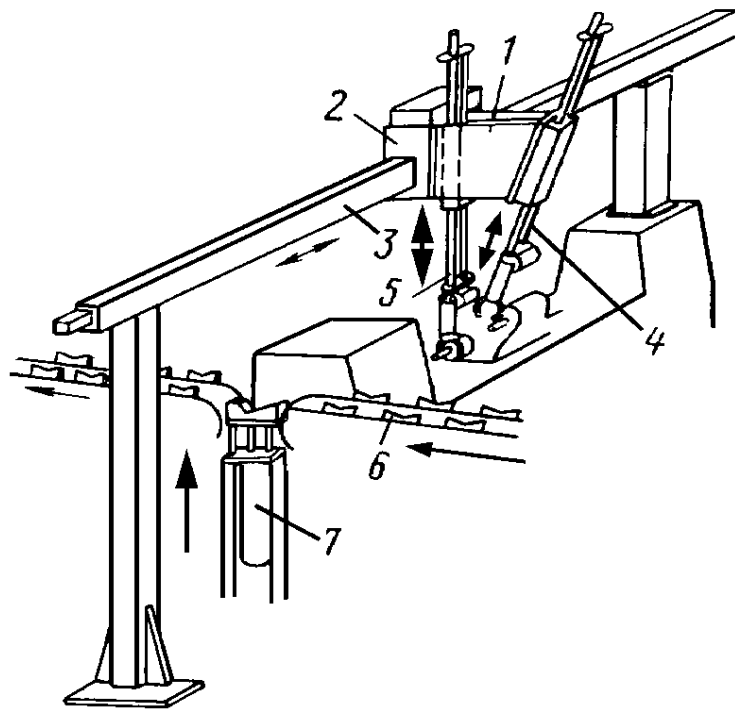


Рис. 2.23. Установлення деталі на токарний верстат за допомогою механічної руки фірми Toshiba: 1 – кронштейн зі здовоною механічною рукою; 2 – рухома каретка для кріплення рук; 3 – напрямна, по якій рухається каретка; 4 – захоплювач руки для заготовок; 5 – захоплювач руки для готових деталей; 6 – ланцюговий транспортер з електроприводом; 7 – механічна рука – підйомник заготовок з транспортера

Усередині головки розміщуються привід повороту шпинделя, в якому встановлюється захоплювальний пристрій, і привід переміщення його губок. Поворот шпинделя здійснюється від гідродвигуна через зубчастий редуктор. Привід губок захоплювального пристрою являє собою циліндр,

шток якого з'єднується з тягою цього пристрою. Шпindel головки може повертатися на 90 і 180°. Керування цими рухами здійснюється гідрощупом і торцевими кулачками, встановленими на фланці шпінделя головки. Залежно від необхідного положення об'єкта вибирається положення осі підвіски важеля щупа.

Опорна система робота являє собою траверсу, що складається з секцій монорельсів, установлених на колонах. На траверсі кріпляться рейки, по яких переміщується каретка. На верхній рейці закріплена зубчаста рейка (що складається з секцій). На монорейці закріплені кронштейни, що мають ланцюг енергопідведення, а також кронштейни кріплення лінійок зон. Лінійки зон взаємодіють з безконтактними вимикачами, встановленими на каретці, які подають команди, що визначають положення каретки уздовж зони обслуговування.

Опорну систему розділено на ряд невеликих вузлів, що дозволяє створювати особливі модифікації, які відрізняються одна від одної загальною довжиною (одно-, дво- і трипрольотні). Пристрій блокування виконано у вигляді висувного упора, який розміщується в корпусі, закріпленому на задній стороні монорейки. Цей упор є аварійним при виконанні робіт персоналом в одній із зон обслуговування. Висування упора відбувається під дією пружини, а установлення його в нижнє (вихідне) положення – за допомогою троса, другий кінець якого закріплено на встановленому на колоні ролику з рукояткою. Поворот рукоятки виконується вручну. Нижнє (вихідне) положення упора контролюється шляховим вимикачем. У висунутому положенні упор взаємодіє з аварійними вимикачами і жорсткими упорами, встановленими на каретці.

Корпус каретки зварений. Каретка має дві групи роликів (по три штуки в кожній), що охоплюють верхню рейку, і два ролика, що опираються з боків на нижню рейку. На верхній площині каретки встановлюється привід для її переміщення. На передній вертикальній площині кріпиться повзун. На задній площині каретки встановлені аварійні вимикачі, а також вимикачі зон і жорсткий упор.

Привід каретки – здвоєний редуктор, який має два вихідних зубчастих колеса, які зачіпляються з рейкою, закріпленою на монорейці. Редуктор має також два вихідних вали, один з яких з'єднаний з електрогідролічним кроковим двигуном, а другий – з гідродвигуном, що забезпечує завдяки відповідним з'єднанням порожнин гідродвигунів вибірку люфтів у зачепленні зубчастих коліс з рейкою. Повзун виконано зварним, він переміщується по двох групах роликів (по чотири в кожній), закріплених на корпусі. Частина роликів встановлена на ексцентрикових валиках для вибірки зазорів між роликками і повзуном. На верхній площині корпусу повзуна розміщується лінійний електрогідролічний кроковий двигун вертикального переміщення повзуна, шток якого кріпиться до повзуна. На нижній площині корпусу

повзуна встановлюється рука, а на передній боковій площині – кронштейн, на якому встановлено лінійний електрогідрравлічний кроковий двигун кочення руки, шток якого з'єднаний з рукою. Корпус руки – зварений, і на ньому у верхній і нижній частинах, розміщено цапфи. Верхні цапфи жорстко з'єднані з корпусом і змонтовані на підшипниках кочення, встановлених в корпусі руки. До цапф кріпиться головка. Одна з цапф має зубчастий вінець, який зчіплюється з зубчастим колесом механізму випрямлення. Це колесо з'єднується з рейкою. Верхній кінець рейки через зубчасте колесо з'єднується з приводом кочення головки, закріпленому на кронштейні руки. На другий цапфі встановлено поворотне з'єднання для підведення гідравліки до головки.

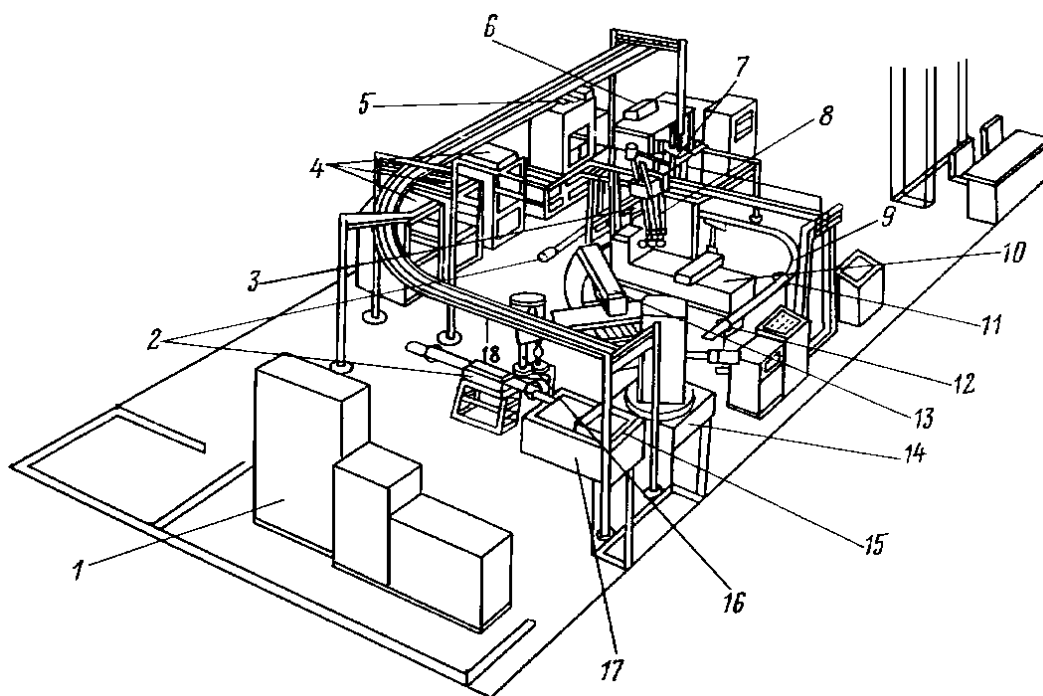


Рис. 2.24. Автоматична лінія фірми Hitachi з механічними руками і роботами для оброблення вала ротора малогабаритного електродвигуна: 1 – ЕОМ керування лінією; 2 – механічна рука для переміщення заготовок уздовж однієї осі в накопичувачах (на майданчиках) № 1 і 2; 3 – накопичувач (майданчик) № 1 для перезавантаження заготовок; 4 – стелажі № 1, 2 і 3 для піддонів з заготовками і валами різних типорозмірів; 5 – підвісний робот для передачі важких піддонів з заготовками; 6 – пульт уведення програм оброблення деталей; 7 – робот для передачі заготовок валів; 8 – портальний робот (здвоєна механічна рука) для завантаження токарного верстата; 9 – лоток; 10 – токарний патронний автомат; 11 – визначник заготовок, що підлягають обробленню на токарному верстаті 10; 12 – перемикаючий пристрій для передачі заготовок роботу 14; 13 – горизонтально-фрезерний верстат-автомат; 14 – підлоговий стаціонарний робот для завантаження фрезерного і свердлильного верстатів; 15 – піддон для готових виробів; 16 – вертикально-свердлильний верстат-автомат; 17 – накопичувач (майданчик) для перезавантаження заготовок; 18 – напрямна для руху робота 5

Механізм приводу кочення головки (тільки для ПР моделі М40П.05.02) призначено для повороту головки навколо горизонтальної осі на кут 90° . Механізм являє собою гідроциліндр, порожнини якого керуються за допомогою гідророзподільника, вбудованого в гідропанель. Остання служить для регулювання швидкості кочення головки. Шток-рейка гідроциліндра за допомогою двовінцевого зубчастого колеса, встановленого на верхній цапфі руки, з'єднується із зубчастим колесом механізму випрямлення.

Механізм фіксації головки застосовується тільки для ПР моделі М40П.05.03 і призначений для кріплення головки під певним кутом відносно горизонтальної осі. Механізм фіксації головки нерухомо закріплений на руці робота. Рейка цього механізму з'єднується з двовінцевим зубчастим колесом, встановленим на верхній цапфі руки, і фіксує кутове положення цього колеса.

Литий корпус головки кріпиться до фланців нижніх цапф руки. Усередині корпусу розміщується редуктор приводу повороту шпинделя, змонтованого в корпусі на підшипниках кочення. На передньому кінці шпинделя є байонетний замок і фланець з пружинним фіксатором, призначеним для закріплення захоплювального пристрою. На цьому фланці є також електричний і пневматичний розніми для підключення до захоплювального пристрою електричних і пневматичних ланцюгів. Над шпинделем головки розміщується гідроциліндр затиску захоплювального пристрою, на штоку якого закріплено півмуфту байонетного з'єднання. Поворот шпинделя головки на 180° здійснюється гідродвигуном через редуктор, а гальмування і зупинка гідродвигуна виконуються золотниковим розподільником, який взаємодіє з торцевими кулачками, встановленими на фланці шпинделя.

Механізм фіксації повзуна призначено для зупинки його рухомої частини у разі відключення або відсутності тиску в гідросистемі. Механізмом фіксування повзуна є корпус, в якому вбудовано плунжер і штовхач. За відсутності тиску в гідросистемі штовхач повертає важіль, кінець якого западає в один з отворів на торці рухомої частини повзуна і фіксує його в певному положенні.

Захоплювальні пристрої та інші механізми, що встановлюються в шпинделі, мають бути оснащені хвостовиком, опорним фланцем, які мають клинове гніздо під ролик фіксатора, а також центрувальним фланцем для базування пристрою в магазині. На опорному фланці може закріплюватися

кронштейн з елементами пневмо- та електрорознімів. Через хвостовик проходить тяга, яка передає рух захоплювальному пристрою (рис. 2.25).

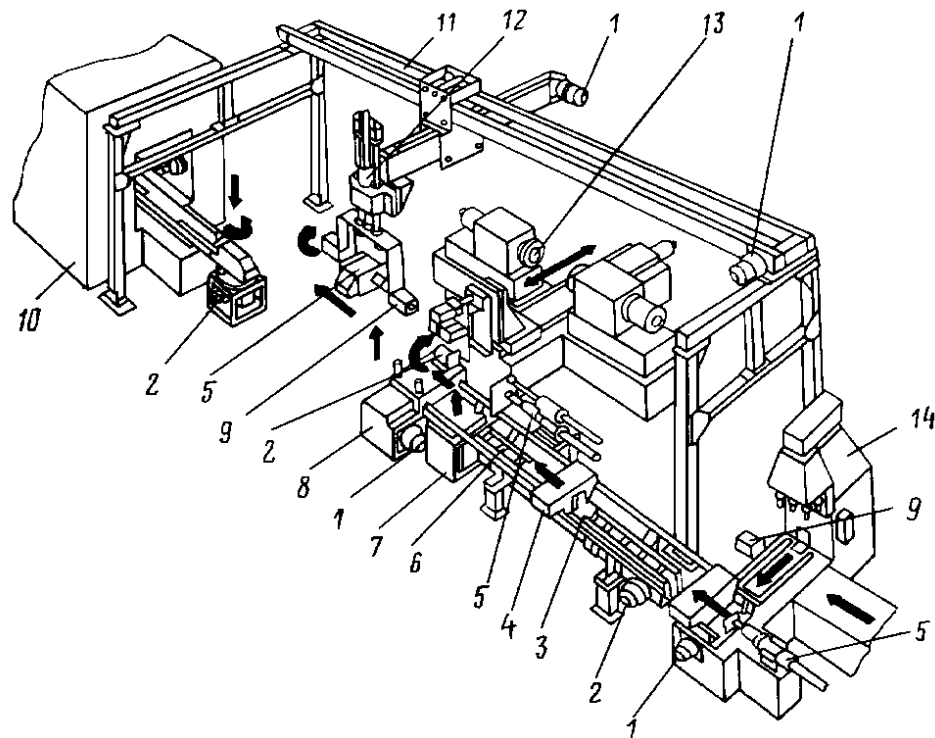


Рис. 2.25. Ділянка автоматичної лінії для оброблення корпусних деталей, оснащена механічними руками і роботом Motohand: 1 – електродвигуни з черв'ячними редукторами; 2 – електродвигуни з зубчастими редукторами; 3 – конвеєр; 4 – заготовка корпусної деталі; 5 – механічна рука для переміщення заготовок уздовж осі конвеєра; 6 – механічна рука; 7 – піднімальний механізм; 8 – завантажувальний стіл; 9 – захоплювач з електроприводом; 10 – тунельна установка для подальшої обробки (миття і т. П.); 11 – рухома траверса (стрілками показані напрямки руху при розвантаженні деталей і передачі їх в тунельну установку 10); 12 – робот Motohand; 13 – поздовжньо-фрезерний верстат; 14 – багатшпindelний вертикально-свердлильний верстат

Автоматичне змінення захоплювального пристрою здійснюється таким чином: за необхідності поставити у гніздо захоплювальний пристрій, встановлений в шпинделі головки, робот вносить його в гніздо і зупиняється в положенні, при якому центрувальний фланець розташований співвісно з відповідною розточкою гнізда на деякій висоті (15...20 мм) над площиною магазину. Після цього головка переміщується вертикально до входу центрувального фланця у гніздо і зіткнення опорного фланця з площиною магазину. При цьому закріплений на зазначеній площині палець входить у гніздо опорного фланця, віджимаючи ролик головки. Далі шпindel головки повертається на 90° за годинниковою стрілкою (якщо дивитися зверху), ролик повертається по опорному фланцю, а байонетне з'єднання хвостовика і тяги розкривається. Потім повзун піднімається приблизно на 150 мм, і шпindel сходить з хвостовика. За необхідності встановити

захоплювальний пристрій у шпindelь робот зупиняється у положенні, при якому гніздо шпинделя виявляється співвісним з хвостовиком потрібного захоплювального пристрою. Далі повзун опускається, і хвостовик цього пристрою входить в отвір шпинделя, причому фіксує ролик головки, що віджимається опорним фланцем. Шпindelь повертається на 90 ° проти годинникової стрілки; при цьому спрацьовує байонетне з'єднання хвостовика і тяги, а ролик заходить на торець пальця магазину. Потім головка піднімається на 15...20 мм, виводячи захоплювальний пристрій з гнізда магазину. Під час цього руху ролик опускається і фіксує пристрій у кутовому положенні. Потім захоплювальний пристрій бічним рухом виводять з гнізда магазину (рис 2.26).

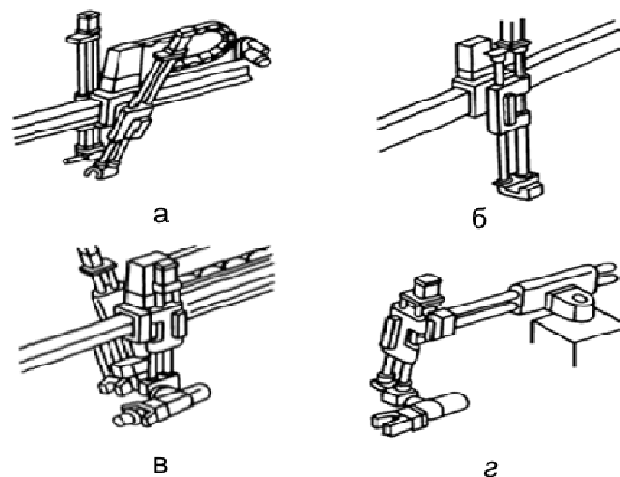


Рис 2.26. Компонування механічних рук Toshiba:

- а – здвоєна рука з поздовжнім рухом по напрямній;
 б – одинарна рука для укладання деталей в тару; в – здвоєна рука для передачі деталей типу фланців; г – механічна рука поворотного типу

Запитання для самостійної перевірки знань

1. Які ви знаєте моделі промислових роботів з висувною рукою?
2. Наведіть технічні характеристики робота Unimate.
3. Де застосовуються роботи Unimate?
4. Технічні характеристики роботів SR-5 і SR-19 .
5. Які ви знаєте моделі промислових роботів з шарнірною рукою?
6. Назвіть моделі роботів з горизонтальними осями шарнірів.
7. Наведіть технічні характеристики робота ПРК-20.
8. Яке призначення промислового робота ТУР-10?
9. Наведіть технічні характеристики робота 6СН.
10. Які ви знаєте промислові роботи з вертикальними осями шарнірів?
11. Які основні технічні характеристики промислового робота Skilam?
12. Наведіть, які ви знаєте порталні роботи та роботи мостового типу.

3. КОНСТРУКЦІЯ І РОЗРАХУНОК МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

3.1. Кінематичні схеми маніпуляторів

Для довільного маніпулювання об'єктом у просторі досить шести ступенів рухливості механізму. Тому механізм маніпулятора будується зазвичай у вигляді ланцюга з шести ланок, послідовно з'єднаних одна з одною за допомогою шарнірів. На останній від основи ланці розташований захоплювальний пристрій – сьомий ступінь рухливості. Прийнято розділяти рухи робота на глобальні, регіональні та локальні. **Глобальні рухи** – це переміщення на відстані, що перевищують розміри самого робота. **Регіональні рухи** – це переміщення захоплювального пристрою робота у різні зони робочого простору, що визначається розмірами ланок руки. До **локальних** належать переміщення захоплювального пристрою, які співмірні з його розмірами, зокрема орієнтація у маленькій ділянці робочого простору, невеликі встановлювальні переміщення і т. п.

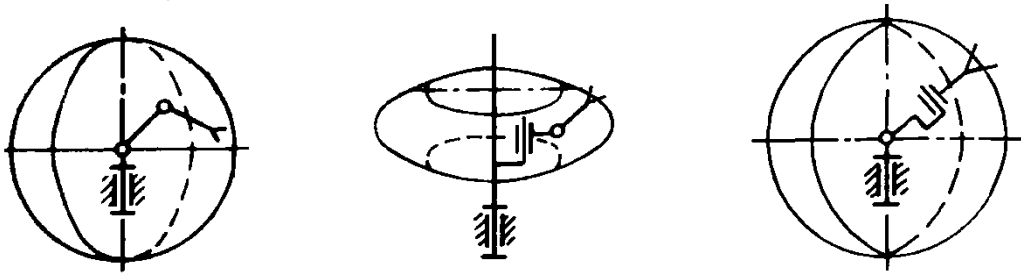


Рис. 3.1. Кінематичні схеми, утворені поєднанням трьох обертальних пар (O–O–O)

Поняття про локальні та регіональні рухи дозволяє розділити скелет **руки** робота на дві кінематичні ділянки, які сприймають різне функціональне навантаження: **КИСТЬ** із захоплювальним пристроєм і власне рука. Кінематика кисті визначає орієнтувальні можливості робота, а кінематика руки – конфігурацію і розміри робочого простору робота і його маневреність. Можливі структурні кінематичні схеми власне руки, утворені сполученнями трьох пар п'ятого класу (обертальних В і поступальних П), наведено на рис. 3.1 – 3.6.

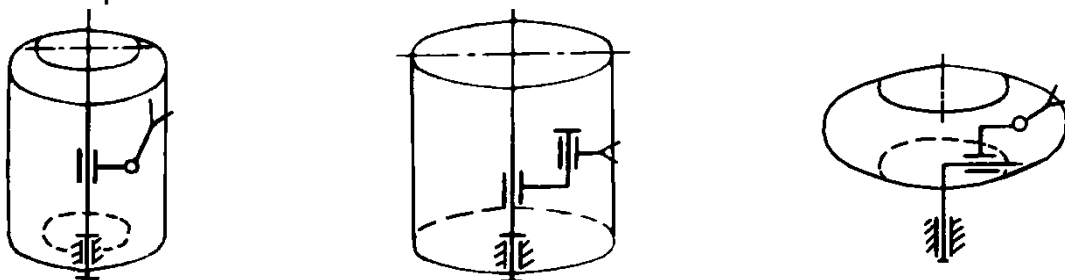


Рис. 3.2. Кінематичні схеми, утворені поєднанням двох обертальних пар та однієї поступальної (O–П–O)

Ці схеми забезпечують регіональні переміщення кінцевої точки розімкненого ланцюга (точки, що є базовою для приєднання кисті з захоплювальним пристроєм) у межах деякого робочого простору, обриси якого показано тонкими лініями. Для кожного поєднання подано кілька реалізованих схем, що розрізняються взаємним розташуванням осей кінематичних пар, а саме розворотом будь-якої з пар на 90° . Аналіз наведених структур дозволив виявити умови взаємного розташування пар, що забезпечують об'ємні рухи кінцевої точки ланцюга, вплив співвідношень довжин ланок і обмежень у шарнірах на конфігурацію робочого простору, наявність двозначності, що дозволяє перемістити захоплювальний пристрій у тінюву сторону перешкод тощо.

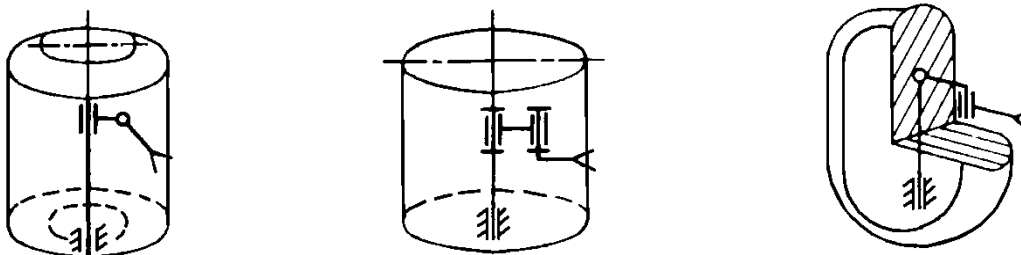


Рис. 3.3. Кінематичні схеми, утворені поєднанням однієї поступальної та двох обертальних пар (П–О–О)

Важливо зазначити, що не кожна структура розімкнутого ланцюга, яка містить три або більше кінематичних пар п'ятого класу, забезпечує об'ємний рух кінцевої точки.

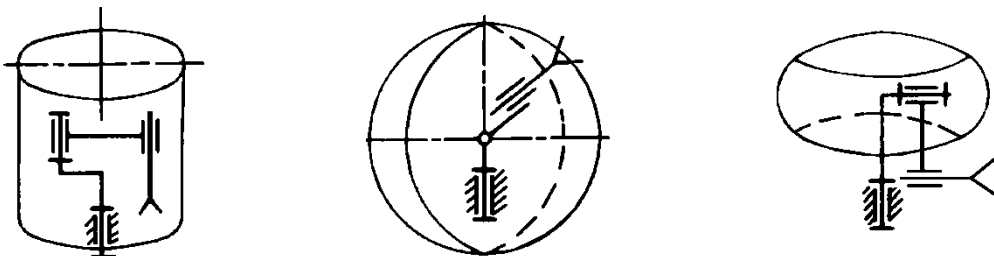


Рис. 3.4. Кінематичні схеми, утворені поєднанням однієї поступальної та двох обертальних пар (О–О–П)

Такий рух здійснюється механізмом, структурна схема якого задовольняє хоча б одну з таких умов:

- 1) є дві обертальні пари, осі яких непаралельні;
- 2) є дві обертальні пари з паралельними осями та поступальна пара, вісь якої неперпендикулярна до осей обертальних пар;
- 3) є дві поступальні пари з непаралельними осями та обертальна пара, вісь якої неперпендикулярна до площини, утвореної напрямками осей поступальних пар, або поступальна пара, вісь якої непаралельна тій же площині.



Рис 3.5. Кінематичні схеми, утворені поєднанням однієї обертальної та двох поступальних пар (П–О–П)

Винятком із правила є механізм, який має тільки обертальні пари, осі яких перетинаються в одній точці. Невиконання зазначеного правила виключає об'ємний рух і призводить до руху по поверхні. Такі структури не можуть бути використані для реалізації регіональних рухів руки робота і не розглядаються.

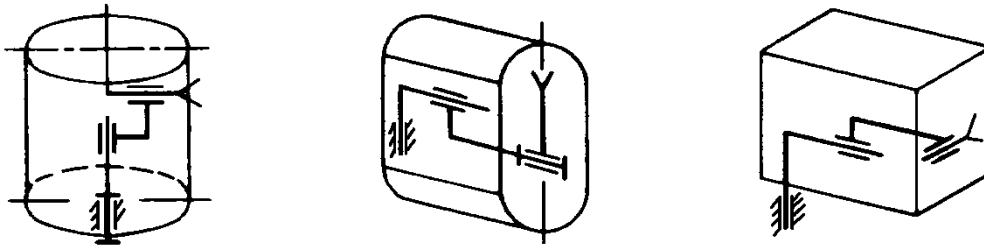


Рис. 3.6. Кінематичні схеми, утворені сполученнями О–П–П, П–П–О, П–П–П

З аналізу наведених схем випливає, що кількість можливих варіантів зменшується зі зменшенням кількості обертальних пар. Максимальну кількість варіантів (чотири) можна одержати за схемою О–О–О. Схема П–П–П реалізується тільки в одному варіанті.

Кожен варіант кінематичної структури, поданий на рис. 3.1, ілюструється конфігурацією робочого простору, що обслуговується роботом. У межах цього простору рука робота може вивести кисть у будь-яку точку. Вочевидь, при зміненні співвідношень між розмірами ланок і кутів, між осями кінематичних пар розміри та конфігурація робочого простору змінюються. При конструктивному оформленні механізму руки виникають обмеження кутових і лінійних переміщень у парах, унаслідок чого в розрахункових робочих об'ємах утворюються «мертві» зони, в які не може бути введена кисть робота. Параметри, що впливають на об'єм і конфігурацію робочого простору, слід встановлювати, виходячи з особливостей узгодження робота з конкретним технологічним обладнанням. Важливість такого узгодження породила агрегатні конструкції роботів, які інтенсивно розвиваються останнім часом.

До недавнього часу найбільшого поширення набули структури рук роботів типу Versatran та Unimate. У загальній кількості відомих моделей ці структури становили відповідно 70 і 10 %. Такі схеми не мають двозначності, при їх створенні найбільше значення надавалося жорсткості конструкції. Однак останнім часом найчастіше використовується схема О–О–О. Ця схема разом з двозначністю має переваги конструктивного характеру, пов'язані з відсутністю поступальних пар, реалізація яких утруднена. Крім того, відсутність таких пар у конструкції дозволяє істотно економити виробничі площі, що є досить важливою обставиною.

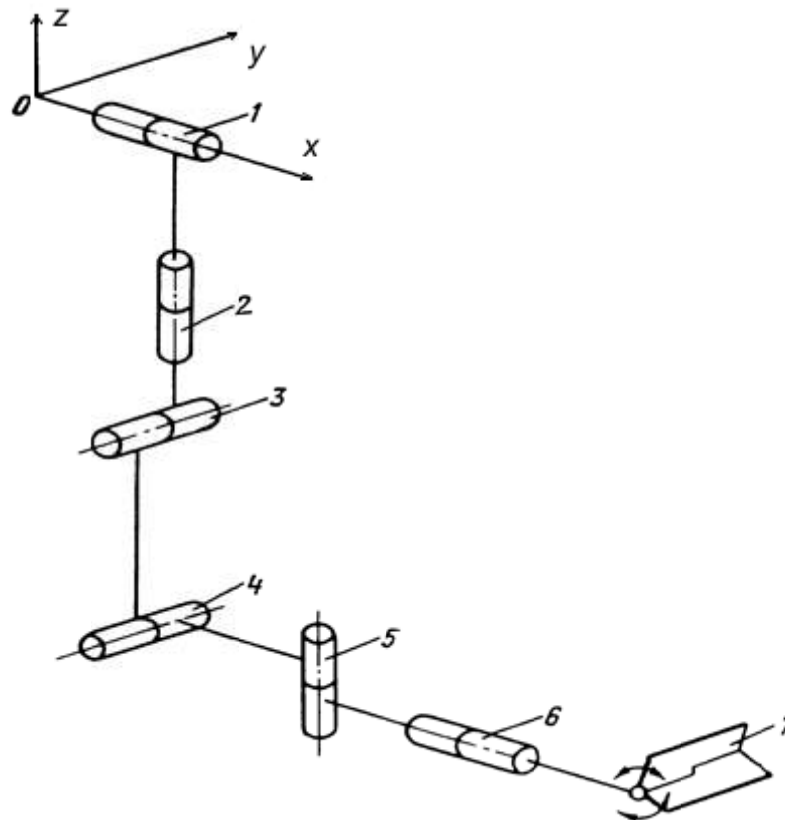


Рис. 3.7. Схема механізму з сімома ступенями свободи:
1, 2, 3, 4, 5, 6 – шарніри; 7 – захоплювач

У ряді випадків створюють маніпулятори з великою кількістю ступенів свободи (рис 3.7). Встановлено, що нерідко вигідніше мати в конструкції одну або кілька додаткових ступенів свободи, ніж створювати велику кількість спеціальних подавальних та орієнтувальних пристроїв, а також пересувати та заново встановлювати виробниче обладнання. Додаткові ступені свободи доцільно передбачати і в тих випадках, коли під час роботи руці маніпулятора доводиться обходити перешкоди та коли для введення деталі у робочу зону технологічного обладнання потрібен прямолінійний рух.

