

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
Донбаська державна машинобудівна академія

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
"ГНУЧКЕ АВТОМАТИЗОВАНЕ ВИРОБНИЦТВО"
(для магістрів усіх форм навчання спеціальності 151)

Краматорськ 2018

ЛЕКЦІЯ 1

Тема: Введення

Основні питання:

1. Область застосування
2. П'ять рівнів автоматизації ГАВ
3. Основні поняття й визначення
4. Основні характеристики ГВС
5. Перспективи розвитку ГАВ і РТК

Область застосування

Для сучасного виробництва характерний високий ступінь автоматизації основних технологічних процесів, але при цьому допоміжні операції, типу подати, закріпити, зняти оброблювані деталі, виконуються вручну. Практика показала, що традиційними способами неможливо автоматизувати багато допоміжних ручних операцій.

Більша частка ручної праці збереглася й в основних технологічних операціях, у тому числі складальних, зварювальних, фарбувальних, по очищенню ливарного облоя й т.д.

Велике число робітників, зайнятих одноманітною ручною працею в легкій промисловості.

Металургія, видобуток вугілля й інших корисних копалин, будівельна промисловість і багато інших галузей виробничої діяльності людини характеризуються значною часткою ручної праці, найчастіше важкого й небезпечного.

При складських, транспортних, вантажно-розвантажувальних операціях в основному застосовується ручна праця.

Шкідливими і небезпечними є багато операцій по обслуговуванню й ремонту атомних енергетичних установок, підводно-технічні водолазні операції й інші операції в екстремальних умовах, космос.

Наявність ручної праці, участь людини в технологічному процесі стримують подальший розвиток і інтенсифікацію виробництва, підвищення продуктивності праці і якості продукції.

Для рішення проблеми комплексної автоматизації виробництва потрібні принципово нові машини, що імітують дії людини в трудових процесах. Саме ПР і є таким класом виробничих машин.

П'ять рівнів автоматизації ГАВ

Перший рівень автоматизації – автоматизація циклу обробки. Найбільш повне втілення - верстати зі ЧПУ. Автоматизація обробки полягає в керуванні послідовністю й характером руху робочого інструмента з метою одержання заданої форми, розмірів і якості поверхні деталі. (Продуктивність праці зростає в 2-4 рази в порівнянні з ручним керуванням).

Другий рівень автоматизації – автоматизація завантаження-розвантаження верстата. Цей рівень дозволяє робітникові обслуговувати кілька одиниць технологічного встаткування. Як завантажувальні пристрої використовуються автооператори або роботи. Цей рівень всі частіше забезпечується створенням РТК.

Третій рівень автоматизації – автоматизація контролю:

- за станом інструмента й своєчасною заміною;
- за якістю оброблених деталей;
- за станом верстата й видаленням стружки, а також контроль і підналагодження техпроцесу.

Цей рівень автоматизації забезпечується створенням адаптивних РТК, а також гнучких виробничих модулів ГВМ, що складаються:

- з багатоопераційного верстата (обробного центра ОЦ);
- пристроїв прийому й переміщення супутників (палет);
- ПР і автооператорів;

- пристроїв контролю, діагностування, підналагодження й інших допоміжних механізмів і пристроїв;
- загальний пристрій керування.

Такий рівень автоматизації - забезпечує роботу встаткування протягом 1-2 змін по обробці деталей одного найменування при мінімальній участі людини.

Четвертий рівень автоматизації – автоматичне переналагодження встаткування. Процес переналагодження вручну на обробку виробу іншого найменування займає від декількох годин до цілої зміни. Чим частіше потрібна переналагодження, тим гостріше коштує питання автоматизації.

П'ятий рівень автоматизації – ГВС. Відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТ 26228-85 під ГВС варто розуміти сукупність у різних сполученнях устаткування зі ЧПУ, РТК, ГВМ, окремих одиниць технологічного встаткування й систем забезпечення їхнього функціонування в автоматичному режимі протягом заданого інтервалу часу, що володіє властивістю автоматизованого переналагодження при виробництві виробів довільної номенклатури у встановлених межах значень їхніх характеристик.

ГВС у загальному випадку повинна забезпечувати комплексну автоматизацію всіх ланок виробничого циклу, включаючи процеси обробки й керування, підготовку виробництва, розробку конструкторської й технологічної документації й планування.

Основні ознаки ГВС:

- гнучкість – можливість оперативного переходу з виробництва з одного виду виробів на інший;
- автоматизірованість – всі або більшість операцій, включаючи обробку виробів, керування, перенстроювання на новий вид виробів і технологічного процесу, виконуються без участі людини (квазибезлюдное виробництво);
- об'єднаність виробництва загальним транспортом і управлінням ділянки або цеху.

Основні поняття й визначення

Під терміном гнучке автоматизоване виробництво (ГАВ), гнучка виробнича система (ГВС) звичайно розуміють і один верстат, і автоматизований модуль, і групу різних верстатів або весь завод, але обов'язково об'єднаних системою керування виробництвом на основі безлюдної технології.

ГПС підрозділяються за організаційною структурою на наступні рівні:

1. Гнучкий виробничий модуль (ГПМ) – це ГВС, що складається з одиниці технологічного встаткування, оснащена автоматизованим пристроєм програмного керування й засобами автоматизації технологічного процесу, автономно функціонуючі, здійснюючі багаторазові цикли й можливість, що має, вбудовуватися в систему більше високого рівня. Роботизований технологічний комплекс – це окремий випадок ГВМ, убудований у систему більше високого рівня.
2. Гибка автоматизована лінія (ГАЛ) – являє собою ГВС, що складається з декількох ГВМ, об'єднаних автоматизованою системою керування, у якій технологічне встаткування розташоване в прийнятій послідовності технологічних операцій.
3. Гнучка автоматизована ділянка (ГАД) – це ГВС, що складається з декількох ГВМ, об'єднаних АСУ, що функціонує по технологічному маршруті, у якому передбачена можливість зміни послідовності використання технологічного устаткування.
4. Гнучкий автоматизований цех (ГАЦ) – це ГВС, що представляє собою сукупність ГАЛ або ГАУ, призначена для виготовлення деталей заданої номенклатури.
5. Гнучкий автоматизований завод (ГАЗ) – являє собою ГВС, що поєднує трохи ГАЦ, призначених для випуску готових виробів у відповідності планом основного виробництва.

Гнучкий виробничий комплекс (ЦВК) - це ГВС, що складається з декількох ГВМ, об'єднаних АСУ й автоматизованою транспортно-складською системою (АТСС), що автономно функціонує протягом заданого інтервалу часу й можливість, що має, вбудовування в систему більше високого щабля автоматизації.

Гнучке автоматизоване виробництво (ГАВ) - це ГВС, що складається з одного або декількох ЦВК, що поєднує АСУВ і АТСС і здійснює автоматизований перехід на виготовлення нових виробів за допомогою АСНД, САПР і АС ТПВ.

Основні характеристики ГВС

Перехід до гнучкого виробництва й електронізація всіх виробничих процесів ведуть до створення гнучкого високоавтоматизованого виробництва з мінімальною участю людей.

Технічний і економічний рівні такого виробництва (ГВС) визначаються наступними характеристиками.

1. Високі продуктивність живого й фондівіддача упредметненої праці.

Уже створені заводи зі значним скороченням чисельності зайнятих, що доводяться на одиницю випускає продукції, що. Наприклад, на заводі японської фірми Ямазаки Сейко із загальним штатом в 180 чоловік випускається 150 металообробних верстатів на місяць (9.96 - на людину в рік). Фірма Вольво (Швеція) в 1983 р. випустила 105 тис. автомобілів при загальному числі зайнятих 5800 чоловік (18 автомобілів на 1 людину у рік). Та ж фірма на новому заводі в м.Калмаре, першому у світі високоавтоматизованому автомобільному заводі, що працює за новою технологією без традиційного складального конвеєра, випускає 30 000 автомобілів у рік при загальній зайнятості 600 чоловік (50 автомобілів на 1 чоловік у рік).

В 1925 році американська автомобільна промисловість зробила 4 млн. автомобілів при загальному числі зайнятих 425 000 чоловік (9 автомобілів на 1 чоловік у рік). Продуктивність нового заводу компанії Дженерал Моторс, що працює на основі новітньої технології гнучкого виробництва із централізацією обробки становить 400 000 - 500 000 автомобілів у рік із загальним числом зайнятих не більше 6 тис. чоловік (80 автомобілів на 1 чоловік у рік).

За даними компанії ФІАТ (Італія), роботизація дозволить до 2000 року скоротити число робітників на її заводах на 90% від рівня 1986 року.

ГВС і роботизація сприяють безоperatorній роботі устаткування протягом тривалого часу 4-12 годин і більше залежно від надійності, що забезпечує підвищення коефіцієнта використання устаткування до $K_{исп}=0.85... \dots 0.90.90$ і коефіцієнта змінності $K_{см}=3$. Це значно підвищує ефективність використання здійсненої (минулого) праці й фондівіддачу встаткування. Так, у середньому металорізальний верстат обробляє деталі тільки 600-700 годин у році (при одній 8-годинній зміні з $K_{исп}=0.30... \dots 0.35$ і 250 робочих днях) при повному річному фонді часу 8760 годин ($365*24$ година.). потенційно ГАП у безоperatorному режимі протягом 24-48 годин дозволить використати 7800 годин продуктивної роботи, залишаючи кілька днів для профілактики й ремонту. При цьому, фондівіддача зросте більш ніж в 10 раз.

По продуктивності один обробний центр (ОЦ) заміняє 4-5 універсальних верстатів.

2. Гнучкість виробництва.

Високопродуктивне спеціальне устаткування створюється через 4-5 років після того, як спроектований виріб. Якщо на цей термін додати 5-6 років амортизації автоматичних ліній (необхідний строк), то фактично виріб не може змінюватися в цілому 10 років і більше. У цьому проявляється певний консерватизм виробництва на базі автоматичних ліній і спеціального устаткування.

ГВС звичайно створюються із застосуванням багатоопераційних верстатів типу "обробний центр", на яких можна обробляти різноманітні деталі в межах технологічного призначення й технічних характеристик, що при автоматичному переналагодженні визначає швидкий перехід до випуску деталей іншої номенклатури.

3. Мінімально можливий виробничий цикл виготовлення деталі.

Цей важливий показник виробництва не завжди враховується при підрахунку економічної ефективності.

Якщо взяти повний час циклу створення продукції від початку розробки завдання до виходу готового виробу за 100%, то час виготовлення виробу, тобто час його знаходження в цехах, складе 1%.

Якщо ж за 100% взяти час знаходження виробу в цехах, то виходить, що деталі перебувають на технологічному устаткуванні - 5%.

Якщо ж за 100% взяти час знаходження деталі на верстатах, то час обробки виробу на них складе 25...35%.

Таким чином, є величезні можливості й резерви часу для скорочення повного циклу створення й виготовлення виробів.

Впровадження автоматизованих систем науково-дослідних і конструкторських робіт (АСНДОКР), САПР, автоматизованих систем технічної підготовки виробництва (АСТПВ) забезпечать багаторазове скорочення повного виробничого циклу.

Досвід впровадження ГПС свідчить про значне скорочення виробничого циклу з декількох місяців до декількох годин, коли час знаходження деталей у цехах дорівнює часу їхнього знаходження на верстатах, а час знаходження на верстатах - часу їхньої обробки.

Повний цикл виробництва (знаходження деталей у цехах) досить складних обробних центрів у ГВС "Система 21" фірми ЯМАЗАКІ (Японія) дорівнює 4 тижням у порівнянні з 4 місяцями, які були необхідні раніше при використанні верстатів з ЧПУ. За даними фірми, цей цикл планується довести до 1¹ тижня.

На заводі ІНГЕРСОЛ-РЕНД (США) для обробки деталей повітряної турбіни на верстатах з ЧПУ було потрібно 3-4 місяця, а на ГВС - 5 днів.

4. Мінімізація втрат від браку й випуск високоякісної продукції.

Автоматизація виробничих процесів створює умови, коли якість продукції перестає залежати від кваліфікації оператора.

Впровадження в ГВС систем контролю стійкості обробного інструмента, прогнозування його поломок у процесі обробки деталей, автоматичного позиціонування по програмі дозволяє запобігти втратам від браку.

Автоматизація контролю якості шляхом впровадження автоматичних систем забезпечення якості (АСЗЯ) дозволяє перейти від вибіркового до повного контролю параметрів виробів на всіх етапах виробництва; починаючи на вході (контроль сировини, напівфабрикатів, що комплектують виробів, заготівель).

5. Малі матеріалоємність і енергоємність процесів і виробів.

Застосування новітніх технологій і нових матеріалів, зниження маси машин, використання енергозберігаючої техніки дозволяє скоротити питомі витрати заготівель, вузлів і деталей на одиницю випускає продукції, що. Заміна металів пластмасами, зміцнення металів і металопокриттів знижують питомі витрати металу.

6. Безвідхідна технологія.

Основні відходи машинобудівних підприємств - стружка й металобрухт.

Застосування верстатів з ЧПУ значно знижують частку відходів у металообробці. За даними обстеження 350 машинобудівних заводів у США, використання верстатів з ЧПУ знижує відходи металів не менш чим на 25%.

7. Висока надійність обладнання Основний показник надійності роботи обладнання - час між двома відмовами, тобто число годин наробітку на відмову.

Для кращих сучасних образів електронної техніки наробіток на відмову перевищує 10000 годин або майже 14 місяців безперервної роботи. Подальші шляхи підвищення надійності - модульно-блокова конструкція обладнання, впровадження АСУ діагностики, обслуговування й змісти обладнання.

8. Соціальні аспекти створення заводу майбутнього.

1. Ергономіка й комфортність робочих місць
2. Збереження навколишнього природного середовища.
3. Сполучення професій, підвищення кваліфікації робітників при загальному скороченні висококваліфікованої й іншої праці.

Питання ергономіки робочого місця з обліком анатомічних, фізіологічних і психологічних характеристик людини починають виділятися в самостійний розділ організації й економіки виробництва - гуманізація праці.

Під гуманізацією праці розуміється широке коло заходів, спрямованих на поліпшення умов праці, виключення важких, монотонного й шкідливих для здоров'я операцій, а також міри, що сприяють привабливості праці і його творчих складових.

До таких випадків, наприклад, ставляться організаційні, що дозволяють робітником поглиблювати обмін інформацією на своїх робочих місцях ("кружки якості") брати участь у керуванні техпроцесами та інші.

Перспектива розвитку ГВС і РТК

Одним з основних елементів ГВС є ПР.

Перші сучасні ПР типу «Версотран» були випущені американською фірмою АМФ в 1962 році. У той же час з'явилися ПР «Юнімейт - 1900», які стали застосовуватися на заводах Дженерал Моторс, Форд, Дженерал Електрик.

Хронологія подальших кроків промислової робототехніки за рубежом виглядає в такий спосіб: в 1967р. - був початий випуск роботів в Англії по ліцензії США, в 1968р. - у Швеції і Японії теж по ліцензії США, в 1971р. - у ФРН, в 1972р. - у Франції, в 1973р. - в Італії.

У нашій країні практичне застосування роботів почалося в середині 60^х років. В 1966 році ЕНІКМАШ (м.Воронеж) розробив перший автоматичний маніпулятор для переносу й укладення металевих листів.

В 1968 році був створений перший підводний маніпулятор, **керований** від ЕОМ (Інститут океанології Академії наук СРСР).

В 1971 році з'явилися перші сучасні промислові роботи РОЗУМ-1, «Універсал-50», УПК-1.

В 1972 році у світі було близько 3000 роботів, в 1984 році - 98100 роботів, з них у Японії 64000, США - 13000, Західній Європі - 20500. У СРСР в 1980 році - 6000 роботів. В 1990 році тільки в США впроваджено більш ніж 150000 роботів.

Виробництвом роботів у світі зайнято більш ніж 150 фірм, що випускають понад 250 різні типи промислових роботів. Близько 40% парку роботів - пневматичні роботи вантажопідйомністю до 20кг із простим цикловим керуванням. Близько 40% - більш ніж складних гідравлічних ПР більшої вантажопідйомності. Біля 2-% - електромеханічні роботи середньої вантажопідйомності - 10...30кг.

Японія сьогодні посідає перше місце у світі по виробництву й використанню промислових роботів. Японська асоціація по ПР дає такий перелік факторів, що визначають застосування ПР:

- краще використання й економія робочої сили (насамперед через її дефіцит і високий травматизм);
- потреба в створенні гнучкого виробництва;
- спрощення організації й керування виробництвом, у тому числі мобільність, організація роботи в неробочі дні й нічні години.
-

ЛЕКЦІЯ 2

Тема: Склад, структура, компоновки ГВС

Питання:

1. Склад ГВС.
2. Структурні елементи ГВС.
3. Компоновочні схеми обладнання ГВС.

Склад ГВС

На базі основних технологічних машин і ПР формують гнучкі робототехнічні комплекси (РТК).

У ДСТ 26228-85 «Системи виробничі гнучкі. Терміни й визначення», дане визначення: Роботизований технологічний комплекс (РТК) - сукупність одиниці технологічного встаткування, промислового робота й засобів оснащення, автономно функціонуючий і здійснюючий багаторазовий цикли.

Примітки.

1. РТК, призначені для роботи в ГВС, повинні мати автоматизоване переналагодження й можливість вбудовуватися в систему.
2. Як технологічне встаткування може бути використаний ПР-РВК.
3. Засобами оснащення РТК можуть бути: пристрою нагромадження, орієнтації, поштучної видачі об'єктів виробництва й інших пристроїв, що забезпечують функціонування РТК».

РТК - Роботизований комплекс (РК), у якому роботи тільки завантажують і розвантажують основний обробний виріб у технологічне обладнання .

РПК - РК, у якому роботи виконують основні технологічні операції типу зборки, зварювання, фарбування, зачищення й т.п.

Роботизована технологічна лінія - сукупність технологічних комплексів, зв'язаних між собою транспортними засобами й системою керування, або декількох одиниць технологічного обладнання, що обслуговують одним або декількома промисловими роботами для виконання операцій у прийнятій технологічній послідовності.

Роботизований технологічна ділянка - сукупність роботизованих технологічних комплексів, зв'язаних між собою транспортними засобами й системою керування, або декількох одиниць технологічного обладнання, що обслуговують одним або декількома ПР, у якій передбачена можливість зміни послідовності технологічного обладнання.

Робототехнічна система (РТС) - це технічна система, у якій перетворення й зв'язки енергії, маси й інформації пов'язані з використанням ПР.

РТС і РТК відбивають різні стадії закінчення того самого явища. В ієрархічному рівні виробництв системи стосовно її верхнього рівня РТК виступає як складова частина РТС (підсистема). У той же час РТК поєднує у своєму складі трохи ГВМ.

У загальному випадку ГВС складається із трьох основних систем: технологічного, транспортно-накопичувальної й керування (рис. 2.1).

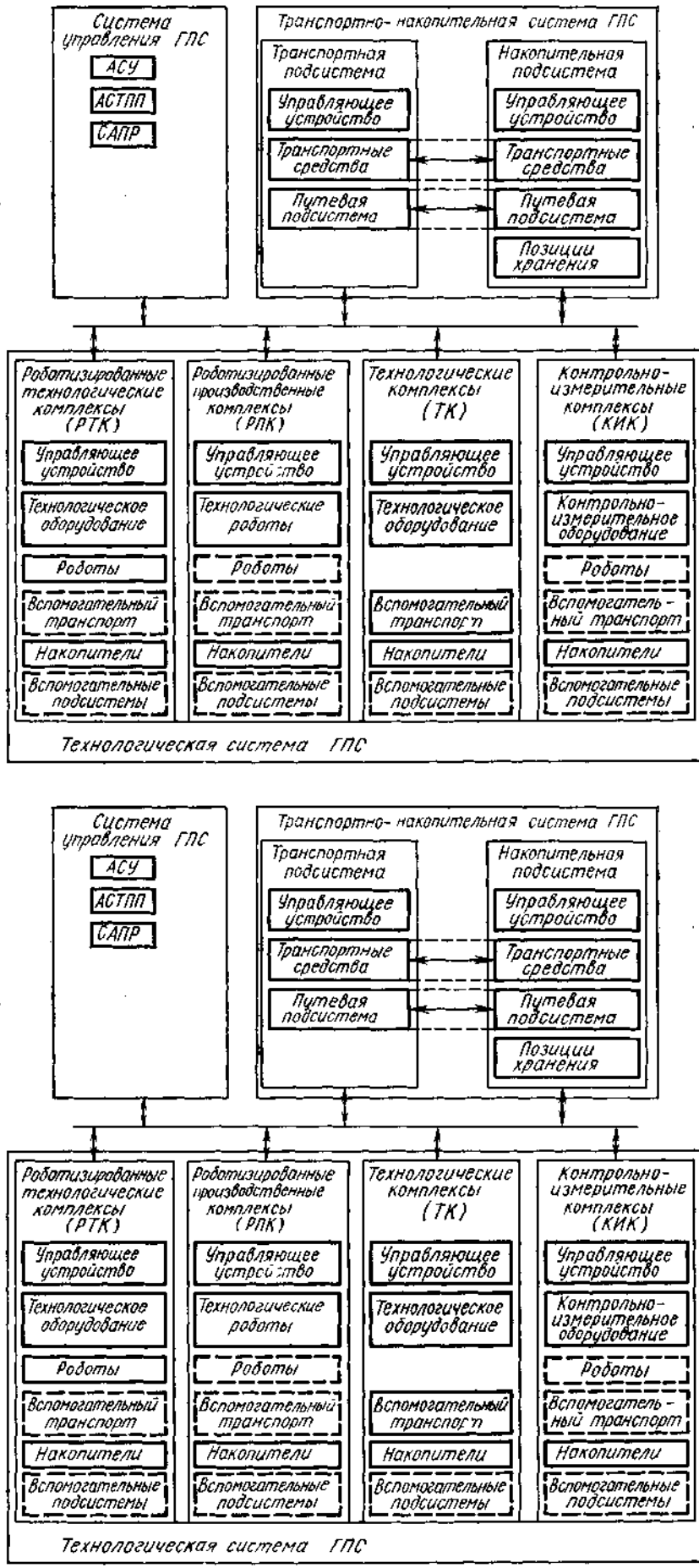


Рисунок 2.1- Склад ГВС

1). Технологічна система здійснює обробку виробів, їхній контроль, підготовку й зміну інструмента й оснащення, завантаження й розвантаження технологічного й

контрольно-вимірювального обладнання, проміжне нагромадження й зберігання матеріалів, напівфабрикатів, виробів, що комплектують елементів, інструмента й оснащення, відвід відходів виробництва. Для виконання цих функцій у технологічну систему входить основне технологічне й контрольно-вимірювальне обладнання, засоби проміжного нагромадження, зберігання, переорієнтації, базування й транспортування виробів і інструмента, роботи.

2). Транспортно-накопичувальна (складська) система ГВС робить проміжне зберігання й переміщення виробів, інструмента й оснащення між обладнаннями технологічної системи, а також приймання й видачу виробів, інструмента й оснащення зовнішнім виробничим підрозділам, їхнє зберігання, комплектацію, приймання й видачу технологічній системі. Для виконання цих функцій у ТНС входять транспортні засоби, позиції зберігання, комплектації, приймання й видачі виробів і інструмента.

3). Система керування ГВС координує роботу технологічної й транспортно-накопичувальної систем, контролює стан виробництва.

Автоматизація проектування виробів, розробки технологічних процесів і програм ЧПУ виконують різними ЕОМ з периферійним обладнанням, які по призначенню групуються в різні підсистеми:

АСКВ - автоматизована система керування виробництвом;

САПР - система автоматизованого проектування;

АСТПВ - автоматизована система технологічної підготовки виробництва;

АТСС - автоматизована транспортно-складська система.

Система керування ГВС взаємодіє з локальними керуючими системами технологічної й ТНС і їхнього обладнання (верстатів, роботів, транспортних засобів і ін.) між технологічної, ТНС і керуючою системами може відбуватися значний перерозподіл функцій.

У транспортно-накопичувальній системі великогабаритні й важкі вироби й інструмент переміщуються поштучно, а більше дрібні - партіями в спеціальних контейнерах.

У технологічній системі більшість виробів обробляються, як правило, поштучно.

4. Допоміжна система підтримує працездатність складної виробничої системи в цілому.

У її функції входить забезпечення енергетичного струму, збирання відходів виробництва, матеріальне забезпечення, служба ремонту, техніка безпеки.

Структура РТК

Для збереження необхідної продуктивності РТС у цілому при можливій відмові окремого обладнання звичайно передбачають деякі буферні накопичувачі. Їхньої функції можуть виконувати контейнери з партіями деталей або спеціальні ділянки групового транспортування. При аналізі структури й проектування накопичувачі дозволяють розбити РТС на ряд ділянок, що володіють деякою функціональною незалежністю друг від друга. Такі ділянки називають технологічними комплексами (ТК) або контрольно-вимірювальними комплексами (КВК), а при застосуванні роботів - РК.

РК охоплює групу обладнання, у межах якої вироби переміщуються тільки поштучно. Його початком (входом) і закінченням (виходом) є різного роду накопичувачі.

Структура РТК визначається видом і параметрами виробів, технологічних операцій і обладнання. Вона характеризується насамперед кількістю основного технологічного обладнання S , роботів R і різних типів одночасно оброблюваних виробів J . Можливі структури РК можна пояснити орієнтованими графами.

Вершини графів - технологічне обладнання Z , ребра - переміщення об'єктів обробки, V_x і V_{ix} - відповідно вхід і вихід РТК, B - об'єднаний вхід-вихід РТК, T - допоміжний транспорт, P_t - робот технологічний, B - позиція базування, P_3 - проміжне зберігання.

Роботизовані модулі. У РТС найпоширеніші РТК типу роботизованих модулів з $S=R=J=1$ (рис. 2.2,а,б)

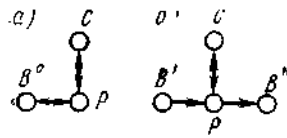


Рисунок 2.2.- Структурні схеми роботизованих модулів

З них можна утворити багато модульні РТК (рис. 2.3), що виконують ряд послідовних операцій. У таких РТК робот значну частину часу простояє чекаючи закінчення технологічних операцій.

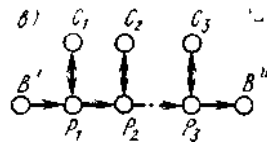


Рисунок 2.3 - Богато модульні РТК

Роботизовані чарунки. Комплекси, у яких один робот Р обслуговує кілька верстатів, називають роботизованими комірки. Їх також можна поєднувати в більше великі РТК (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 - Роботизовані чарунки

- Більш повно роботи завантажені при $S=2...8$ і $R=J=1$.

Для однопредметних роботизованих осередків і багато модульних РТК в умовах РТС складно підібрати номенклатуру оброблюваних виробів з відповідним складом, послідовністю й тривалістю технологічних операцій. Виконання однакових операцій на різних верстатах одного комплексу збільшує частоту пере настрювання на інші вироби, що також небажано.

Багатопредметні РТК.

Високу гнучкість комплексам і ефективне використання робота забезпечує сполучення $J=S=2...10$ і $R=1$ (рис. 2.5) або $R=2...4$ (рис. 2.6).

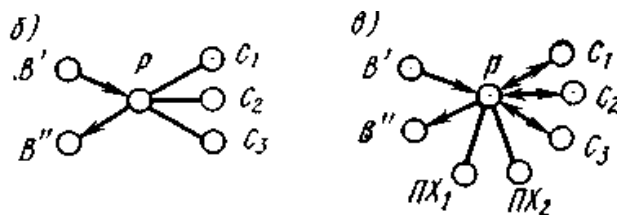


Рисунок 2.5

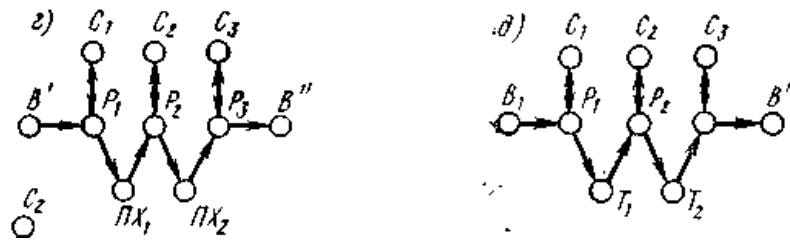


Рисунок 2.6

Але для такої паралельної обробки різних виробів у межах одного РТК робот повинен мати підвищену універсальність загарбних органів, більшою кількістю крапок позиціонування й високою надійністю.

Збільшують кількість роботів і вводять додаткові передавальні пристрої в тому випадку, якщо що випускають ПР не забезпечують необхідні швидкодія й переміщення. Позиції проміжного зберігання ПЗ вводяться також для підвищення продуктивності робота, що обслуговує кілька верстатів.

У межах одного РТК між роботами виробу передаються

- безпосередньо,
 - в основному технологічному устаткуванні,
 - на позиціях ПХ1, ПХ2 або Б;
 - за допомогою додаткових передавальних або поштучно транспортуючих пристроїв Т1, Т2 ;
- комбінації з перерахованих варіантів.

Роботизовані виробничі комплекси. У РВК технологічні операції зварювання, фарбування, зборки й т.п. можуть виконуватися:

- безпосередньо на позиції входу-виходу В комплексу (рис. 2.7,а);
- на спеціальній позиції базування й фіксації Б (рис. 2.7,б);
- на допоміжному тактовому транспортному засобі (рис. 2.7,б).

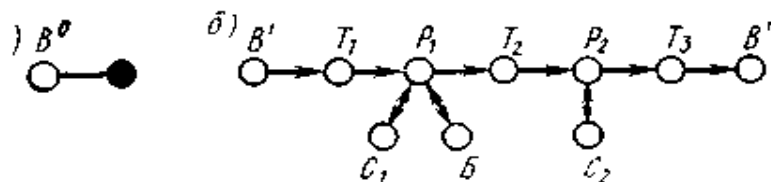


Рисунок 2.7 - Структура РВК

Позиції базування або допоміжний транспорт, у свою чергу, завантажуються додатковими або основними складальними роботами.

До складу складальних РВК часто входять: основне технологічне обладнання (преси, установки для пайки, зварювання й т.п.), а також роботи, що виконують основні технологічні операції завантажуються й розвантажуються технологічне обладнання або безпосереднє складальним роботом або допоміжним транспортом.

Основні компонентні схеми застосування ПР

1. **Одиничне обслуговування обладнання** $R \geq S$ забезпечується автономним або убудованим в обладнання ПР. мінімальні завдання, розв'язувані таким РТК, складаються в автоматизації операції обробки деталі, її установки-зняття, базування й фіксації в

робочій зоні, а також у забезпеченні зв'язку із транспортними й інформаційними потоками основного виробництва.

Різновидом такої схеми обслуговування є обслуговування декількома роботами групи машин, число яких менше числа ПР (РТК із машинами лиття під тиском, при обслуговуванні листоштампуючих пресів, у верстатних центрах, де один ПР здійснює установку-зняття деталі, а іншої - зміну інструмента й спорядження інструментального магазину й т.д. При цьому до складу РТК крім ПР можуть входити автооператори різного призначення.

2. **Групове обслуговування обладнання** $R < S$ при його лінійному, лінійно-паралельному або круговому розташуванні може здійснюватися одним ПР, що забезпечує крім операцій, названих вище, ще й міжстаночне транспортування деталей. При цьому за допомогою ПР вирішуються також завдання диспетчерування роботи обладнання, що входить до складу РТК, елементів транспортних систем і додаткових механізмів.

Різновидом такої схеми є обслуговування декількома ПР групи верстатів, число яких перевищує число робіт. При цьому можна не тільки забезпечити обробку деталей з різною послідовністю операцій, але й скоротити простої основного технологічного обладнання, пов'язані з багатостатним обслуговуванням, виконуваним ПР.

Залежно від серійного виробництва, у якому використовується РТК із груповим обслуговуванням обладнання, для такого комплексу можуть бути застосовані різні організаційні форми завантаження основного технологічного обладнання: від незалежної роботи кожного верстата, до перетворення РТК у потокову лінію.

Однак для забезпечення необхідної гнучкості виробництва в РТК із груповим обслуговуванням ПР необхідно передбачати створення міжопераційних заділів, забезпечення можливості пропуску окремих операцій на деяких типах деталей, зміни порядку обробки й т.п. За допомогою ПР повинна вирішуватися й завдання незалежної доставки деталей до верстатів і їх міжверстатного транспортування.

3. **Індивідуальне виконання основних операцій**, таких як зварювання, фарбування, зборка й т.п., здійснюється технологічним або універсальним ПР, на базі якого організується РВК. Він включає різного роду допоміжні, транспортні, що орієнтують пристрої й механізми, робота яких контролюється системою програмного керування робота.

4. **Під груповим використанням** ПР для виконання основних технологічних операцій мається на увазі застосування роботів різних типів (допоміжних, технологічних і універсальних), зв'язаних у єдиний комплекс, що забезпечує закінчений технологічний процес.

Лекція 3

Тема: Особливості побудови РТК механообробки

Питання:

1. Загальні вимоги до РТК
2. Вимоги до основного встаткування, що включає до складу РТК
3. Вимоги до допоміжного устаткування, що включає до складу РТК
4. Вимоги до технологічного оснащення
5. Вимоги до ПР, що обслуговує металорізальні верстати в РТК

Загальні вимоги до РТК

Серед великої кількості вимог, пропонованих до РТК, можна виділити ряд основних, виконання яких є обов'язковим при побудові комплексів:

1. Планування комплексу повинна забезпечувати вільний, зручний і безпечний доступ обслуговуючого персоналу, до основного й допоміжного устаткування, а також до органів управління комплексу (ДЕРЖСТАНДАРТ 12.2.078-82)
2. Планування повинна по можливості, виключати перетинання трас проходження оператора й ПР у процесі його роботи із програми.

3. Комплекс повинен бути забезпечений засобами захисту від можливого проникнення людини в зону дії ПР (светозахист, захисні сітки й т.п.), причому необхідно паралельний захист із двох - трьох автономних засобів.
4. Розміщення засобів захисту не повинне обмежувати технологічні можливості встаткування, утрудняти їхнє обслуговування, перешкоджати візуальному спостереженню за ходом технологічного процесу.
5. Розміщення засобів керування повинне забезпечувати вільний і швидкий доступ до органів аварійного відключення.

Найбільше доцільно формою впровадження ПР у серійне виробництво є створення РТК, на базі яких надалі можуть бути утворені РОТУ, Ртцехи, Ртзаводы.

Як правило, виконання технологічного циклу обробки виробів на металорізальних верстатах забезпечується групою верстатів. Число верстатів, що включають у РТК, залежить від конструктивного виконання робота й довжини його робочої зони, а також від машинного часу цих верстатів.

При малому машинному часі (≤ 3 хв) щоб уникнути простою технологічного обладнання доцільно використати однопозиційних РТК (модулі) на базі циклових ПР, призначених для обслуговування одного верстата. Це також доцільно в умовах крупносерійного виробництва.

При більшому машинному часі (3...15 хв і більше) доцільно використати ПР, здатні обслуговувати групу однотипних або різнотипних верстатів.

Вимоги до основного обладнання, що включає до складу РТК

Основним критерієм, що визначає можливість включення верстатів до складу РТК є ступінь їхньої автоматизації, що дозволяє без серйозних конструктивних переробок за рахунок незначної модернізації перевести їх на роботу в автоматичному режимі в РТК.

Другий критерій – досить швидка переналадження верстата.

Даним критеріям відповідають повністю автоматизовані верстати, включаючи перемикання швидкостей і подач, затиск виробу й зміну інструментів, а також допоміжні операції (контроль деталей, відвід і підведення загороджень, висновок стружки й т.д.).

Для існуючих моделей верстатів при їхньому включенні в РТК потрібні різні види модернізації:

- для всіх верстатів - модернізація електричної схеми для забезпечення зв'язку між верстатом і роботом і де відсутній - автоматизація затиснення-розтиснення виробу;
- для верстатів з горизонтальними столами - автоматизація очищення базових поверхонь стола верстата;
- для верстатів, що мають огороження - автоматизація переміщення огороження або зміна його конструкції;
- для горизонтальних верстатів - автоматизація підтиснення заготівлі до торця патрона;
- для верстатів фрезерної й свердлильної груп - автоматизація підтиснення заготівлі до опорної площини настановного пристосування;
- для верстатів токарської групи - оснащення верстата пристроєм для дроблення стружки;
- для кругло-, торцешліфувальних і шліцеоброблюючих верстатів - оснащення їх торцевими або самодіючими повідковими патронами;
- для зубооброблюючих верстатів - автоматизація запресовування деталей на оправлення або застосування інших методів базування деталей.

Вимоги до допоміжного устаткування, що включає до складу РТК

РТК включає:

- транспортно-складські пристрої, що забезпечують нагромадження, зберігання, орієнтацію, поштучну видачу й транспортування деталей усередині або між РТК;

- що базують і контрольні-вимірні пристрої;
- засоби безпеки праці й безаварійної роботи обладнання.

Вимоги до допоміжного устаткування, визначаються конструкцією комплексу, типом, формою, матеріалом і розмірами деталей, складом верстатів, серійністю виробництва й штучним часом обробки деталей на верстатах.

Функції, виконувани допоміжним устаткуванням (зберігання, безперервне транспортування, крокова подача й т.п.) визначаються типом РТК і складом верстатів.

Конструктивне виконання обладнання (магазин, тактовий стіл, конвеєр і ін.) і положення осі виробу в ньому також залежать від типу РТК і складу основного обладнання.

Місткість допоміжного пристрою, тобто запас деталей, що повинен бути забезпечений в одиницю часу, визначаються типом виробництва й штучним часом.

При виборі або розробці транспортно-накопичувальних пристроїв, що входять у РТК урахується спосіб зберігання й видачі деталей, місткість накопичувачів, спосіб орієнтації й комплектації заготівель на початковій позиції РТК. Крім того, передбачається сполучення транспортної системи РТК із внутріцеховим і загальнозаводським транспортом.

пристрої, Що Базують, вхідні в РТК, повинні забезпечити безаварійну роботу, що обслуговує ПР, при можливих просторових зсувах оброблюваних деталей у тарі-накопичувачі.

Допоміжне устаткування повинне мати уніфіковані конструктивні елементи й швидко переналагоджуватися.

Вимоги до технологічного оснащення

Металорізальні верстати характеризуються більшими асортиментами технологічного оснащення, що забезпечує необхідну точність для кожного типу верстатів у заданих умовах. При створенні РТК оснащення вибирають виходячи з наступних міркувань :

1. ПР сам по собі не забезпечує необхідну точність базування деталі в пристосуванні (вимоги до ПР обмежуються можливістю уведення заготівлі в зону пристосування, що базує, верстата з гарантованим зазором).
2. Технологічне оснащення повинна забезпечувати:
 - А) можливість установки виробу роботом даної моделі;
 - Б) необхідну точність базування;
 - В) надійність закріплення деталі в процесі обробки.
3. Для контролю правильності положення деталі в пристосуванні, що базує, верстата, у РТК доцільно передбачати систему датчиків , що фіксують положення деталі перед обробкою. При виборі оснащення варто перевірити чи можна існуюче оснащення застосувати для роботи із ПР без додаткової модернізації.

До таких видів оснащення ставляться:

- центри, повідкові патрони із плаваючим центром, торцеві повідкові й самоцентрувальні трьохкулачкові патрони;
- для фрезерно-свердлильних і протяжливих верстатів: самозатискні лещата, пристосування з кутовою фіксацією деталі, УСВ і т.д.

Розмірний контроль виробів

Для забезпечення необхідних експлуатаційних характеристик РТК необхідний розмірний контроль виробів на вході й виході комплексу.

Розмірний контроль повинен здійснюватися або ПР, або спеціальними пристроями активного контролю верстата.

Такий контроль повинен забезпечити або відбраковування негідних виробів, або відповідну корекцію керуючих програм верстатів.

Крім того, необхідно оснащувати верстати пристроями для контролю правильності установки інструментів і їхніх розмірів.

Вимоги до ПР, що обслуговує металорізальні верстати в РТК

При виборі ПР для РТК визначальним фактором є вантажопідйомність, а також маса деталей.

При обслуговуванні верстатів ПР виконує наступні допоміжні операції:

- установку заготовель у верстат і зняття обробленого виробу;
- контроль розмірів заготовель і оброблених виробів;
- очищення базових поверхонь заготовель, виробів і фіксуючих пристосувань від бруду й стружки;
- перевірку правильності базування й фіксації заготовель у затискних пристосуваннях верстата;
- зміну захоплень, а також ріжучого й допоміжного інструмента.

При обслуговуванні групи верстатів ПР забезпечує міжверстатні транспортування деталей.

Лекція 4

Тема: Розташування ПР у РТК механообробки

Питання:

1. Одиничне обслуговування верстатів
2. Групове обслуговування верстатів.
3. Індивідуальне виконання основних технологічних операцій.
4. Групове виконання основних технологічних операцій.

Одиничне обслуговування верстатів Одноверстатні РТК

Ці комплекси розрізняються розташуванням (убудованим і автономним) ПР.

Типовим прикладом **одноверстатного РТК із убудованим ПР** є комплекс моделі 16ДО20Ф3.М10П62.01 і його модифікації (16ДО20Ф3.Р132).

Призначення – для токарської (патронної й центровий) одне- і двосторонньої обробки (з можливістю повороту заготовки на 180°) середніх деталей типу тіл обертання в серійному й дрібносерійному виробництві (рис. 4.1).

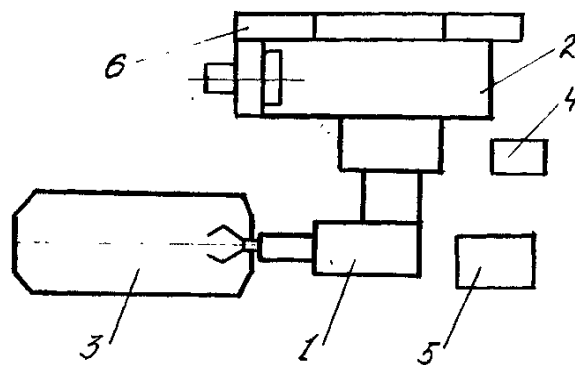


Рисунок 4.1- РТК16ДО20Ф3.М10П62.01

Склад обладнання ПР моделі М10П62.01 (1 шт.);

1. Токарський верстат з ЧПУ моделі 16ДО20Ф3 (1 шт.) ;
2. Тактовий стіл СТ220 (1 шт.);
3. Пристрій ЧПУ ПР типу «Контур-1» (1 шт.);

4. Пристрій ЧПУ верстата типу 2422 (1 шт.);
5. Електрошафа (1 шт.).

ПР закріплений на передній стінці станини верстата. ПР може оснащуватися різними типами схватів залежно від виду заготівель на два 8-вартових зміни роботи комплексу. Установка заготівель на рухливі платформи стола здійснюється за допомогою спеціального оснащення.

Технічна характеристика

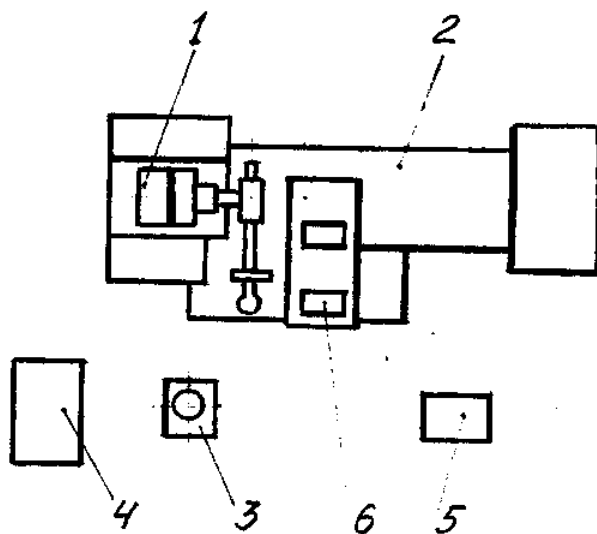
Вантажопідйомність	-10кг
Розміри заготівлі:	
діаметр	-150мм
довжина	-500мм
Цикл обробки	-5хв
Продуктивність при двозмінній роботі	-42500шт.
Габаритні розміри:	
довжина	-6100мм
ширина	-3800мм

Робота комплексу

Тактовий стіл 3 подає заготівлю на фіксовану позицію. Рука робота 1 захоплює її й установлює в робочу зону верстата 2. Після обробки готова деталь знімається роботом і встановлюється в ту ж позицію тактового стола. Потім система керування 4 роботом формує сигнал для переміщення тактового стола на один крок. При цьому готова деталь переміщається на іншу позицію, а на її місце надходить нова заготівля.

Достоїнством таких комплексів є: -компактність.

ПР може бути закріплений у різних положеннях залежно від схеми завантаження верстата: так у РТК моделі МО1И611 - «Ритм»; призначеного для токарської обробки дрібних деталей масою до 0,1кг, робот моделі «Ритм-01.08» установлений на кришці шпindelної бабки токарно-гвинторізного верстата (див. рис. 4.2).

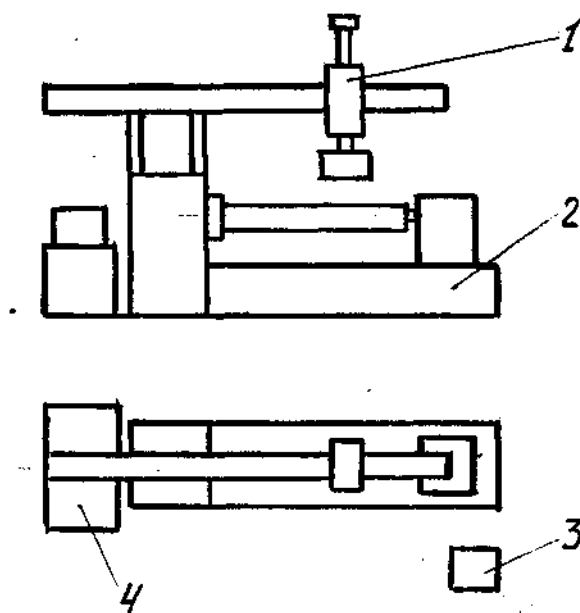


1-робот; 2-верстат (1И611ПМФ3);3-вібробункер; 4-пристрій ЧПУ верстата; 5-пристрій ЧПУ робота; 6-тара

Рисунок 4.2 - РТК мод. М01И611-Ритм:

Робот 1 робить завантаження верстата 2 заготівлями з вібробункера 3 з позиції видачі. Готові деталі робот знімає з верстата й скидає в тару 6.

У РТК на базі верстата 16ДО20Т1 (або 16ДО20Ф3) робот моделі СМ40Ц портального типу встановлений зверху верстата. Рука робота встановлена на каретці, що переміщається по монорейці, закріпленій на станині, паралельно осі центрів верстата. (див. рис. 4.3).



1-робот; 2-верстат; 3-система керування верстатом і роботом; 4-накопичувач
Рисунок 4.3 - РТК16ДО20Ф3.СМ40Ц:.

Подібне планування має одноверстатні РТК із автономним ПР портального типу (модель БРСК-01).

Призначення для токарської обробки широкої номенклатури фланцевих деталей в умовах дрібносерійного виробництва (див. рис. 4.4).

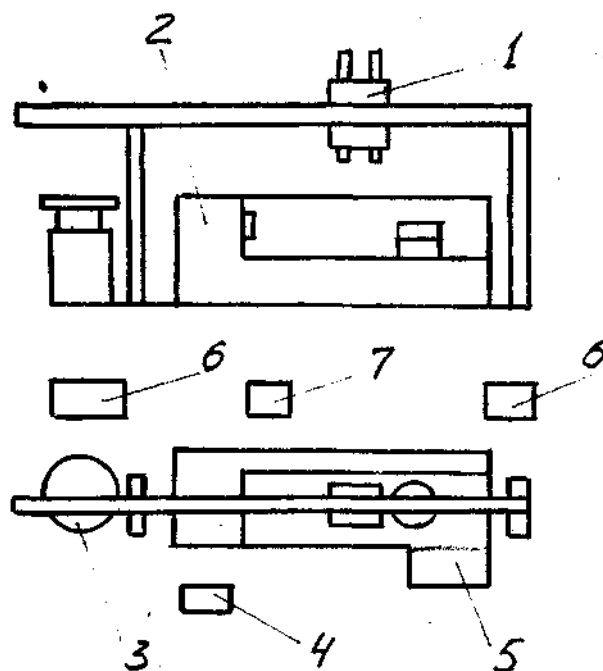


Рисунок 4.4 - РТК БРСК-01

Склад обладнання

1. ПР моделі М20Ц.40.01 (1 шт.);
2. Токарно-револьверний верстат з ЧПУ (1 шт.);
3. Магазин-накопичувач (1 шт.);
4. Пристрій керування ПР (1 шт.);
5. Пристрій ЧПУ верстата (1 шт.);
6. Електрошафа (2 шт.);
7. Гідростанція.

ПР розташований над верстатом. Рука робота встановлена на каретці, що переміщається по монорейці, закріпленій на опорах, паралельно осі центрів верстата.

Завантаження верстата здійснюється зверху.

Технічна характеристика

Вантажопідйомність	-10кг
Розміри заготовлі:	
діаметр	-200мм
довжина	-120мм
Цикл обробки	-5хв
Габаритні розміри:	
довжина	-5920мм
ширина	-2760мм

Робота комплексу

Завантаження верстата здійснюється зверху. Робот 1 бере заготовлю з магазина-накопичувача 3 і завантажує в робочу зону верстата 2. Після обробки деталь знімається роботом і укладається в той же магазин.

Перевага РТК на базі порталних - поділ зон роботи ПР і оператора, що дозволяє створити оптимальні умови операторові РТК для спостереження й обслуговування обладнання.

Одноверстатні РТК із автономним роботом підложного виконання

Типовий представник РТК моделі 1708ПР4.

Призначення - для обробки довгих східчастих валів у великому серійному виробництві (рис. 4.5).