Тому для надання більшої універсальності, гнучкості, забезпечення можливості працювати у важкодоступних місцях створюють маніпулятори роботів з шістьма, сімома (див. рис. 3.7), вісьмома і більше ступенями свободи. Прикладом маніпулятора робота з шістьма ступенями свободи, з яких п'ять використовуються для рухів перенесення деталі, може бути маніпулятор робота RA японської фірми «Міцубісі». Робот базової моделі 5030 фірми «Кавасакі» має вісім ступенів свободи, п'ять з яких використовуються для рухів перенесення деталей.

Додаткова ступінь свободи з'являється при установленні на колеса модифікації робота, базова модель якого закріплюється нерухомо на підлозі. У цьому випадку робот може переміщатися по напрямних, закріплених на підлозі або на кран-балці.

3.2. Типові схеми орієнтувальних механізмів

Орієнтувальний рух робота багато в чому визначається структурою кисті (рис. 3.8). При цьому завдання довільної орієнтації об'єкта вирішується кінематичними структурами, що містять три обертальні пари, осі яких послідовно розгорнуті на 90° .

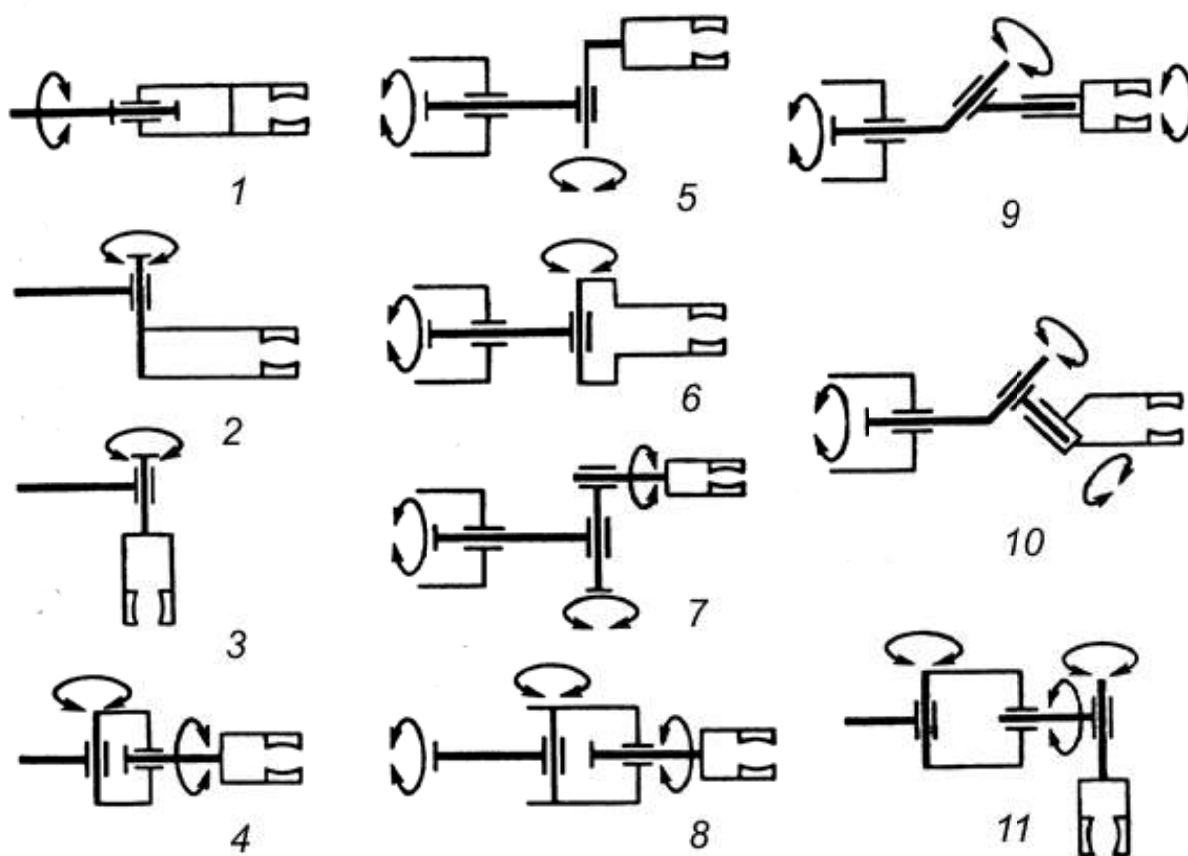


Рис. 3.8. Структурні схеми орієнтувальних механізмів

Такі кисти використовують лише в 10% моделей роботів, що пояснюється природним розташуванням осей і позицій основного технологічного обладнання та спеціалізацією роботів, які його обслуговують. Структурні схеми орієнтувальних механізмів показано на рис. 3.8: 1, 2, 3 – однокоординатні механізми; 4, 5, 6 – двокоординатні; 7, 8, 9, 10, 11 – трикоординатні. Обертання ланок здійснюється за допомогою різних механічних передач (зубчастих циліндричних і конічних, хвильових, планетарних, черв'ячних, ланцюгових, зубчато-ремінних і т. п.).

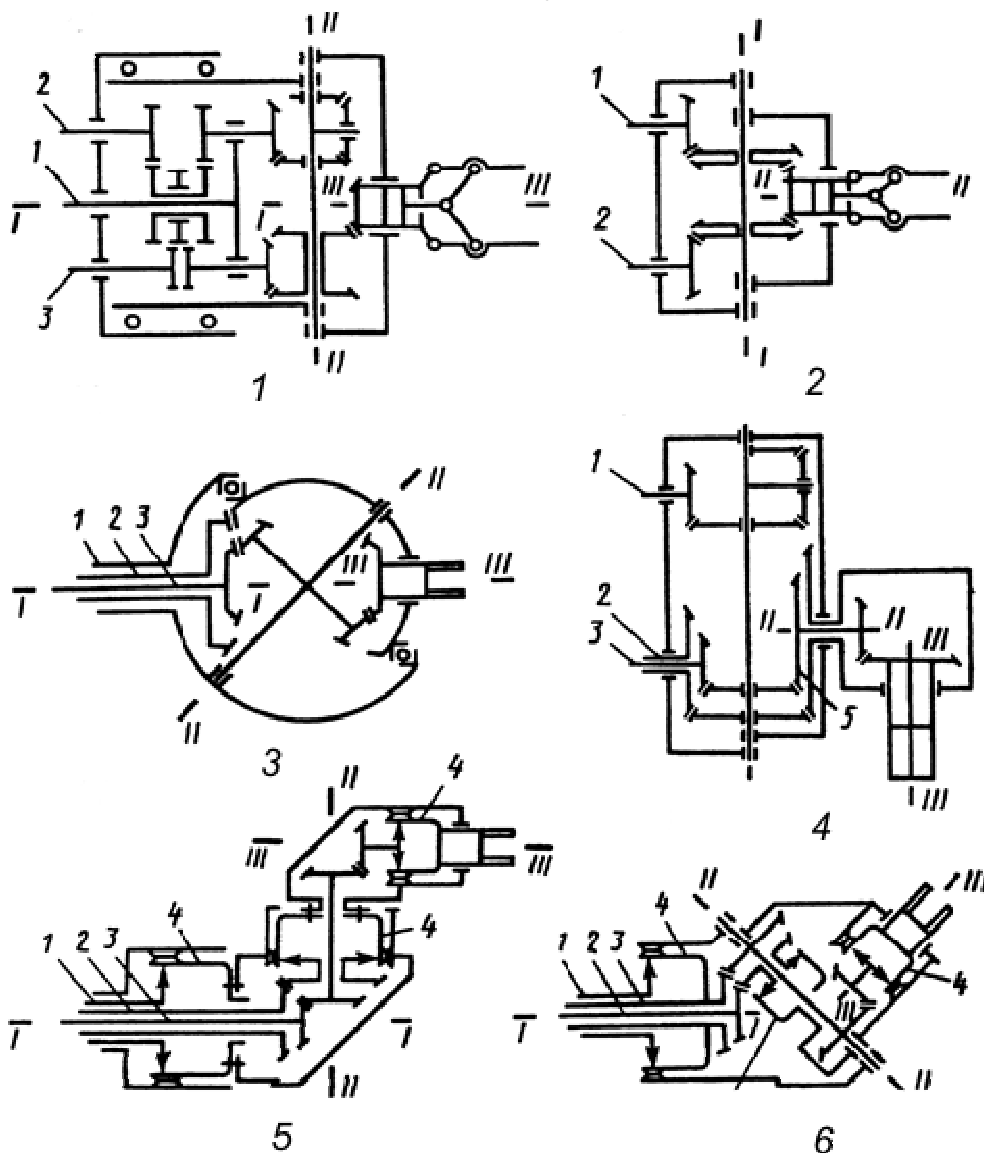


Рис. 3.9. Кінематичні схеми орієнтувальних механізмів

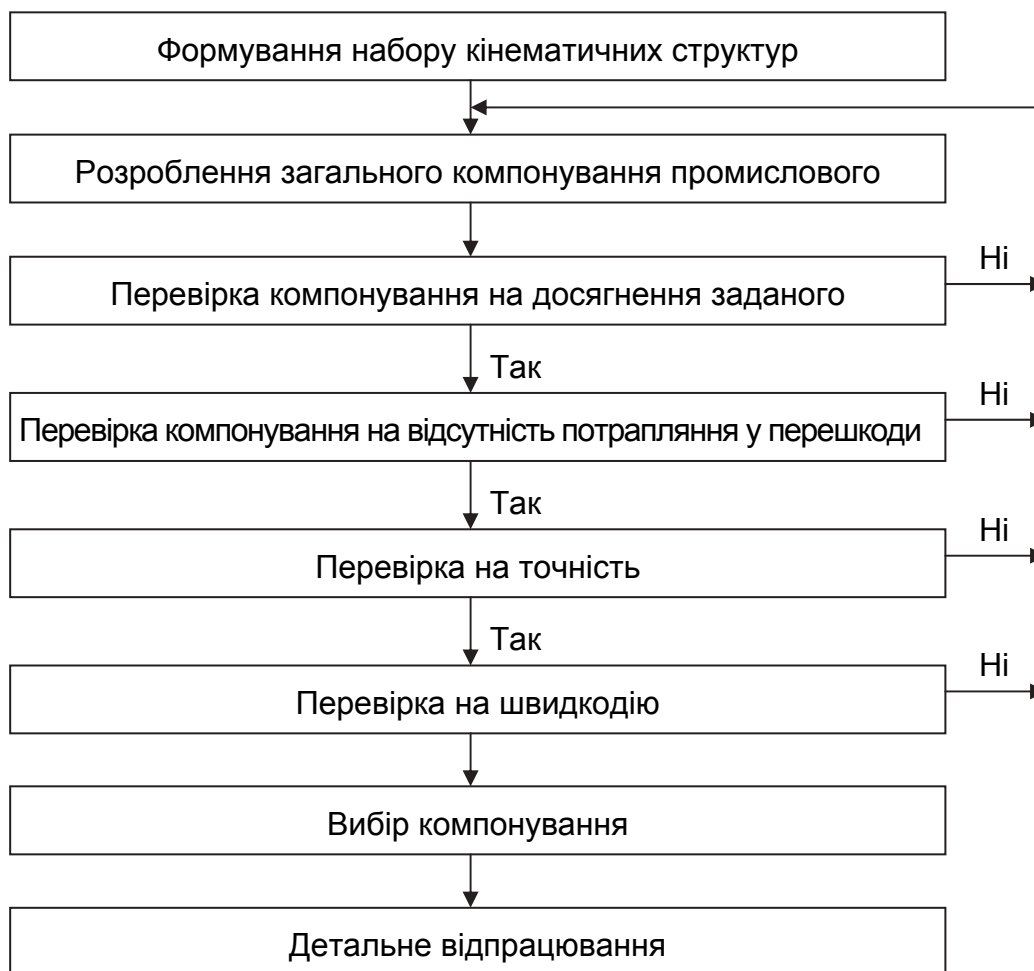
На рис. 3.9, 1 – 6 показано кінематичні схеми орієнтувальних механізмів з використанням зубчастих конічних і циліндричних передач, що забезпечують рух відносно осей II, II–II, III–III. Обертання навколо осей II, II–II, III–III відбувається при обертанні відповідно валів 1, 2, 3. В орієнтувальному механізмі 2 обертання навколо осі II відбувається при

обертанні валів 1, 2 у різні боки, а обертання навколо осі II–II – при обертанні валів 1, 2 в один бік.

3.3. Структурний і кінематичний синтез компоновки робота

3.3.1. Алгоритм структурного і кінематичного синтезу компоновки промислового робота

При розробленні компоновки промислового робота рекомендується дотримуватися наведеного нижче алгоритму.



Розглянемо докладніше етапи виконання синтезу компоновки.

1. Визначають загальний вигляд компоновки з урахуванням планування виробничого обладнання та найбільш загальних технологічних вимог.

2. Вирішують обернені завдання про положення для всіх компоновки, тобто визначають відносні координати ланок маніпуляторів за заданими положеннями об'єкта маніпулювання або захоплювального пристрою промислового робота.

3, 4. Вирішують задачу про абсолютні значення координат ланок у процесі позиціонування.

5. Виконують розрахунок точності позиціонування.

6. У загальному випадку відбір компонування проводять за коефіцієнтом досконалості. При приблизно рівних значеннях коефіцієнтів досконалості відбір здійснюють після розроблення компонувальних креслень та оцінювання технологічних, масових та інших характеристик.

3.3.2. Визначення швидкостей та прискорень промислового робота

1. Визначення середньої швидкості

Середню швидкість визначають за формулою

$$V_c = \frac{\sum S_i}{t_u},$$

де S_i – переміщення i -го ступені свободи; $\sum S_i$ – сума переміщень, яку визначають на основі технологічних вимог і рентабельності впровадження робота; t_u – час циклу:

$$t_u = \frac{t_{u,ч}}{K_p},$$

де $t_{u,ч}$ – час виконання циклу людиною; K_p – коефіцієнт збільшення продуктивності праці ($K_p = 1,2-7$). Час виконання циклу людиною визначають як суму часу на виконання всіх операцій у циклі; існують нормативи часу на елементарні рухи людини.

2. Розрахунок максимальної швидкості

Розрахунок максимальної швидкості проводять виходячи з реального закону руху (рис. 3.10).

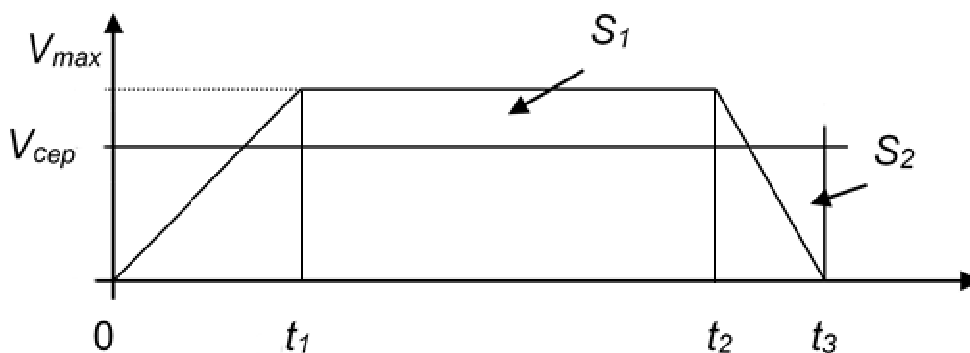


Рис. 3.10. Схема реального закону руху

Умову рівності шляху формують так: $S_1 = S_2$, де S_i – площа на діаграмі. Введемо позначення:

$$K_2 = \frac{t_{22}}{t_1}, \quad K_3 = \frac{t_{23}}{t_1}, \quad V_{max} = V_{сер} \frac{1+K_2+K_3}{0,5K_2+0,5K_3}$$

де K_2 – коефіцієнт розгону; K_3 – коефіцієнт гальмування.

Коефіцієнт розгону K_2 приймають таким: $K_2 = 0$ – для робіт з короткими ділянками розгону і гальмування (наприклад, переміщення робота для контактного зварювання) і $K_2 = 5$ – для транспортних робіт з великими переміщеннями (наприклад, при розташуванні верстатів у лінію і переміщеннях робота по монорельсу уздовж лінії верстатів). Коефіцієнт гальмування K_3 приймають таким: $K_3 = 1-1,5$ – для робіт з прискореним гальмуванням і $K_3 = 1-1,5$ – для робіт високої точності (з «повзучою» ділянкою в кінці шляху гальмування). Для робіт, які обслуговують металорізальні верстати, $K_2 = 3$, $K_3 = 1,3$, $V_{max} = 1,25 V_{сер}$. Для робіт, які обслуговують ковальсько-пресове обладнання, $K_2 = 0$, $K_3 = 3$, $V_{max} = 2 V_{сер}$.

3. Розрахунок максимального прискорення

Середнє прискорення визначають виходячи з середньої швидкості та середнього часу розгону:

$$a_{сер} = \frac{V_{max}}{t_p},$$

де t_p – час розгону: $t_p = 0,15-0,5$ с ($t_p = 0,15-0,25$ с – для робіт з гідроприводом, $t_p = 0,3-0,5$ с – для робіт з електроприводом). Максимальне прискорення визначають виходячи з реального закону розгону (гальмування) (рис. 3.11):

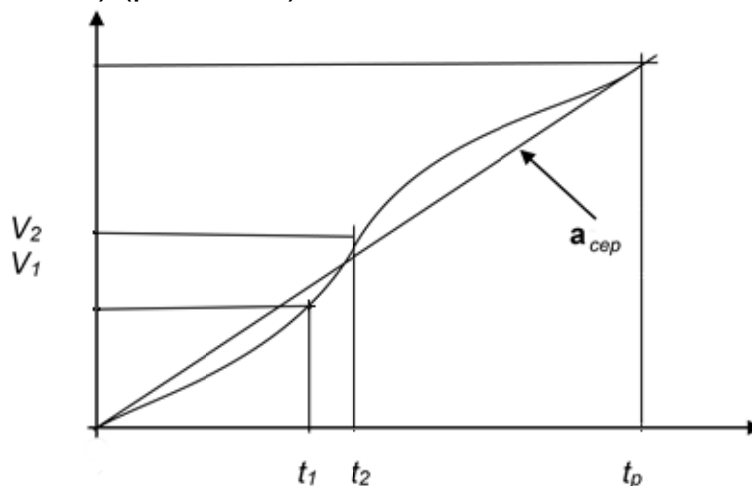


Рис. 3.11. Схема реального закону руху

Максимальне прискорення має місце на часовому проміжку від t_1 до t_2 , де швидкість змінюється від V_1 до V_2 . Таким чином, максимальне прискорення можна визначити за формулою

$$a_{max} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}.$$

Введемо коефіцієнт нерівномірності руху K_a : $a_{max} = a_{сер} \cdot K_a$, або

$$a_{max} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{t_p}{V_{max}}.$$

Коефіцієнт K_a визначає нерівномірність розгону (гальмування) маніпулятора. Цей коефіцієнт вибирають так: для роботів з електроприводом $K_a = 1,5-2$; для роботів з гідроприводом $K_a = 1,2-3$.

3.3.3. Визначення питомого об'єму компоунання

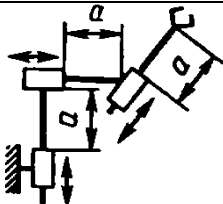
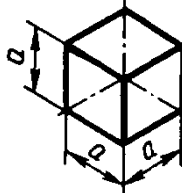
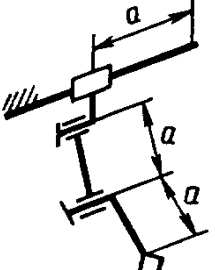
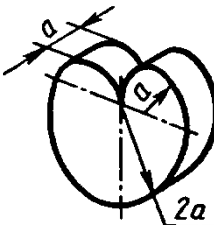
Питомий об'єм компоунання промислового робота визначають за формулою

$$V_{п} = \frac{V_p}{N_{кин.ел}},$$

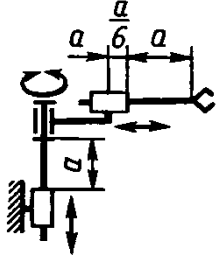
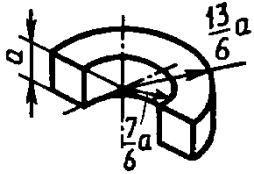
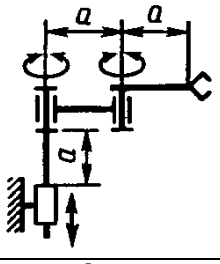
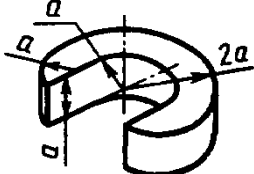
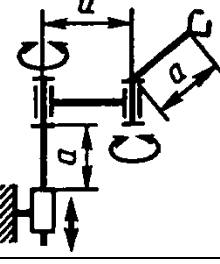
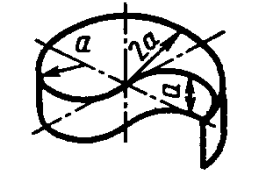
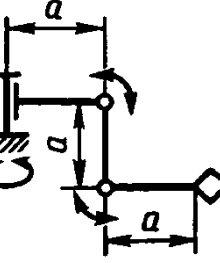

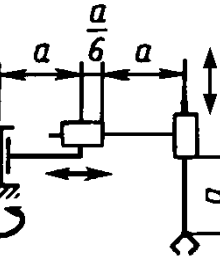
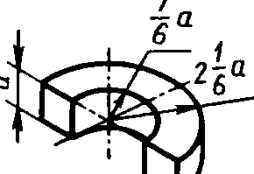
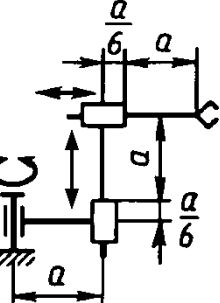
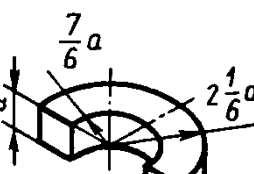
де V_p – сумарний робочий об'єм робота; $N_{кин.ел}$ – загальна кількість кінематичних елементів даного компоунання. Питомий об'єм розраховують геометрично на основі аналізу конфігурації робочого об'єму робота. При розрахунку слід використовувати таблицю стандартних конфігурацій компоунань (табл. 3.1).

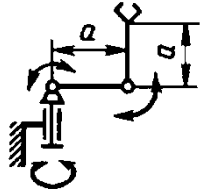
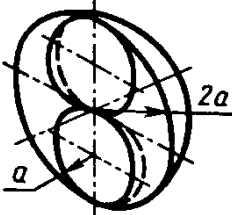
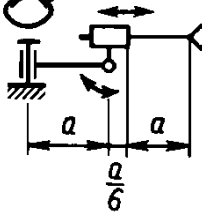
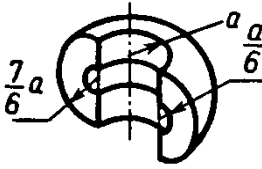
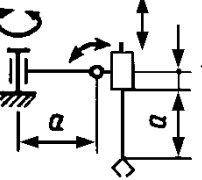
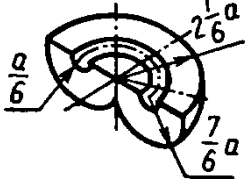
Таблиця 3.1

Питомий об'єм компоунання за типовими кінематичними схемами

Кінематична схема	Форма робочої зони	Робочий об'єм V_p	Питомий робочий об'єм $V_{п}$
		a^3	0,33
		$9 \cdot a^3$	4,5

Продовження табл. 3.1

Кінематична схема	Форма робочої зони	Робочий об'єм V_P	Питомий робочий об'єм V_n
		$5 \cdot a^3$	1,67
		$6 \cdot a^3$	2
		$6 \cdot a^3$	2
		$30 \cdot a^3$	10
		$5 \cdot a^3$	1,67
		$5 \cdot a^3$	1,67

Кінематична схема	Форма робочої зони	Робочий об'єм V_P	Питомий робочий об'єм V_n
		$18 \cdot a^3$	9
		$9 \cdot a^3$	4,5
		$6,6 \cdot a^3$	3,3

3.4. Задачі кінематики маніпуляторів промислових роботів

Захоплювальний пристрій руки може досягати будь-якої точки робочого простору, але можливості механізму виявляються різними в різних його точках. Іншими словами, кожній точці робочого простору даної механічної руки притаманні певні властивості, що характеризують можливості здійснення різних робочих операцій. Так, орієнтувальні здатності руки в будь-якій точці простору можна оцінити значенням тілесного кута, всередині якого захоплювальний пристрій може бути підведено до вибраного пункту. Цей кут називають «кутом сервісу», а відношення його до повного тілесного кута – коефіцієнтом сервісу в цій точці.

Таким чином визначається скалярне поле, тобто кожній точці простору відповідає певний коефіцієнт сервісу. Значення цього коефіцієнта може змінюватися в діапазоні 0–1 відповідно для точок на межі робочого простору і точок повного сервісу. Введення таких інтегральних оцінок приводить до того, що завдання вибору параметрів кінематичного ланцюга руки (довжини ланок, значень кутів переміщення в шарнірах і обмежень на ці кути)

зводиться до задачі параметричної оптимізації середнього значення коефіцієнта сервісу в робочому просторі, за яким оцінюють орієнтувальні здатності конструкції, її універсальність, використовуючи спеціально розроблений для цих цілей метод об'ємів. Завдання вирішується на ЕОМ із залученням числових методів. Метод об'ємів успішно застосовують для оцінювання не тільки орієнтувальних здатностей механічної руки, але й її податливості, енергетичних можливостей, особистих якостей тощо. Без оцінювання і дослідження технічних характеристик роботів неможливе створення сучасної конструкції.

Конфігурація руки робота визначається кутами повороту його ланок, узагальненими координатами, а вихідна програма рухів руки задається положеннями захоплювального пристрою у декартовому просторі. Це обумовлює одне з важливих завдань робототехніки: за відомими узагальненими координатами визначити декартові координати захоплювального пристрою, і потім за відомими декартовими координатами знайти узагальнені. Ці завдання відомі як **пряме** і **обернене** завдання про положення. Для деяких окремих структур роботів з кількістю ступенів рухливості $n = 6$ знайдено розв'язання оберненої задачі в явному вигляді, тобто отримати вирази для кожної узагальненої координати як функції параметрів ланок і програмних координат захоплювального пристрою. Використання таких виразів при керуванні роботом істотно зменшує обсяг обчислень, що забезпечує керування в реальному масштабі часу.

З погляду мінімізації енерговитрат перспективною слід визнати компоновальну схему з силовими двигунами, розташованими на основі робота. Переваги цієї схеми можна пояснити можливістю використання електродвигунів, зменшенням розмірів і маси руки, поліпшенням її маневреності і динамічних характеристик руху. Однак створення таких схем пов'язане з низкою проблем, пов'язаних з аналізом кінематичної структури механічних передач, що утворюють складний планетарний механізм, в якому на поворот одного з двигунів у загальному випадку реагує кілька ланок. Це ускладнює програмування робота. На рис. 3.12 подано моделі двох механічних рук, які мають однакову структуру, але різну організацію силових механічних передач. У першому випадку (див. рис. 3.12, а) двигуни встановлені на ланках, а в другому (див. рис. 3.12, б) – на підставі і пов'язані з ланками кінематично.

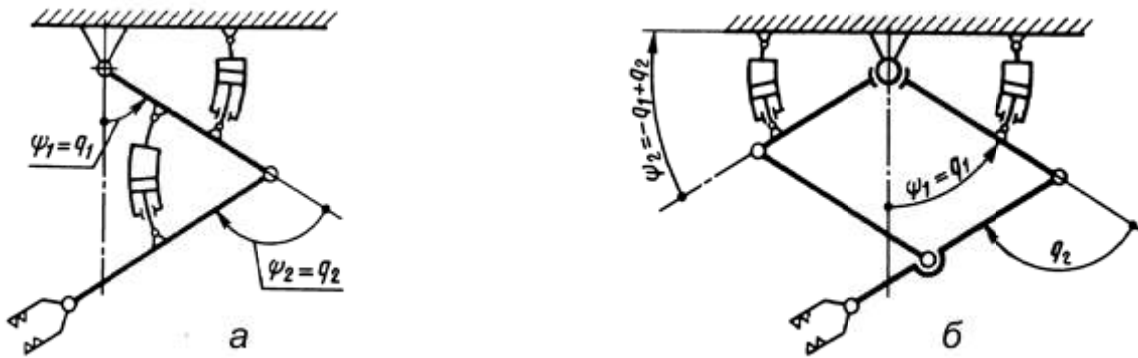


Рис. 3.12. Кінематичні схеми маніпуляторів з приводами на ланках (1) і основі (2)

При програмуванні першої схеми оператор керує послідовно спочатку одним, а потім іншим двигуном, що кожного разу приводить до змінення кута тільки в одному шарнірі. За другою схемою рухи зв'язані, і для змінення положення плеча оператора необхідно керувати вже двома двигунами. Саме в цьому полягає складність програмування, особливо якщо врахувати, що в реальних конструкціях кількість ступенів рухливості досягає шести. Крім труднощів програмування конструкцій ПР з винесеними на основу двигунами, ще існують проблеми, пов'язані з підвищеними зазорами, які обумовлені великою довжиною кінематичних ланцюгів.

3.5. Опис переміщень механізмів і деталей методом матриць

3.5.1. Матриця переміщення і повороту деталі відносно осі $O_i Z_i$

Розглянемо нерухому систему координат $O_i X_i Y_i Z_i$ (рис. 3.13).