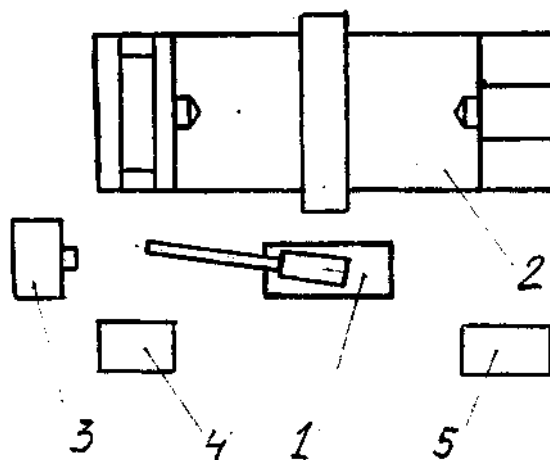


Рисунок 4.5 - РТК1708ПР4

Склад обладнання:

1. ПР моделі ПР4 (1 шт.);

2. Токарський багаторізцевий автомат напівавтомат моделі 1708;
3. Тактовий стіл (1 шт.);
4. Тара (1 шт.);
5. Пристрій керування ПР.

Технічна характеристика

Вантажопідйомність	-5кг
Розміри заготівлі:	
діаметр	-50мм
довжина	-500мм
Цикл обробки	-23.5с
Габаритні розміри:	
довжина	-3000мм
ширина	-3000мм

Робота комплексу

Робот працює в циліндричній системі координат. Здійснює завантаження верстата 2 заготівлями з тактового стола 3 і розвантаження готових виробів у тару 4. Управляє включенням автоматичного циклу роботи верстата.

Групове обслуговування верстатів

Автоматична лінія фірми «Мітцубісі» (Mitsubishi Heavy Ind., Японія) див. рис. 4.6.

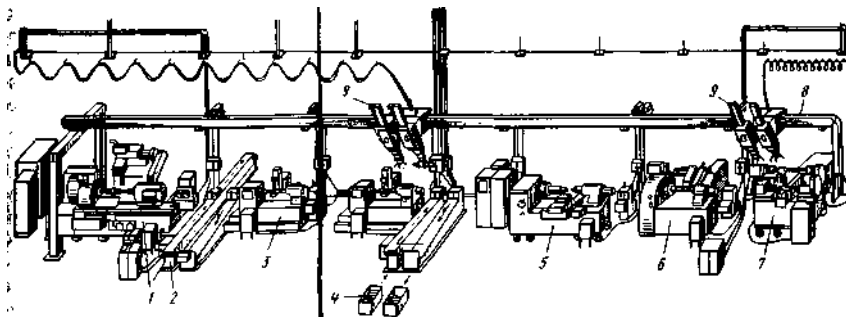


Рисунок 4.6 - Автоматична лінія

Планування лінії показане на рисунку 4.7.

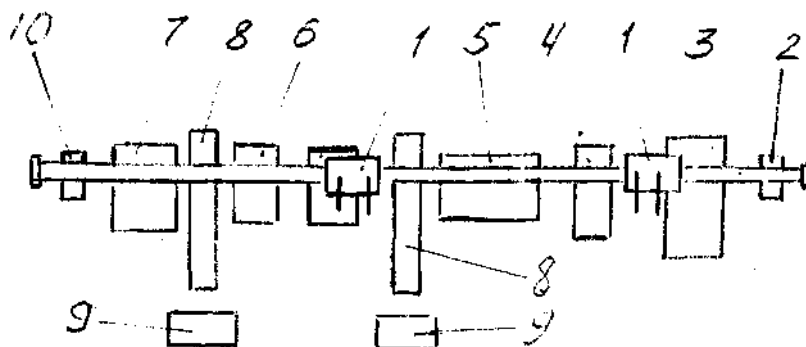


Рисунок 4.7 Планування лінії

Склад обладнання:

1. Підвісний ПР «Робитус РЦ» (Robitus RC) - 2шт.
2. Монорейка
3. Фрезерно-центрувальний верстат - 1шт.
4. Токарно-копіювальний верстат - 1шт.
5. Токарський верстат з ЧПУ - 1шт.
6. Зубофрезерний верстат - 2шт.
7. Шліфувальний верстат - 1шт.
8. Двохструмковий конвеєр - 1шт.

Технічна характеристика

Вантажопідйомність - 50кг

Діаметр - 30...100мм

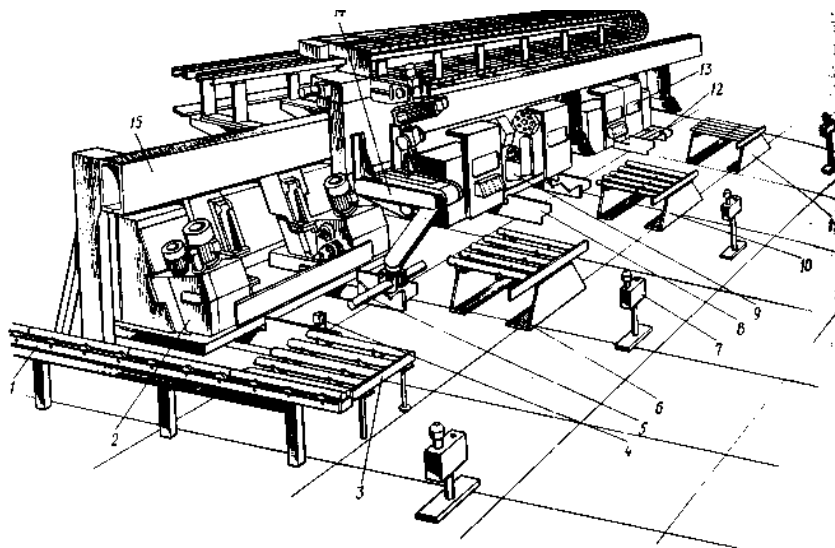
Принцип роботи

Автоматична лінія фірми Mitsubishi Heavy Ind призначена для обробки шліцевих валів. Лінія обслуговується двома підвісними пересувними ПР «Robitus RC». Один ПР обслуговує один центральний-фрезерний і два токарських верстати, іншої – інше обладнання.

У місці збігу дії роботів розташований двухструмковий конвеєр 2 для уведення й висновку деталей на ділянку термообробки. Заготівлі нарізають із прутка діаметром 30-100 мм. Відповідно до темпу роботи лінії задається програма роботи роботів, що здійснюють установку-зняття деталей на верстатах і послідовно по ходу технологічного процесу транспортування деталей від верстата до верстата.

Автоматизована ділянка АСВР-01

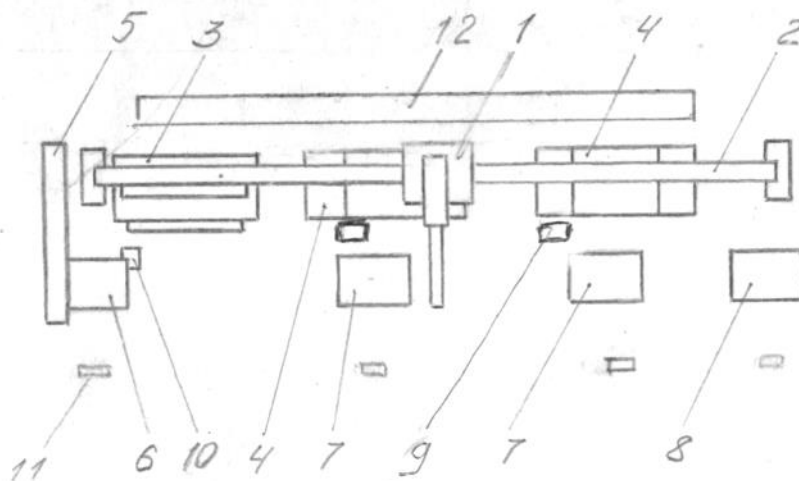
Автоматизована ділянка АСВР-01, призначений для обробки валів електродвигунів тридцяти типорозмірів довжиною 500-1400 мм, діаметром до 140 мм масою до 160 кг, показаний на рис. 4.8.



1 — конвеєр подачі заготівель; 2 — фрезерно-центрувальний верстат моделі МР179; 3 — початковий накопичувач; 4 — пристрій для виміру довжини заготівлі; 5 — заготівля; 6 — проміжний накопичувач; 7 — стійка пристрою фотозахисту; 8 — позиція очікування; 9 — токарський верстат моделі 1Б732Ф3; 10 — проміжний накопичувач; 11 — вихідна позиція ділянки (накопичувач готових виробів); 12 — позиція очікування; 13 — токарський верстат моделі 1Б732Ф3; 14 — рухлива каретка з рукою робота РОЗУМ160Ф2.81.01; 15 — монорейка робота

Рисунок 4.8 - Автоматизована ділянка АСВР-01 для обробки валів електродвигунів:

Вали виготовляються з різаного прокату. Заготівлі підвозяться електрокаром і завантажуються на конвеєр, що подає, з видачної позиції якого робот мод. РОЗУМ160Ф2.81.01 їх забирає й розкладає в осередки початкового накопичувача 3. Ділянка укомплектована фрезерно-центрувальним верстатом МР179 і двома токарськими верстатами 1Б732Ф3 з ЧПУ, на яких виробляються підрізування торців, центрування й токарська обробка валів 30 типорозмірів. Обслуговування верстатів роботом здійснюється по їхніх викликах. При одночасному надходженні двох заявок вибирають верстат з найбільшим циклом обробки. Між верстатами розташовані проміжні накопичувачі деталей 6 і 10. Робот, постачений тактильним шупом, здійснює пошук заготівлі 4 у накопичувачі 3, вимірює її діаметр і за допомогою пристрою 5 вимірює її довжину, зрівнюючи припуск на обробку торців. Якщо довжина або діаметр заготівлі виходить за межі допусків, вона бракується. Робот також забезпечує завантаження й розвантаження верстатів, міхверстатне транспортування деталей, їхнє перебазування, проміжне складування на накопичувачах 6 і 10, а також на позиціях очікування 8 і 12, розташованих перед токарськими верстатами. Після обробки робот кладе деталі в магазин на вихідній позиції ділянки. Безпека роботи забезпечується системою фотодатчиків, розташованих у стійках 7. Позад верстатів проходить стружкоприбиральний конвеєр. Ділянка обслуговується одним оператором. Планування ділянки показане на рисунку 4.9.



Склад обладнання

1. ПР моделі РОЗУМ160Ф2.81.01 – 1шт.
2. Монорейка
3. Фрезерно-центрувальний верстат моделі МР179 - 1шт.
4. Токарський верстат з ЧПУ моделі 1Б732Ф3 - 2шт.
5. конвеєр, Що Подає, - 1шт.
6. Початковий накопичувач - 1шт.
7. Проміжний накопичувач - 2шт.
8. Магазин накопичувач валів - 1шт.
9. Позиція очікування - 3шт.
10. Пристрій контролю довжини заготівель - 1шт.
11. Фотодатчик - 4шт.
12. Стружкоприбиральний конвеєр - 1шт.

Технічна характеристика

Вантажопідйомність - 160кг.

Розміри валів:

діаметр - 400мм

довжина - 500...1400мм

Цикл обробки - 10...15хв

Габаритні розміри:

довжина - 18000мм

ширина - 6590мм

Роботизований комплекс И.5.02 (И.5.06)

Призначення - для обробки корпусних деталей типу корпусів гідроблоків (рис.4.10).

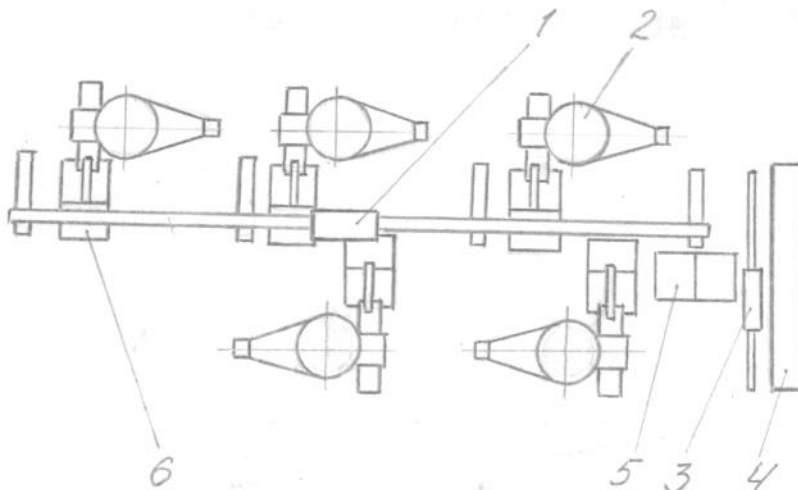


Рисунок 4.10 - Роботизований комплекс И.5.02 (И.5.06)

Склад обладнання:

1. ПР портального типу моделі РОЗУМ160Ф2.81.01 - 1 шт.
2. Обробний центр ИР500МФ4 - 5 шт.
3. Автоматичний кран-штабелер - 1 шт.
4. Осередку автоматизованого складу
5. Поворотний стіл
6. Магазин-накопичувач - 5 шт.

У комплексі И.5.02 ОЦ розташовуються по обидва боки від порталу, при цьому в максимальному ступені використовується перевага конструкції робота - більша зона обслуговування.

Технічна характеристика

Вантажопідйомність - 92кг.

Габаритні розміри:

довжина - 21000мм

ширина - 16000мм

Т.к. час циклу обробки важких корпусних деталей велико, то наявність складу забезпечує тривале функціонування комплексу без зупинок.

Кран-штабелер 3 берет заготовлю зі складу 4 і кладе на поворотний стіл 5. Звідси **заготівля** захоплюється роботом 1 і завантажується у верстати 2. ПР в автоматичному режимі передає деталі 3 операції й повертає оброблені деталі в склад через поворотний стіл. (Далі на мийку деталі передаються маніпулятором 10 з рольганга 9).

ЛЕКЦІЯ 5

Тема: Організація роботи РТК

Питання:

1. Організація роботи РТК без осередків ПХ
2. Організація роботи РТК із осередками ПХ
3. Вибір і компоновання РТК і орієнтація обладнання

Організація роботи РТК без чарунка ПЗ

Для поліпшення якості й скорочення строків розробки роботизованих виробництв необхідно максимально використати накопичений вітчизняний і закордонний досвід робототехніки й вибирати найбільш підходящі варіанти рішень організації РТК.

При проектуванні РТК послідовність розташування обладнання Π_0 може бути або задана у вихідних даних (якщо обладнання в цеху не можна переміщати), або може вибиратися від послідовності обробки виробів \mathcal{P} .

Розглянемо найбільш простий і розповсюджений варіант виконання операцій обробки: виріб обробляється послідовно на кожному без винятку обладнанні один раз і за одну установку. Якщо ми привласнимо індекси обладнанню відповідно до порядкового номера виконуваної на ньому операції, то позначення послідовності операцій прийме вид:

$$\pi\{1, 2, \dots, j, \dots, J\}.$$

При такій послідовності операцій найбільш природне обладнання розташувати в тім же порядку

$$\Pi^0\{1, 2, \dots, j, \dots, J\}.$$

У цьому випадку довжина траєкторій маніпулювання й, отже, час переміщень схвата робота виявляються близькими до мінімального.

Розглянемо можливі послідовності роботи робота з одним схватом, що обслуговує розташоване в такий спосіб обладнання. Припустимо, що РТК працює в сталому режимі - все його обладнання завантажено й робить обробку виробів (рис. 5.1).

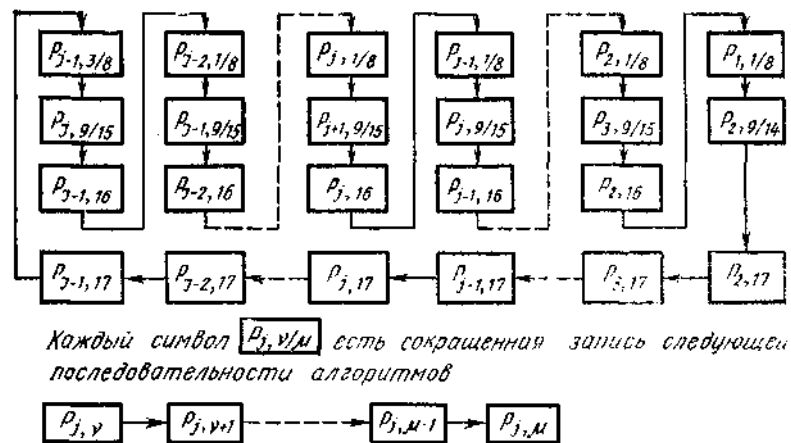


Рисунок 5.1 - Організація роботи РТК

Потім один з верстатів (j-й) закінчив обробку виробу. Робот повинен взяти схватом оброблений виріб, зняти й покласти його, а потім взяти чергову заготовку й установити її в обладнання. При відсутності позиції проміжного зберігання (ПЗ) робот може помістити оброблений виріб тільки в чергове обладнання. Тому звільнення схвата від виробу, обробленого на j-м обладнанні, можливо тільки за умови, що наступне (j+1)-е обладнання до цього моменту вільно. У сталому режимі ця умова виконується тільки для обладнання j=J-1, останнього перед вихідним. (Тут j-J - вихідний пристрій; j=1 - вхідний пристрій).

Після розвантаження (j-1)-го обладнання й передачі виробу вихідному J-му обладнанню з'являється можливість розвантажити (J-2)-е й завантажити (J-1)-е обладнання.

Таким чином, по черзі розвантажуючи й завантажуючи обладнання, робот рухається від останнього (J)-го до (j=1) - першого обладнання. Після завантаження із вхідного (j=1) пристрою (j=2)-го обладнання робот повертається до (j=J-1)-му обладнання.

Послідовність роботи робота з одним схватом при обслуговуванні j-го обладнання, що не має додаткових позицій ПЗ представлена на рис. 5.2.

Содержание алгоритма перехода	Состояние системы $G_{j\mu}$	Положение схвата s_1	Состояние схвата s_2	Состояние оборудования s_3	Протяженность траекторий $l_{j\mu}$	Продолжительность переходов $t_{j\mu}$
Подход от $j+1$ -го к входу j -го оборудования P_{j1}	G_{j1}	$j1$	0	1	l_{j1}	t_{j1}
Ожидание роботом окончания работы j -го оборудования P_{j2}	G_{j2}	$j2$	0	1	—	t_{j2}
Вход в рабочую зону j -го оборудования P_{j3}	G_{j3}	$j2$	0	0	l_{j3}	t_{j3}
Заведение схвата на изделие в j -м оборудовании P_{j4}	G_{j4}	$j3$	0	0	l_{j4}	t_{j4}
Захват изделия схватом робота P_{j5}	G_{j5}	$j4$	0	0	—	t_{j5}
Съем изделия с j -го оборудования, P_{j6}	G_{j6}	$j4$	2	0	l_{j6}	t_{j6}
Выход из рабочей зоны j -го оборудования P_{j7}	G_{j7}	$j5$	2	0	l_{j7}	t_{j7}
Уход от j -го к $(j+1)$ -му оборудованию P_{j8}	G_{j8}	$j6$	2	0	l_{j8}	t_{j8}
Подход от $(j-1)$ -го к j -му оборудованию P_{j9}	G_{j9}	$j7$	2	0	l_{j9}	t_{j9}
Вход в рабочую зону j -го оборудования P_{j10}	G_{j10}	$j8$	1	0	l_{j10}	t_{j10}
Заведение изделия в j -е оборудование P_{j11}	G_{j11}	$j9$	1	0	l_{j11}	t_{j11}
Отпускание изделия роботом P_{j12}	G_{j12}	$j10$	1	0	—	t_{j12}
Снятие схвата с изделия P_{j13}	G_{j13}	$j10$	1	0	l_{j13}	t_{j13}
Выход из рабочей зоны j -го оборудования P_{j14}	G_{j14}	$j11$	0	0	l_{j14}	t_{j14}
Уход от j -го к $(j-1)$ -му оборудованию P_{j15}	G_{j15}	$j12$	0	0	l_{j15}	t_{j15}
Проход мимо j -го оборудования при переходе от $(j+1)$ -го к $(j-1)$ -му P_{j16}	G_{j16}	$j13$	0	0	l_{j16}	t_{j16}
Проход мимо j -го оборудования при переходе от 2-го к $(j-1)$ -му P_{j17}	G_{j17}	$j14$	0	1	l_{j17}	t_{j17}

Рисунок 5.2- Таблица переходів

Тут з 1 по 8 перехід – розвантаження й з 9 по 15 перехід – завантаження j-го обладнання. Для подальшого аналізу послідовності роботи робота в такому РТК виділяють ряд станів системи G_{LM}^{ξ} , що розрізняються між собою значеннями змінних:

$$C_1, C_2, C_3, \dots, \xi.$$

Тут $C_1 = j1, j2, \dots, j\nu, \dots, j17$ відбиває положення схвата в просторі;

$j\nu$ - порядкові номери деяких крапок траєкторій маніпулювання, у яких одні ділянки траєкторій переходять в інші (рис. 5.3).

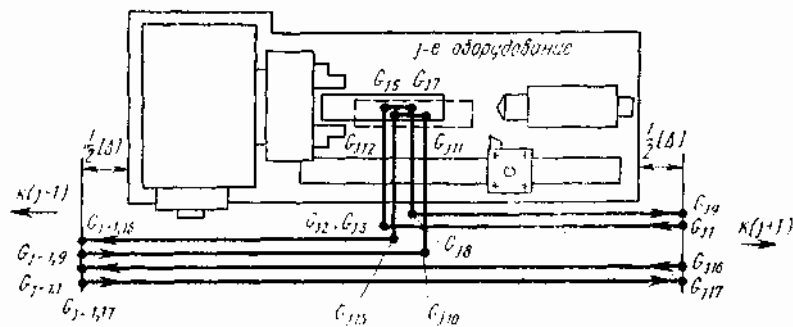


Рисунок 5.3 Траєкторії переміщення схвата робота

Крапка $j17$ дорівнює вилучена від j -го й $(j+1)$ -го обладнання. Звичайно в цих крапках робот робить позиціонування.

C_2 - відбиває стан схвата робота й може приймати три значення:

$C_2=0$ – схват порожній;

$C_2=1$ – у схваті заготовля;

$C_2=2$ – у схваті оброблений виріб.

C_3 - відбиває стан обладнання, поблизу якого перебуває робот і може приймати два значення:

$C_3=0$ – обладнання не працює;

$C_3=1$ – робить обробку виробу.

ξ - відбиває номер загального циклу роботи РТК, при якому кожне обладнання обслуговується роботом один раз.

Переходи P_{jv} - аналогічні поняттю мікроелементів рухів, за допомогою яких формальним образом описують різні техпроцеси, а також алгоритми роботи операторів і роботів.

Якщо відомі параметри траєкторій маніпулювання, то можна знайти довжини ділянок цих траєкторій l_{jv} , що відповідають алгоритмам переходів P_{jv} .

Знаючи швидкості переміщення по цих траєкторіях можна визначити час виконання t_{jv} цих алгоритмів переходів (P_{jv}).

Наочне подання про послідовності роботи робота в часі дає діаграма переміщень його щодо обладнання (рис. 5.4). Власне кажучи, це графа-схема переходів, вершини якої відповідають уведеним станам РТК.

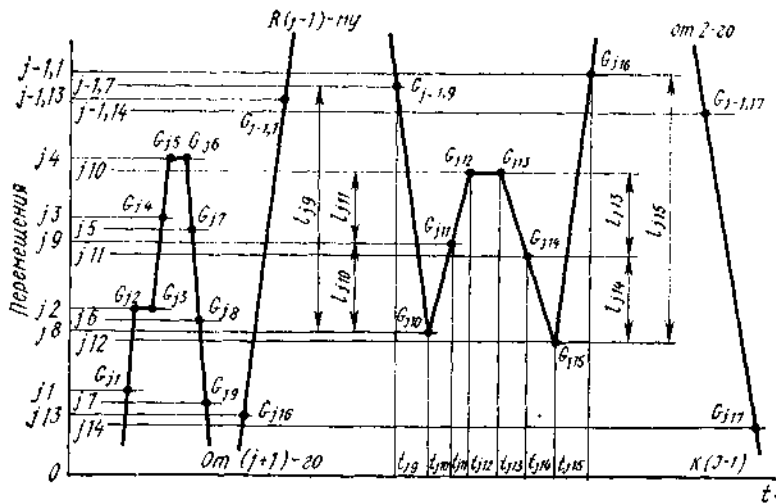


Рисунок 5.4 - Діаграма переміщень схвата робота

Будується діаграма в такий спосіб. Вершини графа, що відповідають положенню робота в тих самих крапках простору, розташовуються на загальних прямих, паралельних осі часу. Причому для більшої наочності порядок розташування цих прямих повинен відповідати порядку розташування відображуваних або крапок на траєкторії маніпулювання, а відстань між прямими бажано витримувати пропорційним відстаням між цими крапками по траєкторіях маніпулювання. Відстані між проекціями вершин на вісь часу повинні бути пропорційні тривалості переходів між цими станами. Вершини графа з'єднані ребрами, що відображають переходи між станами.

Побудова такої докладної діаграми для всього РТК буде досить громіздким. Тому для аналізу послідовності роботи робота на ранніх етапах проектування РТК зручніше користуватися спрощеною діаграмою, на яку наносять тільки найбільш важливі стани систем, пов'язані із взаємним блокуванням (стикуванням) роботи робота й обладнання, що обслуговує їм. Близько розташовані друг до друга крапки позиціонування можуть бути сполучені. Тут же можуть бути нанесені стани роботи обладнання у вигляді відрізків подвійної лінії, що починаються після виходу робота з робочої зони обладнання, і з довжиною, що відповідає тривалості обробки виробу. Побудована в такий спосіб діаграма переміщення робота по обладнанню всього РТК показана на рисунку 5.5.

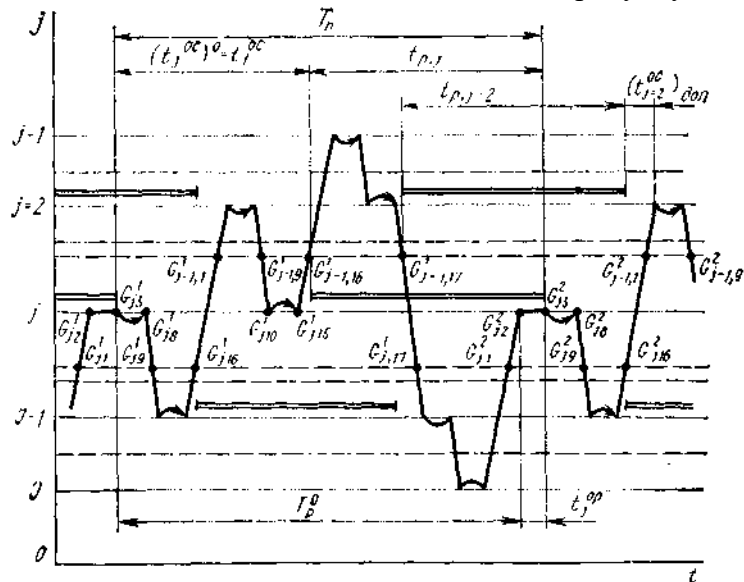


Рисунок 5.5 - Узагальнена діаграма роботи РТК

Подібні діаграми застосовують при описі роботи транспортних систем. Вони дозволяють:

- оперативно аналізувати порядок роботи робота;
- поставити у відповідність стан різних підсистем РТК;

- графічно визначити такт випуску T_p , оброблених виробів із РТК і зрівняти з необхідним $[T_p]$;
- оцінити $t_j^{п.с}$ й $t_j^{п.р}$.

Ці завдання можна вирішувати й за допомогою традиційних циклограм, використовуваних у практиці проектування машин-автоматів. Але для аналізу роботи РТК ці циклограми менш зручні й наочні через їхню перевантаженість інформацією й труднощі відображення стану механізмів з більш ніж двома можливими положеннями (по кожній координаті). Тому циклограми доцільно використати на наступних етапах більше детального пророблення послідовності роботи робота й у тому числі при аналізі тривалості переходів між окремими станами системи.

З наведених на малюнках 5.4 і 5.5 діаграм можна одержати вираження для аналітичної оцінки такту випуску із РТК оброблених виробів:

$$T_B = \sum_j t_j,$$

де $t_j = \sum_v t_{jv}$ - час перебування робота в зоні j -го обладнання, тобто

$$T_B = \sum_j \sum_v t_{jv}.$$

Тоді час простою j -го обладнання чекаючи робота

$$t_j^{п.с} = T_B - t_j^o,$$

де t_j^o - час обробки виробу на j -м обладнанні.

Більшість переходів t_{jv} вхідних в (10.1) і (10.2) можна визначити по довжині відповідної ділянки траєкторії маніпулювання

l_{jv} , і швидкості переміщення по ньому v_v

$$\sum_v t_{jv} = \sum_v \frac{l_{jv}}{v_v}.$$

Більш складно визначити $t_j^{п.р} = t_{j2}$ - очікування роботом закінчення обробки виробу на j -м обладнанні. Цей час залежить від співвідношення часу обробки виробів на своєму обладнанні $t_j^{п.о.}$ й тривалості обслуговування роботом усього обладнання РТК.

Тут $t_j^{п.о.}$ -деяка ідеальна величина обробки виробів на встаткуванні.

$$t_j^{п.о.} = T_B^H - (t_j^{п.с.})_{\min},$$

де T_B^H - такт випуску виробів із РТК при відсутності простою робота $t^{п.р}$;

$(t_j^{п.с.})_{\min}$ - мінімальний час простою обладнання чекаючи поки робот робить його розвантаження й завантаження.

З діаграм треба, що час

$$(t_j^{п.с.})_{\min} = \sum_{v=3}^{v=14} t_{jv} + \sum_{v=1}^{v=8} t_{j-1,v} + \sum_{v=9}^{v=15} t_{j+1,v}.$$

Якщо для всіх $j=1,2,\dots,J$ дотримується умова $t_j^o < t_j^{п.о.}$, то робот не очікує закінчення роботи обладнання, а обладнання очікує робот деяке додаткове в порівнянні з \min час

$$(t_j^{п.с.})_{\text{док}} = T_B - t_j^o - t_j^{п.с.}.$$

Коли для одного або декількох верстатів дотримується умова $t_j^o = t_j^{н.о.}$, то для цього обладнання спостерігається ідеальне узгодження часу його роботи й швидкодії робота. у цьому випадку до моменту підходу робота до j-му обладнання воно закінчує обробку виробу.

Якщо хоча б для одного обладнання виконується умова $t_j^o > t_j^{н.о.}$, то робот змушений очікувати, поки обладнання закінчить обробку виробу. Причому після декількох циклів очікування роботом $t^{п.п.}$ буде спостерігатися тільки в одного j=k-го обладнання, що має

$$\text{найбільшу різницю } \Delta t = t_j^o - t_j^{н.о.}.$$

Час очікування роботом закінчення обробки виробу на обладнанні

$$t_{j=k}^{п.п.} = t_j^{п.с.} + t_j^o - T_B.$$

Час $t_{j=q}^{п.п.}$ можна підставити в (10.1) для аналітичного визначення T_B й наступної оцінки продуктивності РТК.

Організація роботи РТК з чарунками ПЗ

Варіанти організації проміжного зберігання виробів

У момент розвантаження j-го обладнання РТК без осередків ПЗ, чергова заготівля перебуває в (j-1)-м устаткуванні, а оброблений виріб в (j+1)-м устаткуванні. Виконуючи ці перестановки, робот неодноразово переміщається в різних напрямках між устаткуванням. Причому приблизно половина цих рухів відбувається без виробів - холості ходи. Крім того, велика кількість рухів робота приводить додатковому простою встаткування чекаючи розвантаження й завантаження.

Найбільш радикальний шлях зменшення простою - введення поблизу обладнання двох додаткових позицій (осередків) ПЗ виробів у момент його розвантаження й завантаження. Це дозволяє після розвантаження j-го встаткування виробу відправити в одну з осередків ПЗ, а з іншої взяти заготівлю й установити в устаткування. Економія часу при цьому становить 25-40% у порівнянні з вищерозглянутим варіантом.

Характерні варіанти організації ПЗ залежно від рухливості номерків:

- 1) комірки нерухомі й установлені поруч із устаткуванням або усередині його робочої зони;
- 2) у вигляді двох схватів, жорстко встановлених на руці робота;
- 3) на двох руках з незалежним приводом;
- 4) на платформі, що може або зміщатися щодо руки поступально, або повертатися на кут $180^{про}$ (у результаті такого повороту схвати міняються місцями).

При проектуванні РТК необхідно вибирати найбільш доцільну систему ПЗ. У тих випадках, коли виробу мають більші габаритні розміри й маси або потрібно їхня переорієнтація, або сильно стиснута робоча зона встаткування, застосовують системи без додаткових осередків ПЗ, з нерухомими комірками або зі схватами на двох руках.

У міру переходу від системи без додаткових чарунків ПЗ до системи із двома схватами на платформі швидкодія збільшується (за рахунок ускладнення робота й допоміжних пристроїв).

Але системи із двома схватами на одній руці вимагають більше просторих робочих зон устаткування, значно збільшують необхідну вантажопідйомність руки робота. Їхнє застосування утруднене при необхідності переорієнтації виробу.

Однак їхня швидкодія визначає їхнє широке застосування.

ЛЕКЦІЯ 6

Вибір і компоунання РТК і орієнтація встаткування

Багато ХТО РТК містять трохи роботів. Їхню кількість збільшують у наступних випадках:

1. Один робот не встигає обслужити встаткування за необхідний час: $T_p > [T_p]$.
2. Знімання деталей одним універсальним схватом на різних операціях забезпечити не вдається.
3. Величини ходів одного робота не дозволяють обслужити все встаткування РТК, а модернізація робота з метою збільшення ходу неможлива.

На практиці все встаткування РТК розбивається на кілька груп, кожна з яких обслуговує один робот. При такій організації РТК передача виробу від однієї ділянки до іншого здійснюється такими способами:

1. Безпосередньо зі схвата одного робота в схват іншого.
2. У технологічному встаткуванні.
3. На додатковій позиції передача (ПП).

Перший спосіб використовують рідко, тому що потрібно дві різні поверхні для захоплення виробу роботами.

Частіше використовують другий спосіб - передача виробу в технологічному встаткуванні. Розглянемо РТК із п'ятьма верстатами C_1 , входом V_x , виходом V_{yx} і двома роботами P_1 і P_2 (рис. 6.1).

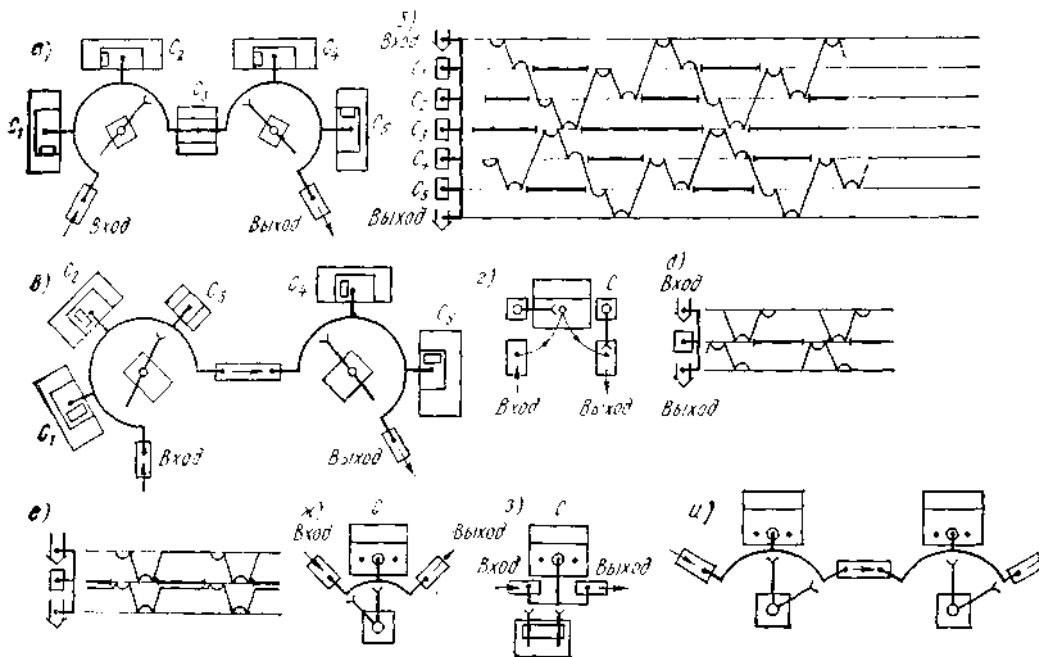


Рисунок 6.1- Організація РТК

Перший робот P_1 одержує заготовлю на вході РТК, обслуговує перший 31 і другий 32 верстати, завантажує третій верстат 33 і йде на повторний цикл.

Другий робот P_2 розвантажує 33, обслуговує 34 і 35 і укладає готові вироби на вихід РТК (V_{yx}).

Т. к. кількість, розміри й форма встаткування, що обслуговує першим і другим роботами можуть бути різними, то час обслуговування кожним роботом своєї групи буде по-різному. Отже після чергового циклу обслуговування встаткування один з роботів підійде до позиції передачі виробу раніше іншого й будуть змушені простоювати якийсь час $t^{п.р. доп.}$ чекаючи іншого:

$$t^{п.р. доп.} = (T_p^o)' - (T_p^o)'' ,$$

де $(Tr^0)'$ и $(Tr^0)''$ - такти випуску виробів ділянками РТК обслуговувані першим і другим роботами, при відсутності взаємного очікування. Тому ПП потрібно вибирати таким чином, щоб час очікування роботами один одного було мінімальним.

При третьому способі передача виробів між роботами виробляється на додатковій позиції передачі: це може бути комірка ПЗ (стіл, призми, пасивні або активні схвати), допоміжний передавальний або транспортуючий пристрій.

Якщо розглядати додаткову ПП як деяке встаткування з нульовим або малим часом обробки, то він аналогічний другому способу. При цьому транспортуючі або передавальні пристрої можуть знизити вимоги до роботів насамперед по швидкодії й ходам, а також поліпшити компоновання всього РТК.

Однак, у цьому випадку потрібні додаткові витрати на створення допоміжних ПП.

Через складність завдання розміщення РТК її доводиться вирішувати методами послідовних наближень: спочатку знаходять базове компоновання, що потім поліпшують шляхом варіювання тих або інших параметрів. Рекомендують два типи базових компоновань. Базове компоновання РТК першого типу (рис. 6.2).

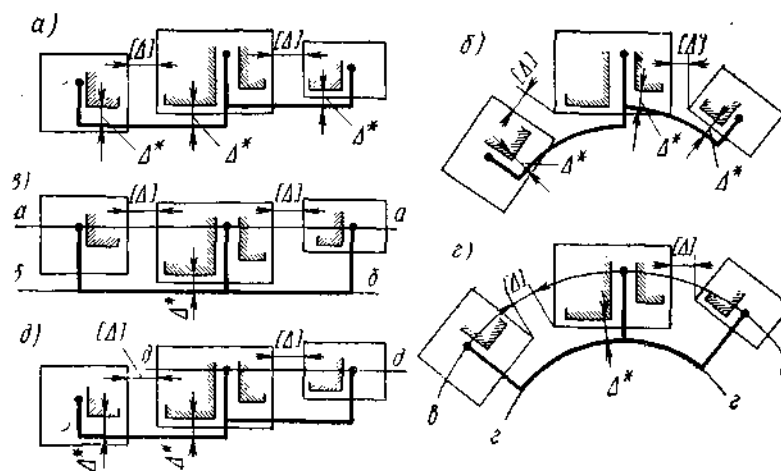


Рисунок 6.2 - Базові чарунками РТК

Її будують таким чином, щоб відстані між сусіднім устаткуванням і траєкторіями переміщення схватів від одного встаткування до іншому минулому мінімальними припустимими $[(\Delta)]$ з погляду роботи операторів, а також виключати зіткнення при маніпулюванні, що враховується виправленням $((\Delta))$.

Така побудова РТК забезпечує мінімальну довжину траєкторії маніпулювання (при заданій орієнтації встаткування й виходу з нього). Якщо припустити однакову швидкість маніпулювання на всіх ділянках, то одержимо мінімальний час маніпулювання поблизу кожного встаткування й при обслуговуванні РТК у цілому. Таке компоновання мають звичайно РТК із порталними позиційними ПР.

Базове компоновання РТК другого типу (малюнок 6.2).

Її будують таким чином, щоб максимальна кількість крапок позиціонування при маніпулюванні робота в робочій зоні встаткування розташовувалося на загальній прямій або дузі в, а перехід між устаткуванням здійснювався по траєкторіях, що лежить на загальній прямій б-б, паралельно прямій а-а або на дузі г-г, концентричній дузі в-в. причому відстані між сусіднім устаткуванням також доцільно виконувати мінімально припустимим $[(\Delta)]$ з погляду зручність обслуговування й виключення зіткнень. Така побудова РТК забезпечує мінімальна кількість крапок позиціонування, що особливо важливо при використанні роботів із цикловою системою керування, тобто спрощене керування роботом і РТК.

Далі базові компоновання можна коректувати в напрямку скорочення тривалості маніпулювання шляхом варіювання швидкостей маніпулювання на різних ділянках, а також обліках їхньої залежності від вильотів руки.

Можливі комбінації компоновань першого й другого типів, при яких за рахунок незначного збільшення довжини траєкторії маніпулювання, досягається істотне скорочення кількості крапок позиціонування (малюнок).

Побудова рухів робота починають із аналізу місцевих траєкторій маніпулювання - траєкторій переміщення робочого органа робота поблизу робочої зони окремого встаткування.

На траєкторіях маніпулювання можна виділити наступні характерні ділянки:

- 1 - установку й знімання виробу з устаткування;
- 2 - сполучення з виробом і знімання схвата з виробу;
- 3 - вхід і вихід схвата з робочої зони встаткування;
- 4 - переміщення між устаткуванням (підхід, відхід, рух повз устаткування);
- 5 - переміщення, зв'язані зі зміною схватів.

Склад і чергування ділянок маніпулювання однозначно визначаються порядком розташування встаткування і його обслуговувань ПР. потрібно мати на увазі, що деякі ділянки траєкторій залежно від конкретної форми встаткування можуть виключатися. Наприклад, якщо після знімання схвата або виробу відразу можливий рух до наступного встаткування, то руху вх. і вих. з робочої зони не потрібні.

Форма ділянок траєкторії звичайно прямолінійна або близька до неї, невеликі скривлення траєкторії в Р с полярною системою координат при загальному аналізі місцевих траєкторій можна не враховувати.

Таким чином, при проектуванні місцевих траєкторій можна варіювати тільки їхньою орієнтацією й довжиною. Безліч можливих типів місцевих траєкторій утвориться різними комбінаціями орієнтації окремих їхніх ділянок.

Для опису орієнтації ділянок місцевих траєкторій уведемо систему координат устаткування $X_J Y_J Z_J$. Її початок (0_J) розташовуємо відповідно до баз оснащення встаткування: вісь Z_J – вертикальна, X_J – спрямована до робочого місця оператора, вісь Y_J – по напрямку переміщення ПР між устаткуванням.

1. Установка й знімання виробу

Для більшості видів технологічного встаткування характерні 3 види орієнтації руху знімання (установки) виробу з устаткування:

- по осі X_J – печі, фарбувальні камери, преси гарячого штампування;
- по осі Y_J – токарські верстати й т.п.;
- по осі Z_J – вертикально-фрезерні, зубофрезерні, плоскошліфувальний й т.п., преси, операції укладання в тару, контейнери, магазини, завантажувальні пристрої.

2. Сполучення й знімання схвата з виробу

Орієнтації рухів знімання (сполучення) схвата з виробу можуть бути більше різноманітними:

- по осях X_J і Y_J у позитивному й негативному напрямках;
- по осі Z_J , як правило, тільки в позитивному напрямку.

По характері руху щодо виробу схвати діляться на два види:

- бічний: знімається з виробу перпендикулярно напрямку руху знімання виробу з устаткування;
- торцевий: знімається з виробу в тім же напрямку, що й сам виріб з устаткування.

Бічні схвати застосовують частіше, тому що вони звичайно дозволяють сполучити рух знімання схвата з виробу з рухом виходу з робочої зони встаткування.

Торцеві схвати використовують у тих випадках, коли також здійснюється таке сполучення рухів, і, крім того, коли захоплення за деталі за бічні поверхні неможливий (через малі розміри, незручної форми або перешкод з боку технологічного встаткування, а також при захопленні за внутрішні поверхні).

3. Вхід і вихід схвата з робочої зони

Орієнтацію по осі X_J застосовують найчастіше, тому що вона збігається із природним напрямком підходу робітника-оператора при традиційному обслуговуванні встаткування (схема а).

Вихід з устаткування по осі Y_j (схема б), у негативному напрямку осей X_j (схема в) і Y_j (схема г) здійснюється рідше, через конструкцію встаткування.

Переваги схем б, в, м: вільний підхід для настроювання; можливість ручного завантаження-розвантаження.

Орієнтацію виходу по осі Z_j (схеми д і е) застосовують при підвісній установці робота на порталі. При підложній установці Р такий вихід доцільний, коли істи можливість скоротити траєкторії маніпулювання (використовуючи, наприклад, малі розміри перешкод по вертикалі).

Довільна орієнтація виходу (не співпадаюча з осями координат) застосовується:

- при обслуговуванні одного встаткування декількома роботами;
- при застосуванні дворуких роботів;
- застосуванні роботів зі сферичною або складною полярною системою координат;
- при малих розмірах роботів у порівнянні з обслуговує обладнання, що.

Звичайно відхилення цих рухів від природних осей устаткування незначні й на ранніх етапах проектування ними знехтувати.

4. Підхід-відхід до встаткування

На практиці зустрічаються 4 види орієнтації рухів підходу (відходу) від попередні до наступного встаткування: у позитивному й негативному напрямку осей X_j і Y_j .

Всі можливі види місцевих траєкторій утворюються комбінаціями входу-виходу й підходу-відходу. Однак не всі вони мають практичний сенс.

Основні варіанти комбінацій розглянуті вище. З їхнього аналізу треба:

1. орієнтація руху переходу між устаткуванням однозначно визначає орієнтацію ступеня рухливості Р, що виконує цей рух, і, отже, орієнтацію Р щодо встаткування.
2. Різні варіанти комбінацій руху в загальному випадку мають різну довжину траєкторій маніпулювання.

Тому доцільно вибрати найкращі комбінації з погляду наступних критеріїв:

- довжина траєкторії маніпулювання;
- час переміщення по цих траєкторіях;
- зручність обслуговування встаткування оператором або наладчиком.

При аналізі місцевих траєкторій може виявитися більше зручним розглядати варіанти комбінацій рухів не щодо встаткування, а – робота. Тоді вводиться система координат робота $X_R Y_R Z_R$ (малюнок).

Вісь Y_R – орієнтована по напрямку переходу осі j -го до $(j+1)$ -му встаткування (у випадку полярної системи координат – по напрямку вектора швидкості схвата в момент його відходу від крапки виходу з робочої зони j -го до $(j+1)$ -му встаткування).

Вісь X_R – орієнтована по напрямку висування руки при підложном виконанні роботи або довільно при підвісному виконанні.

Вісь Z_R - вертикальна.

Можливі 4 основних варіанти орієнтації встаткування щодо робота. Ці варіанти відрізняються друг від друга значеннями кута α між осями X_R і X_j : $\alpha=0;90;180;270^{\text{ПРО}}$, і відбивають орієнтацію руху переходу між устаткуванням (при детальному проектуванні РТК можуть виявитися доцільними іншого значення α).

ВИСНОВКИ.

1. Розглянуто базові компонування РТК і основні види орієнтації встаткування.
2. Проведено аналіз і розкриті переваги й недоліки схем.
3. Дано рекомендації із застосування розглянутих компонувань і орієнтації устаткування.

ЛЕКЦІЯ 7 ПРИКЛАДИ ПОБУДОВИ ПЛАНУВАННЯ РТК

Автономний гнучкий виробничий модуль різання заготівель із сортового прокату

Короткий опис об'єкта

Гнучкий виробничий модуль (ГВМ) різання заготівель із сортового прокату працює в умовах заготівельного виробництва, забезпечує заготівлями механооброблюючі, ковальсько-пресові ділянки й може бути включений зі склад гнучкої виробничої системи більше високого рівня.

Структурно автономний гнучкий виробничий модуль різання заготівель із прокату являє собою сукупність оперативних накопичувачів прокату й заготівель, відрізного модуля й системи керування (рис. 7.1).