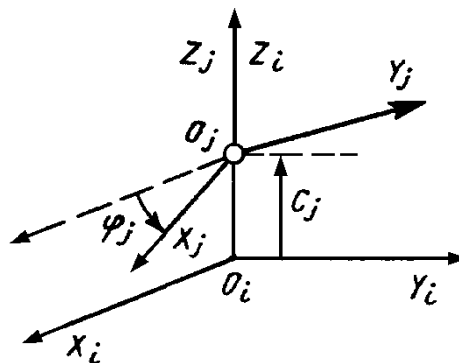


Рис. 3.13. Переміщення об'єкта

Нехай деталь або заготовка зміщена уздовж осі $O_i Z_i$ на відрізок c_j і повернута навколо цієї осі на кут φ_j . Зв'яжемо з деталлю нерухому систему координат $O_j X_j Y_j Z_j$. Візьмемо довільну точку, яка в системі координат $O_j X_j Y_j Z_j$

має координати x_j, y_j, z_j . Запишемо координати цієї ж точки в системі координат $O_i X_i Y_i Z_i$:

$$x_i = x_j \cos(\varphi_j) - y_j \sin(\varphi_j);$$

$$y_i = x_j \sin(\varphi_j) - y_j \cos(\varphi_j);$$

$$z_i = z_j + C_j.$$

Цю систему можна подати в матричному вигляді:

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_j) & -\sin(\varphi_j) & 0 & 0 \\ \sin(\varphi_j) & \cos(\varphi_j) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & C_j \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_j \\ y_j \\ z_j \\ 1 \end{bmatrix}$$

або $[x_i] = M_{ij} [X_j]$, де M_{ij} — матриця переходу від системи $O_j X_j Y_j Z_j$ до системи $O_i X_i Y_i Z_i$:

$$M_{ij} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_j) & -\sin(\varphi_j) & 0 & 0 \\ \sin(\varphi_j) & \cos(\varphi_j) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & C_j \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Матрицю M_{ij} можна також розглядати як певний оператор, що перетворює простір j на простір i , або оператор, який здійснює рух повороту і перенесення уздовж осі $O_i Z_i$ деякої системи координат $O_i X_i Y_i Z_i$. Елементами цієї матриці в перших трьох верхніх рядках трьох лівих стовпців є косинуси кутів, які складають осі системи $O_j X_j Y_j Z_j$ з осями системи $O_i X_i Y_i Z_i$. У верхніх трьох рядках четвертого правого стовпчика розташовані координати початку системи O_j в системі $O_i X_i Y_i Z_i$. У цьому випадку C_j є відстань, на яку зміщується початок O_j уздовж осі $O_i Z_i$. Цю матрицю надалі будемо називати матрицею перенесення і повороту вздовж осі OZ .

3.5.2. Матриця переміщення і повороту відносно осей OX і OY

З урахуванням викладеного вище можна побудувати матриці переміщень і поворотів деталі відносно осей OY і OX . Якщо система $O_j X_j Y_j Z_j$ зміщена уздовж осі $O_i X_i$ системи $O_i X_i Y_i Z_i$ на відрізок a_j і повернута навколо

цієї осі на кут α_j , то матриця переходу від системи $O_jX_jY_jZ_j$ до системи $O_iX_iY_iZ_i$ матиме вигляд

$$M_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_j \\ 0 & \cos(\alpha_j) & -\sin(\alpha_j) & 0 \\ 0 & \sin(\alpha_j) & \cos(\alpha_j) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Цю матрицю будемо називати матрицею перенесення і повороту вздовж осі OX .

Якщо система $O_jX_jY_jZ_j$ зміщена уздовж осі O_iX_i на відрізок b_j і повернута навколо цієї осі на кут β_j , то матриця переходу матиме вигляд

$$M_{ij} = \begin{bmatrix} \cos(\beta_j) & 0 & \sin(\beta_j) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & b_j \\ -\sin(\beta_j) & 0 & \cos(\beta_j) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Цю матрицю будемо називати матрицею перенесення і повороту уздовж осі O_iY_i .

3.5.3. Матриці складних переміщень

Деталь за технологічним маршрутом може здійснювати складні поступальні й обертальні рухи відносно різних осей. Цікавим є опис таких рухів за допомогою матриць. Як приклад розглянемо складний рух деталі: деталь здійснює оберт на кут α_1 і переміщується на відрізок a_1 відносно осі OX нерухомої системи координат, потім вона переміщується на c_2 і обертається на кут φ_2 відносно осі O_1Z_1 . Знайдемо матрицю цього складного руху. Для першого руху матричне керування перетворенням координат має вигляд

$$[x_0] = M_{01}[x_1],$$

де $[x_0]$ – стовпець координат деякої точки у нерухомій системі $O_jX_jY_jZ_j$; $[x_1]$ – стовпець координат цієї точки у системі, пов'язаній з деталлю в першому положенні; M_{01} – матриця повороту і перенесення відносно осі OX нерухомої системи.

Для другого руху

$$[x_1] = M_{12}[x_2],$$

де $[x_2]$ – стовпець координат цієї точки у системі координат $O_2X_2Y_2Z_2$, пов'язаній з надходженням деталі у другій позиції; M_{12} – матриця повороту на кут φ_2 і перенесення на c_2 по осі O_1Z_1 . Підставляючи $[x_1]$ у вираз для x_0 , отримуємо

$$[x_0] = M_{01}M_{12}[x_2],$$

або

$$[x_0] = M_{02}[x_2],$$

де M_{02} – матриця переходу від системи $O_2X_2Y_2Z_2$ до системи $OXYZ$, або матриця складного руху

$$M_{02} = M_{01}M_{12}.$$

Таким чином, матриця складного руху деталі дорівнює добутку матриць простих рухів. Остання формула дозволяє знаходити матриці будь-якого складного руху деталі як добуток матриць простих рухів.

Як приклад розглянемо визначення матриці переміщення і повороту деталі уздовж довільного вектора у просторі N . Нехай деталь зі свого первісного положення, що визначається матрицею M_{01} , поступально переміщена уздовж деякого вектора N на відрізок c і повернута відносно цього вектора на кут γ (рис. 3.14).

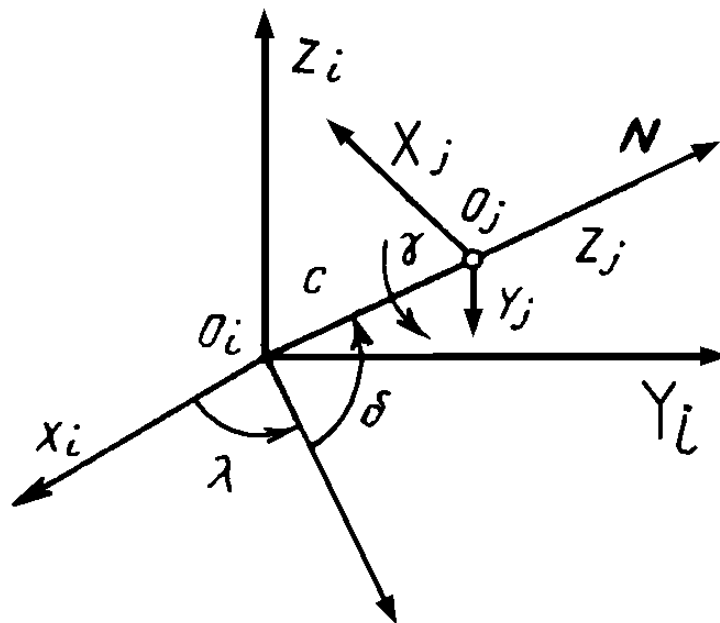


Рис. 3.14. Переміщення об'єкта

Положення вектора N задаємо двома кутами: кутом δ , який є вектором зі своєю проекцією на площину $X_iO_iY_i$, і кутом λ , який є проекцією вектора на площину $X_iO_iY_i$ з віссю O_iY_i . Поворот деталі навколо вектора N задає кут γ між віссю O_iY_i і площиною $X_iO_iY_i$. Кут γ відлічується у площині $O_jZ_jY_j$ в позитивному напрямку. Зсув системи $O_jX_jY_jZ_j$ уздовж вектора N задамо відрізком c . Система $O_iX_iY_iZ_i$ може бути з'єднана з системою $O_jX_jY_jZ_j$ такими послідовними переміщеннями: поворотом навколо осі O_iZ_i на кут λ до збігу осі OX з проекцією вектора N на горизонтальну площину; поворотом навколо нового положення осі OY на кут $\delta_1 = 90^\circ - \delta$ до збігу осі OZ з напрямком вектора N ; зміщенням уздовж осі O_iZ_i на відрізок c до збігу початку координат з точкою O_j і поворотом навколо осі O_iZ_i на кут γ до збігу осі OX з віссю O_jX_j . При цьому системи $O_iX_iY_iZ_i$ і $O_jX_jY_jZ_j$ повністю збігаються. Цим простим рухам відповідають такі матриці:

$$M_1 = \begin{bmatrix} \cos(\lambda) & -\sin(\lambda) & 0 & 0 \\ \sin(\lambda) & \cos(\lambda) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$M_2 = \begin{bmatrix} \cos(\delta_1) & 0 & \sin(\delta_1) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\delta_1) & 0 & \cos(\delta_1) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$M_3 = \begin{bmatrix} \cos(\gamma) & -\sin(\gamma) & 0 & 0 \\ \sin(\gamma) & \cos(\gamma) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

де $\delta_1 = 90^\circ - \delta$.

Матриця результуючих рухів дорівнює добутку матриць простих рухів: $M = M_1 \cdot M_2 \cdot M_3$. Перемноживши матриці M_1 , M_2 і M_3 , отримаємо матрицю M .

Елементами лівих трьох стовпців отриманої матриці, як було зазначено вище, є косинуси кутів між осями системи координат, пов'язаної з деталлю і нерухомою системою. Елементами четвертого стовпчика цієї матриці є координати початку O_j системи $O_jX_jY_jZ_j$ у системі $O_iX_iY_iZ_i$.

3.5.4. Матриці переміщення деталі у площинах OXY і OXZ

Аналогічним чином можна отримати матриці, які характеризують переміщення деталі у площинах OXY і OXZ. Перша матриця має вигляд

$$M_{xy} = \begin{bmatrix} \cos(\gamma) & -\sin(\gamma) & 0 & a \\ \sin(\gamma) & \cos(\gamma) & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Друга матриця має вигляд

$$M_{xz} = \begin{bmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) & a \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\beta) & 0 & \cos(\beta) & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

де γ – кут повороту системи $O_j X_j Y_j Z_j$, пов'язаної з деталлю, навколо осі $O_i Z_i$ нерухомої системи $O_i X_i Y_i Z_i$; a , b , c – координати початку O_j в нерухомій системі $O_i X_i Y_i Z_i$; β – кут повороту системи, пов'язаної з деталлю, відносно осі $O_i Y_i$ нерухомої системи.

3.6. Розв'язання задач кінематики промислових роботів

При кінематичному розрахунку компонування промислового робота вирішуються завдання визначення різних кінематичних параметрів, що характеризують ефективність виконання роботом технологічної операції. Однак найбільш складним завданням, на вирішення якого спираються при аналізі всієї кінематики робота, є обернена задача про положення маніпулятора, тобто завдання визначення змінних параметрів, що характеризують відносні положення його ланок за заданим положенням захоплювального пристрою.

Для розв'язання обернених задач про положення маніпулятора ще не розроблені загальні ефективні алгоритми, тому нижче наведено аналітичне розв'язання цих задач для деяких типових компонувань роботів агрегатно-модульного типу.

3.6.1. Обернена задача про положення маніпулятора $U \parallel P \perp P \parallel B \perp B \perp B$

Схему маніпулятора показано на рис. 3.15. Символи « \parallel » і « \perp » означають паралельність і перпендикулярність сусідніх пар осей. Маніпулятор містить дві поступальні й чотири обертальні кінематичні пари, загальна кількість ступенів рухливості дорівнює шести.

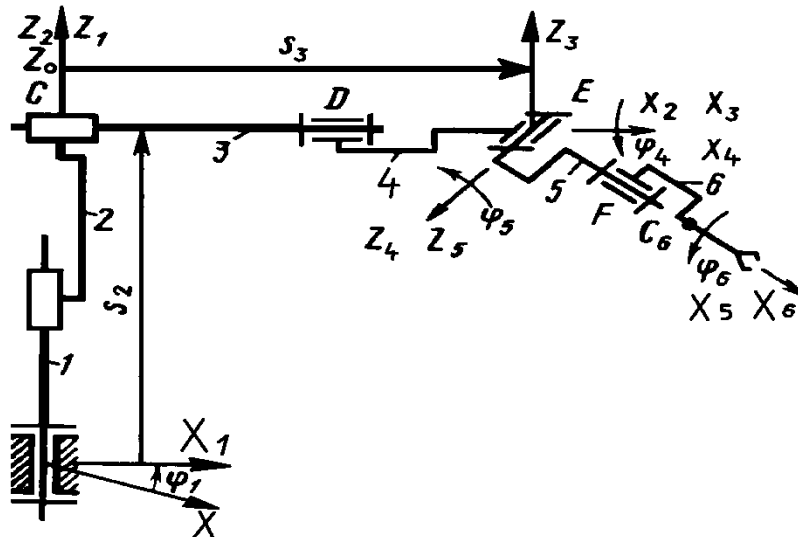


Рис. 3.15. Кінематична схема маніпулятора

З ланками виконавчого пристрою зв'яжемо декартові системи координат. Систему координат $AXYZ$ зв'яжемо з основою маніпулятора, спрямувавши вісь Z по осі обертальної пари A . Систему координат $AX_1Y_1Z_1$ зв'яжемо з ланкою 1, спрямувавши вісь 2 так само, як вісь Z , а вісь X_1 – паралельно осі обертальної пари D . Систему координат $CX_2Y_2Z_2$ зв'яжемо з ланкою 2, її осі паралельні відповідним осям системи $AX_1Y_1Z_1$. Систему координат $EX_3Y_3Z_3$ зв'яжемо з ланкою 3, спрямувавши вісь X_3 по осі пари D , а вісь Z_3 – паралельно осі Z_2 . Систему координат $EX_4Y_4Z_4$ зв'яжемо з ланкою 4, спрямувавши вісь X_4 так само, як вісь X_3 , а вісь Z_4 – по осі пари E . Систему координат $EX_5Y_5Z_5$ зв'яжемо з ланкою 5, направивши вісь X_5 по осі пари F , а вісь Z_5 по осі пари E . Систему координат $FX_6Y_6Z_6$ зв'яжемо з ланкою 5, спрямувавши вісь X_6 так само, як X_5 , а вісь Z_7 – перпендикулярно до осі площини руху губки захоплювального пристрою.

Відносне положення ланок визначається відносним положенням пов'язаних з ними систем координат. Система $AX_1Y_1Z_1$ повернута навколо осі AX систем $AXYZ$ на кут φ_1 , система $CX_2Y_2Z_2$ зміщена уздовж осі CZ_1 системи $CX_1Y_1Z_1$ на S_2 , система $EX_3Y_3Z_3$ зміщена вздовж осі CX_2 системи

$CX_2Y_2Z_2$ на S_3 , система $EX_4Y_4Z_4$ повернута навколо осі X_3 системи $EX_3Y_3Z_3$ на кут φ_4 , система $EX_5Y_5Z_5$ повернута навколо осі EZ_4 на кут φ_5 , система $FX_6Y_6Z_6$ повернута навколо осі EX_5 на кут φ_6 і зміщена уздовж цієї осі на C_6 .

Використовуючи метод матриць четвертого порядку, можна записати матриці переходу між системами координат, пов'язаними із суміжними ланками маніпулятора:

$$M_1 = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_1) & -\sin(\varphi_1) & 0 & 0 \\ \sin(\varphi_1) & \cos(\varphi_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (3.1)$$

$$M_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & S_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (3.2)$$

$$M_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & S_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (3.3)$$

$$M_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\varphi_4) & -\sin(\varphi_4) & 0 \\ 0 & \sin(\varphi_4) & \cos(\varphi_4) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$$M_5 = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_5) & -\sin(\varphi_5) & 0 & 0 \\ \sin(\varphi_5) & \cos(\varphi_5) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (3.5)$$

$$M_6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & C_6 \\ 0 & \cos(\varphi_6) & -\sin(\varphi_6) & 0 \\ 0 & \sin(\varphi_6) & \cos(\varphi_6) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3.6)$$

Тут M_i – матриці перетворення однорідних координат точки з системи i в систему $i - 1$. Ці ж матриці можна розглядати як деякі оператори руху системи координат зі стану $i - 1$ у стан i . Як відомо, останній стовпець матриці M_i визначає координати початку системи i в системі $i - 1$, а елементи перших трьох стовпців і рядків є напрямними косинусами осей системи $i - 1$ у системі i .

Положення захоплювального пристрою будемо вважати заданим і визначимо його через матрицю четвертого порядку у вигляді

$$M_{06} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} & \alpha_1 \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} & \alpha_2 \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} & \alpha_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3.7)$$

яка визначає положення системи $FX_6Y_6Z_6$ відносно нерухомої системи координат. Матрицю M_{06} можна отримати як добуток матриць M_i ($i = 1, \dots, 6$), тобто

$$M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \cdot M_4 \cdot M_5 \cdot M_6 = M_{06}. \quad (3.8)$$

Останнє матричне рівняння зручно подати у вигляді

$$M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \cdot M_4 \cdot M_5 \cdot M_6 = M_{06} \cdot M_6^{-1}, \quad (3.9)$$

де M_6^{-1} – матриця, обернена матриці M_6 :

$$M_6^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & C_6 \\ 0 & \cos(\varphi_6) & \sin(\varphi_6) & 0 \\ 0 & -\sin(\varphi_6) & \cos(\varphi_6) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3.10)$$

Перемноживши матриці в лівій частині матричного рівняння (3.9), отримаємо

$$M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \cdot M_4 \cdot M_5 = \begin{bmatrix} C\varphi_1 C\varphi_5 - S\varphi_1 C\varphi_4 S\varphi_5 & -C\varphi_1 S\varphi_5 - S\varphi_1 C\varphi_4 \varphi_5 & S\varphi_1 S\varphi_4 & C\varphi_1 S_3 \\ S\varphi_1 C\varphi_5 + C\varphi_1 C\varphi_4 S\varphi_5 & -S\varphi_1 S\varphi_5 + C\varphi_1 C\varphi_4 \varphi_5 & C\varphi_1 S\varphi_4 & S\varphi_1 S_3 \\ C\varphi_4 S\varphi_5 & S\varphi_4 S\varphi_{51} & C\varphi_4 & S_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (3.11)$$

$$M_{06} \cdot M_6^{-1} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{11}C\varphi_6 - \alpha_{13}S\varphi_6 & \alpha_{11}S\varphi_6 - \alpha_{13}C\varphi_6 & -C_6\alpha_{11} + \alpha_1 \\ \alpha_{12} & \alpha_{22}C\varphi_6 - \alpha_{23}S\varphi_6 & \alpha_{22}S\varphi_6 - \alpha_{23}C\varphi_6 & -C_6\alpha_{21} + \alpha_2 \\ \alpha_{13} & \alpha_{32}C\varphi_6 - \alpha_{33}S\varphi_6 & \alpha_{32}S\varphi_6 - \alpha_{33}C\varphi_6 & -C_6\alpha_{31} + \alpha_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (3.12)$$

У цій матриці використано такі скорочення: $\cos(\varphi_i) = c\varphi_i$, $\sin(\varphi_i) = s\varphi_i$. Прирівнявши відповідні елементи матриць (3.11) і (3.12), отримаємо систему дванадцяти тригонометричних рівнянь, що містять шість незалежних невідомих: φ_i , s_2 , s_3 , φ_4 , φ_5 , φ_6 . При розв'язанні оберненої задачі про положення потрібно визначити ці невідомі. З дванадцяти рівнянь тільки шість є незалежними.

Прирівнявши відповідні елементи третього стовпця матриць (3.11) і (3.12), отримаємо

$$\begin{aligned} \cos(\varphi_i) s_3 &= -C_6\alpha_{11} + \alpha_1; \\ \sin(\varphi_i) s_3 &= -C_6\alpha_{21} + \alpha_2; \\ s_2 &= -C_6\alpha_{31} + \alpha_3. \end{aligned} \quad (3.13)$$

Останнє рівняння визначає значення переміщення s_2 через задані величини. З перших двох рівнянь системи (3.13) отримаємо

$$s_3 = \pm \sqrt{(a_1 - c_6\alpha_{11})^2 + (a_2 - c_6\alpha_{12})^2}. \quad (3.14)$$

З конструктивних міркувань у цьому виразі беремо знак плюс. З перших двох рівнянь системи (3.13) знайдемо також

$$\operatorname{tg}(\varphi_1) = \frac{a_1 - c_6\alpha_{11}}{a_2 - c_6\alpha_{21}} \quad (3.15)$$

Прирівнявши елементи першого стовпчика матриць (3.11) і (3.12), отримаємо

$$\begin{aligned} \cos(\varphi_1)\cos(\varphi_5) - \sin(\varphi_1)\cos(\varphi_4)\sin(\varphi_5) &= \alpha_{11}; \\ \sin(\varphi_1)\cos(\varphi_5) - \cos(\varphi_1)\cos(\varphi_4)\sin(\varphi_5) &= \alpha_{12}; \\ \sin(\varphi_4)\sin(\varphi_5) &= \alpha_{13}. \end{aligned} \quad (3.16)$$

З перших двох рівнянь системи (3.16) знаходимо

$$\cos(\varphi_5) = \alpha_{11}\cos(\varphi_1) + \alpha_{12}\sin(\varphi_1), \quad (3.17)$$

а з останнього рівняння системи (3.16) визначимо

$$\sin(\varphi_4) = \alpha_{13} / \sin(\varphi_5).$$

Для визначення орта осі Z_5 запишемо співвідношення

$$K_5 = (i_4 \times i_5) / \sin(\varphi_5),$$

з якого можна знайти функцію $\sin(\varphi_5)$

При знайденому раніше куті φ_1 орт i_4 можна вважати відомим. Визначивши кут φ_5 з виразів (3.16) і (3.17), знайдемо $\sin(\varphi_5)$ і $\cos(\varphi_4)$.

Прирівнявши елементи другого і третього стовпців третього рядка матриць, запишемо два рівняння:

$$\alpha_{32} \cos(\varphi_6) - \alpha_{33} \sin(\varphi_6) = \sin(\varphi_4) \cos(\varphi_5);$$

$$\alpha_{32} \sin(\varphi_6) + \alpha_{33} \cos(\varphi_6) = \cos(\varphi_4),$$

з яких знайдемо кут φ_6 .

3.6.2. Обернена задача про положення маніпулятора Y II П ⊥ П ⊥ B ⊥ B ⊥ B

Схему маніпулятора показано на рис. 3.16. Таке компоновання відповідає роботам, які працюють у циліндричній системі координат. На відміну від попереднього компоновання тут використовують інший порядок розташування кінематичних пар механізму.

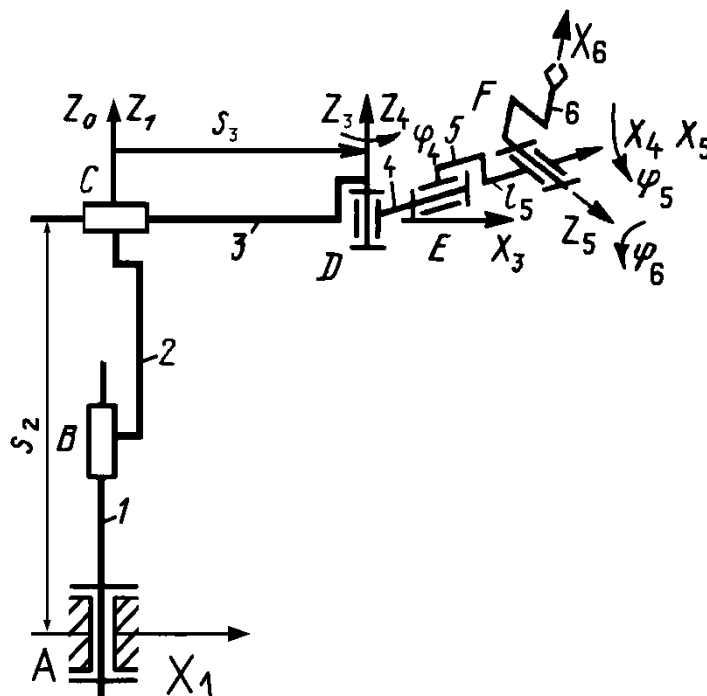


Рис. 3.16. Кінематична схема маніпулятора Y II П ⊥ П ⊥ B ⊥ B ⊥ B

Положення 6 вважатимемо заданим. Це означає, що орти системи $FX_6Y_6Z_6$, пов'язані з ланкою 6, і координати її початку (точки F) також задано.

З ланками 1 – 6 механізму зв'яжемо системи координат, як показано на рис. 3.16. Матриці переходу між суміжними системами координат запишемо у вигляді:

$$M_{02} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_1) & -\sin(\varphi_1) & 0 & 0 \\ \sin(\varphi_1) & \cos(\varphi_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & S_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (3.18)$$

$$M_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & S_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (3.19)$$

$$M_{02} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_4) & -\sin(\varphi_4) & 0 & 0 \\ \sin(\varphi_4) & \cos(\varphi_4) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (3.20)$$

$$M_5 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_5 \\ 0 & \cos(\varphi_5) & -\sin(\varphi_5) & 0 \\ 0 & \sin(\varphi_5) & \cos(\varphi_5) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (3.21)$$

$$M_6 = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_6) & -\sin(\varphi_6) & 0 & 0 \\ \sin(\varphi_6) & \cos(\varphi_6) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (3.22)$$

$$M_{06} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} & a \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} & b \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3.23)$$

Тут M_{02} – матриця переходу від системи $CX_2Y_2Z_2$ до системи $AXYZ$; M_{06} – матриця переходу від системи $FX_6Y_6Z_6$ до системи $AXYZ$, що

характеризує положення ланки 6. Матричне рівняння замкнутості має вигляд

$$M_{02} \cdot M_3 \cdot M_4 \cdot M_5 \cdot M_6 = M_{06}. \quad (3.24)$$

Помножимо останнє рівняння на обернену матрицю. Перемноживши матриці в лівій і правій частинах рівняння, отримаємо

$$M_{06} \cdot M_6^{-1} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} \cos \varphi_6 - \alpha_{12} \sin \varphi_6 & \alpha_{11} \sin \varphi_6 - \alpha_{12} \cos \varphi_6 & \alpha_{13} & a \\ \alpha_{21} \cos \varphi_6 - \alpha_{22} \sin \varphi_6 & \alpha_{21} \sin \varphi_6 - \alpha_{22} \cos \varphi_6 & \alpha_{23} & b \\ \alpha_{31} \cos \varphi_6 - \alpha_{32} \sin \varphi_6 & \alpha_{31} \sin \varphi_6 - \alpha_{32} \cos \varphi_6 & \alpha_{33} & c \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad (3.25)$$

$$M_{02} \cdot M_3 \cdot M_4 \cdot M_5 = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_1 + \varphi_4) & -\sin(\varphi_1 + \varphi_4) \cos(\varphi_5) & \sin(\varphi_1 + \varphi_4) \sin(\varphi_5) & l_5 \cos(\varphi_1 + \varphi_4) + S_3 \cos(\varphi_5) \\ \sin(\varphi_1 + \varphi_4) & \cos(\varphi_1 + \varphi_4) \cos(\varphi_5) & -\cos(\varphi_1 + \varphi_4) \sin(\varphi_5) & l_5 \sin(\varphi_1 + \varphi_4) + S_3 \sin(\varphi_5) \\ 0 & \sin(\varphi_5) & \cos(\varphi_5) & S_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3.26)$$

Прирівнявши елементи четвертих стовпців (3.25) і (3.26), отримаємо

$$\begin{aligned} l_5 \cos(\varphi_1 + \varphi_4) + S_3 \cos(\varphi_5) &= a; \\ l_5 \sin(\varphi_1 + \varphi_4) + S_3 \sin(\varphi_5) &= ab; \\ S_2 &= c. \end{aligned} \quad (3.27)$$

Прирівнявши елементи третього стовпця, отримаємо

$$\begin{aligned} \alpha_{13} &= \sin(\varphi_1 + \varphi_4) \sin \varphi_5; \\ \alpha_{23} &= -\cos(\varphi_1 + \varphi_4) \sin \varphi_5; \\ \alpha_{33} &= \cos \varphi_5. \end{aligned} \quad (3.28)$$

З останньої системи впливає

$$\operatorname{tg}(\varphi_1 + \varphi_2) = -\alpha_{13} / \alpha_{23}. \quad (3.29)$$

Визначивши кут $(\varphi_1 + \varphi_4)$, з (3.28) знайдемо

$$\cos \varphi_5 = \alpha_{23}; \quad (3.30)$$

$$\sin \varphi_5 = \alpha_{13} / [\sin(\varphi_1 + \varphi_4)]. \quad (3.31)$$

Із системи (3.27) визначимо

$$S_3 = \sqrt{[a - l_5 \cos(\varphi_1 + \varphi_4)]^2 + [b - l_5 \sin(\varphi_1 + \varphi_4)]^2}. \quad (3.32)$$

Кут φ_1 визначаємо з системи (3.27). Прирівнявши елементи першого стовпчика і третього рядка матриць (3.25) і (3.26), отримаємо

$$\alpha_{31} \cos \varphi_6 = \alpha_{32} \sin \varphi_6, \text{ звідки } \operatorname{tg} \varphi_6 = \alpha_{31} / \alpha_{32}.$$

Кут $(\varphi_1 + \varphi_4)$ може мати два значення; цим значенням відповідають дві можливі конфігурації механізму.

3.6.3. **Обернена задача про положення маніпулятора**

$$Y \perp Y \parallel B \perp B \perp B \perp B$$

Схему маніпулятора показано на рис. 3.17.

Ступінь рухливості такого маніпулятора дорівнює шести.