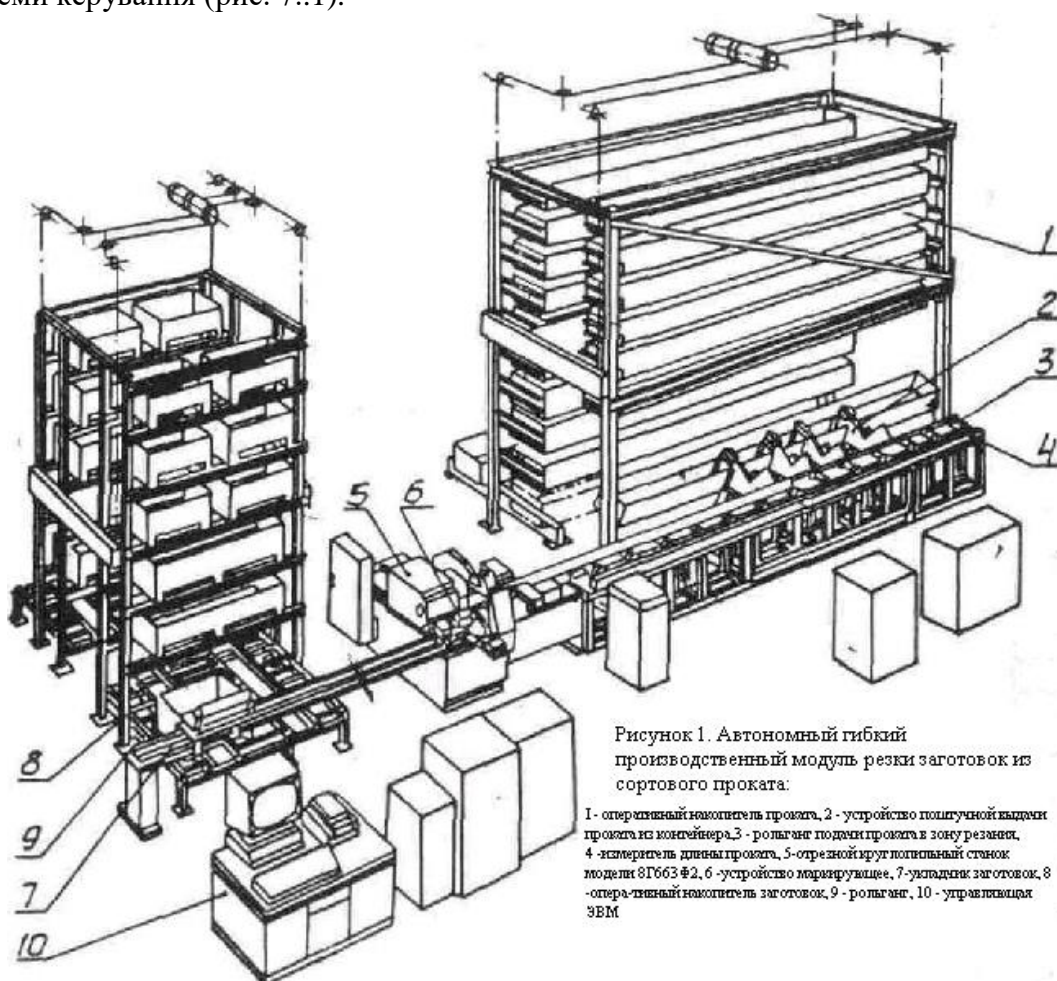


Рисунок 7.1 - Автономний гнучкий виробничий модуль

У складі відрізного модуля в якості основного технологічного встаткування може бути застосоване будь-яке встаткування із програмним керуванням, що здійснює поділ прокату на заготівлі, у тому числі відрізни верстати, прес-ножиці, холоднолом і ін. Взаємодія основного технологічного встаткування з оперативним накопичувачем прокату забезпечує комплекс поштучної видачі прокату, а з оперативним накопичувачем заготівель - комплекс сортування заготівель.

Комплекс поштучної видачі прокату здійснює прийом контейнера із прокатом з оперативного накопичувача, поділ і поштучну видачу прокату в зону різання, вимір довжини прутка, прийом залишку прутка з верстата й укладання його в контейнер, повернення контейнера в накопичувач.

У складі комплексу поштучної видачі передбачений: пристрій поштучної видачі прокату, приводний рольганг подачі прокату в зону різання, вимірник довжини прутка, гідропривід і система змащення, електроустаткування й система керування .

Механізми пристрою поштучної видачі прокату забезпечують роботу в трьох режимах: поштучна видача прокату з контейнера; підготовка до зміни контейнера; поштучне укладання прокату в контейнер.

Механізми рольганга подачі прокату в зону різання забезпечують роботу у двох режимах : подача прокату в зону різання й подача прокату в зону укладання.

Вимір довжини виробляється по окремій програмі.

Для реалізації названих режимів передбачений набір програм окремих механізмів. Кожна програма обробляється в напівавтоматичному циклі. Передбачено можливість повної автоматизації комплексу.

Комплекс сортування заготівель виконує маркірування заготівель, що відрізають, п'ятизначним цифровим кодом, укладання їх у тару з урахуванням довжини й зміну тар при сортуванні (див.поз.6-9 на рис.7.1) .

Оперативні накопичувачі призначені для прийому, розміщення в осередках стелажа на зберігання й видачі вантажів, розміщених у тарі. Використати їх рекомендується в технологічних лініях для зберігання оперативного запасу заготівель, напівфабрикатів, виробів, інструментів, технологічного оснащення, прокату, допоміжних матеріалів та ін. Як транспортна одиниця можуть бути використані: тара ящикового типу, піддони, касети для орієнтованого хропіння виробів. З огляду на, що оперативні накопичувачі розробляються й виготовляються як спеціальне допоміжне устаткування, розміри тари можуть відрізнятись від стандартних.

Конструктивно (див. рис.. 2) оперативний накопичувач складається з вантажної платформи, що переміщається у вертикальному напрямку уздовж вертикального ряду осередків стелажа.

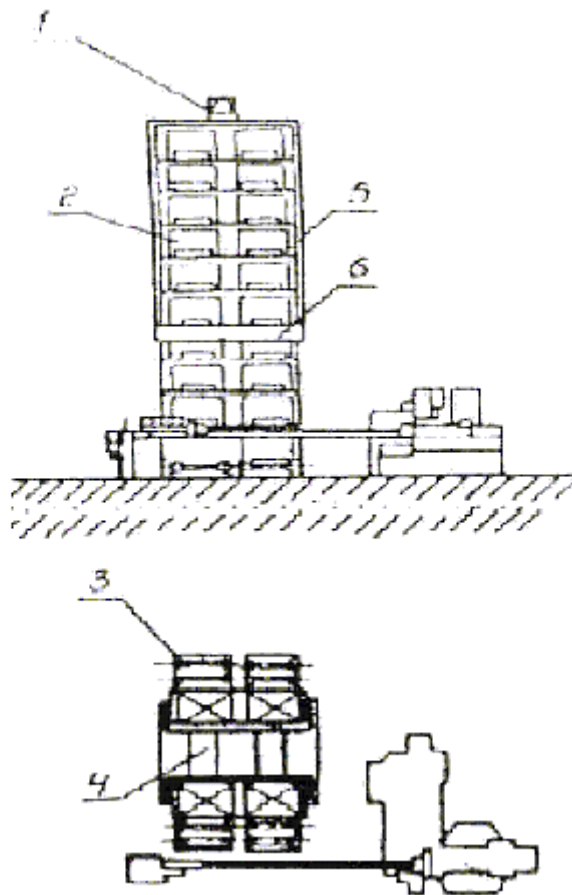
Для переміщення тари з вантажної платформи в осередок стелажа й назад остання оснащена одним або декількома телескопічними захопленнями. Якщо кількість осередків, що обслуговують, у горизонтальній площині перевищує кількість телескопічних захоплень, вантажна платформа постачена механізмом переміщення каретки з телескопічними захопленнями уздовж горизонтального ряду осередків, що обслуговує, стелажа. Для прийому (видачі) тар одна або кілька осередків нижнього горизонтального ряду оснащуються роликівим конвеєром або іншим механізмом аналогічного призначення.

У складі автономних модулів різання (рубання) заготівель оперативні накопичувачі використовуються як для зберігання заготівель, так і для зберігання оперативного запасу прокату від 10 до 30 типі -розмірів.

Конструктивно оперативний накопичувач може бути об'єднаний з автоматизованим складом, що обслуговують краном-штабелером. У цьому випадку як осередки для зберігання оперативного запасу тар використовуються осередки стелажа автоматизованого складу. При таким конструктивному виконанні одна або кілька осередків стелажа виділяються для обміну вантажними одиницями між автоматизованим складом і оперативним накопичувачем.

У заготівельному виробництві застосування оперативних накопичувачів у сполученні з автоматизованими складами дозволяє здійснити сортування заготівель по заданій ознаці (по замовленнях, споживачам, що впливає технологічної операції й ін.) в умовах дрібносерійного виробництва. На ділянках із двох-трьох верстатів оперативні накопичувачі замінюють автоматизований склад заготівель.

Система керування напівавтоматична адресна, що передбачає видачу вантажної одиниці й уведення на зберігання за допомогою пульта адресування. При необхідності синхронізації роботи оперативного накопичувача й технологічного встаткування, що обслуговує, може бути створена автоматична система керування, взаємодіюча із системою керування встаткування, що обслуговує. Оперативні накопичувачі великої ємності можуть бути постачені системою обліку вантажів.



1-механізм підйому вантажної платформи; 2-тара; 3-роликів конвеєр; 4 - телескопічне захоплення; 5-стелаж; 6-вантажна платформа

Рисунок 7. 2 -Оперативний накопичувач:

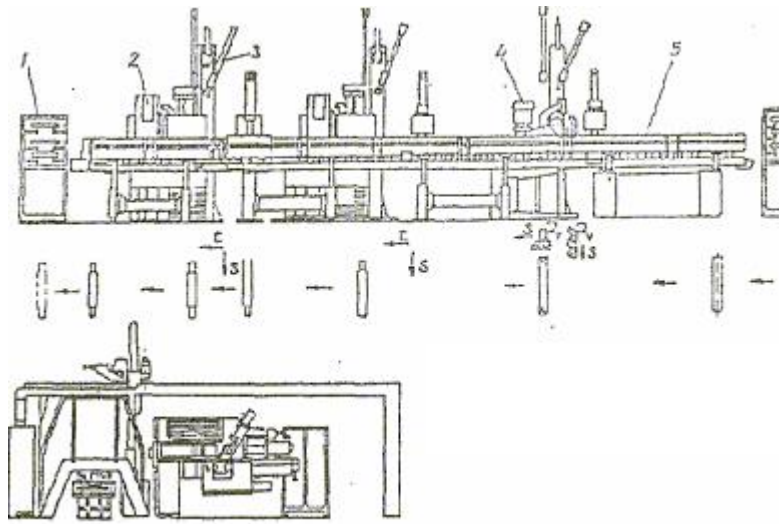
Система керування всього автономного модуля різання заготовель забезпечує роботу оперативного накопичувача прокату, комплексу поштучної видачі прокату, комплексу сортування заготовель і оперативного накопичувача заготовель у напівавтоматичному й налагоджувальному режимах. Передбачено можливість переходу на керування роботою модуля в автоматичному режимі. Для цього до складу модуля повинна бути передбачена мікро-овм, що забезпечує видачу завдань кожному із пристроїв у реальному масштабі часу. Уведення прокату в ОНВ і висновок заготовель із ОНЗ виробляється з тильної сторони. При необхідності модуль може бути оснащений пристроєм орієнтованого укладання заготовель у касету.

РОБОТИЗОВАНА ДІЛЯНКА ФРЕЗЕРНОЇ-ЦЕНТРУВАЛЬНОЇ Й ТОКАРСЬКОЇ ОБРОБКИ ОСЕЙ РОЛИКІВ

Короткий опис об'єкта

Роботизована ділянка фрезерно-центрувальної й токарської обробки призначена для автоматизованого виготовлення осей роликів. Він складається з верстатів-напівавтоматів, промислових роботів, зв'язаних єдиною транспортною системою (рис.7..3) .

Механообробка осей містить у собі підрізування торців і зацентрування отворів на фрезерно-центрувальному напівавтоматі мод. МР71М (поз.4) . Наступна обробка зовнішнього діаметра й цапф виконується на двох токарських напівавтоматах з гідрокопіювальним супортом мод. ІМ 473-1 (.поз.2) .



1- контейнер-накопичувач; 2- токарський напівавтомат; 3 - промисловий робот; 4- фрезерно-центрувальний напівавтомат; 5- автоматизована транспортна система
Рисунок 7. 3 - Автоматизована лінія обробки осей роликів:

Автоматизована транспортна система КР-20 (поз.5) являє собою касетно-роликівий конвеєр, що має завантажувальний пристрій, а також пристрій для контролю зацентрування осей. Транспортна система забезпечує подачу деталей від верстата до верстата й служить міжопераційним накопичувачем деталей, працює за принципом заповнення порожнеч і здійснює зв'язок роботів з верстатами.

Кожний верстат обслуговується порталним роботом мод "Пирин" (Болгарія).

Застосування роботизованої ділянки у виробництві підвищує коефіцієнт використання верстатів на 10 - 15%, вивільняє трьох робітників-верстатників, поліпшує умови праці.

АВТОМАТИЧНА ЛІНІЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ВАЛИКІВ ГАЛЬМОВИХ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНИХ ВАГОНІВ

Короткий опис об'єкта

Лінія механічної обробки валиків гальмових систем залізничних вагонів призначена для механічної обробки осей гальмової системи важких вантажних залізничних вагонів. Автоматична лінія (рис.7.4) складається із завантажувального бункера 14, фрезерно-центрувального напівавтомата II, токарського напівавтомата 6, свердлильного напівавтомата I. Верстати-напівавтомати оснащені маніпуляторами 10,7 і 2 відповідно. Між завантажувальним бункером і верстатами встановлені живильники 5, перед кожним верстатом є сковзала-накопичувачі 13,9 і 4 з отсекувач 12,8 і 3.

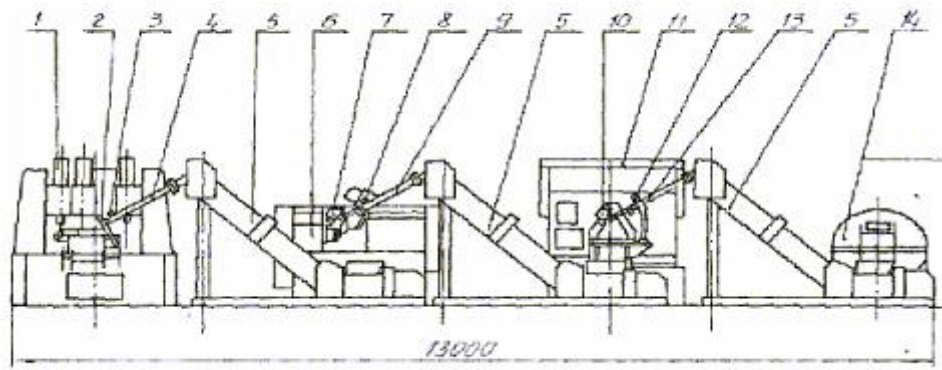


Рисунок 7. 4 - Автоматична лінія механічної обробки осей гальмової системи вантажних залізничних вагонів

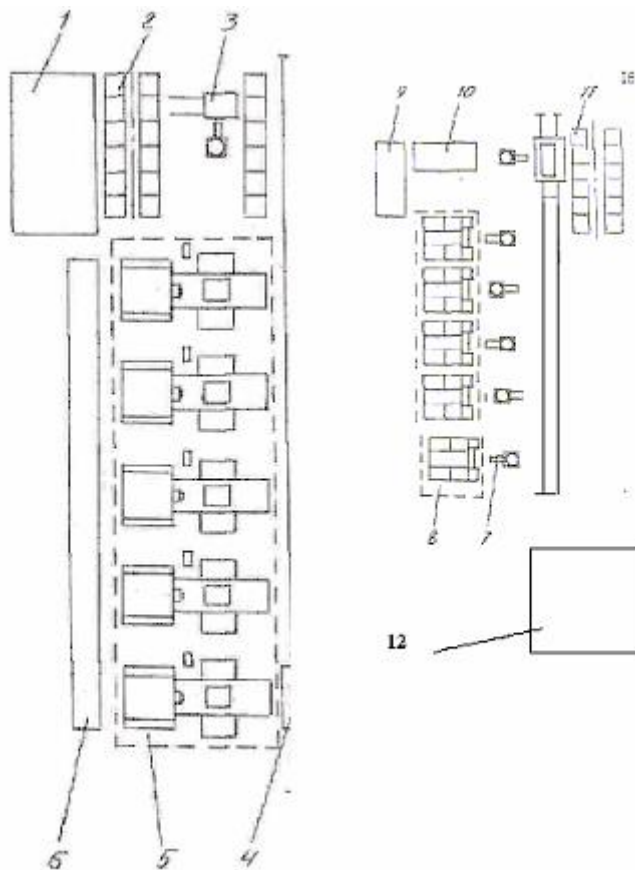
У завантажувальний бункер заготівлі завантажуються цеховим транспортом. Завантажувальний бункер поштучно видає заготівлі в живильник. Живильник транспортує заготівлі в сковзало-накопичувач 13 фрезерно-центрового напівавтомата. Отсікувач 12 поштучно видає заготівлі, маніпулятор 10 завантажує їх у фрезерно-центрувальний напівавтомат II, що фрезерує торець заготівлі й свердлить центровий отвір. Маніпулятор забирає заготівлю із фрезерно-центрувального напівавтомата й передає в живильник, що транспортує її в сковзало-накопичувач 9 токарського напівавтомата 6. Отсікувач 3 сковзала накопичувача 9 поштучно видає заготівлі, маніпулятор 7 завантажує їх у токарський напівавтомат 6, що проточує стрижень осі поздовжнім супортом, підрізає торець заготівлі й фаску поперечним супортом. Маніпулятор забирає заготівлю з токарської підлоги-автомата й передає в живильник, що транспортує її в сковзало-накопичувач 4 свердлильні напівавтомати I. Отсікувач 3 сковзала-накопичувачі 4 поштучно видає заготівлі, маніпулятор 2 завантажує їх у затискні тиси свердлильного напівавтомата. На свердлильному напівавтоматі свердлиться поперечний отвір і знімаються фаски в цьому отворі. Повністю оброблена деталь вивантажується в цехову тару.

ГНУЧКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ВИРОБНИЧА ДІЛЯНКА МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ УНІВЕРСАЛЬНИХ СКЛАДАЛЬНИХ ПРИСТОСУВАНЬ (УСП)

Короткий опис об'єкта

Область застосування ділянки - механічна обробка корпусних і базові деталей УСВ. На ділянці виробляється обробка 60 найменувань деталей.

Ціль створення гнучкої експериментальної виробничої ділянки ГЕД - підвищення ефективності використання металообробних верстатів, підвищення продуктивності праці, вивільнення робітників і підвищення культури виробництва за рахунок застосування передових технологічних процесів, а також автоматизації й механізації забезпечення робочих місць заготівлями, пристосуваннями й інструментом, установки (зняття/ деталей на технологічне встаткування, очищення й розмагнічування деталей, керування технологічним процесом. Функціонально й територіально ГЕД складається із двох самостійних ділянок - абразивної й лезвійної обробки (рис.7.. 5),



1- УВК; 2-ТНСЗ-1; 3- пункт монтажу заготівель на супутники; 4- транспортний візок; 5- ділянка лезвійної обробки; 6- система видалення стружки; 7- маніпулятор МСП-250; 8- ділянка абразивної обробки; 9- відділення розмагнічування, мийки, сушіння виробів; 10- контрольно-вимірювальне відділення; 11-ТНСЗ-2; 12-ділянка підготовки СОЖ

Рисунок 7. 5 - Гнучка виробнича ділянка механічної обробки корпусних деталей УСВ:

До складу ділянки лезвійної обробки входить:

відділення механічної (лезвійної) обробки;
автоматизована транспортно-накопичувальна система супутників (ТНСЗ-1);
автоматизована транспортно-накопичувальна система заготівель (ТНСЗ-2);
пункт вводу-висновку заготівель деталей;
відділення монтажу (демонтажу) оброблюваних деталей на супутники;
пристрій очищення супутників з деталями від стручки й СОЖ;
система видалення стручки;
маніпуляційна система.

До складу ділянки абразивної обробки входить :

відділення механічної (абразивної) обробки;
автоматизована транспортно-накопичувальна система заготівель (ТНСЗ-2);
пункт вводу-висновку заготівель деталей;
відділення розмагнічування, мийки, сушіння, консервації й упакування;
контрольно-вимірювальне відділення;
слюсарне відділення;
маніпуляційна система.

Обдирання заготівель базових деталей УСВ, підготовка технологічних баз і термообробка виконуються поза ділянкою.

Заготівлі подаються цеховим транспортом на пункт уведення -висновку, інформація про їх передається в ЕОМ і подальший хід процесу обробки й переміщення деталей управляється обчислювальним комплексом (УВК) . Деталі встановлюються в тару й уводяться на зберігання в накопичувач ТНСЗ-1. По сигналі УВК тара з деталями видається

у відділення монтажу, де деталі кріпляться на супутники, а потім за допомогою передатного візка ТНСС доставляються на механізм, що подає, робочих місць, з якого передаються на стіл верстата для механічної обробки. По закінченні механообробки деталь на супутнику очищається й проводить контроль на пункті технічного контролю. Потім у відділенні монтажу демонтується із супутника й направляється на зберігання в накопичувач до виклику на наступну операцію. На ділянці абразивної обробки деталі подаються на робочі місця партіями в контейнерах і маніпулятором МСП-250 установлюються на стіл верстата.

Після завершення механообробки деталі надходять у відділ розмагнічування, мийки, сушіння, консервації й упакування й видаються через пункт вводу-висновку в заводський склад готової продукції.

До спеціального устаткування ГАУ ставляться транспортні накопичувальні системи на базі транспортних роботів різного функціонального призначення по обслуговуванню верстатів ІС-300 і для доставки стандартної тари 300x1200 мм до робочих місць. Транспортні роботи можуть управлятися в автоматичному режимі від УВК, у підлозі-автоматичному режимі - з пульта диспетчера й у налагоджувальному режимі - з виносний пульта.

ЛЕКЦІЯ 8

Допоміжні обладнання РК.

Для забезпечення роботи технологічного обладнання й роботів потрібні, як правило, різноманітні допоміжні пристрої (сервісне обслуговування РК), що виконують наступні функції:

1. проміжне нагромадження;
2. зберігання;
3. поштучну видачу роботів й приймання від нього виробів;
4. допоміжне транспортування;
5. проміжне поштучне зберігання; базування, орієнтацію.

Важливим моментом при проектуванні РТК є. Забезпечення харчування робота виробами. Його ціль - упорядкування розташування виробів, що подаються під захоплення.

Застосування у виробництві ПР без організації робітничого середовища й автоматичних завантажувальних пристроїв (АЗУ), як правило, не дає істотного економічного ефекту, оскільки не звільняє працівників від завантажувальних операцій, а лише полегшує їхню працю або робить його менш небезпечним.

У загальному випадку залежно від ступеня організації робочої (виробничої) середовища виділяють РТС, що функціонують в організованому середовищі, частково організованій і неорганізованому середовищу.

Організаційне середовище – чітка взаємна орієнтація в просторі з точним розташуванням по ознаці подоби форми й розмірів. Прикладом такої організації може служити розташування патронів у кулеметній стрічці.

Частково організовані деталі, наприклад, при розміщенні циліндричних втулок на горизонтальній поверхні стола в один шар. Але положення кожної деталі на площині орієнтації виявляється абсолютно випадковим.

Зовсім не організоване середовище характеризується хаотичним взаємним розташуванням деталей. Наприклад, тобто ті втулки навалом завантажені в тару.

У загальному випадку виділяють два способи організації середовища.

Перший полягає в тому, що деталі упорядчено й одночасно розміщені на деякій ділянці площі або простору.

Другий – всі деталі розміщуються по черзі (послідовно) в одному місці (крапці) простору.

Для простоти конструкції робота й програми його роботи найбільше доцільно підготовляти заздалегідь (повністю або частково) об'єкти, що обслуговують їм. Це дозволяє застосувати на різних технологічних операціях роботи першого покоління, тобто найпростіші роботи-позиціонери. Це забезпечує високу економічність і надійність виробництва.

В умовах не повністю організованого середовища робот захоплює не повністю зорієнтовані деталі, остаточно орієнтуючи їх за допомогою власного запам'ятовувального й обчислювального пристрою. При цьому, ПР повинен мати розвинену сенсорну й тактильну системи, для одержання інформації про клас деталей, про покоління їх у просторі й один одного, якості виготовлення й т.д.

У неорганізованому середовищі в особливо складних випадках ПР оснащується ЕОМ для розпізнавання об'єктів. Такі завдання посилені більше складним адаптивним або інтелектуальним роботам.

Але застосування таких ПР здорожує РТС і знижує економічну ефективність застосування роботів.

Таким чином, для зниження інформаційного й обчислювального навантаження на робот необхідний попередня організація середовища.

Процес завантаження робота розділяється на наступні етапи:

1. подача виробів до пристрою завантаження.
2. Орієнтування.
3. Позиціювання.
4. Фіксування виробів на позиції завантаження.

Всі етапи, крім першого, роблять на пристроях завантаження ПР.

1). Подача не орієнтованих виробів до завантажувального пристрою (ЗВ) роблять вручну або автоматично за допомогою різних транспортних систем. Виробу направляють у приймач ВУ поштучно або групою.

2). Етап орієнтування припускає установку координатних орт виробу i_u, j_u, k_u колінарно ортам осей позиції захоплення i_z, j_z, k_z . Орієнтування здійснюється шляхом обертання навколо трьох осей: X, Y, Z послідовно або одночасно.

3). Етап позиціювання (координування) виробів являє собою переміщення їх до позиції захоплення. У широко використовуваних АЗУ орієнтування й позиціювання виконують одночасно.

4). Фіксування положення виробу роблять після надходження виробу на позицію завантаження ПР.

1). Подача неорієнтованих виробів до завантажувального пристрою роблять вручну або автоматично за допомогою різних транспортних систем. Виробу направляють у приймач ЗУ поштучно або групою.

2) Етап орієнтування припускає установку координатних орт виробу i_u, j_u, k_u колінарно ортам осей позиції захоплення i_z, j_z, k_z . Орієнтування здійснюється шляхом обертання навколо трьох осей: X, Y, Z послідовно або одночасно.

3). Етап позиціювання (координування) виробів являє собою переміщення їх до позиції захоплення. У широко використається АЗУ орієнтування й позиціювання виконують одночасно.

4). Фіксування положення виробу роблять після надходження виробу на позицію завантаження ПР. Метою фіксування є виключення впливу навколишнього середовища на точність орієнтування й позиціювання виробів на позиції захоплення. Фіксованого положення виробів досягають за допомогою конструктивних елементів позиції захоплення й додаткових пристроїв фіксації.

Аналіз способів завантаження ПР

У промисловому виробництві реалізується безліч пристроїв завантаження ПР, що використовують самі різні принципи орієнтування й координування виробів. Для вибору найбільш ефективного з них як класифікаційна ознака прийнята ступінь автоматизації основних етапів завантаження (орієнтування, позиціювання, фіксація).

В залежності, від ступеня автоматизації розрізняють ручне, напівавтоматичне й автоматичне завантаження ПР (див. табл. 1).

Таблиця 1 - Способи завантаження ПР

Этапы	Способы загрузки ПР					
	руч- ная	полу- авто- мати- ческая	автоматическая			
			трафа- ретная	МЗУ	АБЗУ	тран- спортная загру- зка
Подача изделий к загрузочному устройству	Р	Р	Р/А	А	Р/А	—
Ориентирование относительно осей: Х У	Р Р Р	—Р —Р —Р	А А А	— — —А	—А —А —А	А А А
Позиционирование по осям: Х У	Р Р Р	А А А	А А А	А А А	А А А	А А А
Фиксирование изделий на позиции захвата	А	А	А	А	А	А

Позначення:
 Р - ручне виконання етапу;
 А - автоматичне виконання етапу,

знак « - » - відсутність етапу в даному способі.

Завантаження із трафарету є одним з найпоширеніших видів завантаження ПР.

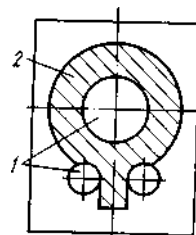
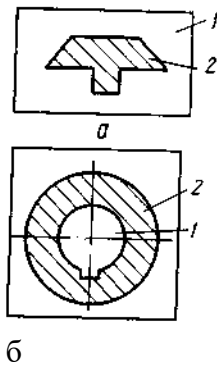
При ручному завантаженню орієнтування й позиціонування виробів роблять шляхом укладання їх у трафарет, що є фіксуючим елементом.

Цей вид завантаження, незважаючи на низький рівень автоматизації, знаходить застосування в ряді технологічних процесів, пов'язаних з підвищеною небезпекою при роботі зі складними, тендітними, недостатньо твердими або великогабаритними виробами.

Вид трафарету, як правило, визначається завантажують виробами, що.

Основними вимогами, пред'явленими до трафаретів, є. Граничні зручності завантаження виробу й однозначне їхнє розташування в трафареті.

Більшість виробів успішно завантажується в плоскі трафарети. Вони бувають що охоплюють (рис. 8.1 а), охопленій (рис. 8.1 б) або комбінованими (рис. 8.1 в).



в

Рисунок 8.1 - Види плоских трафаретів

Виробу 2 у трафареті 1 фіксується або суцільним контуром трафарету, що повторює контур виробу, або окремими крапками або площинами, установленими по контурі.

Подача виробів типу валів або стрижнів виробляється в призми або клемові фіксатори, постачені упорами, що фіксують поздовжнє положення виробів, що завантажують.

Трафарети розташовують на столах, призначених для налагодження їх відповідно до необхідного положення виробів на робочій позиції технологічного об-я й траєкторією руху охоплення ПР.

Налагодження полягає в переміщенні верхньої площини стола із закріпленим трафаретом по трьох координатах і обертанням трафарету щодо площини кріплення.

При організації завантаження ТЕ із трафаретів необхідно найбільше повно використати можливості ПР, ТЕ й робітника. Збільшення коефіцієнта використання встаткування можна досягти за рахунок вирівнювання продуктивності ТЕ, ПР і робітника шляхом:

- попередньої орієнтації виробів, що укладають у трафарет;
- застосування багатомісної обробки для ТЕ з більшим циклом;
- завантаження одним робітником декількох одиниць ТЕ.

Процес завантаження ПР із трафаретів вимагає постійної присутності працівників біля роботизованого модуля. Однак у більшості випадків такий спосіб виявляється більше продуктивним, чим при безпосереднім завантаженні технологічного встаткування робітником.

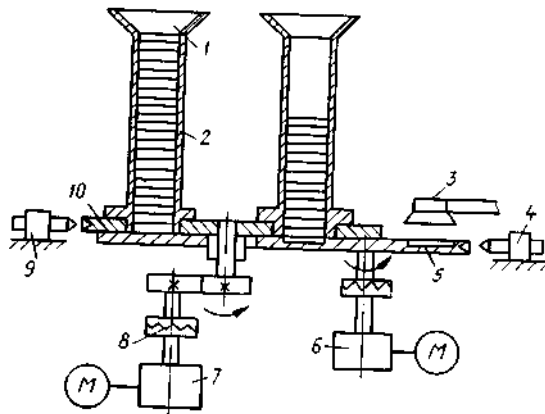
Підвищення продуктивності пов'язане зі зручністю обслуговування трафаретів. При використанні ПР із трафаретним завантаженням може бути досягнуте збільшення продуктивності більш ніж у два рази в 3-ти від складності виробів і доступності робочих позицій технологічного встаткування.

Напівавтоматичне завантаження виробляється за допомогою магазинних завантажувальних пристроїв (МЗП). У МЗП орієнтація виробів здійснюється вручну, заповненням накопичувача магазину орієнтованими виробами або автоматично поза завантажувальним пристроєм. Позичування (координування) і фіксування виробів на позиції захоплення роблять автоматично.

МЗП застосовують:

1. Для виробів складної форми, автоматичне орієнтування яких утруднено або неможливо.
2. Коли автоматичне орієнтування може привести до псування виробів.
3. При можливості касетировать виробу на попередній операції.
4. В умовах багатоміснатурного виробництва з невеликою річною програмою, при неможливості створення досить мобільних АБЗОУ.

Незважаючи на велике конструктивне різноманіття МЗП, структура їх конструкційних елементів аналогічна, тому що визначається виконуваними функціями. Це можна показати на прикладі касетного магазину з револьверним відділенням виробів (рис. 8.2).



- 1 - приймач; 2 - накопичувач; 3 - схват ПР;
4,9 - фіксатор; 5 - кишень; 6 - віддільник; 7,8 - механізм повороту; 10 - підстава
- Рисунок 8.2 - Двохкасетний магазин з револьверним відділенням виробів:

Основними функціями МЗП є:

1. прийом орієнтованих виробів приймачем 1;
2. зберігання й переміщення їх в орієнтованому положенні в накопичувачі 2;
3. поштучне відділення від загальної маси виробів за допомогою віддільника 6;
4. установка виробів з необхідною точністю на позицію захоплення за допомогою кишени 5 і фіксаторів 4, 9.

Вироби перебувають у накопичувачі можуть переміщатися двома способами:

1. Під дією власної ваги;

2. Під дією додаткової зовнішньої сили: сили гравітації, сили пружини, сили тертя, сили енергії електропривода, під дією вібрації.

Магазини першої групи конструктивно прості й надійні. Застосовують їх, як правило, при заборі виробів знизу.

Магазини другої групи використовують при вертикальному, горизонтальному й комбінованому розташуванні ряду деталей.

Відділення виробів здійснюють за допомогою гачків, пальців, штирів, контрольних гнізд, полиць, щілинних касет.

По числу накопичувачів МЗП ділять на однопозиційні й багатопозиційні.

Збільшення позицій роблять для скорочення часу обслуговування одного МЗП за рахунок збільшення загальної ємності магазину.

Число позицій залежить від розмірів, маси виробів, часу обслуговування однієї позиції.

Багатопозиційні магазини постачені додатковим приводом, що забезпечує підведення накопичувачів на позицію захоплення в міру їхнього вироблення.

При виборі й аналізі конструкцій МЗП варто також урахувувати особливості приводів і систем керування.

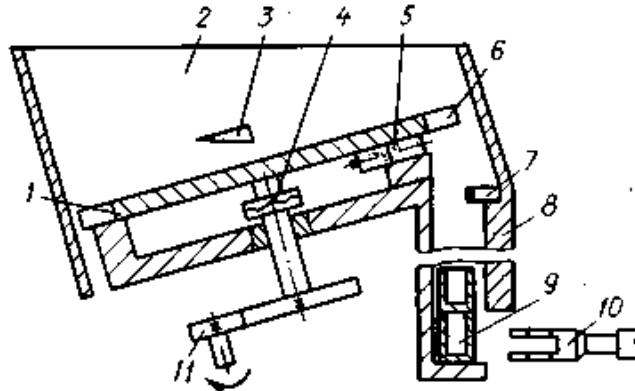
Автоматичне завантаження, що характеризується відсутністю ручних операцій при виконанні основних етапів, залежно від виду об'єктів завантаження, необхідної продуктивності, виробничих умов і інших факторів роблять одним із чотирьох способів:

1. Найбільш широке поширення одержав спосіб харчування ПР із АБЗП - автоматичні бункерні завантажувальні пристрої. Вироби, що навалом завантажують, вручну або автоматично засипають у бункер АБЗП, де вони орієнтуються й позиціюються на позицію захоплення ПР. Цей спосіб застосовується для порівняно невеликих виробів у крупносерійному і масовому виробництві.

Можливість переналадження АБЗП розширює сферу їхнього застосування в ГВС.

Незважаючи на велику розмаїтість конструкцій АБЗП, обумовлених геометричними й фізичними параметрами виробів, вони мають аналогічну структуру.

Розглянемо як приклад роботу гаманцевого АБЗП з обертовим загарбним органом у вигляді диска, призначеного для автоматичного орієнтування ковпаків (рис. 8.3)



1- диск; 2- бункер; 3 - додаткові елементи, що орієнтують; 4 - блокувальний пристрій; 5 - заслінка; 6 - загарбні кишені; 7 - пристрій вторинного орієнтування; 8 - накопичувач-накопичувач-нагромаджувач-лоток-накопичувач; 9 - позиція захоплення; 10 - схват; 11 - привід.

Рис. 8.3 –Гаманцевий АБЗП:

Виробу навалом занурюють у бункер 2, загарбні кишені 6 здійснюють і початкове орієнтування виробів - положення поздовжньої осі ковпачка розташовують паралельно поверхні диска. Додаткові орієнтовні елементи 3 - видаляють виріб, осі обертання яких не паралельні поверхні диска або змушують зайняти необхідне положення.

При переміщенні виробу в кишені 6 вони виявляються над лотком 8 і розвантажуються на позицію захоплення 9.

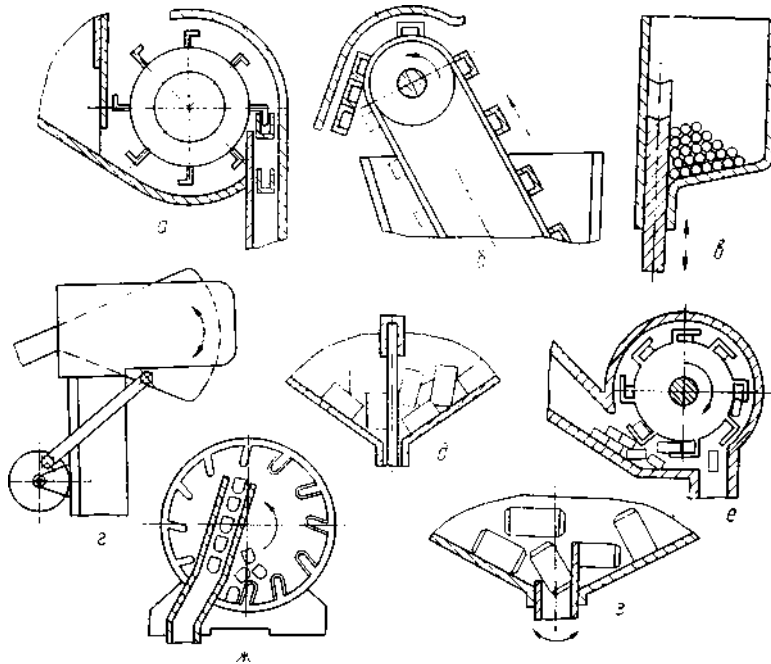
Щоб виробу два різних положення, що займають, у кишені 6 прийняли однакове положення передбачена призма 7 для вторинного орієнтування.

АБЗП є зробленими, конструктивно простими автоматичними пристроями з високою надійністю, продуктивністю й універсальністю його органів.

Всі АБЗП можна розділити на пристрої з рухливим загарбним органом і нерухомим (вібраційні пристрої, що орієнтують, - ВБЗП).

Пристрої з рухливим загарбним органом класифікують по траєкторії руху (рис. 8.4):

- обертальні (а);
- поступальні (б);
- поступальний-поступальну-поступальне-поступальна-зворотно-поступальні (в);
- дотична-дотичні-зворотно-дотичні (г).



а - крючкове; б - елеваторне; в - шибєрне; м - секторне; д - штирове; е - гаманцеве; ж - барабанне; з із--з обертовою загарбною трубкою.

Рисунок 8.4 -. Типи АБЗОП

Залежно від форми виробів, що підлягають орієнтації АБЗП класифікують по способах захоплення:

- за внутрішню поверхню;
- за зовнішню поверхню;
- за внутрішню й зовнішню поверхню

по типах загарбних органів:

- типу гачків (а);
- типу кишень(е);
- типу ланцюгів(б);
- типу лопат(ж);
- типу обертової трубки(з).

По розташуванню загарбних органів:

- радіальне(е);
- тангенціальне(а,,ж);
- аксіальне(д).

Зазначені ознаки деякою мірою систематизують АБЗП й дають можливість об'єктивного вибору необхідної конструкції.

Залежно від способу видачі виробів робочим органом АБЗП прийнято розділяти на три види:

- поштучний;
- порціонний;
- безперервної видачі.

АБЗП з поштучною видачею виробів характеризується тим, що видають одиничні вироби через певний інтервал часу. До цієї групи ставляться гаманцеві, крючкове, штирові АБЗП. На рис. 8.5 показане штирове АБЗП для поштучної видачі виробів.

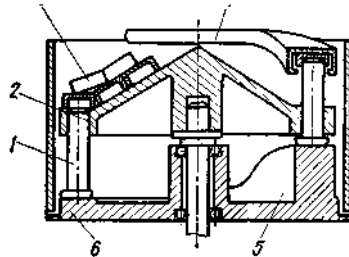


Рисунок 8.5--
виробів

Штирове АБЗП з поштучною видачею

Їхня середня продуктивність визначається формулою

$$Q = kzn,$$

де Z – число загарбних органів (кишені, гачки, штирі);

n – частота руху загарбних органів;

ko – коефіцієнт заповнення загарбних органів виробами.

Число загарбних органів залежить від розмірів виробів і габаритів бункера:

$$Z = \frac{D}{l} + a,$$

де D – діаметр обертового диска;

l – довжина виробу;

a – величина перемичок між кишнями.

Число циклів, чинених робочим органом у хвилину

$$n = \frac{V}{D},$$

де V – окружна швидкість робочих органів.

Коефіцієнт заповнення ko – величина випадкова, залежна від:

- 1) конструктивного виконання елементів бункера й загарбних органів;
- 2) форми й розмірів виробу;
- 3) коефіцієнта тертя заготівель об захоплюючі органи;
- 4) культури виробництва (наявність бруду, пилу, масла й т.д.)

Визначають ko – досвідченим шляхом ($ko = 0.5 \dots 0.7$).

АБЗП з порціонною видачею виробів відрізняються тим, що в цих пристроях здійснюється одночасне захоплення декількох виробів одним робочим органом. До них ставляться секторні, лопатеві, дискові й щілинні АБЗП.

До найбільш типовим АБЗП цієї групи ставляться пристрої зі зворотно-поступальним рухом, наприклад ножове АБЗП (рис. 8.6).

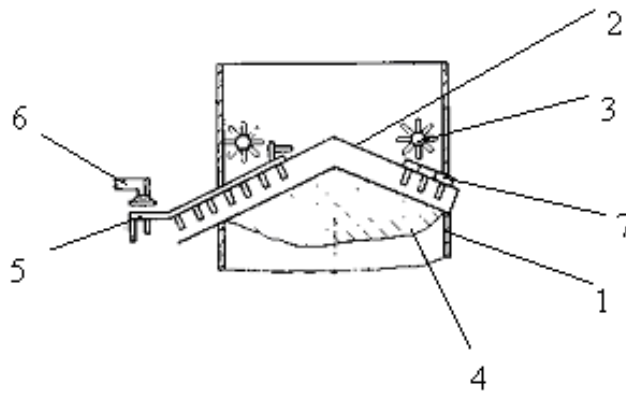


Рисунок 8.6 - Шибрне АБЗП з порціонною видачею

Орієнтування виробів 7, що мають буртик (наприклад, болтів) на одному кінці, здійснюється за допомогою паза, розташованого на верхній поверхні відвідних лотків 2 при русі ножа 4 нагору. У випадку влучення в паз тонкою стороною виріб займає стійке положення й починає рухатися по похилій площині відвідного лотка до позиції захоплення 5. У всіх інших випадках виробу при опусканні коша вниз повертаються в ємність бункера 1. Виріб, виявляючогося на ножі, але не необхідне положення, що зайняло, віддаляється обертовим роликом 3.

Виконання конструкції відвідного лотка 2 з нахилом у дві сторони дозволяє направляти орієнтовані вироби у два потоки. На позицію захоплення виробу з лотка надходять самопливом.

Продуктивність АБЗП із груповою видачею виробів визначається формулою

$$Q = kznmt,$$

де DO – коефіцієнт захоплюючого органа виробами;

Z – число захоплюючих органів;

m – число заготівель, що може перебуває в одному захоплюючому органі;

n – частота руху захоплюючого органа.

АБЗП з безперервною видачею виробів відрізняються високою продуктивністю й простотою конструкції. До їхнього числа ставляться відцентрові, фрикційні, трубчасті, вібраційні пристрої. За винятком ВБЗУ всі ці пристрої застосовуються для орієнтованого завантаження простих за формою виробів в основному тілі обертання. В АБЗП цього типу просто вирішується завдання подачі виробів у схвате робота або безпосередньо на робочу позицію.

Розглянемо конструкцію трубчастого АБЗП. На рис. 8.7 представлена схема трубчастого АБЗУ, що працює в складі РТК. РТК призначений для зборки сердечника 3 з електромагнітною котушкою.

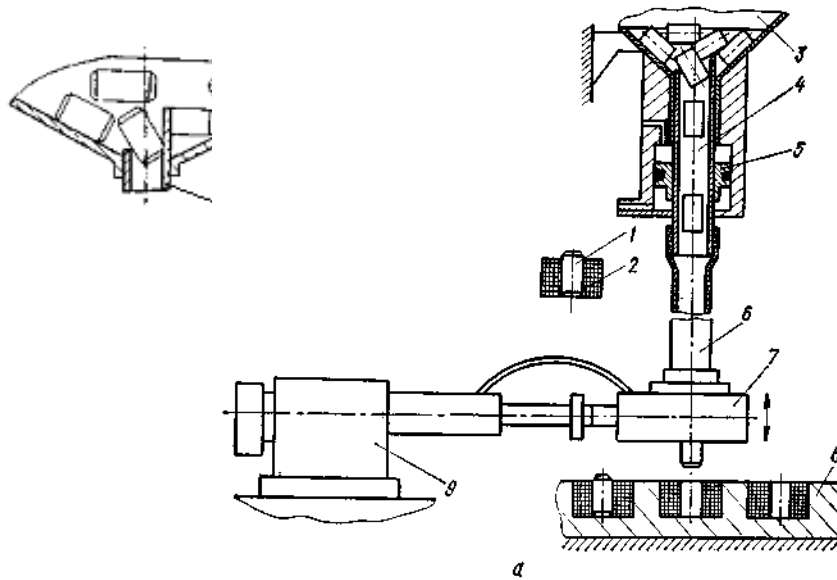


Рисунок 8.7 - Трубчасте АБЗП з безперервною видачею

РТК застосовується для зборки сердечника із електромагнітною катушкою 2. Сердечники 1 завантажуються в чашу бункера 3, трубка 4 якого робить зворотно-поступальний рух у вертикальній площині, і направляються по гнучкому трубопроводі 6 у схват 7 робота. Переміщення трубки 4, що є штоком пневмоциліндра здійснюється під впливом стисненого повітря на поршень 5, закріплений на трубці 4. Кількість подавана повітря й частота переміщення поршня регулюється системою керування ПР і при необхідності може змінюватися мері заповнення трубопроводу 6.

Магнітні катушки 2 установлюються на позиції зборки в гніздах технологічних касет 8, заповнених на попередній операції. При наявності на складальній позиції магнітних катушок 2 і сердечників 1 у захопленні подається команда ПР зборку по відповідній програмі. При точності позиціонування ПР $\pm 0,1$ мм, зазорі в з'єднанні 0,3 мм і наявності заходних фасок 0,5 мм імовірність з'єднання виробів дорівнює 0.99. Зі зменшенням зазору й розміру фасок імовірність з'єднання зменшується. У цьому випадку необхідне застосування пристроїв відносного орієнтування.

Застосування наведеної схеми дозволяє більш ніж у два рази підвищити продуктивність зборки за рахунок скорочення руху захоплення до позиції завантаження й назад.

Продуктивність АБЗУ з безперервною подачею

$$Q = k/l$$

де DO – коефіцієнт заповнення;

V – швидкість руху заготовлі;

l – розміри заготовлі в напрямку руху.

Пристрою з нерухомим загарбним органом – ВБЗП, володіють рядом достоїнств:

- відсутність частин, що рухаються;
- простота конструкцій;
- висока експлуатаційна надійність;
- можливість транспортування й орієнтації малопрочних і тендітних матеріалів.

Принцип роботи ВБЗП полягає в тім, що складний коливальний рух лотка бункера передається розташованим на ній заготівлям, які за певних умов починають скочувати по лотку під дією сил енергії.

Залежно від виконуваних функцій ВБЗП можна розділити на 3 групи:

1. Вібраційні бункерні пристрої, що орієнтують.
2. Вібраційні транспортуючі пристрої.
3. Вібраційні бункерні технологічні пристрої, що виконують у процесі переміщення технологічні операції (сушіння, електрохімічні покриття, фарбування й т.д.).

Класифікувати відомі конструкції ВБЗП можна по Двох його основних елементах: бункеру (рис. 8.8) і приводу.

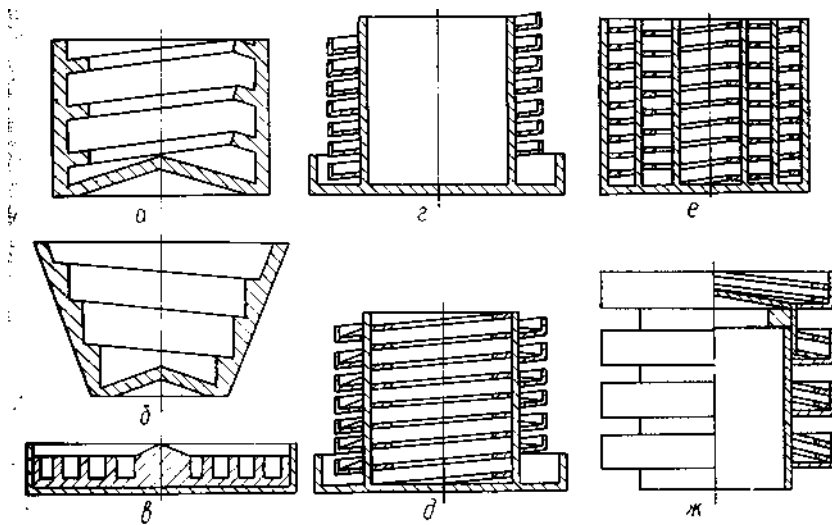


Рисунок 8.8 - Бункера ВБЗП

За типом бункера ВБЗП діляться на:

- циліндричний;
- конічний;
- плоский;
- с зовнішнім розташуванням лотків;
- с комбінованим розташуванням лотків;
- багаточашевидные з горизонтальним розташуванням чаш;
- багаточашевидные з вертикальним розташуванням чаш.

Розміри бункерів (чаш) із гвинтовими лотками визначаються за ДСТ 20795-75.

Лекція 9

Транспортне завантаження

Спосіб завантаження за допомогою транспортерів застосовують для переміщення виробів від технологічного об-я або склада на позицію захоплення ПР. Як правило, цей спосіб використовують при більших відстанях між ТЕ.

При необхідності транспортний пристрій може бути постачено елементами орієнтації необхідних виробів, може робити нахилення й адресування виробів, здійснювати обробку виробів у процесі переміщення.

Найбільше повно можливості транспортних систем реалізовані у твердих автоматичних лініях, де з їхньою допомогою вирішуються питання завантаження-вивантаження ТЕ, передачі виробів з однієї ділянки на інший і т.д.

У роботизованих гнучких автоматичних лініях обсяг використання транспортних систем істотно зменшився.

Основне завдання транспортерів у РТК складається в завантаженні-розвантаженні ПР виробами й матеріалами.