Будемо вважати відомими координати точки М, що належать об'єкту маніпулювання або захоплювальним пристроям (X_M, Y_M, Z_M) , а також проекції одиничних ортів системи координат $FX_0Y_0Z_0$, тобто

$$i_6 = (i_{6x}, i_{6y}, i_{6z}); \quad k_6 = (k_{6x}, k_{6y}, k_{6z}).$$

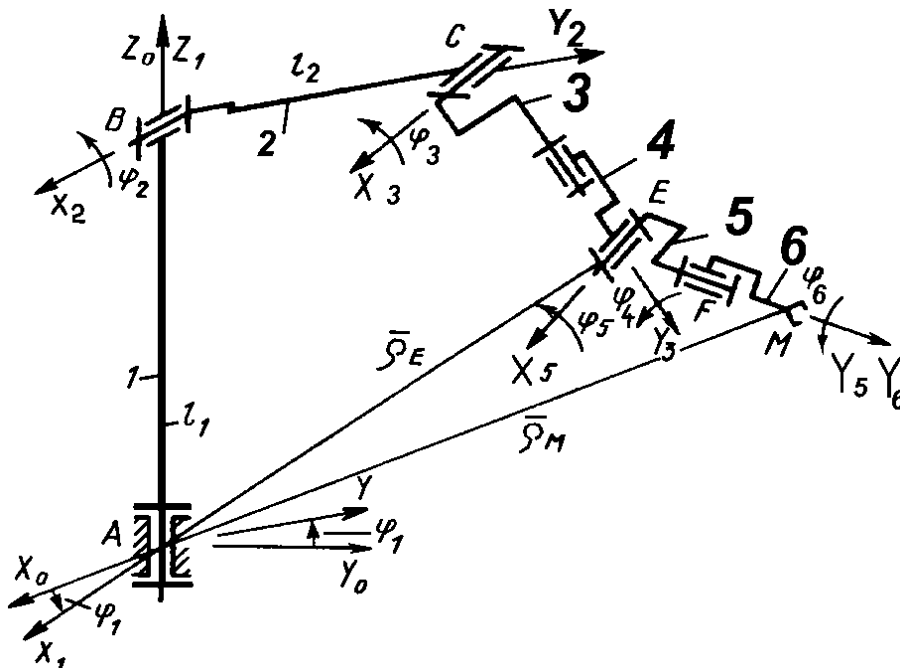


Рис. 3.17. Кінематична схема маніпулятора $Y \perp Y \parallel B \perp B \perp B \perp B$

Потрібно знайти узагальнені координати $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_5, \varphi_6$, що визначають відносні положення ланок маніпулятора. Використавши векторний метод, запишемо

$$\begin{aligned}
\rho_M &= l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6; \\
\rho_E &= \rho_M - l_5 - l_6; \\
\rho_E &= l_1 + l_2 + l_3 + l_4; \\
l_5 &= j_6 l_5; \\
l_6 &= j_6 l_6; \\
\rho_E &= \rho_M - (l_5 + l_6) j_6.
\end{aligned} \tag{3.33}$$

Після перетворень отримаємо

$$\begin{aligned}
X_E &= -[l_2 \cdot \cos \varphi_2 + (l_3 + l_4) \cdot \cos(\varphi_2 + \varphi_3)] \cdot \sin \varphi_1; \\
Y_E &= [l_2 \cdot \cos \varphi_2 + (l_3 + l_4) \cdot \cos(\varphi_2 + \varphi_3)] \cdot \cos \varphi_1; \\
Z_E &= l_1 + l_2 \cdot \sin \varphi_2 + (l_3 + l_4) \cdot \sin(\varphi_2 + \varphi_3).
\end{aligned} \tag{3.34}$$

Використовуючи викладену вище методику, можна однозначно визначити узагальнені координати $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$. Для знаходження узагальнених координат $\varphi_4, \varphi_5, \varphi_6$, що визначають орієнтацію захоплювального пристрою, запишемо

$$j_3 \cdot j_6 = \cos \varphi_5. \tag{3.35}$$

Проекції орта j_6 задано у вихідних даних. Запишемо проекції орта j_3 :

$$j_3 = \begin{bmatrix} -\sin \varphi_1 \cos(\varphi_2 + \varphi_3) \\ \cos \varphi_1 \cos(\varphi_2 + \varphi_3) \\ \sin(\varphi_2 + \varphi_3) \end{bmatrix}. \tag{3.36}$$

З (3.35) і (3.36) отримаємо

$$\cos \varphi_5 = -\sin \varphi_1 \cdot \cos(\varphi_2 + \varphi_3) j_{6x} + \cos \varphi_1 \cdot \cos(\varphi_2 + \varphi_3) j_{6y} + \sin(\varphi_2 + \varphi_3) j_{6z};$$

$$\varphi_5 = \pm \arccos \left[(\cos \varphi_2 \cdot j_{6y} - \sin \varphi_1 \cdot j_{6x}) \cdot \cos(\varphi_2 + \varphi_3) + j_{6z} \cdot \sin(\varphi_2 + \varphi_3) \right].$$

Виконавши подальші перетворення, остаточно отримаємо

$$\sin(\varphi_4) = \pm \sqrt{(i_{3y} i_{5z} - i_{3z} i_{5y})^2 + (i_{3z} i_{5x} - i_{3x} i_{5z})^2 + (i_{3x} i_{5y} - i_{3y} i_{5x})^2};$$

$$\cos(\varphi_6) = i_{5x} j_{6x} + i_{5y} j_{6y} + i_{5z} j_{6z};$$

$$\sin(\varphi_6) = \pm \sqrt{(i_{5y} j_{6z} - i_{5z} j_{6y})^2 + (i_{5z} j_{6x} - i_{5x} j_{6z})^2 + (i_{5x} j_{6y} - i_{5y} j_{6x})^2}.$$

Таким чином, усі узагальнені координати визначено. Розглянутий маніпулятор має шість ступенів свободи і може орієнтувати об'єкт потрібним чином у просторі, тому ніякі обмеження на задання положень об'єкта

маніпулювання або захоплювального пристрою в цьому випадку не висуваються.

Запитання для самостійної перевірки знань

1. Наведіть основні кінематичні схеми маніпуляторів.
2. Дайте визначення поняття «глобальні рухи промислового робота».
3. Які рухи належать до регіональних?
4. Які переміщення належать до локальних?
5. Наведіть схему маніпулятора з сімома ступенями свободи.
6. Наведіть кінематичні схеми, утворені поєднанням однієї обертальної та двох поступальних пар.
7. Наведіть кінематичні схеми, утворені поєднанням однієї поступальної та двох обертальних пар.
8. Які Ви знаєте схеми орієнтувальних механізмів?
9. Наведіть алгоритм структурного та кінематичного синтезу компонування промислового робота.
10. Як визначити швидкості та прискорення промислового робота?
11. Як визначити питомий об'єм компонування?
12. Як описати переміщення механізмів і деталей методом матриць?
13. Наведіть матрицю переміщення і повороту деталі відносно осі $O_i Z_i$.
14. Наведіть матрицю переміщення і повороту відносно осей OX і OY .
15. Наведіть матриці складних переміщень.
16. Наведіть обернене завдання про положення маніпулятора.
17. Наведіть матриці переміщення деталі в площинах OXY і OXZ .
18. Наведіть кінематичну схему маніпулятора $Y \perp Y \parallel B \perp B \perp B \perp B$.
19. Опишіть переміщення механізмів і деталей методом матриць.
20. Наведіть кінематичну схему маніпулятора $Y \parallel P \perp P \perp B \perp B \perp B$.

4. СИСТЕМИ І ЕЛЕМЕНТИ РОБОТІВ

4.1. Системи керування роботами

4.1.1. Класифікація систем керування роботами

Для класифікації систем керування промисловими роботами (СКПР) можна орієнтуватися на різні ознаки, наприклад, як відображено на рис. 4.1. Зазвичай ці системи залежно від ступеня участі оператора в них поділяють на такі:

- людино-машинні, що мають оператора безпосередньо в контурі керування;

- системи автоматизованого керування, коли оператор залишається поза контуром керування і взаємодіє з роботом тільки на етапі навчання. За цією ж ознакою людино-машинні системи додатково поділяють на системи дистанційного та інтерактивного керування.

За методом керування людино-машинні системи також поділяють:

- на системи командного керування, в яких оператор керує окремо приводами кожної ланки робота дистанційно за допомогою пульта керування;

- системи копіювального керування, в яких оператор дистанційно керує роботом за допомогою пристрою, кінематично подібного виконавчому пристрою робота (рух кожної ланки пристрою передається на відповідні ланки виконавчого пристрою за принципом слідкуючої системи);

- системи напіваавтоматичного керування, в яких оператор, натискаючи на джойстик, задає бажаний рух захоплювальному пристрою, а спеціалізований обчислювач (ЕОМ, процесор) за електричними сигналами від датчиків рукоятки обчислює і формує відповідні сигнали керування для приводів усіх ступенів рухливості;

- автоматизовані інтерактивні системи, в яких тільки частина операцій виконується автоматично, а інші – оператором;

- інтерактивні системи супервізорного керування – це системи, в яких оператор, що спостерігає на екрані (дисплеї) обстановку в місці дії робота, подає окремі команди-цілевказівки, за сигналами від них включаються ті чи інші програми автоматичної дії робота;

- інтерактивні системи діалогового керування, які відрізняються від систем супервізорного керування тим, що робот виконує не тільки команди оператора, а й активно допомагає йому в розпізнаванні обстановки і прийнятті рішень.



Рис. 4.1. Класифікація систем керування промисловими роботами

4.1.2. Види систем керування роботами

У загальному випадку СКПР мають багаторівневу систему.

Усі СК, як числові, так і циклові, мають структуру з тими чи іншими відхиленнями і спрощеннями, які необхідні для керування конкретним роботом, залежно від його функціонального призначення.

Залежно від виду системи керування промисловими роботами можна здійснювати від автономних, комплексних і багаторівневих систем. Такий розподіл залежить також від функціонального призначення роботів.

Автономні СК призначені тільки для керування роботом, а не обладнанням та іншими пристроями. Для цієї мети застосовують системи, які входять безпосередньо до комплексу робота. Іноді до цих систем належать пристрої, призначені для керування обладнанням.

Загалом СКПР як спеціалізовані відрізняються від СК обладнання таким:

- програмуванням методу навчання;
- значною кількістю входів і виходів для зв'язку з основними пристроями;
- додатковими модулями вимірювання стану механізмів робота зовнішнім середовищем;
- модулем діагностики для реалізації функції диспетчеризації і контролю роботи обладнання і елементів робота;

– спеціалізованим матеріальним забезпеченням, обумовленим особливостями роботи як об'єкта керування, тобто значними швидкостями і величинами переміщення робота.

Спеціалізовані СК розробляють як для одиничного, так і групового керування промисловим роботом.

Комплексні СК призначені для керування комплексом ПР-обладнання. Для цієї мети використовують верстатні системи з ЧПК, які випускають серійно. При цьому ускладнюється програмування ПР, оскільки верстатні системи не забезпечені системами навчання. Тому в цьому випадку до таких систем продаються системи навчання.

Багаторівневі (ієрархічні) СК з ЧПК застосовують при обслуговуванні верстатів і роботів, що входять до складу автоматизованої ділянки. ЧПК у такому випадку розділяють на три рівні, де на верхньому за допомогою ЕОМ проводяться розрахунок, зберігання, вибір, передача на нижній рівень керувальних програм для верстатів і роботів.

На середньому рівні здійснюється редакція, тобто налагодження за результатами оброблення цих програм та їх зберігання під час оброблення.

На нижчому рівні відбувається оброблення програм устаткування у складі певної ділянки. У цьому випадку СКПР має такі ж рівні з тими ж функціями. Підготовка програм для централізованого керування відбувається так само, як і для автономних систем. Однак запам'ятовування та відпрацювання програм для ЕОМ середнього рівня проводяться пристроями нижчого рівня – позиціонерами. Тому в багаторівневих системах пристрої керування нижчим рівнем значно простіші порівняно з автономними СК.

Нині для всіх трьох видів СК розроблено уніфіковані СК для ПР, а також усі додаткові пристрої, тобто модулі.

4.2. Уніфіковані системи керування промисловими роботами

Уніфіковані СКПР є гамою СПК спеціального функціонального призначення:

- малоточкові циклові системи циклового керування типу УЦМ;
- числові системи контурного керування типу УКМ;
- уніфікована гама пристроїв керування типу ЄСМ.

4.2.1. Малоточкові циклові системи циклового керування типу УЦМ

До таких систем належать модифікації УЦМ-10, УЦМ-20, УЦМ-30 і УЦМ-663, які відрізняються одна від одної в основному кількістю вхідних сигналів і допоміжних команд. СК цього типу призначені для ПР, які обслуговують ковальсько-пресове обладнання, ливарне обладнання, лінії гальванопокриття та металорізальні верстати в умовах масового і великосерійного виробництва. Такими системами комплектуються ПР з обмеженими маніпуляційними і функціональними можливостями, що мають невелику кількість точок позиціонування за кожним ступенем рухливості.

4.2.2. Числові системи позиційного керування типу УПМ

До таких систем належать модифікації УПМ-331, УПМ-532, УПМ-772.

Ці системи відрізняються одна від одної кількістю керованих координат: 3, 5, 7 і типом керовального приводу. Вони призначені для роботів зі значною кількістю точок позиціонування по кожній координаті. Їх застосовують для комплектації ПР, які здійснюють обслуговування обладнання різного технічного призначення.

Пристрій ПР побудовано за принципом синхронного мікропрограмного автомата з кінцевою кількістю положень дев'яти позицій і жорстким циклом керування. Вони уніфіковані за структурно-алгоритмічним і конструкторсько-технологічним принципами.

З пульта керування пристрою можна виконувати програму керування, пошук кадру, ручне керування, програмування (навчання), спостереження за виконанням програми, розмітку магнітної стрічки, розмітку зони і початкову установку. Пристрої складаються з шафи і пульта керування.

Пристрій УПМ-331 призначено для керування ПР з кроковим приводом розімкненого типу і кількістю програмних координат до трьох.

Пристрій може виконувати програму завантажувально-розвантажувальних робіт за спеціально орієнтувальною тарою. Кількість тар – вісім. УПМ-331 є модифікацією УПМ-772.

Пристрій УПМ-552 призначено для керування п'ятьма програмними координатами ПР зі слідкувальними приводами. Керувальні сигнали на переміщення маніпулятора в режимі поділу часу видаються через підсилювачі потужності з функціонального цифрового перетворювача у вигляді постійної напруги, що змінюється в діапазоні ± 10 В.

З двовідлікових фазових датчиків зворотного зв'язку в пристрій надходить інформація про поточне положення рухомих органів маніпулятора.

За допомогою блоків формування фази і перетворювачів фазифікації поточна фаза перетворюється в цифрову форму і для подальшого оброблення подається в операційно логічний блок. Живлення датчиків

зворотного зв'язку здійснюється опорною напругою, яка формується блоком живлення датчиків від вхідного сигналу блока синхронізації.

Пристрій УПМ-772 призначено для керування сімома програмними координатами ПР зі слідкувальними приводами. Принцип роботи аналогічний принципу роботи УПМ-552 (різниця – у кількості керованих координат) і УПМ-331.

4.2.3. Числові системи контурного керування серії УКМ

Система контурного керування серії УКМ має модифікації: УКМ-552, УКМ-772, які відрізняються одна від одної кількістю керованих координат: 5, 7 і кількістю сприймальних команд: 8, 32.

Керовальну структурну схему пристрою керування УКМ-552 і УКМ-772 зображено на рис. 4.2.



Рис. 4.2. Спрощена структурна схема пристроїв керування УКМ 552 і УКМ 772

Вони призначені для керування ПР, що потребують складних просторових переміщень використовуваного органу за заданою траєкторією. Їх застосовують для ПР фарбування, дугового зварювання, а також складних складальних операцій. Керування такими роботами в основному здійснюється від ЕОМ, мікроЕОМ. Програмування цих роботів здійснюється методом навчання. Пристрій УКМ-552 в основному застосовують в ПР фарбування. Цей пристрій підтримує роздільне плавне установлення робочих органів маніпулятора в позицію, що відповідає початку робочої програми. Пристрої виконано у вигляді уніфікованих стояків. Зв'язок із зовнішніми органами – кабельний, але не більше 20 м. Пульт керування вбудовано в стояк.

4.3. Загальні відомості про приводи

Приводи маніпуляторів у сукупності являють собою виконуючу систему роботів, які складаються з силових двигунів, передавальних і виконавчих механізмів.

Крім того, у них є ділільно-перетворювальні пристрої і датчики переміщення виконавчих ланок.

Вибір типу приводу залежить від призначення і умов експлуатації ПР, виду системи керування, вантажопідйомності й динамічних характеристик конструкції ПР.

Загальними вимогами до будь-якого виду приводів є:

- мінімальні габаритні розміри, маса й інерція;
- високі енергетичні показники (відношення потужності до маси);
- можливість роботи в автоматичному режимі при мінімальному часу розгону і гальмування;
- висока питома потужність і ККД;
- великий коефіцієнт посилення потужності (відношення сигналу керування до вихідної потужності);
- велике робоче зусилля (момент на виході);
- широкий діапазон регулювання швидкостей, характеристики з великим запасом стійкості та плавності руху;
- швидкодія – рух виконавчого механізму з високими швидкостями і мінімальними похибками;
- достатня точність фіксації заданих переміщень (з точністю до 0,01 мм);
- мала маса елементів приводу при високому ККД всієї конструкції;

- забезпечення безпеки (шляхом мінімізації часу гальмування, легкості відключення приводу і зняття зусиль, які прикладаються);
- можливість вбудовування систем охолодження і терморегулювання для забезпечення теплових режимів роботи приводу і стабільності його характеристики;
- зручність монтажу, обслуговування, ремонту, переналагодження;
- низький шум;
- економічність витрати енергоносія при високому ККД;
- невисока вартість;

За функціональною ознакою приводи поділяють на регульовальні й слідкувальні. Регульовальні приводи працюють в основному з ЦПК (циклічним програмним керуванням). Слідкувальні приводи з ЧПК застосовують тоді, коли необхідна фіксація руху в будь-якій точці.

Приводи виконавчих органів-маніпуляторів можуть бути електричними, пневматичними, гідравлічними і комбінованими. Комбіновані схеми двигунів бувають двох типів:

- з розташуванням двигуна в загальному приводному блоці;
- з установленням двигунів у допоміжному блоці.

Виконавчі сучасні приводи поставляються завжди комплектно, наприклад, комплект гідравлічного приводу складається з гідромотора або циліндра, системи регулювання швидкостей і потужності, блоки зворотного зв'язку за швидкістю і потужністю, а також надійні швидкодіючі гальмівні пристрої. Як двигуни застосовують і циліндри, але в основному для зворотно-поступальних і поворотних рухів. Крім того, як приводи можна застосовувати поршневі двигуни.

Для електроприводів існують спеціальні двигуни з електромеханічними гальмами та керуванням від ЧПК, що дозволяють здійснити багатопозиційне керування. У малих і середніх роботах застосовують високомоментні крокові приводи. Двигуни поділяють на такі види: крокові, силові крокові, лінійні.

Конструкції передавальних механізмів роботів (редуктори) відрізняються великою різноманітністю: циліндричні, черв'ячні й конічні зубчасті; рейкові, зубчасті, рядні, хвильові, гвинтові, ланцюгові, тросові, стрічкові з зубчастими ременями, фрикційні та ін.

Приводні вали в передавальних механізмах виконують у вигляді прямокутника, шліцьових з'єднань, зі шпонками, кулькових шліцьових з'єднань та ін.

Як підсилювач перетворювальних пристроїв застосовують гідравлічні підсилювачі з електрогідравлічним перемикачем ЕГП, пружним або жорстким зворотним зв'язком. Підсилення сигналу, а також застосування

його для електрогідравлічних слідкуючих систем здійснюється за допомогою підсилювачів сигналу помилки: магнітних, електронних, напівпровідникових та ін.

Їх переваги: висока швидкодія, великий коефіцієнт підсилення, можливість підсумовування з сигналом зворотного зв'язку, можливість коригування.

Як датчики зворотного зв'язку, що вимірюють і перетворюють вихідний сигнал на електричний, використовують потенціометри, обертові сельсини, тиристри, індуктивні датчики, кодові датчики, лінійні інерційні потенціометри. Як напрямні лінійного переміщення з метою зменшення сил опору в основному застосовують напрямні кочення.

4.4. Система інформації роботів

Інформаційні системи значною мірою визначають функціональні можливості ПР, складність вирішуваних робочих завдань, експлуатаційну надійність і ефективність їх використання у виробничих умовах. За призначенням усі системи інформації можна розділити на три види:

- сприйняття і перероблення інформації про зовнішнє середовище, в якому функціонує робот;
- внутрішня інформація про стан вузлів, механізмів і систем ПР;
- забезпечення техніки безпеки.

Третя система функціонує в результаті взаємодії двох перших.

Інформаційні системи класифікують таким чином:

- за функціональним призначенням (сприйняття зовнішнього середовища, забезпечення техніки безпеки і контроль);
- за характером вирішуваної задачі: пошук об'єкта, контроль наявності об'єкта у захоплювачі, розпізнавання форми і орієнтація об'єкта, надійне утримання об'єкта, визначення фізичних параметрів, виконання виробничих операцій, самонавчання, діагностика, прогнозування ресурсу ПР, аварійне блокування, оцінювання положення і швидкості ПР та ін.;
- за способом взаємодії із зовнішнім середовищем: дистанційні датчики (візуальні, локаційні), контактні датчики;
- за типом використовуваних датчиків: телекамери, фотоматриці;
- за енергоносієм: ультразвукові, світлолокаційні, індукційні, магнітні, струминні, лазерні, тактильні, силові – датчики зусиль, моментів, переміщень, сприйняття зовнішнього середовища, тиску, температури, потенціометри, індукційні машини, імпульсні генератори, кодові датчики, шляхові вимикачі, тахогенератори та ін.;

– за аналізом інформації про місце ланок ПР під час його роботи: фази захоплення, фази транспорту, фази терміналу.

Підсистеми формуються поєднанням і взаємодією окремих елементів підсистеми, які входять до класифікації ПР.

4.4.1. Підсистема зовнішньої інформації

Ця система визначає функціональні можливості робота і ступінь складності вирішуваних завдань; вона призначена для збирання інформації про зовнішнє середовище і контролю положення об'єкта праці й устаткування, яке обслуговує.

Підсистема підрозділяється на такі дії: пошук об'єкта, контроль і визначення наявності об'єкта в захоплювачі, розпізнання форми і орієнтації, надійне утримання об'єкта, визначення фізичних параметрів, виконання виробничих операцій, самонавчання. Вона також поділяється на дистанційну та контактну залежно від способу взаємодії між датчиком і об'єктом.

Контактні датчики застосовують для виявлення об'єкта, встановлення моменту зіткнення з ним, визначення розміру об'єкта, контролю тиску на об'єкт, виконання різних виробничих операцій, встановлення підготовленості основного технологічного устаткування до обслуговування роботом, а також для забезпечення безпеки роботи.

До контактних пристроїв належать:

- тактильні, зусиль, моментів і переміщень;
- датчики.

Призначення дистантних (безконтактних) датчиків таке саме, як і контактних.

Їх перевага – відсутність безпосереднього контакту з об'єктом, тобто вони не зазнають силового впливу, а отже, надійніші.

Однак використання цих датчиків ускладнює визначення деяких фізичних параметрів об'єктів маніпулювання – шорсткість, теплоємність, електропровідність та ін., а також ускладнює захоплення крихких об'єктів і контроль їх утримання під час маніпулювання.

Дистанційні датчики поділяють на візуальні та радіолокаційні. Візуальні поділяють на телекамери і фотоматриці. Локаційні поділяють на ультразвукові, світлолокаційні, індукційні, магнітні, струменеві, лазерні.

Контактні пристрої: тактильні, зусиль, моментів і переміщень – датчики (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Пристрої контролю стану ПР

4.4.2. Підсистема внутрішньої інформації

Залежно від вирішуваних завдань підсистема внутрішньої інформації може містити різні пристрої:

- оцінювання стану, швидкості руху та ступенів рухливості ПР, які реєструють його фактичний стан у кожен момент часу і порівнюють інформацію, що надходить, з необхідними параметрами руху;
- аварійного блокування, що запобігають поломкам механізмів ПР і обладнання, яке взаємодіє з ПР при появі випадкових збоїв;
- діагностики та прогнозування ресурсу ПР, призначені для визначення причин відмов, попереднього повідомлення про них і скорочення часу ремонту, а також для зменшення кількості відмов ПР шляхом проведення профілактичних робіт.

Як датчики внутрішньої інформації застосовують:

- граничні вимикачі;
- безконтактні перемикачі;
- фотореле, реле тиску;
- силові датчики і датчики тиску і моментів;
- індуктивні, сенсорні, сельсини, потенціальні.

4.4.3. Інформаційне забезпечення роботи ПР

Інформаційне забезпечення роботи ПР складається з таких етапів:

- захоплення об'єкта маніпулювання;
- його переміщення у просторі (транспортування);
- терміналу, який має на меті три основні цілі:
 - досягнення кінцевого положення і орієнтації об'єкта;
 - отримання надійного контакту об'єкта маніпулювання з об'єктом зовнішнього середовища;
 - забезпечення на кінцевій ланці ПР зусиль або моменту, достатніх для виконання виробничих операцій.

Для кожного з цих етапів потрібне різне інформаційне забезпечення.

Фази захоплення об'єкта і терміналу здійснюються під контролем підсистем зовнішньої і внутрішньої інформації.

Етап транспортування потребує використання пристроїв оцінювання положення і швидкості переміщення ступенів рухливості ПР, а також пристроїв аварійної безпеки.

4.4.4. Блок-схеми системи інформації

Інформаційна система являє собою поєднання підсистем зовнішньої і внутрішньої інформації.

Зовнішня інформація – це інформація про навколишнє середовище робота, у тому числі обладнання.

Внутрішня інформація – це інформація про роботу елементів робота.

Кожна з цих систем має свої системи датчиків аналогових пристроїв і систем керування. Вони мають додаткові детектори узгодження, аналогові перетворювачі.

Узагальнену схему систем інформації зображено на рис. 4.4.

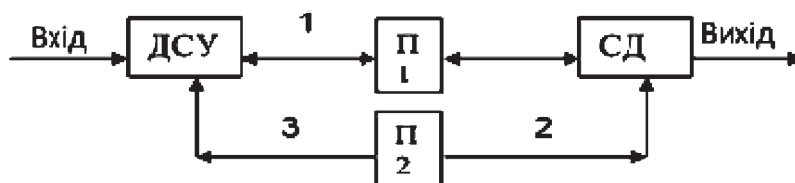


Рис. 4.4. Узагальнена схема системи інформації в СК:

1 – сигнал неузгодженості; 2 – сигнал стану; 3 – сигнал зворотного зв'язку;

ДСУ – детектор узгодження СК; П1 – підсилювач; П2 – перетворювач;

СД – серводвигун

За цією схемою перетворювач П виконує сигнал фактичного стану виконавчого механізму. Перетворює його на форму вихідного сигналу 2 і посилає його в ДСУ 3.

ДСУ цей сигнал узгоджує з вхідним, коригує і подає вторинний сигнал у систему У на коригування відхилення, тобто система – самоналагоджувальна.

Таку схему в основному застосовують для контролю положення елементів робота.

Є більш складна схема (рис. 4.5).

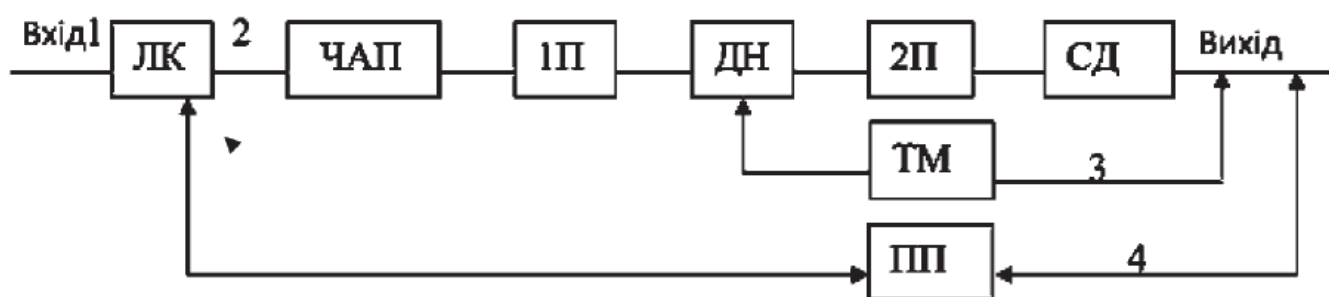


Рис. 4.5. Схема системи контролю швидкостей ПР:

- 1 – цифровий вхід; 2 – цифровий сигнал неузгоджуваності;
- 3 – аналоговий сигнал неузгоджуваності; 4 – зворотний сигнал виконання;
- ЛК – лічильник компаратора; ЧАП – числовий аналоговий перетворювач;
- 1П – перший підсилювач; 2П – другий підсилювач; СД – серводвигун;
- ДН – детектор неузгоджуваності; ТМ – тахометр; ПП – перетворювач погашень

Такі системи застосовують для контролю швидкостей (лінійних або кутових).

Цю систему використовують при точному позиціонуванні, де потрібні точні переміщення або повороти. У цій системі як датчики застосовують дровові потенціометри, індуктивні датчики, для оцінювання швидкості – тахометри, для оцінювання кута повороту – кодові датчики.

Загальну блок-схему системи інформації ПР зображено на рис. 4.6.

Кодові датчики дають інформацію про зовнішнє середовище, БОЛ – інформацію про внутрішній стан робота, який передає інформацію в АЦП. При аварійній ситуації спрацьовує БАБ. БЗТБ пов'язаний з МПА і БС. Вся інформація надходить в БВВ, де коригується програма і вирівнюються задані й фактичні значення.

4.5. Елементи автоматки

Елементи автоматки поділяють таким чином (рис. 4.6):

- датчики;
- аналізатори;
- проміжні пристрої;
- пристрої для виконання основних функцій систем керування або виконавчих механізмів;
- пристрої впізнання;
- приводи.

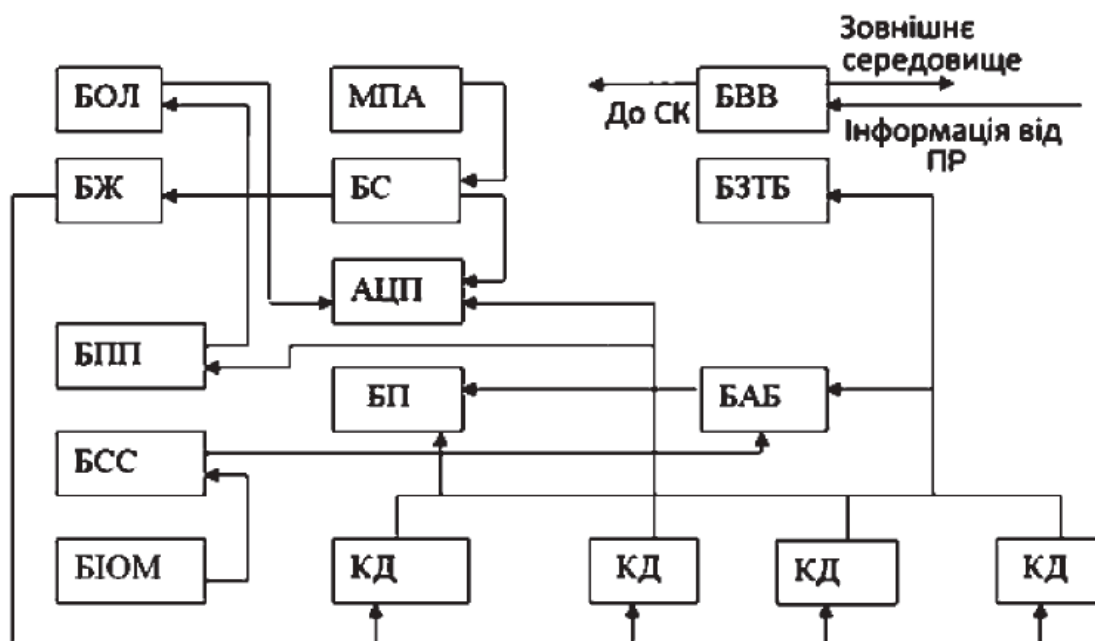


Рис. 4.6. Загальна блок-схема системи інформації ІПР:

БОЛ – блок операційно-логічний; МПА – мікропроцесорний автомат;
БВВ – блок введення-виведення; БЖ – блок живлення; БС – блок синхронізації;
БЗТБ – блок забезпечення технічної безпеки; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; БПП – блок певних параметрів; БАБ – блок аварійного блокування;
БСС – блок сприйняття середовища; БІОМ – блок інформації про об'єкт маніпулювання; КД – кодові датчики; БП – блок порівняння

4.5.1. Датчики

Датчики збирають інформацію про зовнішнє середовище та умови експлуатації, внутрішнє положення обладнання, об'єкта.