Транспортери для ПР трохи відрізняються від транспортерів для ТЕ:

- більше високим ступенем універсальності;
- меншим числом додаткових пристроїв орієнтації;
- високою мобільністю;
- кращими умовами налагодження й обслуговування.

Транспортні системи для завантаження ПР розділяються по наступних ознаках:

- по природі сил, що переміщують вироби;
- по виду руху;
- по положенню несучого органа в просторі;
- по характері зв'язку між виробами й несучим органом;
- по призначенню.

Залежно від природи сил виробу, що переміщає, конвеєри діляться на:

- механічні;
- пневматичні;
- електромагнітні;
- вібраційні;
- гравітаційні (самопливні).

По виду руху конвеєри діляться на дві групи:

- безперервні;
- дискретні.

По положенню несучого органа в просторі конвеєри можуть бути:

- горизонтальними;
- вертикальними;
- похилими;
- змішаними.

Зв'язок між виробами й несучим органом може бути:

- твердої, за рахунок механічних елементів;
- гнучкої, за рахунок сил тертя між дотичними поверхнями.

По призначенню конвеєри розрізняють:

- для насипних вантажів;
- для рідин;
- для штучних виробів.

Механічні транспортери

У механічних транспортерах як сила, що переміщає вироби з однієї крапки простору в іншу використовується сила тертя між виробами й робочим органом або зусилля, створюване упором робочого органа на переміщуваний вантаж.

Найбільш широке поширення одержали крокові транспортери. Нарис. 9.1 показаний штанговий кроковий транспортер, що складається зі штанги 1, що одержує зворотно-

поступальний рух від приводу (на мал. показане), підпружиненої собачки 2, що несе площини 3.

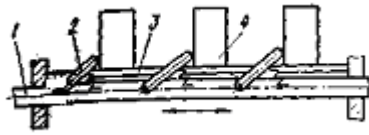


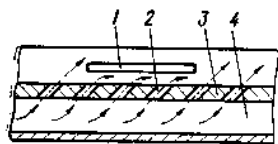
Рисунок 9.1 - Кроковий транспортер

При русі штанги 1 уперед (вправо) собачки 2 захоплюють вироби 4 і переміщують їх по несучій площині 3. При поверненні штанги у вихідне положення підпружиненої собачки проходять під виробом.

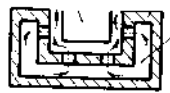
Перевагою цього транспортера є простота конструкції, а недоліком - обмежена швидкість переміщення виробів щоб уникнути проскакування виробами фіксованого положення.

Пневматичні транспортери

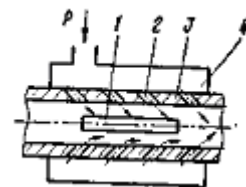
Пневмотранспортери служать для переміщення виробів шляхом безпосереднього впливу на них стислого або розрідженого повітря. Транспортні пристрої цієї групи можуть бути виконані відкритими, напіввідчиненими й закритими (рис.9.2).



а



б



в

Рисунок 9.2 - Пневмотранспортери

Відкритий пневмотранспортер (рис.9.2а) являє собою камеру 4 необхідної довжини, у верхній кришці 3 якої виконані похилі сопла 2. Стиснене повітря, випливаючи з камери 4, піднімає виріб 1 над кришкою 3. У цей же час горизонтальна складова сила тиску струменя переміщує підвішений виріб вправо.

Напіввідчинені транспортери (рис. 9.2б) на відміну від відкритих, постачені соплами 2, розташованими в дні й бічних камерах 4. Напіввідчинені транспортери дозволяють збільшувати висоту підйому й у певній мері усувають контакт бічних поверхонь виробів об стінки лотка.

Закриті пневмотранспортери охороняють всі поверхні виробу від контакту зі стінками лотка. На рис. 9.2в показаний транспортер, виконаний у вигляді лотка 3 з похилими соплами 2, охоплюваного на ділянці 4 камерою 4.

Переміщення виробів, виробляється подачею стисненого повітря в камеру 4, що, випливаючи через сопла 2, створює розрідження на ділянці лотка до камери 4. Виріб 1 втягується в зону розташування сопів, де воно центрується струменями повітря й переміщується далі по лотку 3.

Виробу при підході до зони захоплення гальмуються зустрічними струменями стисненого повітря або інших способів.

Швидкість транспортування в закритих лотках досягає 20 м/с. Це в кілька разів більше, ніж у відкритих лотках, і в 20-40 разів вище, ніж у механічних транспортерах.

Вібраційні транспортери.

Основні переваги

- малий ступінь сцеплення виробів;
- відсутність здрібнювання переміщуваного вантажу;
- незначне зношування грузонесущого органа;
- простота конструкції;
- легкість обслуговування й відходу;
- невисока енергоємність;
- безпека експлуатації;
- можливість завантаження-розвантаження в будь-якій крапці грузонесущого органа;
- можливість герметизації переміщуваних виробів.

Вібротранспорт знаходить широке застосування при завантаженні ПР радіоактивними, що порохать, отруйними речовинами, що підвищує безпека праці.

Ефективне використання вібраційного транспорту для технологічної обробки й сортування в процесі транспортування до позиції завантаження.

Вібротранспорт застосовують також для переміщення штучних виробів, що вимагають додаткового орієнтування.

Вібротранспортери класифікують по наступних ознаках:

- напрямок переміщення вантажу;
- спосіб кріплення несучих елементів;
- у одночасно коливних мас;
- у грузонесущих елементів;
- тип приводу;

По напрямку переміщення вантажу вібраційні транспортери діляться на горизонтальний, похилий і вертикальні (рис 9.3.).

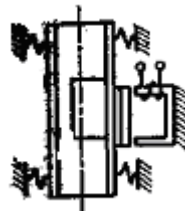


Рис 9.3

По способі кріплення грузонесущих елементів транспортери можуть бути виконані на вільних пружних підвесках-амортизаторах (рис 9.4.) або на похило спрямованих стійках.

По кол-ву одночасно коливних мас вібротранспортери на одне-, двох-, і багато масиві.

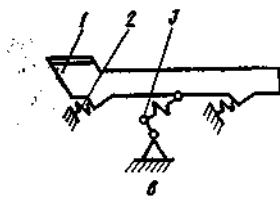


Рис 9.4а- Одномасовий вібротранспортер.

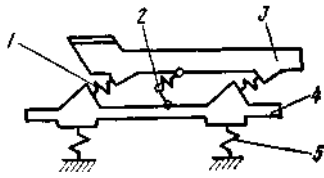


Рис 9.4.6 Двохмасивний.

Електромагнітні транспортери

До електромагнітного транспорту ставляться пристрої, у яких зусилля для переміщення виробів мають електромагнітну природу

Застосовують кілька видів електромагнітних двигунів:

- електромагнітні (соленоїдні);
- магнітоелектричні (із застосуванням постійного магніту);
- електродинамічні;
- асинхронні;

Перспективним напрямком є застосування асинхронних лінійних двигунів-транспортерів. Їхнє широке застосування обумовлене поручпереваг:

- відсутність перетворювачів обертового руху в поступальне, що істотно спрощує конструкцію двигуна;
- необмежена швидкість переміщення;
- короткий час розгону й зупинки;
- можливість підйома по крутому шляху;

Лінійний двигун являє собою звичайний електродвигун, ротор і статор якого розрізані й розгорнуті в площині, причому довго однієї зі складових частин статора або ротора збільшена на величину необхідного переміщення.

Всі лінійні двигуни можуть бути виконані по двох принципово відмінних варіантах.

По першому варіанті двигун виконується з довгою реактивною смугою й коротким індуктором (рис 9.5а).

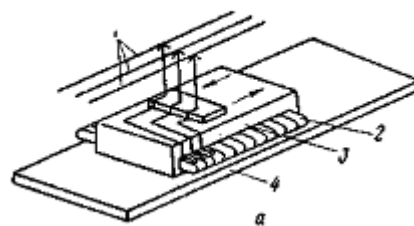


Рис 9.5а: 1- струмоприймачі; 2- обмотка; 3- індуктор; 4- реактивна смуга.

При такому варіанті реактивну смугу 4 розташуються нерухомо по шляху руху органа, що переміщається (візка). Індуктор 3 під дією магнітного поля, що біжить, створеною обмоткою 2, може рухатися в поздовжньому напрямку в одну або іншу сторону. Харчування обмотки індуктора виробляється через ковзні струмоприймачі 1.

Така побудова двигуна зручно для різного колісного транспорту.

Другий варіант побудови лінійного двигуна показаний на рис 9.5б.

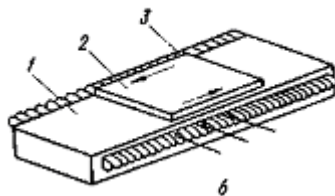


Рис 9.5б: 1- індуктор; 2- реактивна смуга ; 3- обмотка;

Індуктор 1 з обмоткою 3 установлюють нерухомо по шляху руху, а реактивна смуга рухається поступально уздовж індуктора.

Така побудова лінійного двигуна зручно для переміщення на порівняно малу відстань. При необхідності збільшити відстань транспортування можна застосувати кілька окремих індукторів, установлених один за іншим.

Обмежене застосування лінійних двигунів викликано виникнення продольних і поперечних крайових ефектів, оказуючих шкідливий вплив на характеристики двигунів, які істотно відрізняються від ідеальних.

Транспортні роботи

Специфічним для ГВС є новий тип транспортних засобів - транспортні роботи, під якими розуміють програмно керовані візки із засобами завантаження й розвантаження, що переміщуються в межах ділянки, цеху або заводу.

Найпростіші транспортні роботи - транспортні візки, що переміщуються по разлісному роду напрямним і харчуються по гнучких кабелях від ковзних струмопроводів або акумуляторів.

Положення таких роботів контролюється безконтактним індукційними або магнітними датчиками, взаємодіючими із сигнальними планками.

Точне позиціонування біля ТЕ забезпечують висунутими упорами-фіксаторами.

Звичайно транспортні візки переміщуються в обидва боки але відносно напрямних. Однак є системи, у яких можливий перехід з однієї лінії на іншу за допомогою поворотної або зсувної стрілки.

Так, на складах є безліч паралельних напрямних, зміщений друг від друга по горизонталі й вертикалі. Транспортні роботи на таких складах переміщуються між шляхами на ліфтах або додатково що горизонтально рухаються візках.

Найбільш зроблений і гнучкий вид транспортних з ГВС - підпідложні транспортні роботи. Вони управляються оптичними датчиками, що відслідковують білу лінію на підлозі, або дистанційно індукційними датчиками, взаємодіючими з високочастотним кабелем під струмом. Така траса значно дешевше інших.

Як правило, бортова система упр-я робота взаємодіє зі стаціонарної СУ(ЕОМ) рухом всіх роботів ГВС.

При завантаженні ТР звичайно підїжджають під транспортує об'єкт, що (великогабаритний виріб або контейнер із заготівлями) і підйомом своїх базуючих елементів знімають його з нерухомої підстави.

З-ми із ТР мають високу пристосовність до будь-яких змін вантажопотоків завдяки можливості введення додаткових роботів, а так само ручного керування при непередбачених ситуаціях.

ЛЕКЦІЯ 10

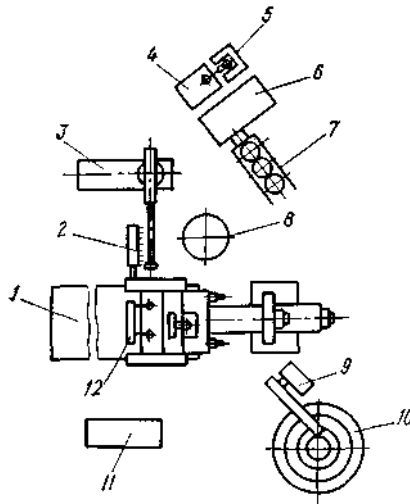
Завантаження безрозмірних матеріалів

Специфічною є завантаження безрозмірних матеріалів: рідин, газів, порошоків, штучних виробів, розташованих у ємності, а також матеріалів знайдених в бухтах, котушках, прутках потребуючого покрокового переміщення в зону ТЕ, орієнтування яких виробляється що самоорієнтуються схватами.

Особливістю цього способу завантаження полягає у відсутності автономних пристроїв орієнтування так, матеріал, що завантажує як, або виріб перебувають у ємності, звідки забираються що самоорієнтуються схватами або дозаторами.

Залежно від способу завантаження ПР розрізняють **три схеми** побудови РТК.

Перша схема характеризується наявністю автономної ємності, з якою певною дозою (порцією) відповідний матеріал видається в ємність, розташовану на руці (у схваті) ПР. Всю дозу ПР переносить у ТЕ або на об'єкт обробки. Прикладом такої схеми може бути РТК лиття під тиском (рис.10.1).



1- машина для лиття під тиском; 2- маніпулятор обдува й змащення прес - форм; 3- ПР; 4- ємність для відходів; 5- маніпулятор видалення відходів; 6- вирубної прес ; 7- відвідної транспортер готових виливків; 8- ванна охолодження ; 9- робот заливальник ; 10- роздавальна піч; 11 пульт керування.

Рис 10.1 - РТК лиття під тиском:

Заливання дози металу виробляється з роздавальної печі 10 роботом заливальником 9, постаченим ковшем (наприклад ПР-3 або ЛМЗ розраховані на дози 1.25 , 2.5 , 5 , 10 , 20 кг із точністю дозування $\pm 2\%$). Видалення виливка із прес форми після робочого ходу машини лиття під тиском здійснюється за допомогою ПР 3, що послідовно переносить виливок у ванну охолодження 8 і на вирубної штамп преса 6. Після обрубки готові виливки направляються на транспортер 5 або в тару, а відхід маніпулятором 5 віддається в тару 4. Маніпулятором 2 здійснюється обдувши, очищення й змащення прес-форм після операції запресовування.

Для другої схеми РТК характерним є наявність постійного зв'язку дозатора, встановленого в схваті ПР, із завантажувальною ємністю. Зв'язок ПР із завантажувальною ємністю здійснюється гнучким трубопроводом. Застосування цієї схеми переважно для газоподібних матеріалів і нев'язких рідин (рис.10.2).

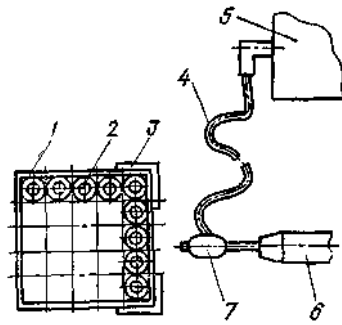


Рис 10.2 - РТК для заправлення ємностей рідиною за допомогою дозатора:

1- тара; 2- пляшки; 3- напрямні; 4- гнучкий шланг; 5- резервуар; 6- схват; 7- дозатор;

Пляшки 2, що підлягають заповненню рідиною, подаються в тарі на 1 робочу позицію. Тара встановлюється в напрямних 3, що є відліковою базою для ПР. дозатор 7, призначений для заповнення пляшок до визначеного рівня, установлений у схваті 5 ПР і з'єднаний гнучким шлангом 4 з резервуаром 5.

Третя схема припускає розміщення у схваті ПР ємності з дозатором. При цьому ємність уміщає кілька доз, що дозволяє працювати без заправлення певний час. Заправлення ємності може виробляється вручну або автоматично.

Основні типи, пристрій і принцип дії пневматичних установок для завантаження сипучих вантажів

Залежно від способу створення повітряного потоку розрізняють три типи пневмотранспортних установок:

- а) усмоктувальні, працюючі з розрідженням повітря;
- б) нагнітальні, працюючі з надлишковим тиском повітря;
- в) змішані, що складаються з усмоктувальних і нагнітальної систем, що працюють від одного вентилятора.

Розглянемо пристрій і принцип дії кожного типу на прикладах установок для транспортування насипних матеріалів (або дрібних виробів), наприклад, стружки.

Принцип дії усмоктувальної пневматичної установки і її конструкція (мал. 1) наступні:

при включенні повітродувної машини 6 (або вакуумного насоса) у всій системі створюється розрідження (покладений тиск), і внаслідок різниці тисків атмосферне повітря спрямовується в сопло 1, занурене в матеріал. Проходячи через матеріал, повітря захоплює його частки й захоплює їх у трубопровід 2. При вході в розвантажувач 3 повітряний потік міняє свій напрям, а його швидкість різко падає.

У результаті значної зміни напрямку й величини швидкості потоку матеріалу, його частки, відокремившись від повітря, падає на дно розвантажувача, звідки за допомогою затвора виводяться назовні. Повітря ж, відділений у розвантажувачі від матеріалу, проходить через пиловловлювач 4, де очищається від дрібного пилу, і далі через повітродувку 6 і повітропровід віддаляється в атмосферу.

Усмоктувальні пневматичні установки застосовують для переміщення зернистого й порошкового матеріалу з різних місць до одного пункту на відстань до 100 м. Розрідження, створюване в усмоктувальній установці не повинне бути нижче 0.5...0.6 атмосфер. При подальшому розрідженні щільність повітря різко падає, внаслідок чого падає й транспортуюча здатність повітря. Залежно від концентрації суміші усмоктувальної установки споживають у середньому енергії 1-1.5 квт*ч/т.

Нагнітальна пневматична установка (мал. 2) працює при надлишковому тиску в трубопроводі. Компресор або вентилятор 1 нагнітає повітря в трубопровід 2, коли через

бункер 3 і затвор 4 подається транспортує матеріал, що (сипучий або не сипучий). Повітря разом із транспортує грузом, що, надходять по нагнітальному трубопроводі 5 у розвантажувач 6, де матеріал (вантаж) відокремлюється від повітря, осідає в конусі розвантажувача й виводиться назовні через шлюзовий затвор 7, а повітря проходить через пиловловлювач 9 і фільтр 12 і по трубці, що відводить, викидається в атмосферу. Пил з фільтрів віддаляється через шибер 13.

Нагнітальні установки більш економічні ніж всмоктувальних по витраті енергії й дають можливість переміщати матеріали з більшою питомою вагою в пилоподібному стані або в технічних виробках на більші відстані. Вони зручні для подачі й розвантаження вантажу в покритих складах.

Тиск повітря в нагнітальних установках звичайно не перевищує 490-588 Мвод.ст. (5-6 Мпа).

Змішана пневматична установка всмоктувально-нагнітуючого типу (мал. 3) являє собою комбінацію усмоктувальних і нагнітальної установок. Вона складається із сопів 5, транспортних трубопроводів 6, віддільника 4 з убудованим у нього пиловловлювачем 3, шлюзового затвора 7, віддільника 9 і повітродувної машини 1.

Внаслідок створюваного повітродувкою розрідження в усмоктувальній частині установки матеріал засмоктується соплами разом з повітрям і транспортується у віддільник. У віддільнику матеріал з повітря випадає, а запилене повітря в пиловловлювачі очищається й, пройшовши повітродувку, направляється в нагнітальний трубопровід 8. З віддільника матеріал за допомогою шлюзового затвора надходить у транспортний трубопровід нагнітальної системи, по якому транспортується у віддільник, де осаджується, а повітря викидається в атмосферу.

Установки цього типу дозволяють приймати матеріали з декількох крапок і подавати його на значну відстань у кілька крапок прийому.

МОДУЛЬ 2

ЛЕКЦІЯ 11

ТЕМА: РОБОТ ЯК ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ

У теорії регулювання під керуванням розуміється автоматичне здійснення сукупності впливів, спрямованих на підтримку або поліпшення функціонування керованого об'єкта відповідно до мети керування.

Робот як об'єкт керування являє собою складну електромеханічну систему, що складається з багатоланкової механічної конструкції (робітника механізму), виконавчого пристрою й електронної системи керування (рис. 11.1).

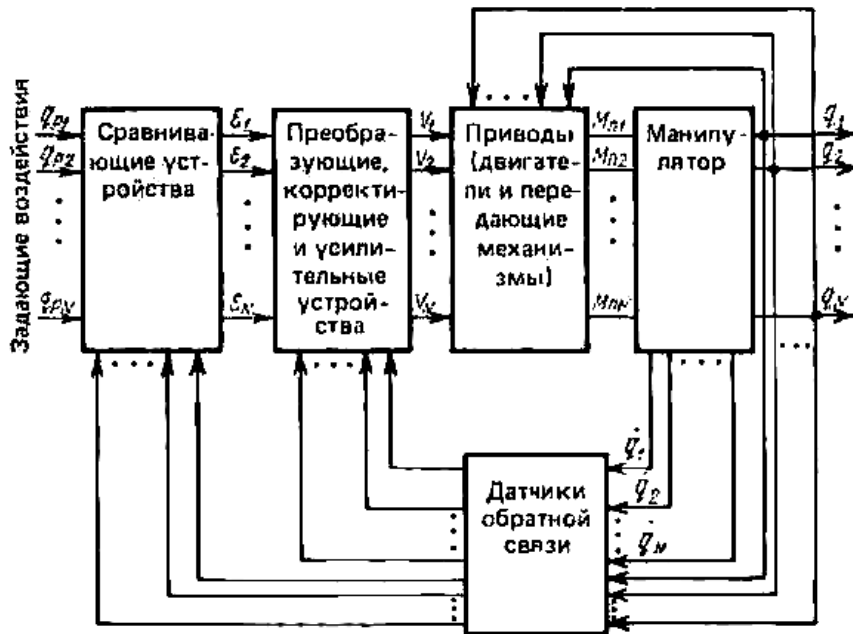


Рис. 11.1. Функціональна схема виконавчої системи керування роботом:

q_1, \dots, q_N — вхідні сигнали, вироблювані системою керування; $\epsilon_1, \dots, \epsilon_N$ — сигнали неузгодженості, одержувані на виході пристроїв, що порівнюють; v_1, \dots, v_N — керуючі сигнали; M_{n1}, \dots, M_{nN} — сили й моменти, що розвивають двигунами й вступники на ланки маніпулятора; q_1, \dots, q_N — поточні значення відносного положення ланок маніпулятора, що забезпечують відпрацьовування загарбним пристроєм заданих крапок траєкторії

Робочий механізм безпосередньо впливає на об'єкт або середовище. Виконавчий пристрій включає сукупність приводів з відповідними датчиками зворотного зв'язку, підсилювальними, перетворюючими й коригувальними елементами.

Завдання керування роботом полягає у формуванні керуючих впливів для виконавчих двигунів, відпрацьовування яких гарантувала б проходження загарбним пристроєм маніпулятора заданої просторової траєкторії із заданою точністю.

Завдання формування керуючих впливів зводиться до побудови програмної траєкторії $q_p(t)$, тобто закону зміни вектора відносного положення ланок маніпулятора $q = [q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_N]^T$, і наступному синтезу властиво закону керування, що забезпечує стійкість руху щодо програмної траєкторії.

Класифікація систем керування роботами

Різноманіття систем керування роботами можна групувати по різних ознаках, наприклад: по складу й типу вхідних пристроїв, показникам якості керування, виду траєкторії руху й т.п. Однак є досить загальні ознаки, які принципово характеризують процес керування роботом. Насамперед це спосіб керування, обумовлений залежно від ступеня участі оператора в керуванні роботом. За цією ознакою системи керування діляться на два більших класи (рис. 11.2):

— людино-машинні, до яких ставляться системи дистанційного й інтерактивного керування, що мають оператора безпосередньо в контурі керування;

- автоматичні, коли оператор залишається поза контуром керування й взаємодіє з роботом тільки на етапі навчання.

Іншим настільки ж важливою ознакою є метод керування, якому можна застосувати для подальшої класифікації виділених класів.

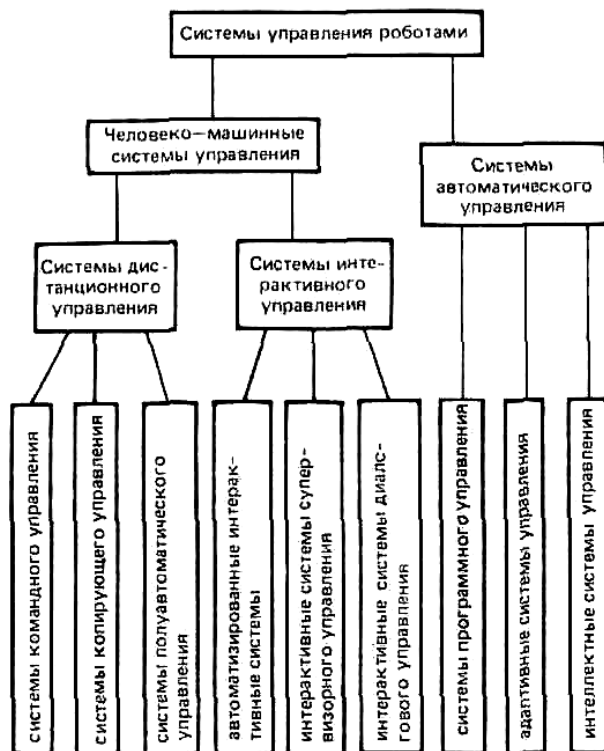


Рис. 11.2. Класифікація систем керування роботами

Людино-машинні системи дистанційного й інтерактивного керування роботами відповідно до методів керування діляться на шість основних груп:

— *системи командного керування*, у яких оператор включає окремо приводи кожної ланки робота дистанційно шляхом натискання на відповідні кнопки (тумблери) пульта керування;

— *системи керування, що копіює*, у яких оператор дистанційно управляє роботом за допомогою пристрою, що задає, кінематичні подібного до виконавчого пристрою робота (рух кожної ланки пристрою, що задає, передається на відповідну ланку виконавчого пристрою за принципом системи, що стежить);

— *системи напіваавтоматичного керування*, у яких оператор, натискаючи на багатоступеневу керуючу рукоятку, задає бажаний рух загального пристрою, а спеціалізований обчислювач (ЕОМ) по електричних сигналах від датчиків рукоятки обчислює й формує відповідні сигнали керування для приводів всіх ступенів рухливості;

— *автоматизовані інтерактивні системи керування*, у яких тільки частина операцій виконується автоматично, а інші надані операторові;

— *інтерактивні системи супервизорного керування*, у яких оператор, що спостерігає по екрані (дисплею) обстановку в місці дії робота, подає окремі команди-цілевказівки, по сигналах від них включаються ті або інші програми автоматичної дії робота;

— *інтерактивні системи діалогового керування*, що відрізняються від інтерактивних систем супервизорного керування тим, що робот не тільки виконує команди оператора, але й активно допомагає йому в розпізнаванні обстановки й прийнятті рішень.