Датчики поділяють за принципом дії на механічні, пневматичні, електромеханічні. Механічні й електромеханічні датчики – це в основному шляхові вимикачі й розмірні датчики, призначені для контролю, переміщень (лінійних і кутових) елементів робота.

Колійні вимикачі мають дуже різні комбінації. Вони можуть бути чисто механічні та комбінованого типу. Конструкції їх типові і вибираються з довідників залежно від їх призначення, конструкції і вибраного приводу промислового робота.

Розмірні датчики застосовують для контролю розмірів деталі в процесі оброблення (для активного контролю). За принципом дії їх поділяють на пневматичні, механічні, гідравлічні, електричні, фотоелектричні, лазерні, електромагнітні, індукційні та ін.

Пневмодатчики поділяють на струминні та пневматичні, кулькові. Ці датчики мають високу надійність і малі габарити, просту конструкцію. Їх застосовують у будь-якому елементі робота.

Конструкції пневматичних датчиків дуже різноманітні, їх вибирають залежно від призначення і типу конструкції.

Струминні датчики основані на явищах пневматики, застосовуються в автоматичній струминній техніці або елементах керування, в яких повністю відсутнє переміщення деталей.

У цих елементах використовують аеродинамічні ефекти взаємодії струменів і обтікання струминних стінок. Їх відмінність і специфічність полягає у такому:

1. Керування здійснюється завдяки взаємодії двох або більше струменів.

2. Вони використовують низький тиск – 200...500 кгс/м².

3. Прибори пневматики – мініатюрні.

При тиску P_{ex} струмінь прилягає до стінки, обтікає її і виходить через $P_{вих}$. При подачі ПР різних значень можна підключити цівку до другого, третього і четвертого сопел, що буде означати перший, другий, третій і n-варіант.

За наявності першої і другої $P_{вих1}$ наповнювальних камер струмінь наповнює їх і надлишки викидає в атмосферу. Виходить коливальний контур, амплітуда коливань якого буде залежати від хвилі P_{ex} і процесу обтікання, а частота – від другої камери.

При наступній варіації отримуємо датчик пам'яті, оскільки при досягненні певного значення P_p воно вирівнюється з P_{P2} : P_p відхиляється і відбувається кругообіг повітря по цьому ланцюгу, тобто запам'ятовується певний тиск P_p . При змінненні цих параметрів на інші значення P_p запам'ятовується інший тиск P_p . Отже, там, де потрібнен датчик пам'яті за

тиском, можна змінити цю схему. Такі датчики малогабаритні, надійні, широко застосовуються в промислових роботах.

4.5.2. Проміжні пристрої

До проміжних пристроїв належать перетворювачі, підсилювачі та допоміжні пристрої. Як перетворювачі застосовують різного виду реле. Їх функцією (призначенням) є перетворення слабких сигналів датчиків у сильні для виконавчих органів. Оскільки датчики приймають слабкі струми, а реле розмикають і замикають контакти з більш сильними струмами, тому розрізняють такі типи реле, що застосовуються в промислових роботах:

- за принципом дії: електромеханічні, поляризовані, магнітоелектричні, електронні та ін.;
- за параметром спрацьовування: напруга, струм, потужність та ін.;
- за кількістю контактів: безконтактні, дво- та n -контактні;
- за видом струму: змінний або постійний.

Для відліку часу застосовують різного виду реле з витримкою 0,4–180 с. Реле бувають з блокуванням та без нього. У ПР використовують електронні, магнітоелектричні та інші реле [15].

Електронне реле – найбільш чутливе, використовують двох видів – контактне та безконтактне.

Для відліків об'єктів застосовують лічильники імпульсів різних конструкцій. Вони зазвичай складаються з крокового шукача, проміжного реле і перетвореного струму.

Для посилення сигналу від датчиків застосовують різні види підсилювачів. За принципом дії їх поділяють на електричні, механічні, пневматичні, гідравлічні, комбіновані.

Підсилювачі поділяють на такі групи:

- за підсилювальним елементом: напівпровідникові, магнітні та ін.;
- за призначенням: операційні, для ЕОМ, вимірювальні та ін.;
- за характером підсилених сигналів: гальванічні та імпульсні;
- за кількістю каскадів: одно- та багатокаскадні;
- за типом зв'язку між каскадами: з дроселем, коливальним контуром, активним опором та ін. [6].

До допоміжних пристроїв системи керування належать кнопки, тумблери, перемикачі, сигналізатори, які монтуються на пульті керування.

4.5.3. Пристрої для виконання основних функцій СК

До пристроїв для виконання основних функцій керування належать механізми керування переміщеннями робочих органів, перемикачів, включення, відключення, гальмування, синхронізації, регулювання частоти та швидкостей.

Механізми перемикачів, включень, виключень можуть бути механічні, електромеханічні, електромагнітні та інші, причому керувані і самоврядними. Керувані працюють на адаптивній системі. Працюють механізми за допомогою електродвигунів, тягових електромагнітів, гідравлічних і пневматичних циліндрів і моторів. У деяких випадках вони керуються від системи керування, в інших – від контрольних приладів.

Конструкції цих пристроїв загальновідомі. Для гальмування силових електродвигунів застосовуються зазвичай дискові або плиткові електромеханічні гальма [12].

Електричне гальмування здійснюється трьома способами: динамічним, генераторним і противключенням.

При динамічному способі ланцюг якоря відключається від мережі і замикається на реостат. Виникає при цьому ЕРС, яка взаємодіє з магнітним полем двигуна, спричиняє появу гальмівного моменту, який зупиняє двигун.

При генераторному – підвищується частота обертання ротора, яка, перевищуючи частоту обертання моменту поля двигуна, змушує його працювати як генератор. При перемикачній двох фаз обмотки статора двигуна виникає обертання магнітного поля, протилежне обертанню якоря.

У гідросистемах гальмування воно здійснюється за допомогою дорожніх дроселів, у пневмосистемах – за допомогою золотників.

У деяких випадках з електро- або гідродвигунами треба синхронізувати їх роботу.

Це треба для таких випадків:

1. Електродвигун – при грубій синхронізації за допомогою первинного двигуна збільшується кутова швидкість генератора до величини, близької до синхронної і без її порушення включно. У мережу подається струм в обмотки якоря і він починає обертатися із заданою швидкістю.

2. Синхронізація роботи гідродвигунів здійснюється трьома способами:

- жорстке з'єднання валів;
- послідовне з'єднання порожнин;
- живлення від насосів рівної продуктивності.

В усіх СК потрібна зміна або частоти обертання, або швидкості переміщення робочих органів. Для цього крім механічних засобів редукторів, варисторів застосовують спеціальні електричні двигуни.

Регулювання двигунів постійного струму за частотою обертання досягається шляхом змінення:

- струму збудження двигуна;
- підведення до двигуна напруги;
- опору в ланцюзі якоря.

Регулювання двигунів струму здійснюється шляхом застосування:

- частоти струму в мережі;
- кількості пар полюсів;
- ковзання.

Частоту струму здійснюють за допомогою синхронного регулятора.

Ковзання здійснюється шляхом уведення в ланцюг ротора додаткових опорів.

4.6. Захоплювальні пристрої

Захоплювальні пристрої (ЗП) призначено для виконання функцій утримання об'єкта маніпулювання під час транспортування, а також для орієнтації і базування. Захоплювальний пристрій має надійно утримувати переміщуваний об'єкт при всіляких рухах маніпулятора, які виконуються як по черзі, так і одночасно, з прискоренням і гальмуванням. При цьому контактуючі з деталлю пальці не мають залишати слідів на її поверхні. Питомий тиск у місці контакту часто має бути невеликим, особливо при роботі з крихкими об'єктами, що призводить до необхідності збільшення площ контактувальних поверхонь.

Захоплювальний пристрій має бути по можливості легким, оскільки, будучи органом, найбільш віддаленим від осей повороту кисті та руки робота, створює при розгонах і гальмуванні найбільші навантаження на несучі елементи конструкції робота і його приводи, що істотно впливає на вантажопідйомність робота і силу його приводів.

Захоплювальний пристрій має утримувати об'єкти як з сухими поверхнями, так і з поверхнями, покритими рідким і консистентним змащенням, теплозахисними покриттями, зафарбованими і незафарбованими. Об'єкти маніпулювання можуть бути твердими і м'якими, жорсткими і крихкими, регулярної форми і змінної, у вигляді листів, валів, стаканів, корпусів і т. д.

Все це визначає різноманіття можливих підходів до вибору принципу класифікації захоплювальних пристроїв. Ці пристрої можна поділити за типом приводних пристроїв, проте кінематичні схеми механічних захоплювальних пристроїв з гідроприводом і захоплювальних пристроїв з пневмоприводом практично однакові. Більш того багато кінематичних схем, типових для захоплювальних пристроїв з пневматичним і гідравлічним

приводами, можуть бути реалізовані за допомогою електромеханічного приводу.

4.6.1. Класифікація захоплювальних пристроїв

Поділ захоплювальних пристроїв на механічні, вакуумні і магнітні можна класифікувати за способом їх взаємодії з об'єктом (перший рівень). Об'єкт можна утримати силами тертя в результаті стиснення його пальцями (або просто захопленням пальцями), силою тиску повітря при створенні розрядження під пальцями пристрою, магнітними силами у створюваному магнітному або електромагнітному полі.

У конструкціях сучасних промислових роботів захоплювальні пристрої з адаптивними пальцями поки є рідкісними, але появу останнім часом досить досконалих конструкцій подібного типу можна вважати, що їх застосування буде розширюватися (рис. 4.7).

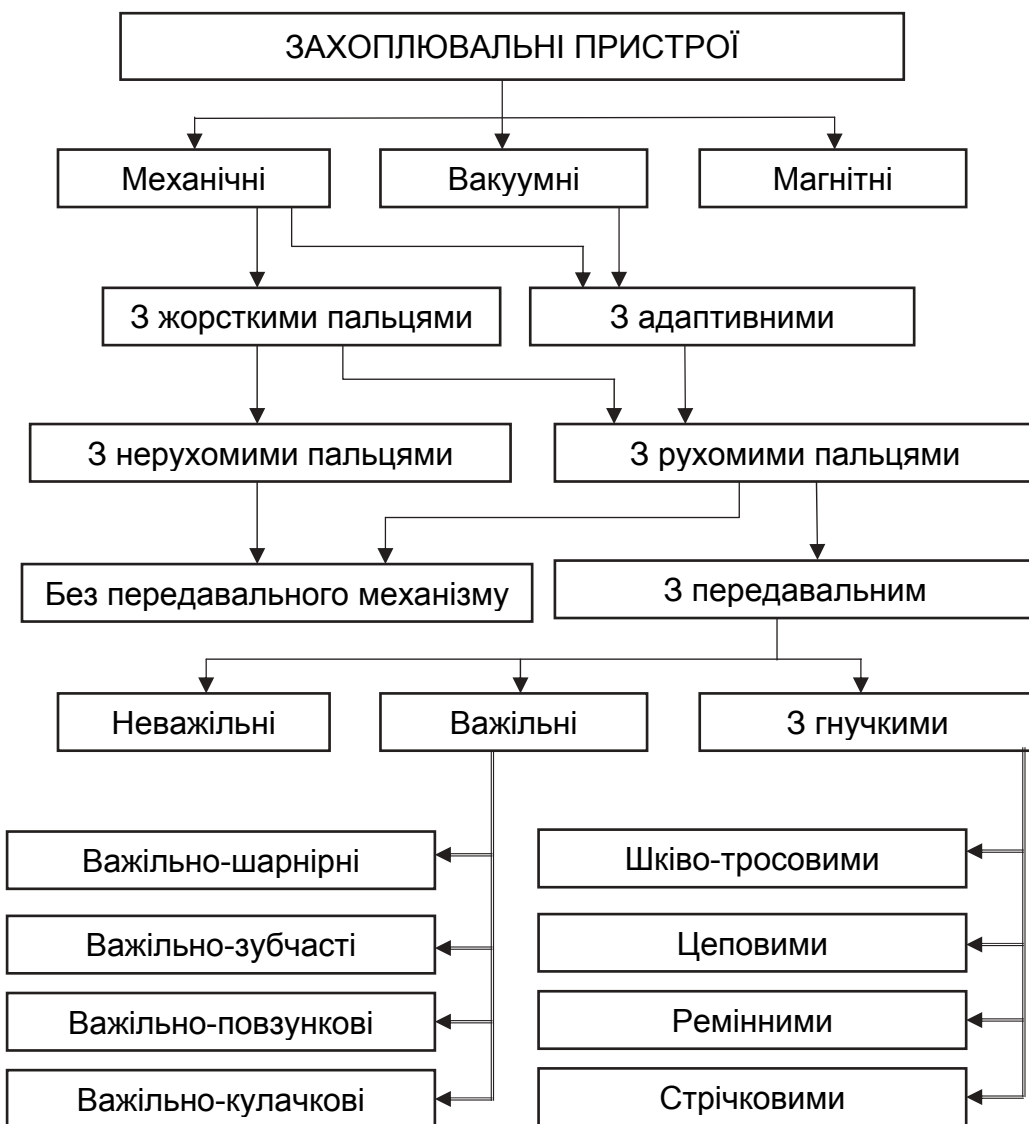


Рис. 4.7. Класифікація захоплювальних пристроїв промислових роботів

Такий поділ захоплювальних пристроїв доцільно віднести до **першого рівня** класифікації. Можливі захоплювальні пристрої, що являють собою комбінацію перелічених вище. Аналіз подальших рівнів класифікації показує, що вони не мають принципових відмінностей від трьох попередніх і не потребують особливого розгляду.

Другий рівень класифікації стосується виконавчого елемента, який безпосередньо контактує з об'єктом маніпулювання – пальцями. Палець може бути наділений або не наділений здатністю адаптуватися до форми об'єкта.

Третій рівень класифікації оснований на встановленні наявності або відсутності руху пальців під час захоплення деталі. Рухливі пальці можуть здійснювати плоско паралельні, поступальні в площині та прямолінійні рухи

Четвертий рівень класифікації визначає наявність або відсутність передавального механізму між веденим ланкою приводу і пальцями. П'ятий рівень класифікації пов'язаний з типом передавального механізму, який може бути важільним або містити гнучкі ланки у вигляді тросових, ланцюгових передач та ін.

4.6.2. Кінематичні схеми захоплювальних пристроїв

Переважна більшість сучасних промислових роботів оснащена механічними захоплювальними пристроями, хоча нерідко передбачена можливість їх заміни на вакуумні або електромагнітні. Корпус захоплювального пристрою, що містить зазвичай пальці й передавальний механізм, разом з приводом руху пальців монтується на кисті. Кисть може бути або жорстко встановлена на руці робота, або мати одну, дві або три ступені рухливості – можливості повороту навколо різних осей або поворотів у поєднанні з лінійними рухами. Кількість ступенів рухливості кисті значною мірою характеризує технологічні можливості робота.

При визначенні кількості ступенів рухливості кисті рухливість пальців не враховується. Зазвичай корпус захоплювального пристрою має стикувальний вузол, який виконується у вигляді фланця, стакана, втулки, хвостовика і т. п. для його установа на кисті робота. Найбільш поширені механічні захоплювальні пристрої з жорсткими рухливими пальцями, забезпечені передавальним механізмом.

Рухливість пальців не обов'язково зумовлює наявність передавального механізму. Наприклад, передавальний механізм відсутній у захоплювального пристрою, в якому пальці встановлені на поршнях,

переміщуються, затискаючи деталь, при подачі тиску безпосередньо в циліндр. Можливе виконання захоплювального пристрою з рухомими пальцями без приводу. Такі самозахисні захоплювальні пристрої, у яких джерелом енергії є вага деталі, перетворений передавальним механізмом через захоплення пальцями (рис. 4.8).

У конструкціях сучасних промислових роботів найбільш широко використовуються механічні захоплювальні пристрої з двома жорсткими пальцями, які виконують рух в одній площині: плоско паралельний, поступальний, прямолінійний. Робоча поверхня пальців таких захоплювальних пристроїв, призначених для захоплення об'єкта ззовні, являє собою або призму, або площину, або бічну поверхню циліндра обертання. Для захоплювальних пристроїв з подібними пальцями зручно ввести поняття «центр захоплення» і «вершина пальця».

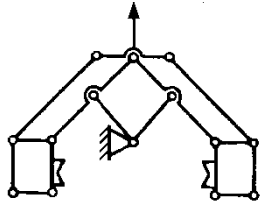
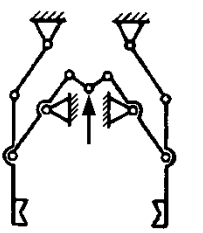
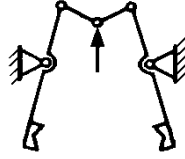
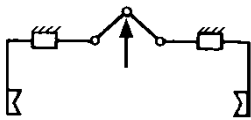
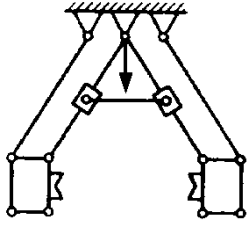
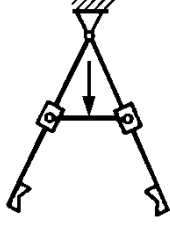
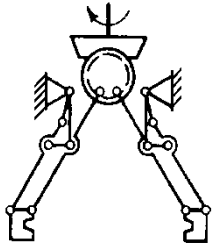
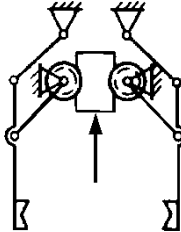
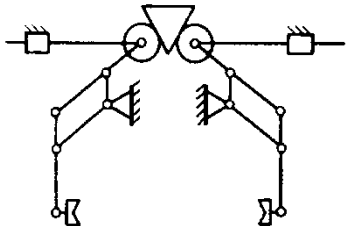
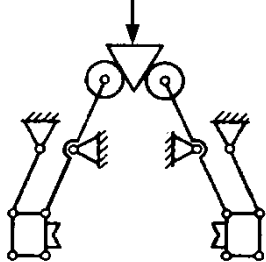
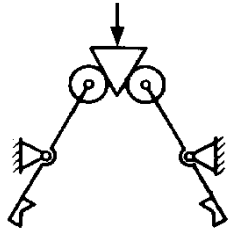
Тип	Вид руху жорстких пальців		
	Прямолінійний	Поступальний	Плоскопаралельний
Важільно-шарнірний			
Важільно-повзунковий			
Важільно-зубчастий			
Важільно-кулачковий			

Рис. 4.8. Принципові кінематичні схеми важільних передавальних механізмів

Центр захоплення – спроектований на базову площину руху пальців центр кола, вписаного в багатокутник, утворений робочими площинками пальців, або центр найбільшого кола, що дотикається до кіл циліндричних робочих поверхонь пальців.

Вершина пальця, яка розглядається в цій площині, – точка перетину дотичних до поверхні деталі в місцях її контакту з пальцем, якщо палець дотикається до об'єкта двома площинками, або точка дотику пальця з об'єктом, якщо він має тільки одну робочу поверхню.

При плоскопаралельному русі пальців їх вершини переміщуються по дузі кола, а положення центру захоплення залежить від кута нахилу вихідної ланки передавального механізму. При поступальному русі пальців їх вершини також переміщуються по дузі, а центр захоплення зміщується вздовж його поздовжньої осі, але орієнтація самого пальця в просторі залишається незмінною. При прямолінійному русі пальців їх вершини переміщуються по прямих, що їх з'єднує, а положення центру захоплення залишається незмінним.

Можливі схеми захоплювальних пристроїв з важільними передавальними механізмами, пальці яких здійснюють один з трьох зазначених площинних видів руху, наведено на рис. 4.8, на якому подано чотири типи передавальних механізмів: важільно-шарнірний, важільно-повзунковий, важільно-зубчастий, важільно-кулачковий.

Найпоширенішою є шарнірне установлення вихідної ланки передавального механізму в корпусі захоплювального пристрою і жорстка фіксація на ньому пальців, що забезпечує їх плоскопаралельний рух. Істотним недоліком цих захоплювальних пристроїв є те, що положення центру захоплення залежить від кута нахилу вихідної ланки. Це обмежує можливість використання такого захоплювального пристрою тільки для роботи з деталями, розміри яких відрізняються незначно.

Усе різноманіття конструктивних виконань захоплювальних пристроїв з плоскопаралельним рухом жорстких пальців, що реалізуються за допомогою важеля шарнірного передавального механізму, може бути зведено до кількох базових принципів схем, поданих на рис. 4.9.

Досить широко в сучасних промислових роботах використовують механічні захоплювальні пристрої з плоскопаралельним рухом жорстких пальців, важільно-повзункові передавальні механізми яких виконано за схемами, наведеними на рис 4.10. Шарнірне установлення вихідної ланки в корпусі з одночасним шарнірним установленням пальця на вихідному ланці

при введенні паралелограмного механізму дозволяє отримати поступальний рух пальця.

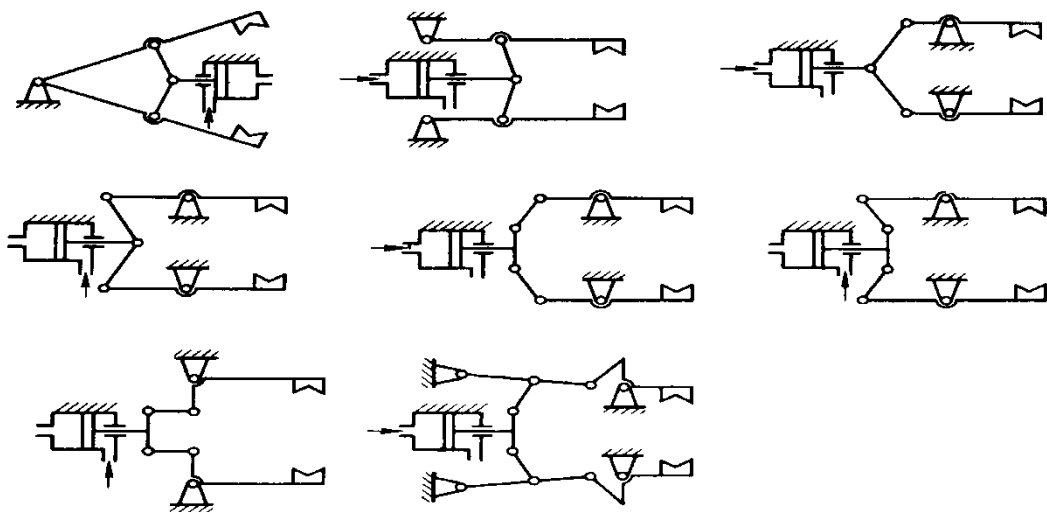


Рис. 4.9. Принципові кінематичні схеми важільно-шарнірних захоплювальних пристроїв

Недоліком захоплювальних пристроїв, побудованих за такою схемою, є залежність положення центру захоплення від кута нахилу вихідної ланки. У ряді схем реалізується прямолінійний рух пальців, що робить такі захоплювальні пристрої універсальними. В одних випадках вихідна ланка установлюється на прямолінійній напрямній. В інших випадках для отримання прямолінійного руху використовуються деякі види важільних механізмів, зокрема прями, наприклад прями Чебишева або механізми типу пантографів.

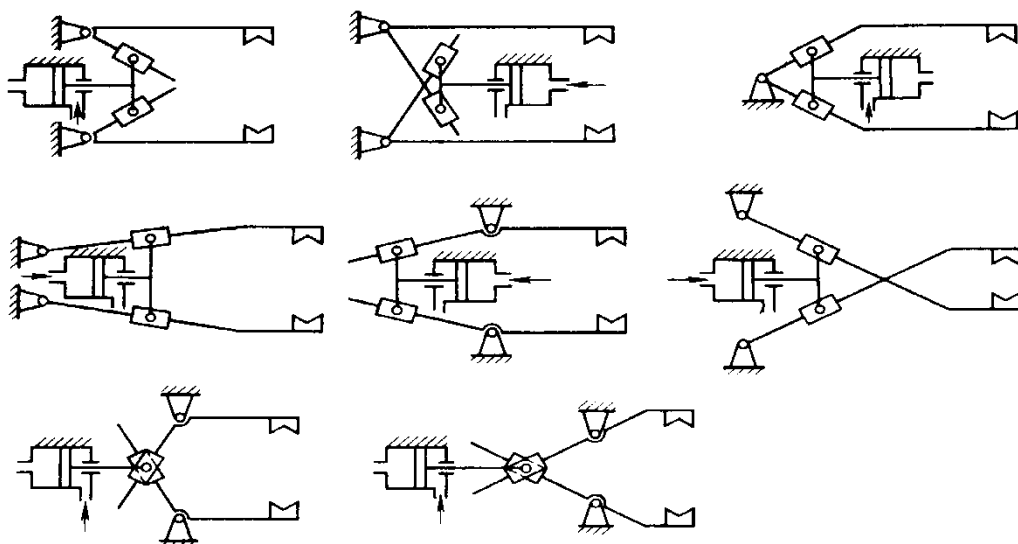


Рис. 4.10. Принципові кінематичні схеми важільно-повзункових передавальних механізмів, що забезпечують плоскопаралельний рух пальців захоплювальних пристроїв

4.6.3. Типові конструкції захоплювальних пристроїв

4.6.3.1. Конструкції механічних захоплювальних пристроїв

Конструкції механічних захоплювальних пристроїв розглядаються на прикладі захоплювачів промислового робота Unimate. На рис. 4.11 подано захоплювач з важільно-кулісним приводом і змінними губками 2, 3 до нього. Для деталей, що мають паралельні площини, застосовують самоустановлювальні губки захоплювача 3. Якщо діаметр деталі змінюється після оброблення, то використовують губки 2 для деталей різних діаметрів.

У деяких випадках на кисті раціонально мати два або чотири захоплювачі. Схему кисті з двома захоплювачами наведено на рис. 4.12. Один захоплювач може зняти кришку з контейнера, другий – вийняти з контейнера деталь. Цей же принцип застосовується при обслуговуванні верстата: один захоплювач виймає деталь, другий – встановлює в патрон заготовку.

Для роботи з важкими і громіздкими деталями застосовують захоплювач, схему якого показано на рис. 4.13. Тут центр мас деталі розташований недалеко від місця, за яке деталь утримується, що зменшує можливість гойдання деталі під час її перенесення.

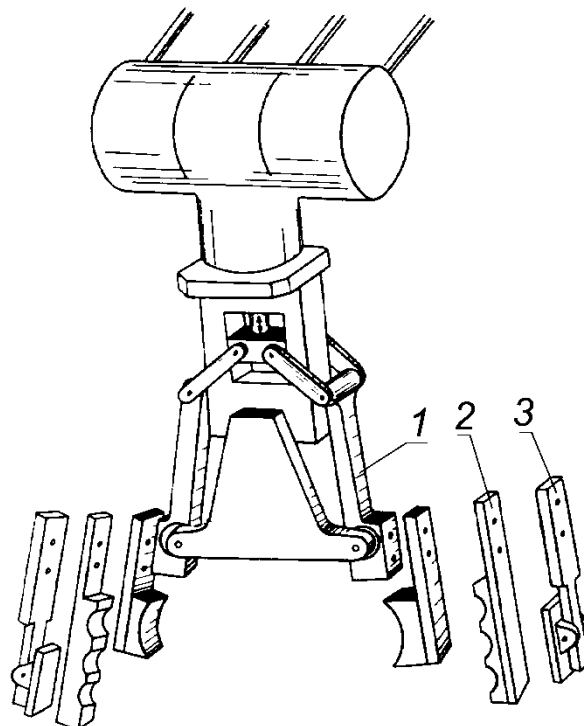


Рис. 4.11. Захоплювач з важільно-кулісним приводом і змінними губками

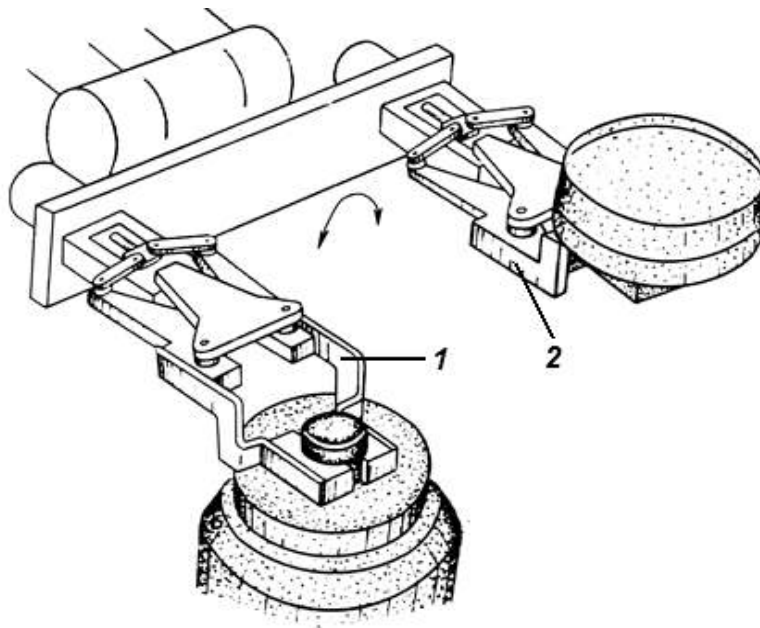


Рис. 4.12. Захоплювач з двома кистями

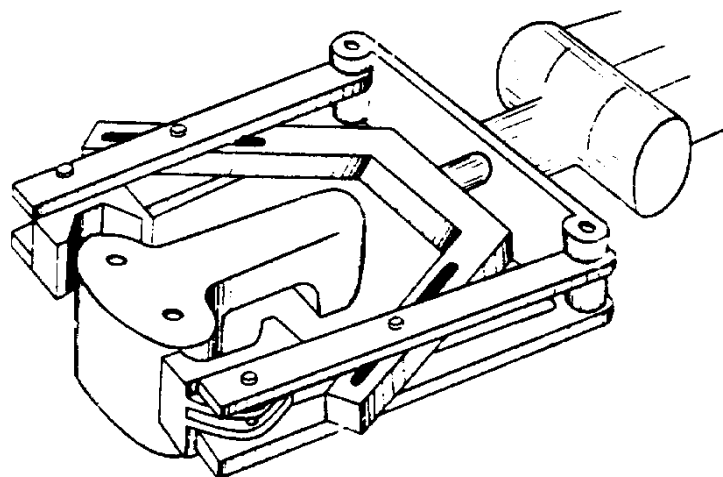


Рис. 4.13. Захоплювач для роботи з важкими та громіздкими деталями

Якщо деталь необхідно переорієнтувати, то застосовують кисть з подвійним захоплювачем, яку наведено на рис. 4.12. «Капельхоподібна» деталь захоплюється зовнішнім захоплювачем 2, коли вона стоїть фланцем вгору. Коли деталь перевернута, циліндр меншого діаметра захоплюється захоплювачем 1. Так робиться у всіх випадках, коли під час оброблення форма і розміри деталі значно змінюються.

Захоплювач з пневмоприводом використовують для роботи з довгомірними деталями (рис. 4.14), що мають у перерізі неправильну форму. Кисть з подібними захоплювачами показано на рис. 4.15. Кисть має довгу балку 3, на кінцях якої змонтовано два захоплювачі 2, що мають по одному приводному пневмоциліндру.

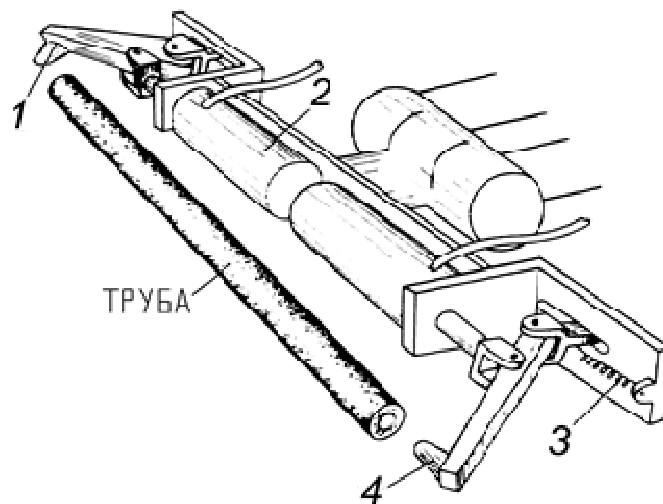


Рис. 4.14. Захоплювач для довгих труб: 1, 4 – пальці;
2 – пневмоциліндр; 3 – пружина

У кутах рами 1 на осях встановлено три зірочки 4. На осях зірочок встановлено три однакових кулачка 3. Зірочки 4 охоплюються ланцюгом 5. Для приводу двигуна використовується гідроциліндр або пневмоциліндр 2. При вмиканні циліндра 2 ланцюг 5 переміщується, і кулачки повертаються до тих пір, поки не сховаються в бічну поверхню, яку переносять деталі. Один такий захоплювач придатний для роботи з деталями різного діаметра (рис. 4.16).

Для робіт, які використовують на розвантаженні та розкладанні цегли, сконструйовано спеціальні захоплювачі з пневмоприводом, які містять набір лопаток. Захоплювачі можуть утримувати до 24 цеглин стандартних розмірів (по вісім штук у три ряди). У деяких випадках застосовують спеціальні типи захоплювачів (деталь, наприклад, може притискатися до кронштейна штоком виконавчого циліндра).

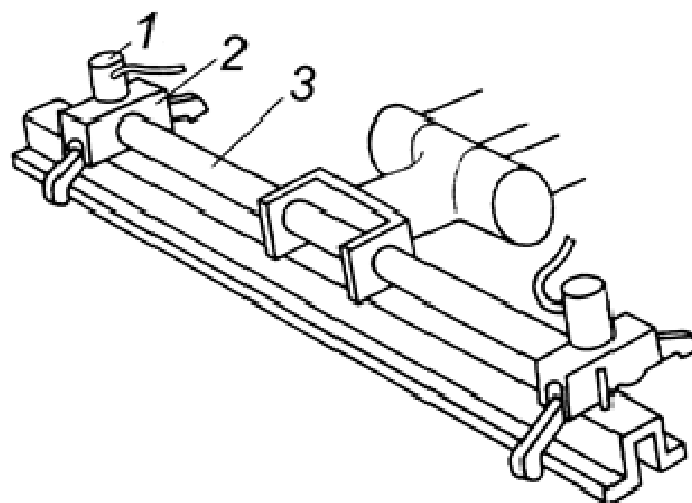


Рис. 4.15. Захоплювач для довгомірних деталей

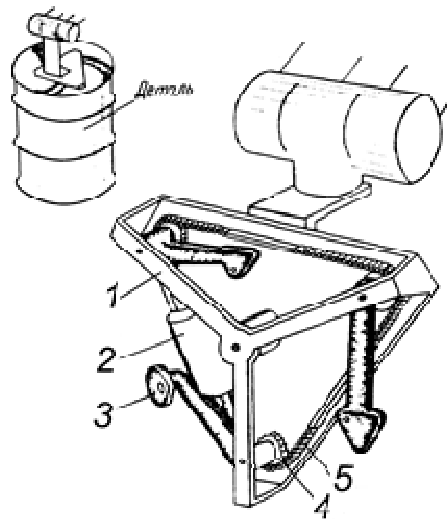


Рис. 4.16. Захоплювач для порожнистих деталей

Нижче наведено приклади деяких конструкцій захоплювачів для вітчизняного робота УМ-1. Ці пристрої призначено для робіт, які виконують перенесення, орієнтування, установлення і зняття оброблених деталей при обслуговуванні операцій на токарних верстатах.

На рис. 4.17 показано захоплювач, за допомогою якого робот обслуговує одночасно два токарних верстати, що використовуються для обточування і внутрішнього розточення гільзи. Під час виконання операцій робот з цим захоплювачем бере заготовку з накопичувача, встановлює її в кулачковий патрон першого верстата, знімає оброблену заготовку, перевертає її на 180° , встановлює в розтискних оправках другого верстата, знімає готову деталь і вкладає її в накопичувач.

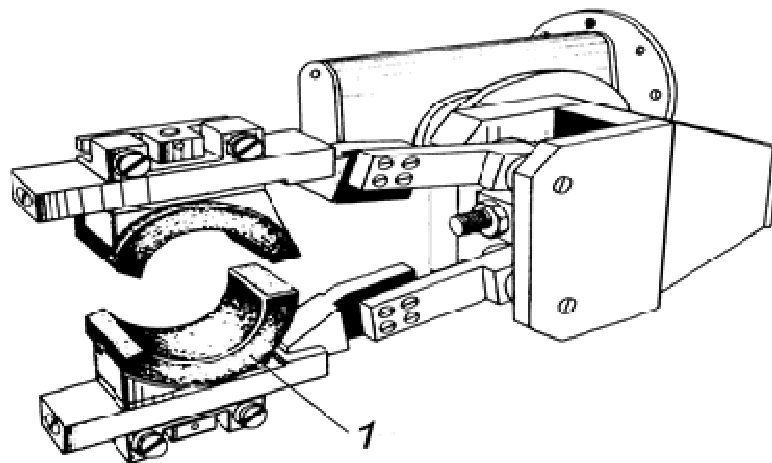


Рис. 4.17. Захоплювач для оброблення гільз: 1 – ложемент

У конструкції захоплювача передбачено можливість компенсації деякої розбіжності осі оброблюваної деталі та осей шпинделів верстатів з віссю захоплювача, а також «м'яке» досилання деталі до упора в патрон

верстата. Для цієї мети захоплювач забезпечено «плаваючими» захоплювачами, які самопозиціонуються і мають два ступені свободи – уздовж осі руки робота і навколо осі губок захоплювача. Неточності збігу осей компенсує також гума, якою облицьовані ложементи захоплювача.

На рис. 4.18 подано конструкцію захоплювача, важільна стрілка якого дозволяє широко розводити захоплювач, не збільшуючи ходу приводного пневмоциліндра. У результаті при розведенні губок захоплювача на необхідні кути час на його вмикання і вимикання зменшується.

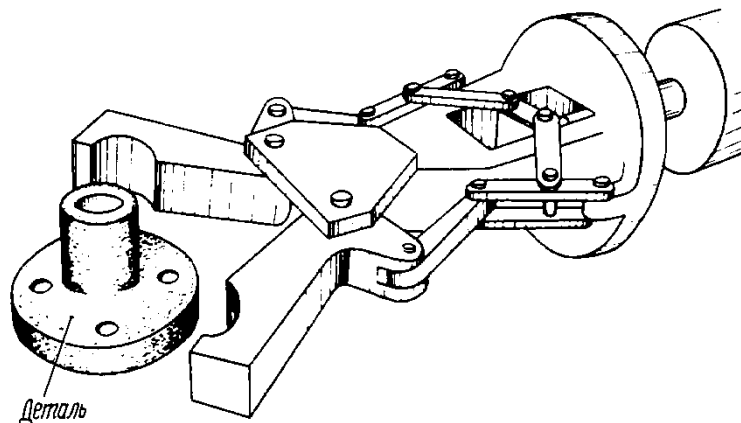


Рис. 4.18. Широкорозвідний захоплювач

Слід зазначити, що при конструюванні захоплювачів велику увагу приділяють зниженню їх маси, оскільки при збільшенні маси захоплювачі, що знаходяться на великій відстані від вертикальної осі повороту руки, значно зростає момент інерції оберткових елементів, у зв'язку з чим зменшується вантажопідйомність робота.

На рис. 4.19 показано різні типи захоплювачів робота SR-10: 1 – захоплювач для стрижнів, прутків та інших деталей; 2 – захоплювач для банок і пляшок з широким горлом; 3 – захоплювач для кілець; 4 – захоплювач для деталей циліндричної форми; 5 – захоплювач для зубчастих коліс; 6 – захоплювач для великих металевих виробів; 7 – захоплювач для переміщення виливків; 8 – вакуумний присос – захоплювач для круглих пластин; 9 – вакуумний присос – захоплювач для кінескопів; 10 – вакуумний захоплювач для цегли; 11 – вакуумний захоплювач для взяття одного або декількох дрібних деталей; 12 – вакуумний захоплювач з декількома присосами для захоплення деталей складної форми; 13 – вакуумний захоплювач з рифленим листом; 14 – вакуумний захоплювач з бутлями; 15 – магнітний захоплювач з перфорованою деталлю (або сіткою); 16 – магнітний захоплювач з зубчастим колесом.

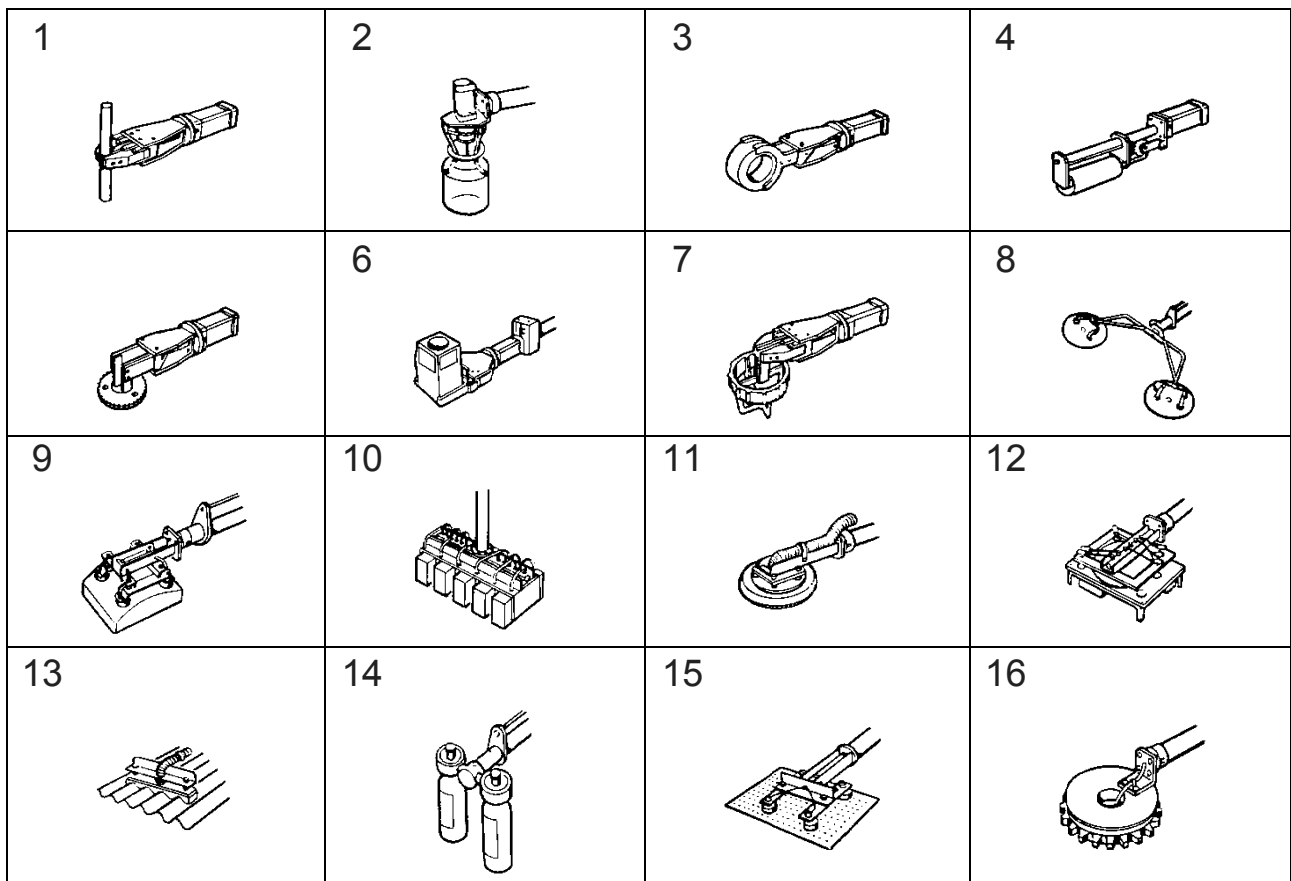


Рис. 4.19. Різні типи захоплювачів робота SR-10

На рис. 4.20 показано спеціальний захоплювач робота Unimate зі знімними пальцями.

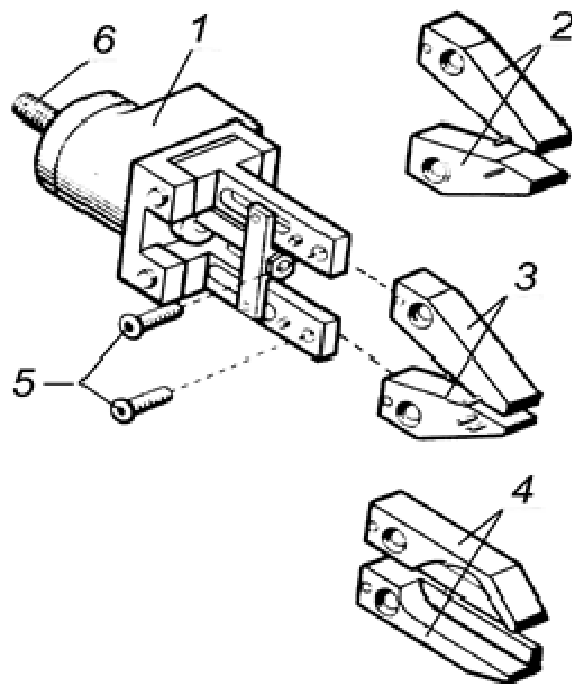


Рис. 4.20. Захоплювальний пристрій зі знімними пальцями

4.6.3.2. Вакуумні захоплювальні пристрої

Вакуумні захоплювачі застосовують переважно при роботі з листовими деталями. Вони відрізняються простотою конструкції і невеликою масою.

Найбільш поширену конструкцію вакуумного захоплювача показано на рис. 4.21. Одним з основних елементів цих захоплювачів є чашка-присос 5, яку виготовляють з гуми або пластмаси. Присоси використовуються також для захоплення скляних деталей зі складною зовнішньою поверхнею або для захоплення декількох різних за формою, але близьких за розміром деталей. Іноді присоси виконують у вигляді пластин з великою кількістю отворів, кожний з яких призначено для захоплення однієї деталі.

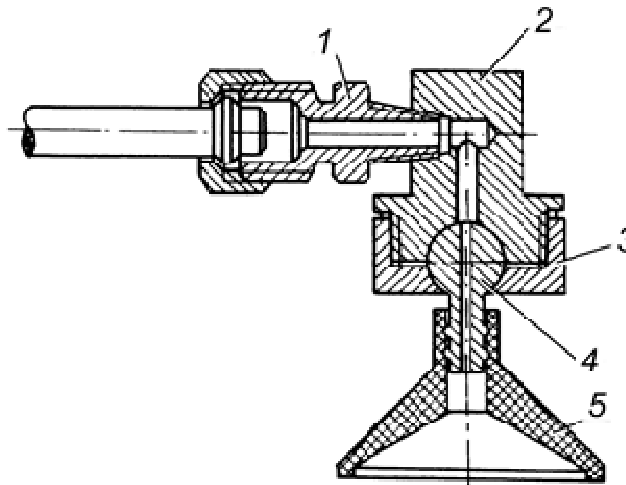


Рис. 4.21. Вакуумний захоплювач:

1 – штуцер; 2 – корпус; 3 – гайка; 4 – шарнір зі штуцером; 5 – присос

Відкачування повітря з-під присоса проводиться вакуумним насосом через шланг, протягнутий уздовж руки робота, або за допомогою ежектора, що працює від цехової мережі стисненого повітря. Для запуску та вимикання вакуумного насоса в магістраль насоса вбудовується датчик, який при утворенні заданого ступеня вакууму подає сигнал у систему керування роботів.

4.6.3.3. Електромагнітні захоплювальні пристрої

Область застосування захоплювачів, що працюють за допомогою електромагнітів, аналогічна з вакуумними захоплювачами. Перевагами

таких пристроїв є велика сила тяжіння на одиницю площі, швидкість спрацьовування і простота конструкції.

До недоліків електромагнітних захоплювачів слід віднести можливість їх використання тільки для роботи з деталями з магнітних матеріалів і наявність залишкового магнетизму на переміщуваних деталях. Менш зручними є захоплювачі з постійним магнітом, оскільки у цьому випадку зняття деталі має проводитися за допомогою додаткового пристрою (рис. 4.22).

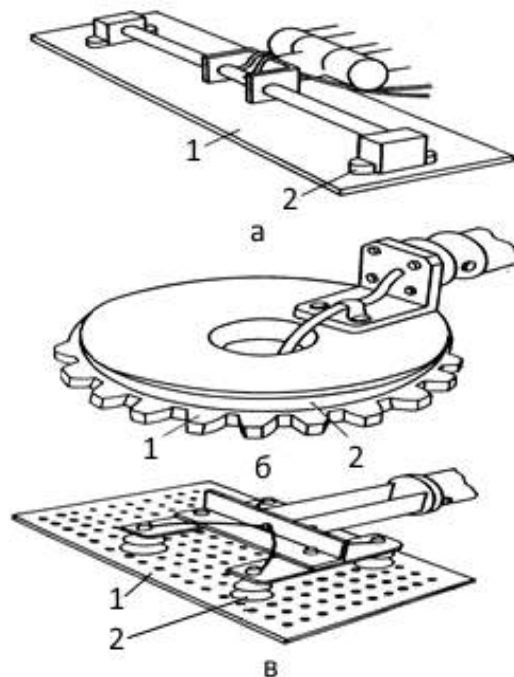


Рис. 4.22. Електромагнітні захоплювачі з двома (а), одним (б) і чотирма (в) електромагнітами

Запитання для самоперевірки знань

1. Наведіть класифікацію систем керування.
2. Опишіть призначення комплексних систем керування ПР.
3. Опишіть уніфіковані системи керування промисловими роботами.
4. Наведіть загальні вимоги до приводів ПР.
5. Опишіть розподілення приводів за функціональною ознакою.
6. Наведіть розподіл системи інформації за призначенням.
7. Як класифікують інформаційні системи ПР?
8. Наведіть типову схему системи контролю швидкостей ПР.
9. Наведіть узагальнену схему системи інформації в СК.
10. Наведіть класифікацію захоплювальних пристроїв.
11. Як визначається центр захоплення?
12. Що вважається вершиною пальця захоплювального пристрою?

5. РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

5.1. Загальна послідовність проектування ПР

Основні вихідні дані, які визначають конструкцію ПР, – це:

- призначення ПР та умови експлуатації;
- необхідний тип розташування (підлоговий, підвісний і т. п.);
- вантажопідйомність і т. д. ;
- технологічне обладнання, яке працює в РТК;
- технологічне оснащення і т. п .

Виходячи з вищенаведених даних, визначають:

- схему руху деталей або інструменту під час виробничого процесу;
- номенклатуру впровадження нових технологічних процесів, на яких буде використовуватися робот;
- габаритні розміри обладнання і ПР;
- циклограму роботи обладнання, а виходячи з неї швидкості й прискорення об'єкта переміщення за допомогою робота;
- змінення базових деталей під час оброблення;
- властивості впровадження нових технологічних процесів, які впливають на точність позиціонування;
- розташування ПР в РТК;
- параметри навколишнього середовища.

Після аналізу проводять розрахунки основних параметрів несучої механічної системи (НМС). НМС враховує кінематику руху деталей в процесі виробництва та їх габаритні розміри, також розташування та розміри устаткувань РТК і можливості виконавчої механічної системи (ВМС), яка у свою чергу визначається циклограмою роботи модулів РТК, масою переміщуваних деталей, похибкою (припустимою) позиціонування.

Розрахунок НМС виконують у такому порядку:

- виходячи з технічних вимог, кінематики рухів деталі, габаритних розмірів обладнання та оснастки визначають кінематичну структуру і довжину ланок НМС маніпулятора;
- на підставі вимог позиціонування і вантажопідйомності руки визначають припустиме значення нижньої межі 1-ї гармоніки власної частоти коливань НМС (динамічні характеристики);
- залежно від припустимого значення нижньої межі 2-ї гармоніки власної частоти коливань НМС визначають розміри і конструкцію ланок маніпулятора і вузлів.

Розрахунок ВМС виконують у такому порядку:

- вибирають структуру ВМС, тобто склад ВМС і зв'язок її елементів між собою (передавального механізму, передавальних зв'язків, місць зв'язків цих механізмів з датчиками положень і датчиками

швидкості), з умов реалізації заданої вантажопідйомності, необхідної точності, максимальних швидкостей переміщення виконавчого органу та вибраного типу і схеми приводу;

- розраховують передавальне число і вибирають тип передавального і виконавчого механізму і передавальних зв'язків;
- визначають розміри передавальних зв'язків і жорсткість інших елементів ВМС.

Порядок конструювання приводів ПР можна розділити на дві групи.

На етапі конструювання першої групи приводу розглядаються незалежно за кожним ступенем рухливості. Взаємний вплив враховується введенням діапазонів змінення інерційних характеристик навантаження та максимального моменту навантаження. Необхідні числові дані визначаються за підсумками проектування модулів ступенів рухливості, а також за підсумками, що виходять в результаті дослідження кінематики та динаміки маніпулятора.

На етапах конструювання другої групи аналізують працездатність приводів робота при спільних рухах, перевіряють виконання технічних умов; за необхідності розраховують додаткові компенсаційні впливи на приводи, які здійснюють розв'язання.

Далі основну увагу приділяють етапам конструювання першої групи, які є визначальними, оскільки дозволяють вибрати елементи, у цілому побудувати структурні схеми і розраховувати параметри приводів.

До основних етапів конструювання і проектування належать:

- визначення вихідних даних для розрахунку (параметри режимів руху);
- вибір основних елементів приводів (виконавчий двигун, редуктор, датчики положення і швидкості й вимоги до підсилювачів потужності);
- побудова структурної схеми системи та визначення динамічних характеристик вибраних елементів;
- визначення синтезу динамічних характеристик приводу і функціональних блоків;
- перевірний розрахунок для визначення показників якості в перехідних процесах.

Крім основних етапів конструювання можливі й додаткові, пов'язані з урахуванням:

- пружної піддатливості елементів редуктора і ланок маніпулятора;
- нелінійності характеристик окремих елементів приводів (люфту в редукторі, сухого тертя в шарнірах, обмеження в підсилювачі, насичення в магнітній системі двигуна); неточною компенсацією взаємного впливу при спільній роботі приводів з різними ступенями рухливості.

5.2. Вибір і обґрунтування систем керування ПР

На етапі проектування приводів, а попередньо ще на етапі загального компонування ПР вибирають систему керування, яка безпосередньо залежить від умов роботи ПР і складності маніпулювання.

Перелічимо основні фактори, які впливають на вибір систем керування (СК):

1. Технічні фактори:

- перебазування деталі (об'єкта) під час оброблення;
- точність позиціонування і орієнтації об'єкта в будь-якій точці простору робочої зони;
- особливості розташування в робочій зоні обладнання, оснащення та принципи їх дії;
- форми, розміри і розташування робочої зони, що обслуговується;
- планування РТК;
- система координат транспортувальних переміщень ПР і його структурно-кінематична схема;
- кількість ступенів рухливості;
- схема захоплювального пристрою і його можливості;
- тип і вид приводу і його характеристики (швидкість, прискорення, точність позиціонування, його переваги і недоліки).

2. Експлуатаційні фактори:

- форма, розміри і розташування робочого простору ПР і його робоча зона;
- додаткові фактори, пов'язані з експлуатаційними умовами (температура, вологість, вибухонебезпечність, пожежна безпека).

Аналізуючи вищеперелічені фактори, а також беручи до уваги класифікацію ПР за ознаками (способам позиціонування, видом енергоносія, типом приводу, способом керування і т. п.), вибирають вид СК.

Автономні СК, які в основному призначені для керування ПР, мають такі відмінності від верстатних систем ЧПК:

- програмування методом навчання;
- значна кількість входів і виходів для зв'язку з основним і допоміжним обладнанням;
- додаткові модулі вимірювання стану механізмів ПР і параметрів зовнішнього середовища;
- модулі діагностики для перевірки і контролю роботи обладнання складових РТК.

Спеціалізовані автономні СК вибирають, як для одиничного, так і групового ПР.

Комплексні СК призначено для керування комплексами обладнання – робота. Для цієї мети часто використовують верстатні ЧПК, однак при цьому ускладнюється процес програмування.

Багаторівневі СК використовують для обслуговування автоматичних ліній, ділянок і розподіл завдань управління походить від верхньої ЕОМ вниз до СК на кожній одиниці обладнання.

Проаналізувавши відповідний вид СК, переходять до безпосередньої моделі-типу системи керування, яка має враховувати всі вищеперелічені вимоги.

Уніфіковані СКПР:

- циклові СК позиційного керування типу УЦМ (УЦМ10, УЦМ20, УЦМ30 і т. п.);
- числові системи позиційного керування типу УПМ (УПМ-331, УПМ-552, УПМ-772);
- системи контурного керування серії УКМ (УКМ-552, УКМ-772);
- уніфікована гама пристроїв керування типу ЄСМ (ЄСМ020, 030, 040 і 060).

Спеціальні системи керування зазвичай призначено для певних моделей ПР з однаковими параметрами стикування та однаковими пристроями керування.

5.3. Вибір і обґрунтування інформаційної системи ПР

Вибір інформаційної системи (ІС) ПР здійснюють після вибору підсистем [1]:

- сприйняття і контролю інформації зовнішнього середовища (визначається конструкція датчиків) і оброблення інформації, що надходить від них;
- контролю стану елементів робота (швидкість, навантаження, місце розташування);
- забезпечення техніки безпеки.

Підсистеми формуються поєднанням і взаємодією окремих елементів підсистем, які входять до класифікації ПР.

Підсистема сприйняття і контролю інформації про зовнішнє середовище залежить від виду сприйняття, типу датчиків і систем обробки інформації.

У візуальних системах зазвичай використовують пристрої штучного зору. Як датчики застосовують відеокамери і фотоматриці, а для вирішення завдань керування ПР – ЕОМ.

Оброблення інформації потребує певної місткості пам'яті й часу оброблення.

Завдання, які вирішуються за допомогою візуальної системи, наведено у табл. 5.1 [6].

Таблиця 5.1

Приклади використання візуальної системи ПР

Завдання	Конструктивні особливості	Принцип дії	Умови роботи
Розпізнавання деталей на площині	Оптична головка з обертовим дзеркалом, параболічним дзеркалом і фотоелементами	Фотоелемент сприймає промінь від головки і відбитий від рефлектора, на якому розташована деталь	Природна освітленість
	Відеосенсор з матрицею з фотодіодів і фокусувальним пристроєм	Освітленість кожного діода має 16 градацій	Необхідні певні напрямки освітлення і кути падіння світла
На потоковій лінії	Телевізійні камери, встановлені над рівномірно освітленим конвеєром	Розпізнавання здійснюється шляхом співвіднесення форми і розмірів деталі з трьома колами різних діаметрів	Природне освітлення
Керування ПР здійснюють найпростіші операції збирання	Дві телекамери	Інструкція вводиться за допомогою установа однієї телевізійної камери креслення об'єкта і пошуку окремих складових деталей іншою телекамерою	
	Більше п'яти телекамер	Інформація використовується для розпізнавання об'єктів складної форми і координації роботи декількох ПР	Організація певного освітлення

5.3.1. Системи штучного дотику

Особливістю роботи систем штучного дотику є наявність контакту датчика з поверхнею об'єкта. З їх допомогою вирішуються такі завдання:

- пошук і виявлення предметів і визначення їх розташування;
- захоплювання і маніпулювання з неорієнтованими об'єктами;
- розпізнавання форми предметів і їх класифікація;

- визначення фізичних властивостей об'єктів (маса, твердість, шорсткість, температура, тепло- і електропровідність і т. п.);
- надійне захоплювання і утримання об'єктів з контролем зусилля затискання;
- контроль за мікропереміщеннями деталі при виконанні деяких складальних операцій;
- контроль зміщення об'єкта в захоплювальному пристрої (ЗП) при впливі на нього динамічних навантажень.

Найпростішими є тактильні датчики контактного типу (мікроперемикач тощо). Їх широко використовують для вирішення завдань контролю наявності деталі в ЗП, контролю правильності центрування об'єкта в ЗП, а також пошуку, розпізнавання, захоплення і маніпулювання.

Для вирішення завдань класифікації та визначення форми об'єктів маніпулювання використовують матриці з пропорційних датчиків, які мають більш високі функціональні можливості.

Датчики зусиль моменту використовують при здійсненні маніпулювання крихкими і легкодеформівними деталями або для виконання простих операцій складання. Вони дозволяють за допомогою коефіцієнта тертя визначити достатнє зусилля захоплення при невеликих розмірах, оскільки встановлені на ЗП.

Датчики реєстрації переміщень призначено для захоплення і утримування об'єкта.

Локаційні системи – це більш надійні системи, оскільки вони безконтактної дії, а також дозволяють знизити обмеження за швидкістю переміщення зовнішніх об'єктів відносно ПР порівняно з системою штучного дотику.

Локаційні системи поділяють на два класи – системи дальньої і ближньої локації. Перші використовують ультразвукові, лазерні, світлолокаційні системи. Точність визначення дистанції – близько 2 мм на відстані 2 м.

Для системи ближньої локації використовуються індуктивні й струминні датчики.

Локаційні системи вирішують такі основні завдання:

- контроль наявності деталі в захоплювальному пристрої (світлолокаційні, струминні датчики);
- розпізнавання форми і місця розташування зовнішніх об'єктів (світлолокаційні, лазерні, ультразвукові датчики);

– автоматичне стеження за необхідною траєкторією (індукційний, світлолокаційні датчики);

– контроль керування складальними ПР (струминні датчики).

Виходячи із завдань і умов експлуатації, підбирають і формують конструкцію підсистеми.

5.3.2. Підсистема контролю стану ПР

Така підсистема контролює забезпечення необхідних експлуатаційних характеристик, включаючи і експлуатаційну надійність ПР, та бере участь у формуванні необхідних параметрів його руху. Тому вона містить:

– систему оцінювання стану і швидкості руху ПР, що забезпечує фактичне його становище у кожен момент часу, і порівняння з необхідними параметрами руху;

– систему аварійного блокування, що забезпечує запобігання поломкам як механічної системи ПР, так і технологічного обладнання, що обслуговується ПР при появі випадкових збоїв;

– систему діагностики та прогнозування ресурсу ПР, призначену для скорочення часу працездатності ПР і зменшення кількості відмов шляхом проведення відповідних профілактичних робіт.

Система оцінювання положення і швидкості переміщення вузлів і механізмів є спеціалізованою для кожної моделі ПР. Основними вимогами, що ставляться до датчиків системи, є:

- надійність;
- малі габаритні розміри і маса;
- завадостійкість і стійкість до впливу навколишнього середовища;
- простота;
- можливість відліку абсолютних значень;
- низька вартість.

Датчики зворотного зв'язку за положенням і швидкістю переміщення ланок за окремими ступенями рухливості – це тахогенератори або двигуни постійного струму, дотові потенціометри, індуктивні, обертові трансформатори і т. д.

Система аварійного блокування. Номенклатура і кількість використовуваних у системі датчиків визначається типом ПР і характером розв'язуваних ним завдань. Вибір типу датчиків і місця їх установлення на ПР залежить від використовуваної схеми контролю і керування.

Усі види збоїв і відмов умовно поділяють на кілька видів:

- окремі ступені рухливості ПР досягають своїх кінематичних обмежень;

– захоплювальний пристрій натискається на деталь або на окремі частини обладнання;

– ПР намагається перемістити деталь, не зробивши необхідних попередніх рухів щодо обходу перешкод;

– для першого випадку використовуються шляхові перемикачі по два на кожен ступінь рухливості (крайні точки переміщень).

В інших випадках аварійне блокування може здійснюватися на підставі аналізу швидкостей переміщення окремих ступенів рухливості ПР і порівняння їх з програмними.

Система аварійного блокування здійснює також контроль витрати тиску, температури в гідро- і пневмосистемах, якщо такі використовуються в ПР.

Система аварійного блокування здійснює також контроль працездатності ЧПК і електроавтоматики.

Склад системи визначається конкретними вимогами до конструкції ПР – умовами його застосування і характером вирішення виробничих завдань.

Система діагностики і прогнозування ресурсу ПР входить до загальної системи діагностики та профілактичних робіт РТК і виконується як окремий модуль.

Ця система порівнює показання усіх датчиків (тиску, рівня напруги, положення координат технологічного обладнання, режимів робіт і т. п.) з програмними показниками, після чого робить висновок з діагностики та часу проведення профілактичних робіт.

5.3.4. Підсистема забезпечення техніки безпеки

Сукупність і взаємодія окремих елементів підсистем у поєднанні зі спеціальними інформаційними пристроями і механізмами захисту обслуговуючого персоналу утворюють систему забезпечення техніки безпеки при налагодженні, навчанні й експлуатації ПР, яка входить до комплексу пристроїв забезпечення безпечної та безаварійної роботи всіх видів обладнання, що є складовими РТК.

Для зупинки ПР застосовують як контактні, силові, ультразвукові, індуктивні й т. п., так і візуальні системи.

Формування загальної інформаційної системи ПР виконують тільки після розроблення всіх підсистем з урахуванням вирішення поставлених задач.

5.4. Вибір і обґрунтування типу приводів

Аналіз вибраного компонування ПР і його структурної схеми дозволяє вибрати компонувальну схему приводу і систему приводу, вибрати двигун до кожного ступеня рухливості, провести розрахунок кінематичних ланцюгів, механізмів передач та їх елементів.

Загальні вимоги при виборі приводу розглянуто в розд. 4.

Для вирішення завдання вибору типу приводу використовують істотні ознаки класифікації приводів. Так, за видом енергоносія розрізняють такі типи приводів:

- електричні;
- пневматичні;
- гідравлічні;
- комбіновані.

Щодо переваг того чи іншого приводу розглянемо основні особливості, які є істотними для використання в ПР:

- дешевизна;
- простота конструкції;
- висока надійність;
- пожежна безпека.

Основні *переваги пневматичного* приводу: дешевизна енергоносія, пожежна безпека. Основні *недоліки*: по-перше, труднощі реалізації слідкувального приводу через високу стисливість енергоносія, по-друге обмеження тиску енергоносія призводить до великих, порівняно з ПР з гідроприводом, габаритних розмірів виконавчих двигунів.

Основні *переваги електроприводу* перед гідравлічним: простота обслуговування, відсутність витоків масла, високий ККД, відсутність додаткових перетворювачів енергії у вигляді гідростанції, нижчий рівень шуму.

Переваги гідроприводу: компактність і мала маса виконавчих двигунів, низька стала часу і більш просте керування малопотужними електрогідравлічними перетворювачами порівняно з керуванням потужними електромоторами постійного струму.

За видом виконавчих двигунів виділяють такі приводи:

- з двигунами поступального прямолінійного переміщення (гідроциліндри, пневмоциліндри, ливарні електродвигуни) – з обертовими малооборотними двигунами (роторні гідро- і пневмоциліндри, радіально-поршневі гідромотори);
- з високошвидкісними обертовими двигунами (електродвигуни, аксіально-поршневі гідромотори, пневмодвигуни).

Приводи перших двох типів у деяких випадках можуть з'єднуватися з виконавчими ланками без передавальних механізмів, тобто безпосередньо або за допомогою компенсувальних муфт, при цьому конструкція механічної системи значно спрощується. Для приводів третього типу редуктори необхідні для узгодження швидкостей руху і силових характеристик провідних валів двигунів і виконавчих ланок.

На структуру і кінематику приводу впливають тип двигуна та вид переміщення, що забезпечується виконавчою ланкою, а також спосіб їх з'єднання (табл. 5.2):

– у з'єднанні О-О-П передавальні механізми можуть взагалі бути відсутні, оскільки провідні елементи двигунів можуть бути безпосередньо зв'язані, а в деяких випадках самі виконують його функції;

– з'єднання О-П-П характеризується необхідністю застосування передач, що перетворюють поступальний рух в обертальний і навпаки;

– з'єднання О-О-О обумовлює застосування редукторів швидкості з великим передавальним числом. Тип редуктора вибирають за низкою параметрів, з яких найбільш важливими є «мертвий» хід у передачі, жорсткість, ККД, властивості самогальмування, складність конструкції, габарити, маса передачі, зручність компонування, рівень шуму, довговічність, технологічність і вартість;

– з'єднання П-П-П зазвичай здійснюється за допомогою передач двох типів зубчастих передач: колесо – рейка або гвинтових пар.

Таблиця 5.2

Способи з'єднання двигунів та передавальних ланок ПР

Тип двигуна	Призначення передавальних механізмів у ПР при переміщенні виконавчої ланки	
	Обертальний (О) рух	Лінійно-поступальний (П) рух
Двигуни поступальні лінійні (гідро- і пневмоциліндри)	Перетворення поступального руху в обертальний	Передача відсутня або служить для узгодження осей двигуна і виконавчої ланки
Двигуни оберткові високомоментні (роторні гідро- і пневмоциліндри, гідромотори радіально-поршневі)	Передача відсутня або служить для узгодження осей двигуна і виконавчої ланки	Перетворення обертального руху в поступальний
Двигуни оберткові високошвидкісні (гідромотори, аксіально-поршневі, пневмомотори, електродвигуни)	Для узгодження швидкостей і крутних моментів двигуна і виконавчої ланки при великому передавальному числі	Перетворення обертального руху в поступальний з великими передавальними числами

За типом керування приводи можна розділити:

- на розімкнені з позиціонуванням по жорстких механічних або електричних упорах, для них використовують циклові системи керування;

- розімкнені приводи з цифровим керуванням, в яких як двигуни можна використовувати крокові електромотори або складені циліндри (позиціонери);
- слідкувальні приводи, замкнені за зворотним зв'язком, за положенням, а також за швидкістю, силою та ін., найчастіше використовують слідкувальні гідропривід і електропривід постійного струму. Ці приводи придатні як для позиційних, так і контурних систем керування.

За способом регулювання енергії, що підводиться до механічної системи приводів і відводиться від неї, їх можна поділити на активні та пасивні. Більшість приводів є активними. До пасивних можна віднести приводи циклових ПР, в яких для відбору потужності з системи використовуються демпфери.

При остаточному виборі приводу враховуються всі фактори, пов'язані з функціонуванням ПР. До них належать:

- призначення ПР;
- технічні характеристики ПР;
- умови експлуатації;
- характеристики об'єктів маніпулювання;
- простота і технологічність конструкції;
- вартість комплектувальних матеріалів;
- тощо.

Нарешті, вибір типу приводу має відбуватися одночасно з вибором типу та структури системи керування.

5.4.1. Розрахунок характеристик двигунів приводів робота

Після вибору типу приводу ПР і, отже, виду виконавчих двигунів важливим завданням є знаходження потужності двигуна і подальший вибір його конкретної моделі.

Електропривід вибирають з урахуванням таких факторів:

- необхідних динамічних властивостей при пуску, гальмуванні й змінненні навантаження;
- діапазону регулювання швидкостей;
- виду необхідної механічної характеристики режиму роботи в часі і необхідної точності підтримки заданого режиму;
- частоти вмикань приводного механізму.

Детально методику проектування електроприводу маніпулятора викладено в роботі [1].

Для вибору двигуна постійного струму необхідні такі вихідні дані:

φ_m – кут повороту осі механізму, що відповідає максимальному переміщенню виконавчого органу, рад;

t_p і t_0 – тривалість роботи і паузи, с;

$t_{\Sigma} = t_p + t_0$ – час циклу роботи, с;

I_M – момент інерції виконавчого механізму, кг·м²;

M_c – статистичний момент від навантаження на валу, Н·м.

Розрахунок виконують виходячи з мінімального значення потрібного моменту двигуна.

Діаграма змінення швидкості характеризується величиною ξ ; при $\xi = 0$ діаграма має трикутний вигляд, при $\xi \neq 0$ – трапецеїдальний. Виходячи з умов роботи ПР вважаємо, що закон змінення швидкості по координаті – трапецеїдальний.

Коефіцієнт, що характеризує параметри виконавчого механізму і режим роботи ' μ ':

$$\mu = \frac{4\gamma_M I_M}{t_p^2 M_c} = \frac{M_{max0}}{M_c}.$$

За стандартними параметрами [8] будують криві nf і знаходять коефіцієнти, що характеризують оптимальний режим:

$$K_M = f(\mu); \quad \xi = f(\mu); \quad \frac{M_D}{M_c} = f(\mu).$$

На підставі отриманих даних визначають:

– швидкість, рад/с, усталеного руху по вхідній осі механізму

$$\omega_M = \frac{2\varphi_M}{t_p(1 + \xi)},$$

– еквівалентну потужність, Вт, механізму

$$P_M = \omega_M M_0 \frac{M_D}{M_c} \sqrt{\frac{t_p}{t_y}}.$$

За розрахунковим значенням P_M підбирають двигун з паспортними даними P_n (кВт); ω_d (рад/с); I_d (кгм²).

З умови узгодження швидкостей двигуна і виконавчого механізму вибирають передавальне відношення редуктора

$$i = \omega_d / \omega_M.$$

Потім виконують уточнювальний розрахунок еквівалентного моменту M_D , еквівалентної потужності двигуна P_D , максимального моменту двигуна M_{Dmax} і визначають коефіцієнт навантаження двигуна

$$k_n = \frac{M_{Д\max}}{M_{Д}}$$

Отримані параметри порівнюють з параметрами вибраного електродвигуна і, якщо вони задовольняють задані умови, використовують для подальшого розрахунку.

Гідропривід і конструктивні параметри гідросистеми визначають за параметрами кожного ступеня рухливості:

- максимальною швидкістю лінійною V_{max} , мм/с, і кутовою ω_{max} , рад/с;
- максимальним навантаженням силою F_{max} або моментом M_{max} .

За цими параметрами визначають робочий тиск гідросистеми:

- для гідроциліндрів

$$P = \frac{F_{max}}{S},$$

- для гідромоторів

$$P = \frac{2\pi M_{max}}{q},$$

- для неповноповоротних двигунів

$$P = \frac{8M_{max}}{zb(D^2 - d^2)},$$

де S – площа поршня, см²;

q – питома продуктивність гідромотора, см³/оберт;

z – кількість пластин;

b – ширина пластини, см;

D, d – відповідно діаметр вала, який утримує пластину, і внутрішній діаметр циліндра [7].

Витрату робочої рідини, см³/с, визначають так:

- для гідроциліндрів

$$Q = \sigma_{max} \cdot S,$$

- для гідромоторів

$$Q = q \frac{\omega_{max}}{2\pi},$$

- для неповноповоротних двигунів

$$Q = \frac{\omega_{max} b (D^2 - d^2)}{8}.$$

Для ПР з суміщеними за ступенями рухливості рухами витрату рідини визначають за сумою витрат суміщених рухів.

Насосну станцію вибирають за необхідною потужністю, кВт:

$$N = 10 - 3PQ,$$

де P – робочий тиск гідросистеми, МПа.

При проектуванні гідроциліндрів слід враховувати, що відношення довжини до діаметра має бути не більше 18–20, оскільки збільшення цього відношення сприяє появі вібрацій і автоколиваний [9].

Пневмопривід проектують відповідно до рекомендацій в книзі [6].

Для попереднього розрахунку використовують таку залежність:

$$mF = \frac{\pi D^2}{4} \cdot p;$$

де F – зусилля на штоці циліндра;

D – діаметр циліндра;

P – тиск в мережі (для виробництва беруть 4...5 МПа);

$m = 1,5$ – для поршнів з манжетним ущільненням;

$m = 1,1-1,3$ – для поршнів з металевими кільцями.

За каталогом вибирають найближчий типорозмір пневмоциліндра і за його конструктивними даними виконують проектний розрахунок відповідно до методики.

При використанні пневмоприводу важливим є забезпечення м'якої безударної зупинки при підході до упорів, для цього застосовують гідроамортизатори. Їх типорозмір вибирають відповідно до енергії, що поглинається ним за цикл.

Мембранні пневмомеханізми застосовують для отримання невеликих ходів до 60 мм при малих габаритах конструкції.

Поворотні пневмодвигуни для здійснення неповноповоротних рухів механізмів ПР вибирають за номінальним крутним моментом на вихідному валу, необхідним кутом повороту і кутовою швидкістю обертання.

У комбінованому гідропневмоприводі, де як виконавчий двигун використовують пневмоциліндр, стабілізація швидкості й гідравлічна фіксація положення здійснюються гідросистемою. Але такий привід має обмежене застосування.

У комбінованому гідропневмоприводі, в якому як виконавчий застосовують гідродвигун, застосування пневмосистеми для створення необхідного тиску дозволяє відмовитися від гідронасосних станцій.

5.4.2. Визначення потужності привідних двигунів

На першому етапі робимо орієнтовний розрахунок за даними технічного завдання:

– потужність приводу обертальних ступенів рухливості, Вт:

$$N_B = \frac{\omega \cdot r \cdot m}{\eta} \cdot \left(\frac{k_2}{2k_1} \cdot \frac{2\omega^2}{\varphi} + k_3 \cdot g \cdot \sin\alpha \right);$$

- для механізму обертання руки відносно вертикальної осі кут $\alpha = 0$. При значеннях $K_1 = 0,1$ і $K_2 = 2$ отримуємо потужність приводу, Вт:

$$N_{Bz} = \frac{10 \cdot m \cdot z^2 \cdot \omega^2}{\eta \varphi};$$

- для координати з прямолінійним поступальним рухом потужність приводу, кВт:

$$N_n = \left(\frac{v}{\eta} \right) \cdot (P_n + P_H);$$

- для прямолінійних рухів потужність приводу

$$N_n = \frac{k_4 \cdot v \cdot m}{\eta} \cdot \left(\frac{1}{2k_1} \cdot \frac{v^2}{S} + g \cdot \sin\alpha \right);$$

- для приводу з горизонтальним переміщенням $\alpha = 0$ і при $K_1 = 0,1$ і $K_4 = 2$

$$N_{nx} = \frac{10mv^2}{\eta S};$$

- для приводу з вертикальним переміщенням $\alpha = 1,57$ рад і

$$N_{nz} = \frac{10k_4 \cdot v \cdot m}{\eta} \cdot \left(\frac{v^2}{2S} + 1 \right).$$

Точно визначити потужність приводу на стадії проектування неможливо через відсутність справжніх значень маси ланок і координат їх центру мас. Тому на стадії проектування необхідно використати ряд наближених параметрів, які дозволять цілком задовільно оцінити значення потужності приводу:

m – вантажопідйомність маніпулятора або маса корисного вантажу, кг;

r – максимальний радіус дії маніпулятора, м;

$\phi_{(1,2)}$ і S – максимальні переміщення вантажу – кутові, рад, і лінійні, м;

ω, v – номінальні швидкості переміщення – кутові, рад/с, і лінійні, м/с;

η – ККД передач, які зв'язують двигун з виконавчою ланкою;

α – кут нахилу площини обертання до горизонтальної площини;

g – прискорення вільного падіння;

$K_1 \approx 0,1$;

K_2 – коефіцієнт конструкції: $K_2 = 1,8-2,3$;

K_3 – коефіцієнт конструкції, що враховує момент незрівноваженості рухомих частин відносно осі обертання:

$$K_3 = M_H / (m \cdot g \cdot z),$$

де M_H – момент незрівноваженості, який визначають за формулою

$$M_H = I_H \cdot \varepsilon ;$$

I_H – момент інерції обертання частин маніпулятора, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

ε – кутове прискорення, $\text{рад}/\text{с}^2$;

P_i – інерційна сила, яка діє на привід у період розгону і уповільнення, Н;

P_H – сила, яка діє на привід, від незрівноважених мас (у тому числі корисного вантажу), Н;

$$P_H = K_4 \cdot m \cdot a .$$

Тут a – прискорення;

K_4 – коефіцієнт конструкції, що враховує масу рухомих частин маніпулятора:

$$K_4 = \frac{m_{II}}{m} ;$$

де m_H – загальна маса переміщених частин.

Отже,

$$P_n = m_H \cdot g \cdot \sin \alpha = k_4 \cdot m \cdot g \cdot \sin \alpha .$$

На другому етапі за каталогами вибирають відповідні за потужністю двигуни на кожну ступінь рухливості з різними ω_D і M_D .

На третьому етапі розраховують оптимальні за швидкодією передавальні числа для кожного двигуна

$$i = \frac{M_H}{M_D \eta} .$$

Для кожного ступеня обертальної або поступальної рухливості існують уточнені формули розрахунку передавального числа [8].

На четвертому етапі вибирають двигун, що забезпечує найменший час відпрацювання типового циклу переміщень і найбільш компактну конструкцію, тобто визначають оптимальну кутову або лінійну швидкість виконавчої ланки, що дозволяє вибрати потрібні параметри передавального механізму: діаметр зубчастого колеса і рейкової передачі, хід гвинта у гвинтовій передачі тощо.

5.5. Точнісні показники і показники міцності роботів та їх розрахунок

Характерними особливостями ПР є: більша кількість циклів навантаження, досить високі швидкості й прискорення, наявність зосереджених і розосереджених навантажень на консолях, значні змінення навантажень за час одного циклу на різні елементи робота.

Якщо вимоги до точності й жорсткості конструкцій роботів нижчі, ніж до верстатів, за наявності великих інерційних сил, що спричиняються при маніпулюванні, при розробленні їх конструкції слід прагнути до максимального зменшення маси всіх елементів і вузлів робота і застосування безззорних з'єднань і передавальних механізмів.

При розрахунку механічної системи ПР основними параметрами є:

- міцність за допустимими напруженнями і граничними навантаженнями для всіх елементів робота;
- утомна міцність і витривалість при заданій довговічності для деталей, що зазнають навантаження, в основному знакозмінні;
- жорсткість елементів ПР;
- вібростійкість основних несучих елементів, особливо кінцевої ланки за величиною коливань, часу їх запускання і рівню резонансу;
- стійкість до перекидання під дією аварійних і робочих навантажень.

Показники цих критеріїв поділяють на статичні й динамічні.

До статичних показників належать: геометрична і кінематична точність, статична міцність і жорсткість, до динамічних показників відносяться: утомна міцність і вібростійкість.

Геометрична і кінематична точність елементів роботів в основному впливають на точність позиціонування і виконання команд за лінійним і кутовим переміщеннями елементів роботів. Для роботів високої точності ці показники не потрібні, тому до них слід ставити середні вимоги щодо геометричної і кінематичної точності. При цьому необхідно забезпечити вимоги щодо точності до цих показників за якістю збирання і точності датчиків системи інформації.

Розрахунок кінематичної точності ланцюга від приводу до захоплювального пристрою виконують за теорією розмірних ланцюгів або спеціальною методикою на ЕОМ.

Розрахунок кінематичної точності ПР проводять за загальновідомими методиками курсів "Деталі машин" і "Металорізальні верстати і автомати".

Під показниками міцності елементів ПР розуміють їх статичну і втомну міцність.

Статична міцність роботів в основному стосується їхніх елементів, тобто руки, її ланок, стояка, а також багатьох елементів приводів – валів, зубчастих коліс, муфт, підшипників та ін.

Основними вимогами до деталей і елементів роботів за статичною міцністю є: висока міцність при мінімальній металоемності та мала кількість полумок при експлуатації.

Розрахунки цих елементів виконують на вигин, зріз або скручування залежно від виду навантажень на кожен з елементів. Ці розрахунки проводять за методиками курсів "Опір матеріалів" і "Деталі машин".

Деталі та елементи роботів, які працювали зі знакозмінним навантаженням розраховують на втомну міцність.

Відомо, що втомна міцність деталей характеризується міцністю їх поверхневого шару до знакозмінних навантажень, тобто до кількості циклів навантаження за часом.

Поверхневий шар деталі має границю витривалості до знакозмінних навантажень, при досягненні їх на поверхнях деталей з'являються мікротріщини, тріщини, потім лущення і відшарування поверхневого шару деталей, тобто ресурс їх роботи вироблений, і вони підлягають заміні.

При загартовуванні або нанесенні спеціальних покриттів границя втоми поверхневого шару деталі значно підвищується. Ці способи є одними з основних для підвищення ресурсу роботи деталей роботів.

Розрахунок деталей на міцність від втоми виконують за рівняннями і методиками курсів "Опір матеріалів" і "Деталі машин".

Термін служби деталей і елементів роботів визначається розрахунковою кількістю циклів навантаження, при цьому він має бути не менше ресурсу роботи робота.

5.5.1. Розрахунок конструкції роботів на жорсткість

Основне навантаження при роботі робота сприймає маніпулятор. Його конструкція являє собою незамкнені стрижневі системи з високою кінематичною рухливістю виконавчих ланок.

Для таких систем жорсткість і динамічна довговічність конструкції є основними критеріями для розрахунку.

Під жорсткістю маніпуляторів роботів розуміють їх здатність чинити опір появі пружного віджимання або деформацій. Жорсткість системи виражається рівнянням

$$J = \frac{P}{\delta},$$

де P – навантаження, Н;

δ – величина пружного віджимання або деформації, мкм.

Жорсткість механічної системи підрозділяють на два види: контактну і власну.

Власна жорсткість конструкції – це жорсткість її ланок – стояка, руки, ланки, кисті та ін.

Контактна жорсткість конструкції – це деформації в її стиках і опорах рухомих ланок.

При проектуванні потрібно досягти оптимальної величини жорсткості й правильно її розподілити по ланках з урахуванням рівня їх впливу на

величину загального зсуву захоплювача. Цим досягається найменша металоємність і достатня динамічна стійкість робота.

Маніпулятори роботів зазвичай працюють за Г- і П-подібними схемами.

Г-подібні маніпулятори можуть бути таких видів: з нерухомим (рис. 5.1, а) і рухомим (рис. 5.1, б) стояками, з постійною (рис. 5.1, б) і змінною (рис. 5.1, в) відстанями між опорами.

Жорсткість Г-подібного маніпулятора визначають за певною розрахунковою схемою (рис. 5.2).

Така розрахункова схема враховує як корисне навантаження P по осях P_1, P_2, P_3 , так і розподілене навантаження g від власної ваги маніпулятора.

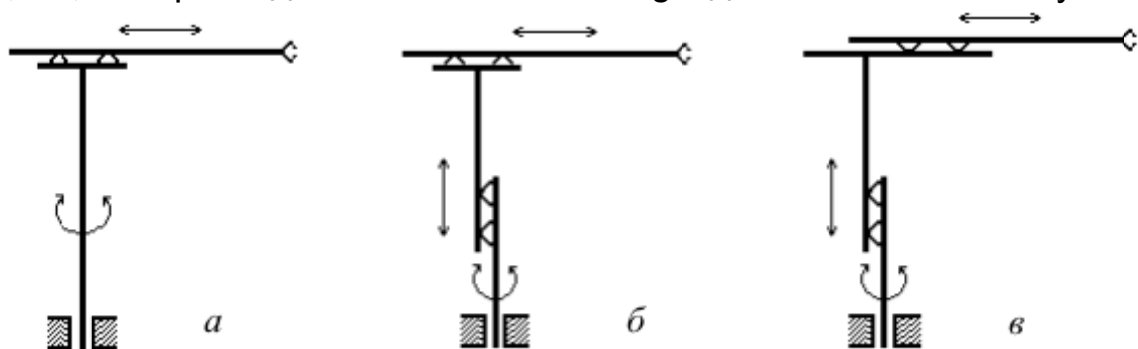


Рис. 5.1. Схеми конструкцій маніпуляторів

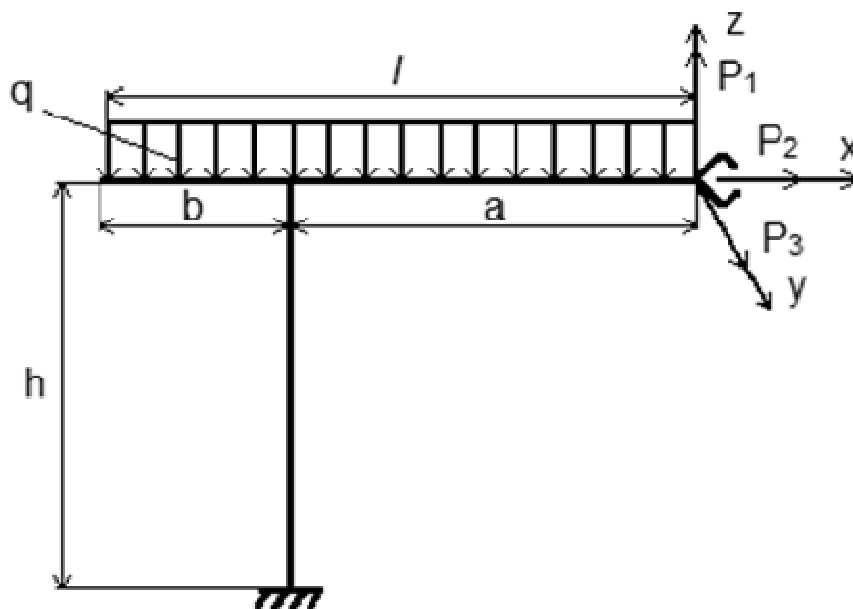


Рис. 5.2. Розрахункова схема деформацій промислового робота

Рівняння деформацій системи за цією схемою можна отримати шляхом диференціювання рівняння потенціальної енергії цієї системи. При цьому зміщення по осях x і z захоплювача можна виразити рівняннями:

$$\delta_x = \frac{a^2}{24EI_l} (8P_l + 3ga) + \frac{ah}{2EI_h} [2P_l a + g(a^2 + b^2)];$$

$$\delta_z = \frac{h^2}{4EI_{hl}} [2P_l a + g(a^2 - b^2)],$$

де I_l і I_h – осьові моменти інерції горизонтального плеча і вертикального стояка; E – модуль пружності; a , b , h – розміри.

З цих рівнянь випливає, що прогин у вертикальному напрямку по осі z спричиняється деформаціями горизонтального плеча руки і вертикального стояка, а у горизонтальному по осі x – тільки деформацією вертикального стояка.

Вплив деяких конструктивних параметрів маніпулятора на величину деформацій буде таким.

При максимальному вилітанні плеча руки, тобто $a = l$, $l = h$ і $I_l = I_h$, рівняння набудуть вигляду:

$$\delta_{zmax} = \frac{15l^3}{4EI} [2,13P_l + gl];$$

$$\frac{\delta_{zmax}}{\delta_{xmax}} = 2,5 \frac{2,13P_l + gl}{2P_l + gl} > 2,5;$$

$$\delta_{xmax} = \frac{l^3}{4EI} (2P_l + gl).$$

Деформація у вертикальному напрямку приблизно в 2,5 раза більше, ніж у горизонтальному. Вона складається з вертикальних і горизонтальних деформацій, тому рівняння можна подати у вигляді

$$\delta_z = \frac{l^3}{24EI} (\delta_{z2} + \delta_{z8}); \quad \delta_{z2} : \delta_{z8} > 3.$$

З цього аналізу видно, що жорсткість вертикального стояка має бути значно вище горизонтального. Але за рівняннями визначають оптимальні розміри і перерізи стояка та плеча маніпулятора:

$$1 - I_h : I_l = 0,5; \quad 2 - I_h : I_l = 1; \quad 3 - I_h : I_l = 1;$$

$$3 - I_h : I_l = 1; \quad 4 - I_h : I_l = 4.$$

Співвідношення деформацій системи $\bar{\delta}_z : \bar{\delta}_x$; $\bar{\delta}_{z2} : \bar{\delta}_{z8}$ подано на діаграмах (рис. 5.3).

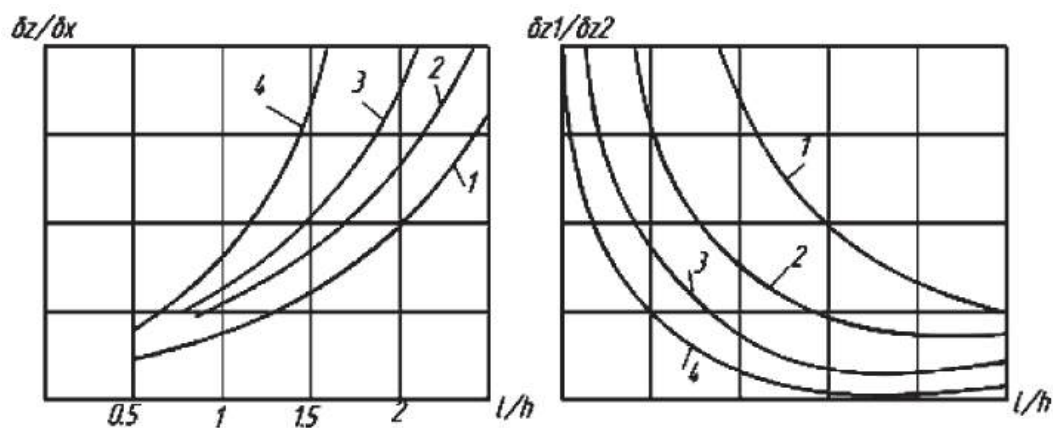


Рис. 5.3. Відносні деформації стояків маніпуляторів

Ці діаграми-графіки дозволяють підбирати оптимальні співвідношення жорсткостей вертикального стояка і горизонтального плеча, а отже, співвідношення лінійних розмірів стояків, плечей і вильотів, а також їх перерізів за видом і розмірами.

5.5.2. Розрахунок контактної жорсткості робітв

Маніпулятори роботів мають значну кількість опор, шарнірних та інших з'єднань ланок.

Контактні деформації опор та інших з'єднань ланок призводять до додаткових зміщень кисті руки при роботі маніпуляторів.

Вплив контактних деформацій на зміщення кисті руки визначають за розрахунковою схемою, наведеною на рис. 5.4. За цією схемою деформація кисті у вертикальному напрямку $\Delta z = \Delta z_1 + \Delta z_2$, вони спричинені наявністю зазорів в опорах його вертикалі Δz_2 і горизонталі Δz_1 .

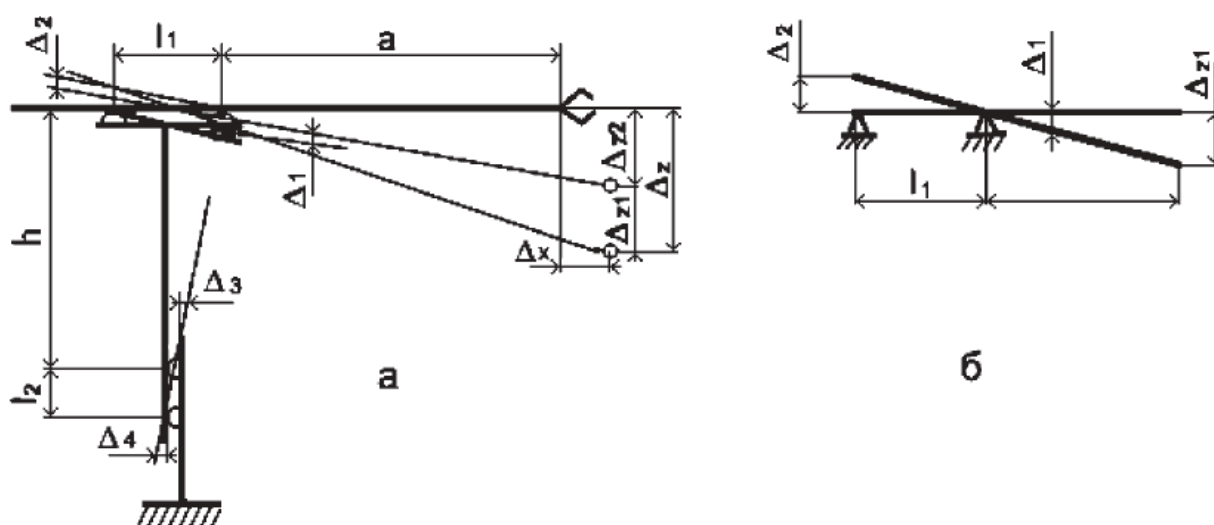


Рис. 5.4. Схема для розрахунку контактної жорсткості в опорах

Зміщення кисті руки маніпулятора по горизонталі залежить тільки від зазорів і контактних деформацій вертикального стояка, тобто $\Delta x_1 = \Delta x_2$. Величину контактних деформацій кисті можна подати такими рівняннями:

$$\Delta z = \Delta z_1 + \Delta z_2 = \left[(\Delta_1 + \Delta_2) \frac{d}{l_1} + \Delta_1 \right] + (\Delta_3 + \Delta_4) \frac{l}{l_2};$$

$$\Delta x = \Delta x_2 = (\Delta_3 + \Delta_4) \frac{h}{l_3} + \Delta_3,$$

де Δ_{1-4} – величини зазору і контактних деформацій в опорах системи; a, l, h – лінійні розміри положення опор; l_1 і l_2 – відстані між опорами.

З аналізу схеми і рівнянь видно, що сумарне зміщення кисті руки залежить від кількості опор і з'єднань, їх геометричного розташування, величини зазору і контактних деформацій у кожному з них.

Для зменшення сумарного зсуву необхідно зменшити кількість опор і з'єднань, співвідношень $a : l_1, l : l_2, h : l_2$ і застосувати беззазорні з'єднання і опори.

При цьому необхідно враховувати, що розміри a, l і h визначають величину ходу руки, а збільшення відстані між опорами приводить до збільшення розмірів маніпулятора. У зв'язку з цим їх змінення можливе тільки в певних діапазонах, обмежених характеристикою роботів.

На величину сумарного зміщення кисті руки також впливає і розташування опор руки відносно осі z (рис. 5.5, б).

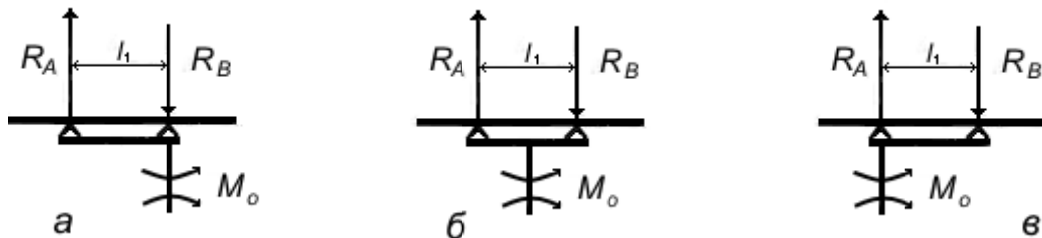


Рис. 5.5. Схема розташування опор руки маніпулятора

Для застосовуваних в маніпуляторах схем опор рук на рис. 5.5 величини згинальних моментів будуть такими:

а) $M_0 = R_A \cdot l_1;$ б) $M_0 = (R_B + R_A) \frac{l_1}{l_2};$ в) $M_0 = R_B \cdot l_1.$

Найбільш оптимальною є схема, наведена на рис. 5.5, а, оскільки має більш навантажену опору В, з'єднану зі стояком $R_B > R_A$ і меншу деформацію.

Коли двигуни ланок розташовані на їх поверхні для зниження потужності двигунів робота, а також компенсації впливу статичних моментів

від маси ланок на жорсткість конструкції роботів, в його конструкції необхідно передбачати противаги.

Як такі механізми застосовують різні види зрівноважувачів: противаги вантажні, пружинні, пневматичні й гідравлічні. Конструкції їх типові і підбираються залежно від конструкції і маси робота.

Момент інерції противаги розраховують за рівнянням

$$I_n = I_o + \frac{G}{g} R^2,$$

де I_o – момент інерції рухомих частин; G – маса противаги; g – прискорення вільно падаючого тіла; R – відстань від осі до центра маси противаги.

Для пружинних противаг зрівноважувальний момент пружної сили M_y визначають за поточним моментом положення ланки, його жорсткістю і схемою устанавлення пружини.

Вантажні противаги більш прості за конструкцією, але мають велику інерційність.

5.5.3. Динамічні характеристики робота та їх розрахунок

Продуктивність роботів в основному залежить від швидкості й часу переміщень роботів та їх елементів.

У свою чергу граничні можливості швидкостей переміщень роботів та їх елементів обмежуються їх динамічними характеристиками. У зв'язку з цим до динамічних характеристик роботів та їх елементів ставлять підвищені вимоги.

Динамічними характеристиками роботів є їх вібростійкість і стійкість їх конструкцій у перехідні періоди.

Для проведення динамічного аналізу роботів приймають такі вихідні положення:

- маніпулятор – це стрижнева система, навантажена масою об'єкта;
- ланка – це циліндричний стрижень з певною довжиною, масою і моментом;
- стрижні маніпулятора вважають невагомими з кінцевою кількістю зосереджених мас.

За першою розрахунковою схемою (рис. 5.6, а) масою стрижня нехтують, за другою (рис. 5.6, б) – її враховують. Для першої схеми частота власних коливань маніпулятора є більш важливою характеристикою коливної системи. Вона залежить тільки від параметрів системи – жорсткості, маси і демпфірування. Початкове рівняння за принципом Д'аламбера:

$$x_i = - \sum_{j=1}^n \delta_{ij} m_j x_j,$$

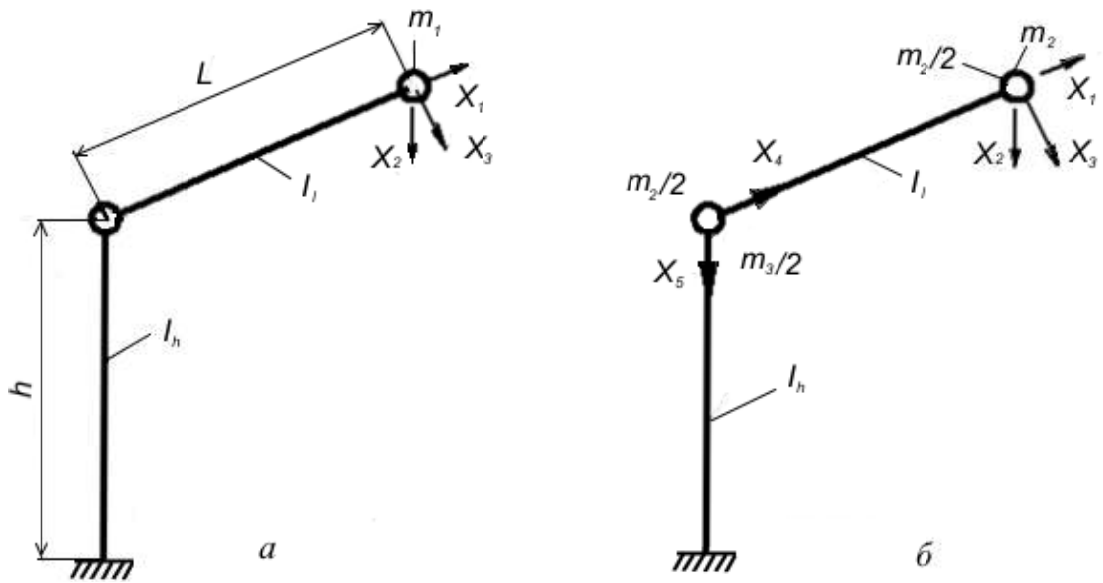


Рис. 5.6. Розрахункова схема динамічних характеристик маніпулятора:
 а – масою стержня нехтують; б – масу стержня враховують

де δ_{ij} – коефіцієнти, що враховують переміщення мас у напрямку від дії одиничної сили в напрямку j ; m_i – маса; x_i – прискорення маси в j -му напрямку; i – кількість ступенів свободи.

Для другої моделі (рис. 5.6, б) без урахування поздовжніх коливань стрижнів і моментів інерції навколо вертикальної осі рівняння коливального руху набувають вигляду:

$$\begin{cases} x_1 + \delta_{11}(m_1 + m_2 + \frac{m_3}{2})\ddot{x}_1 + \delta_{12}(m_1 + \frac{m_2}{2})\ddot{x}_2 = 0 \\ x_2 + \delta_{21}(m_1 + m_2 + \frac{m_3}{2})\ddot{x}_1 + \delta_{22}(m_1 + \frac{m_2}{2})\ddot{x}_2 = 0 \end{cases} \quad \text{– горизонтальна вісь;}$$

$$x_3 + \delta_{33}(m_1 + \frac{m_2}{2})\ddot{x}_3 = 0 \quad \text{– вертикальна вісь.}$$

При розв'язуванні цих рівнянь враховують, що комбінація по кожній координаті відбувається за гармонійним законом:

$$x_i = u_i \cdot \cos(v + \varphi),$$

де u_i – амплітудні відхилення;
 v – кругова частота власних коливань;
 φ – фаза коливань.

Визначивши x з трьох рівнянь, підставимо в останнє і отримаємо рівняння частот коливань і їх амплітуди.

Рух мас системи з n ступенями свободи можна подати рівнянням

$$x_i(t) = \sum_{k=1}^n g_k(t) \cdot u_{ik},$$

де $g_k(t)$ – головні координати;

u_{ik} – амплітудні відхилення маси при i -й формі власних коливань.

Для системи з демпфіруванням головні координати визначають з рівняння

$$Q_k + 2K_k g_k + v_k g_k = 0,$$

де K_k – коефіцієнт демпфірування.

5.5.4. Розрахунок похибки позиціонування

1. Визначення похибок позиціонування за ступенями рухливості

Похибка позиціонування промислового робота є однією з її найважливіших характеристик, що визначає надійність роботи і якість виконання виробничих операцій. Похибки позиціонування поступальних переміщень робота визначають за формулою

$$\Delta S_i = K_B \frac{S_i}{D_i},$$

де K_B – коефіцієнт якості вимірювальної системи; для промислових роботів коефіцієнт $K_B = 1,5 \dots 2,0$;

S_i – переміщення i -го ступеня рухливості;

D_i – кількість дискрет датчика положення за переміщенням S_i .

Похибки позиціонування оберткових переміщень робота визначають за формулою

$$\Delta \varphi_i = 2 \cdot \pi \cdot l_i \frac{\varphi_i}{D_i \cdot 360^\circ},$$

де l_i – обертання певного ступеня рухливості; φ_i – кутове переміщення за i -м ступенем рухливості; D_i – кількість дискрет датчика положення за переміщенням φ_i . У цій формулі дріб $\frac{\varphi_i}{360^\circ}$ являє собою

частину повного кола, а $2 \cdot \pi \cdot l_i \frac{\varphi_i}{360^\circ}$ – довжину шляху по колу переміщення.

2. Визначення сумарної похибки позиціонування робота

Сумарну похибку позиціонування промислового робота визначають за формулою

$$\Delta_\Sigma = \sum_{i=1}^n \Delta S_i \cos(\beta_{n-1}) + \sum_{j=1}^p \Delta K_{ji} \cos(\beta_{b-1}),$$

де β_{n-i} – кут між напрямком за переміщенням i -го ступеня рухливості і напрямком, в якому задана допустима похибка позиціонування; β_{b-i} – кут між дотичною до траєкторії і напрямком, в якому задана допустима похибка позиціонування.

3. Визначення похибок позиціонування в приращених координатах.

Визначення похибок позиціонування на площині (двовимірна задача)

Вважаємо заданими координати захоплювального пристрою (рис. 5.7), а також положення ланок. Напишемо вирази для координат.

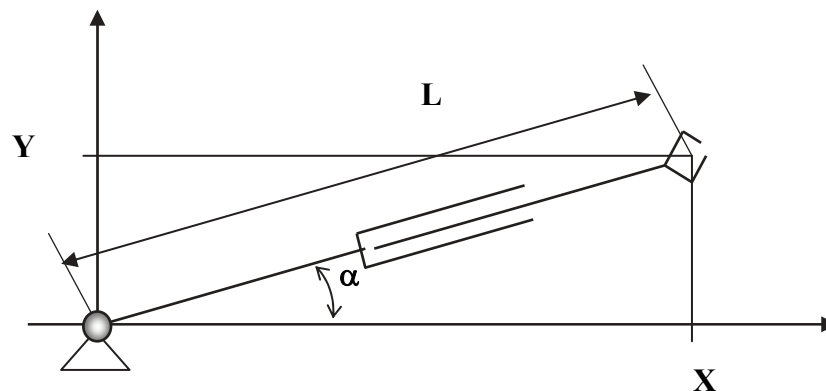


Рис. 5.7. Координати захоплювального пристрою для двовимірної задачі

У площині $X - Y$:

$$X = l \cdot \cos(\alpha), \quad dX = dl \cdot \cos(\alpha) + d\alpha \cdot l \cdot \sin(\alpha); \quad dL = \Delta L = H / D_L,$$

де H – довжина висування; D_L – кількість дискрет датчика; $d\alpha = \alpha / D_\alpha$. Тут α – кут повороту ланки.

Визначення похибок позиціонування в просторі (тривимірна задача)

Величини dL і $d\alpha$ можуть бути задані як характеристики системи. Напишемо вирази для координат (рис. 5.8):

$$X = l \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta), \quad Y = l \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta), \quad Z = l \cdot \sin(\alpha),$$

$$\Delta X = \Delta l \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) + l \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) \cdot d\alpha + l \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta) d\beta;$$

$$\Delta Y = \Delta l \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta) + l \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cdot d\alpha + l \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) d\beta;$$

$$\Delta Z = \Delta l \cdot \sin(\alpha) + l \cdot \cos(\alpha) \cdot d\alpha.$$

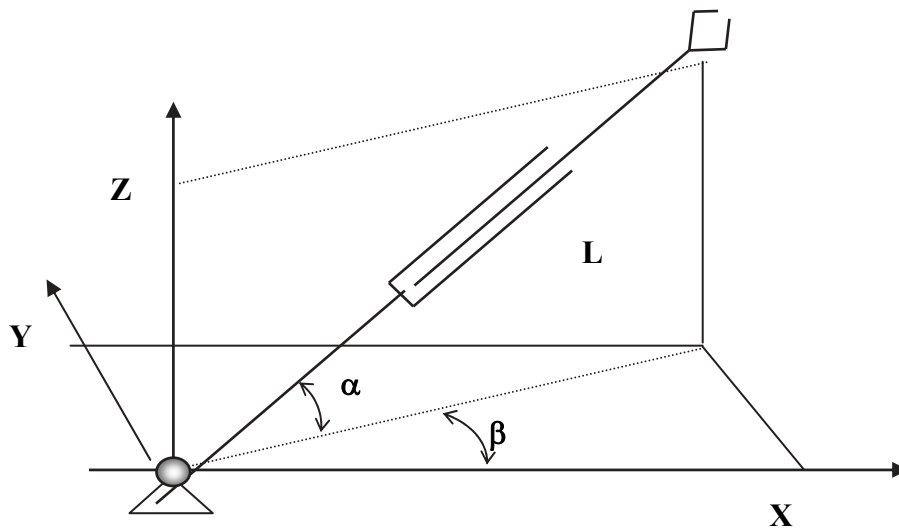


Рис. 5.8. Координати захоплювального пристрою для тривимірної задачі

5.5.5. Визначення допустимої похибки позиціонування робота, що обслуговує різні види виробничого обладнання

1. Визначення похибок позиціонування робота, що обслуговує металорізальні верстати

Похибку визначають виходячи зі схеми базування деталі в пристрої. При базуванні деталі в центрах (рис. 5.9) похибку обчислюють таким чином:

$$\Delta X = \Delta Z = d_o / (2 \cdot K\Delta);$$

$$\Delta Y = (L_1 - l_d) / (2 \cdot K\Delta),$$

де d_o – діаметр центрального отвору; L_1 – відстань між центрами; l_d – довжина деталі; $K\Delta = 1,2.. 1,3$ – коефіцієнт запасу.

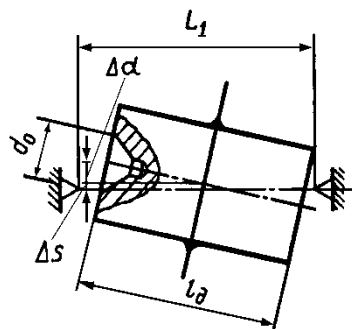


Рис. 5.9. Схема базування деталі в центрах

При базуванні деталі в патроні (рис. 5.10) похибку обчислюють за формулами [10]

$$\Delta X = \Delta Z = (D - d_d) / (2 \cdot K\Delta);$$

$$\Delta Y = l_1 / (2 \cdot K\Delta),$$

де D – діаметр патрона; d_d – діаметр деталі.

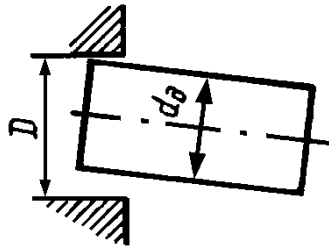


Рис. 5.10. Схема базування деталі у патроні

При базуванні деталі в лещатах (рис. 5.11) похибку обчислюють за формулами [10]

$$\Delta X = (B_2 - B_1) / (2 \cdot K \Delta);$$

$$\Delta Y = (L_1 - l_d) / (2 \cdot K \Delta),$$

де $(B_2 - B_1)$ – зазор між поверхнями лещат і деталлю.

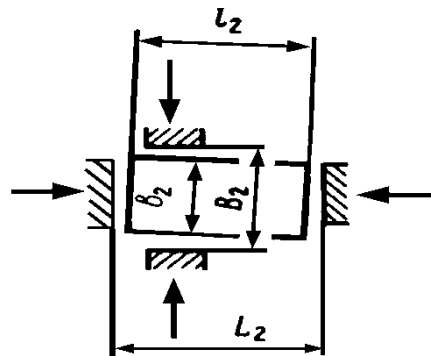


Рис. 5.11. Схема базування деталі в лещатах

Запитання для самоперевірки знань

1. Основні вихідні дані, які визначають конструкцію ПР.
2. Порядок розрахунку НМС.
3. Порядок розрахунку ВМС.
4. Порядок конструювання приводів ПР.
5. Основні фактори, які впливають на вибір СК.
6. Вибір і обґрунтування інформаційної системи ПР.
7. Основні вимоги, що ставляться до датчиків СКПР.
8. Підсистема забезпечення техніки безпеки.
9. Знаходження потужності двигунів.
10. Розрахунок характеристик двигунів приводів робота.
11. Розрахунок конструкції роботів на жорсткість.
12. Динамічні характеристики робота та їх розрахунок.
13. Розрахунок похибки позиціонування.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Белянин, П. Н. Промышленные роботы / П. Н. Белянин. – М. : Машиностроение, 1975. – 400 с.
2. Воробьев, Е. И. Промышленные роботы агрегатно-модульного типа / Е. И. Воробьев, Ю. Г. Козырев, В. И. Царенко. – М. : Машиностроение, 1988. – 240 с.
3. Белянин, П. Н. Промышленные роботы США / П. Н. Белянин. – М. : Типография НИАТ, 1978. – 297 с.
4. Белянин, П. Н. Промышленные роботы Японии / П. Н. Белянин. – М. : Типография НИАТ, 1977. – 455 с.
5. Манипуляционные системы роботов / А. И. Корендясев [и др.] ; под. общ. ред. А. И. Корендясева. – М. : Машиностроение, 1989. – 472 с.
6. Герц, Е. В. Расчет пневмоприводов : справ. пособие / Е. В. Герц, Г. В. Крейнин. – М. : Машиностроение, 1975. – 80 с.
6. Роботизированные производственные комплексы / Ю. Г. Козырев [и др.] под. ред. Ю. Г. Козырева, А. А. Кудинова. – М. : Машиностроение, 1987. – 272 с.
7. Тимченко, В. А. Роботизация сварочного производства / В. А. Тимченко, А. А. Сухомлин. – Киев : Техника, 1988. – 175 с.
8. Механика промышленных роботов. В 3 кн. / Е. И. Воробьев [и др.] ; под. ред. К. В. Фролова, Е. И. Воробьева. – М. : Высш. шк., 1989. – 383 с.
9. Попов, Е. П. Робототехника и гибкие производственные системы / Е. П. Попов. – М. : Наука, 1987. – 192 с.
10. Костюк, Г. И. Промышленные роботы : учеб. пособие / Г. И. Костюк, И. Г. Левченко. – Харьков : ХАИ, 2003. – 105 с.
11. Широкий, Ю. В. Физико-технические основы роботизированного производства : учеб. пособие по лаб. практикуму / Ю. В. Широкий, Г. И. Костюк. – Харьков : ХАИ, 2010. Ч.2 – 80 с.

ЗМІСТ

1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ.....	4
Запитання для самоперевірки знань.....	10
2. ТИПОВІ КОНСТРУКЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ.....	11
2.1. Промислові роботи з висувною рукою.....	11
2.1.1. Робот Unimate фірми Unimation.....	11
2.1.2. Роботи SR-5 і SR-19 фірми «Сінко Денкі».....	20
2.2. Промислові роботи з шарнірною рукою.....	22
2.2.1. Промислові роботи з горизонтальними осями шарнірів.....	22
2.2.1.1. Промисловий робот ТУР-10.....	27
2.2.1.2. Робот фірми КУВ моделі KAR-2.....	30
2.2.2. Промислові роботи з вертикальними осями шарнірів.....	31
2.2.2.1. Промислові роботи Skilam фірми San Kio, Японія....	31
2.3. Портальні промислові роботи і промислові роботи мостового типу.....	35
2.3.1. Портальні промислові роботи.....	35
2.3.1.1. Промислові роботи М20Ц.....	35
2.3.1.2. Робот типу М40П.....	38
Запитання для самоперевірки знань.....	44
3. КОНСТРУКЦІЯ І РОЗРАХУНОК МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ.....	45
3.1. Кінематичні схеми маніпуляторів.....	45
3.2. Типові схеми орієнтувальних механізмів.....	59
3.3. Структурний і кінематичний синтез компонування робота.....	51
3.3.1. Алгоритм структурного і кінематичного синтезу компонування промислового робота.....	51
3.3.2. Визначення швидкостей і прискорень промислового робота.....	52
3.3.3. Визначення питомого об'єму компонування.....	54
3.4. Задачі кінематики маніпуляторів промислових роботів.....	56
3.5. Опис переміщень механізмів і деталей методом матриць	58
3.5.1. Матриця переміщення і повороту деталі відносно осі OZ...	58
3.5.2. Матриця переміщення і повороту відносно осей OX і OY...	59
3.5.3. Матриці складних переміщень.....	63
3.5.4. Матриці переміщення деталі в площині OXY і OXZ.....	63
3.6. Розв'язання задач кінематики промислових роботів.....	63

3.6.1. Обернена задача про положення маніпулятора $Y \parallel P \perp P \parallel B \perp \perp B$	64
3.6.2. Обернена задача про положення маніпулятора $Y \parallel P \perp P \perp B \perp B$	68
3.6.3. Обернена задача про положення маніпулятора $Y \perp Y \parallel B \perp B \perp B \perp B$	71
Запитання для самоперевірки знань.....	73
4. СИСТЕМИ І ЕЛЕМЕНТИ РОБОТІВ.....	74
4.1. Системи керування роботами.....	74
4.1.1. Класифікація систем керування роботами.....	74
4.1.2. Види систем керування роботами.....	75
4.2. Уніфіковані системи керування промисловими роботами.....	76
4.2.1. Малоточкові циклові системи циклового керування типу УЦМ.....	77
4.2.2. Числові системи позиційного керування типу УПМ.....	77
4.2.3. Числові системи контурного керування серії УКМ.....	78
4.3. Загальні відомості про приводи.....	79
4.4. Система інформації роботів.....	81
4.4.1. Підсистема зовнішньої інформації.....	82
4.4.2. Підсистема внутрішньої інформації.....	83
4.4.3. Інформаційне забезпечення роботи ПР.....	84
4.4.4. Блок-схеми системи інформації.....	84
4.5. Елементи автоматики.....	86
4.5.1. Датчики.....	86
4.5.2. Проміжні пристрої.....	88
4.5.3. Пристрої для виконання основних функцій СК.....	89
4.6. Захоплювальні пристрої.....	90
4.6.1. Класифікація захоплювальних пристроїв.....	91
4.6.2. Кінематичні схеми захоплювальних пристроїв.....	92
4.6.3. Типові конструкції захоплювальних пристроїв.....	96
4.6.3.1. Конструкції механічних захоплювальних пристроїв.....	96
4.6.3.2. Вакуумні захоплювальні пристрої.....	102
4.6.3.3. Електромагнітні захоплювальні пристрої.....	102
Запитання для самоперевірки знань.....	103
5. РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА.....	104
5.1. Загальна послідовність проектування ПР.....	104
5.2. Вибір і обґрунтування систем управління ПР.....	106
5.3. Вибір і обґрунтування інформаційної системи ПР.....	107

5.3.1. Системи штучного дотику.....	108
5.3.2. Підсистема контролю стану ПР.....	110
5.3.4. Підсистема забезпечення техніки безпеки.....	111
5.4. Вибір і обґрунтування типу приводів.....	111
5.4.1. Розрахунок характеристик двигунів приводів робота.....	114
5.4.2. Визначення потужності привідних двигунів.....	117
5.5. Точнісні показники і показники міцності роботів та їх розрахунок.....	119
5.5.1. Розрахунок конструкції роботів на жорсткість.....	121
5.5.2. Розрахунок контактної жорсткості роботів.....	124
5.5.3. Динамічні характеристики робота та їх розрахунок.....	126
5.5.4. Розрахунок похибки позиціонування.....	128
5.5.5. Визначення допустимої похибки позиціонування робота, що обслуговує різні види виробничого обладнання.....	130
Запитання для самоперевірки знань.....	131
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	132

Навчальне видання

**Костюк Геннадій Ігорович
Баранов Олег Олегович
Широкий Юрій Вячеславович**

КОНСТРУЮВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

Редактор Н. М. Сікульська

Зв. план, 2020

Підписано до друку 14.08.2020

Формат 60x84 1/16. Папір офс. № 2. Офс. друк

Ум. друк. арк. 7,6. Обл.-вид. арк. 8,5. Наклад 100 пр.

Замовлення 198. Ціна вільна

Видавець і виготовлювач

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут»

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

<http://www.khai.edu>

Видавничий центр «ХАІ»

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

izdat@khai.edu

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001