Головна особливість систем автоматичного керування роботами - відсутність особистої участі людини в процесі керування. Функція оператора складається лише в навчанні, запуску й наступному періодичному спостереженні за роботою робота.

Системи автоматичного керування відповідно до використовуваних методів керування діляться на системи:

— *програмного керування*, основою яких є синтез руху робота по заздалегідь розрахованій переважно твердій програмі. Програма зберігається в пам'яті обчислювального

пристрою й може бути змінена шляхом перепрограмування в новому циклі навчання робота. У системах програмного керування не передбачається відпрацьовування інформації, що усуває невизначеність характеристик зовнішнього середовища, хоча інформація про внутрішній фазовий стан робота використовується в законі керування. У свою чергу, системи програмного керування діляться на циклові, позиційні й контурні;

— *адаптивного керування*, рух робота в які організується по гнучко змінюваним або коректуючих програмах. При цьому перебудова програм відбувається у відповідь на зміни умов зовнішнього середовища. Для одержання зовнішньої інформації адаптивні системи керування забезпечуються різноманітними засобами очування;

— *інтелектного керування*, у яких програма руху робота взагалі не задається, а синтезується системою керування на основі опису зовнішнього середовища, сукупності правил можливого поведіння в середовищі й наявній цільовій настанові завдання.

Основна відмінність інтелектних систем керування від попередніх - здатність витягати з даних не тільки інформацію, а ще й знання. Для цієї мети системи очування доповнюються системами розуміння (подання знань).

Незважаючи на ряд наявних способів класифікації, саме методи керування покладені в основу загальноприйнятої класифікації роботів **по трьох поколіннях**:

перше - роботи із програмним керуванням;

друге - роботи з адаптивним керуванням;

третє - роботи з елементами штучного інтелекту.

При цьому покоління роботів розрізняються не по етапах розвитку технології, як, наприклад, покоління обчислювальної техніки (коли одне покоління витісняє повністю інше), а за рівнем гнучкості керування.

Найбільше «твердим» керуванням володіють роботи першого покоління із програмним керуванням, а найбільш гнучким - роботи третього покоління з інтелектним керуванням. Більша частина експлуатованих роботів належить до першого покоління програмно-керованих автоматів. Головна перевага роботів із програмним керуванням полягає в тому, що вони мають широке застосування при досить простому конструктивному виконанні. Найбільша ефективність їх проявляється в умовах монотонно-циклічних операцій при порівняно рідких переналагодженнях на новий вид робіт. Обсяг подібних операцій буде значним і в майбутніх виробництвах, тому з розвитком наступних поколінь промислових роботів потреба в простих програмних роботах не зменшиться. Вони будуть успішно вдосконалюватися й далі.

Разом з тим застосування роботів першого покоління завжди пов'язане з необхідністю строгого впорядкування й спеціального пристосовування технологічного середовища для роботи робота.

Ці додаткові вимоги ускладнюють технологічний процес і здорожують розробку, створення й експлуатацію роботизованого виробництва.

Розвиваючи систему програмного керування, вдається перебороти обмеженість роботів першого покоління, підвищити гнучкість керування й значною мірою виключити необхідність пристосовування технологічного середовища до робота. Наступні покоління роботів мають більше широкі можливості завдяки різноманітним засобам очування, адаптації й технічній імітації окремих інтелектуальних функцій, властивій людині.

Система координат. Вибір і перетворення

Зчленовані сусідні ланки маніпулятора утворюють кінематичну пару, якщо можливо їхнє відносне переміщення. Клас кінематичної пари визначається числом умов зв'язку k ($1 \leq k \leq 5$), що накладають на відносний рух ланок, що утворюють пари. Кінематичній парі k -го класу відповідає $h = (6 - k)$ незалежних параметрів, що визначають відносне положення ланок, де h — число ступенів волі кінематичної пари. Число ступенів волі маніпулятора визначається числом незалежних рухів, у яких можуть брати участь його ланки:

$$H = 6N - \sum_{k=1}^5 kp_k, \quad (1.1)$$

де H — число ступенів волі робочого механізму (або число його ступенів рухливості); N — число рухливих ланок; p_k — число кінематичних пар k -го класу.

Для здійснення довільного переміщення й орієнтації загарбного пристрою в робочому просторі маніпулятора повинне виконуватися умова $H=6$, тому що число ступенів рухливості робочого механізму H фактично визначає число ступенів волі загарбного пристрою. При $H > 6$ робочий механізм називається *механізмом з надмірністю*.

Для розгляду просторового руху робочого механізму, представленого послідовним з'єднанням обертальних і поступальних кінематичних пар 5-го класу (як найбільше часто застосовуваних у робототехніці), необхідно здійснити вибір систем координат. Кожній ланці маніпулятора поставимо у відповідність декартову систему координат $O_i x_i y_i z_i$ ($i=0, 1, \dots, N$). Якщо робот установлений на нерухомій підставі, то пов'язана з ним система координат $O_0 x_0 y_0 z_0$ збігається з абсолютною системою $Oxyz$. Розміщення систем координат проводиться за наступним правилом: вісь z_i прив'язується до осі зчленування ланок i і $i+1$, вісь x_i направляєтся уздовж загального перпендикуляра до осей зчленувань z_{i-1} , i z_i , вісь y_i повинна забезпечувати однакову спрямованість всіх систем координат (наприклад, праву). Система координат $O_0 x_0 y_0 z_0$ ставиться у відповідність загарбному пристрою маніпулятора таким чином, щоб вісь z , збігалася з напрямком останньої ланки. На мал. 1.3 показана кінематична схема промислового робота «Універсал-15», для якої обрані зв'язані системи координат.

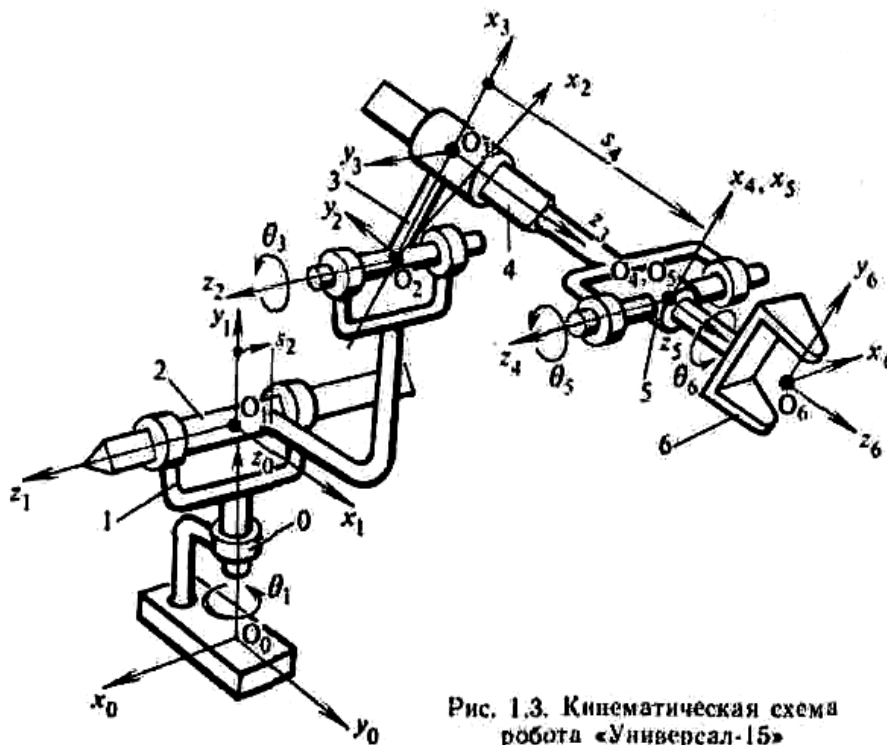


Рис. 1.3. Кінематическая схема робота «Универсал-15»

Перетворення системи координат $O_{i-1} x_{i-1} y_{i-1} z_{i-1}$ у систему координат $O_i x_i y_i z_i$ може бути здійснено послідовним виконанням дій:

- поворотом навколо осі z_{i-1} на кут θ_i до встановлення паралельності осей x_{i-1} і x_i ;
- переносом уздовж осі z_{i-1} на величину s_i до сполучення на одній прямій осей x_{i-1} і x_i ;
- переносом уздовж осі x_i на величину a_i до сполучення почав систем координат O_{i-1} і O_i ;
- поворотом навколо осі x_i на кут α_i до сполучення всіх осей.

Таким чином, перетворення (і-1)-й системи координат в і-ю визначається чотирма параметрами θ_i, s_i, a_i, a_i . Залежно від типу зчленування один параметр із пари (θ_i, s_i) є змінним. Уведемо для нього позначення

$$q_i = \sigma_i \theta_i + (1 - \sigma_i) s_i, \quad (1.2)$$

де $\sigma_i = 1$ для обертальної пари;

$\sigma_i = 0$ для поступальної пари.

Три параметри, що залишилися постійні й визначаються конструкцією маніпулятора.

Положення маніпулятора в просторі однозначно визначається сукупністю $q = [q_1, \dots, q_i, \dots, q]^T$, названої *вектором узагальнених координат*. Якщо задано радіус-вектор $r = [x', y', z']^T$ деякої крапки в системі координат $O'x'y'z'$, то її положення в системі $Oxyz$ визначається вираженням

$$\begin{cases} x = t_{11}x' + t_{12}y' + t_{13}z' + l_1 \\ y = t_{21}x' + t_{22}y' + t_{23}z' + l_2 \\ z = t_{31}x' + t_{32}y' + t_{33}z' + l_3 \end{cases} \quad (1.3)$$

де $t_{11}, t_{21}, t_{31}, t_{12}, t_{22}, t_{32}, t_{13}, t_{23}, t_{33}$ — напрямні косинуси осей системи $O'x'y'z'$ щодо системи $Oxyz$, l_1, l_2, l_3 — координати крапки O' у системі $Oxyz$.

Рівняння перетворення координат (1.3) у матричній формі приймуть вид

$$r = tr' + l, \quad (1.4)$$

$$\begin{aligned} \text{де } r &= [x, y, z]^T; & t &= \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} \end{bmatrix} \\ r' &= [x', y', z']^T; \\ l &= [l_1, l_2, l_3]^T; \end{aligned}$$

Якщо вектори r і r' представити в однорідних координатах, то рівняння (1.4) можна замінити рівнянням

$$R = TR'. \quad (1.5)$$

Однорідними координатами деякої крапки простору з координатами (x, y, z) є будь-які чотири числа (x_1, x_2, x_3, x_4) , одночасно не рівні нулю, такі, що

$$x = \frac{x_1}{x_4}, \quad y = \frac{x_2}{x_4}, \quad z = \frac{x_3}{x_4}, \quad x_4 \neq 0;$$

$$[\lambda x_1, \lambda x_2, \lambda x_3, \lambda x_4] = [\lambda x_1, \lambda x_2, \lambda x_3, \lambda x_4] \quad \lambda \neq 0.$$

Основні операції над векторами, заданими в однорідних координатах, виконуються у відповідності з наступними правилами:

$$1. \quad A \pm B = C,$$

$$c_i = \frac{a_i}{a_4} \pm \frac{b_i}{b_4}, \quad i = 1, 2, 3; \quad c_4 = 1;$$

$$2. \quad A \cdot B = \frac{a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3}{a_4 b_4};$$

$$3. \quad A \times B = C,$$

$$c_1 = a_2 b_3 - a_3 b_2,$$

$$c_2 = a_3 b_1 - a_1 b_3,$$

$$c_3 = a_1 b_2 - a_2 b_1,$$

$$c_4 = a_4 b_4;$$

$$4. \lambda A = \left[a_1, a_2, a_3, \frac{a_4}{\lambda} \right]^T;$$

$$5. |A| = \frac{(a_1^2 + a_2^2 + a_3^2)^{1/2}}{|a_4|}.$$

Нехай $R' = [x'_1, x'_2, x'_3, x'_4]^T$ — радіус-вектор деякої точки, заданий в однорідних координатах у системі $O'x'y'z'$, а $R = [x_1, x_2, x_3, x_4]^T$ — радіус-вектор тієї ж точки в системі $Oxyz$. Уважаючи $x_4 = x'_4$ й підставляючи однорідні координати в систему (1.3), відповідно до виражень (1.6) одержимо наступні перетворення:

$$\begin{cases} x_1 = t_{11}x'_1 + t_{12}x'_2 + t_{13}x'_3 + l_1x'_4 \\ x_2 = t_{21}x'_1 + t_{22}x'_2 + t_{23}x'_3 + l_2x'_4 \\ x_3 = t_{31}x'_1 + t_{32}x'_2 + t_{33}x'_3 + l_3x'_4 \\ x_4 = x'_4 \end{cases} \quad (1.7)$$

У векторному виді перетворення (1.7) прийме вид (1.5), де $x_4 = 1$,

$$T = \begin{bmatrix} t & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.8)$$

Перехід від i -ї системи координат до $(i-1)$ -ї, виконуваний за наведеними правилами, визначається матрицею переходу:

$$\begin{aligned} T_i(q_i) &= \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 & 0 \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & s_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos a_i & -\sin a_i & 0 \\ 0 & \sin a_i & \cos a_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \cos a_i & \sin \theta_i \sin a_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \cos a_i & -\cos \theta_i \sin a_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin a_i & \cos a_i & s_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (1.9)$$

Для опису такого переходу справедливе вираження

$$R_{i-1} = T_i(q_i)R_i, \quad (1.10)$$

де R_i — радіус-вектор деякої точки, заданий у системі координат i -го ланки.

Послідовно застосовуючи перетворення (1.10), можна здійснити перехід від системи координат будь-якої ланки до системи координат, пов'язаної з підставою:

$$R_0 = T_0 T_1 T_2 \dots T_i R_i, \quad 1 \leq i \leq N, \quad (1.11)$$

де T_0 — матриця переходу до інерціальної системи координат; у випадку нерухомої підстави $T_0 = E$. Виразження (1.11) можна записати у вигляді

$$R_0 = \Gamma_i R_i, \quad (1.12)$$

де

$$\Gamma_i = T_1 T_2 \dots T_i \quad (1.13)$$

— матриця перетворення i -го ланки, що описує його положення в системі координат $O_0x_0y_0z_0$; визначає 12-мірний вектор-стовпець X_i , названий *вектором положення i -го ланки*:

$$X_i = (T_{14} T_{24} T_{34} T_{11} T_{21} T_{31} T_{12} T_{22} T_{32} T_{13} T_{23} T_{33}). \quad (1-14)$$

ЛЕКЦІЯ 12

ТЕМА: Основні кінематичні співвідношення. Пряме й зворотне завдання кінематики

До числа основних кінематичних співвідношень, що визначають характер руху ланок маніпулятора (без обліку зухвалий цей рух причин - сил і моментів), ставляться вираження для лінійних і кутових швидкостей і прискорень.

Нехай матриця переходу $T_i(q_i)$ відповідає обертальній кінематичній парі, тобто $q_i = \theta_i = \text{var}$. З урахуванням залежності (1.9) можна одержати вираження для її похідної за часом:

$$\frac{dT_i}{dt} = \begin{bmatrix} -\sin q_i & -\cos q_i \cos a_i & \cos q_i \sin a_i & -a_i \sin q_i \\ \cos q_i & -\sin q_i \cos a_i & \sin q_i \sin a_i & a_i \cos q_i \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \dot{q}_i \quad (1.15)$$

або

$$\dot{T}_i = \Theta_i T_i \dot{q}_i, \quad (1.16)$$

де

$$\Theta_i = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Вираження (1.15) означає, що операція диференціювання матриці $T_i(q_i)$ відповідає її множенню на матрицю Θ_i . У випадку поступальної кінематичної пари, коли $q_i = s_i = \text{var}$, матриця

$$\Theta_i = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

При цьому

$$U_i^j = \frac{\partial T_i}{\partial q_j} = T_1 T_2 \dots T_{j-1} \Theta_j T_j \dots T_i, \quad 1 \leq j \leq i, \quad i = 1, 2, \dots, N; \quad (1.17)$$

$$U_i^{jk} = \frac{\partial U_i^j}{\partial q_k} = \frac{\partial^2 T_i}{\partial q_j \partial q_k} = T_1 T_2 \dots T_{j-1} \Theta_j T_j \dots T_{k-1} \Theta_k T_k \dots T_i, \quad 1 \leq j \leq i, \quad j \leq k \leq i, \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (1.18)$$

З урахуванням вираження (1.12) можна одержати залежності

— лінійної швидкості v_i і прискорення w_i деякої точки, нерухомої в i -й системі координат і обумовленої радіусом-вектором R_i :

$$v_i = \sum_{j=1}^i (U_i^j R_i) \dot{q}_j; \quad (1.19)$$

$$w_i = \sum_{j=1}^i (U_i^j R_i) \ddot{q}_j + \sum_{j,k=1}^i (U_i^{jk} R_i) \dot{q}_j \dot{q}_k; \quad (1.20)$$

— кутової швидкості ω_i й прискорення ε_i i -ї системи координат (зв'язаної з ланкою):

$$\omega_i = \sum_{j=1}^i (\Gamma_j \tilde{\Theta}_j) \dot{q}_j; \quad (1.21)$$

$$\varepsilon_i = \sum_{j=1}^i (\Gamma_j \tilde{\Theta}_j) \ddot{q}_j + \sum_{j \geq k=1}^i (U_j^{jk} \tilde{\Theta}_j) \dot{q}_j \dot{q}_k; \quad (1.22)$$

де для обертальних і поступальної кінематичних пар відповідно

$$\tilde{\Theta}_j = [0, 0, 1, 0]^T; \quad \tilde{\Theta}_j = [0, 0, 0, 1]^T.$$

Рівняння (1.13) дозволяє одержати рішення так званих прямої й зворотної завдань кінематики робота.

Пряме завдання кінематики полягає у визначенні по заданих узагальнених координатах маніпулятора положення його деякої ланки. Необхідність рішення прямого завдання виникає у зв'язку з неможливістю визначення положення загарбного пристрою шляхом безпосереднього виміру, у той час як поточні значення узагальнених координат маніпулятора вимірюються досить просто за допомогою відповідних датчиків. При підстановці вектора узагальнених координат $q = [q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_N]^T$ вираження (1.13) прийме вид

$$\Gamma_N = (q) = T_1(q_1) T_2(q_2) \dots T_i(q_i) \dots T_N(q_N), \quad (1.23)$$

де матриця Γ_N визначає положення й орієнтацію загарбного пристрою робота в системі координат, пов'язаної з підставою. Четвертий стовпець являє собою вектор координат Об початки відліку системи 0_N x у z третій, другий і перший стовпці визначають відповідно напрямки осей Z , y , x і являють собою вектор підходу A , вектор орієнтації B и вектор $V \times A$ мал. 1.4).

При цьому матриця Γ_N може бути записана у вигляді

$$\Gamma_N = \begin{bmatrix} (B \times A)_x & B_x & A_x & O_x \\ (B \times A)_y & B_y & A_y & O_y \\ (B \times A)_z & B_z & A_z & O_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (1.24)$$

Зворотнє завдання кінематики являє собою завдання відшукування узагальнених координат маніпулятора за заданим значенням положення й орієнтації його ланок і зводяться до рішення рівняння (1.13) щодо вектора узагальнених координат $q = [q_1, q_2, \dots, q_i]^T$, $1 \leq i \leq N$. Знаходження послідовності таких векторів за заданим значенням положення й орієнтації загарбного пристрою маніпулятора уздовж деякої просторової траєкторії становить попередній етап процедури побудови відповідної програмної траєкторії $q_p(t)$ методом, заснованим на рішенні зворотного завдання кінематики.

Відомі точний і наближений методи рішення зворотного завдання. Одержання точного рішення у вигляді аналітичних залежностей узагальнених координат від конструктивних параметрів і заданого вектора положення маніпулятора можливо не для всіх кінематичних схем роботів і є складним завданням, тому що пов'язане з рішенням еквівалентної матричному рівнянню (1.13) системи нелінійних рівнянь зв'язку вектора положення з вектором узагальнених координат виду

$$X_{эд} = X(q) \quad (1.25)$$

с i невідомими ($1 \leq i \leq N$).

Одним з можливих прийомів при точному рішенні зворотного кінематичного

завдання є використання співвідношення

$$T_1 T_2 \dots T_j = \Gamma_{j \in \mathbb{Z}} T_i^{-1} \dots T_{j+1}^{-1}, \quad i = 1, 2, \dots, N; \quad j = 1, 2, \dots, i - 1, \quad (1.26)$$

яке в ряді випадків дозволяє одержати рівняння із числом невідомих q_k ($k = 1, 2, \dots, j$), не перевищуючим j . Це стає можливим у тому випадку, якщо серед елементів матриці, що коштує в правій частині рівності (1.26), за винятком елементів її останнього рядка, вдається знайти елементи (або їхні лінійні комбінації), що не залежать від шуканих величин.

Наближені методи на відміну від точних дозволяють одержати рішення зворотного завдання кінематики для будь-якої кінематичної схеми й зводяться до чисельного рішення рівнянь зв'язку (1.25).

Зворотнє завдання кінематики може бути зведена до завдання мінімізації функціонала неузгодженості $I^2(q)$ векторів заданого $X_{зд}$ і поточного $X(q)$ положень:

$$I^2(q) = |X_{зд} - X(q)|^2. \quad (1.27)$$

ЛЕКЦІЯ 13

ТЕМА: Динаміка роботів

Опис динамічних властивостей маніпулятора, розглянутого як механічна система, що представляє собою сукупність ланок з певними масоінерційними характеристиками, може бути отримано різними методами, у тому числі на основі II закону Ньютона, принципу найменшого примуса Гауса й ін. Один з можливих методів одержання рівнянь динаміки маніпулятора заснований на використанні рівнянь Лагранжа II роду [5, 6].

У загальному випадку рівняння Лагранжа II роду мають вигляд:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} - \frac{\partial L}{\partial q_k} = F_k, \quad k = 1, 2, \dots, N, \quad (1.36)$$

де $L=K-\Pi$ - функція Лагранжа; DO - кінетична енергія системи; Π - потенційна енергія системи; F_k - узагальнена сила, віднесена до k -му ланки; q_k - узагальнена координата k -го ланки.

Кінетична енергія маніпулятора визначається кінетичною енергією його ланок і об'єкта маніпулювання:

$$K = \sum_{i=1}^N K_i, \quad (1.37)$$

де K_i - кінетична енергія i -го ланки.

Позначивши через R_i радіус-вектор деякої крапки i -го ланки, а через dm_i , її масу, можна одержати вираження для кінетичної енергії розглянутої крапки:

$$dK_i = \frac{1}{2} |\dot{R}_0|^2 dm, \quad (1.38)$$

де R_0 — величина, обумовлена відповідно до вираження (1.12),.

Використавши вираженням (1.19) для швидкості матеріальної крапки ланки й співвідношенням для двох векторів

$$(a, b) = a^T b = \text{tr}(ab^T)^*,$$

перетворимо рівняння (1.38):

$$dK_i = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^i \sum_{l=1}^i \text{tr}(U_i^j R_i R_i^T (U_i^l)^T) dm_i \dot{q}_j \dot{q}_l. \quad (1.39)$$

Вираження для відшукання повної кінетичної енергії ланки може бути записане в

такий спосіб:

$$K_i = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^i \sum_{l=1}^i \text{tr}(U_i^j H_i (U_i^j)^T) \dot{q}_j \dot{q}_l. \quad (1.40)$$

Величина $H_i = \int R_i R_i^T dm_i$ являє собою матрицю інерції і-го ланки:

$$H_i = \begin{bmatrix} \int x_i^2 dm_i & \int y_i x_i dm_i & \int z_i x_i dm_i & \int x_i dm_i \\ \int x_i y_i dm_i & \int y_i^2 dm_i & \int z_i y_i dm_i & \int y_i dm_i \\ \int x_i z_i dm_i & \int y_i z_i dm_i & \int z_i^2 dm_i & \int z_i dm_i \\ \int x_i dm_i & \int y_i dm_i & \int z_i dm_i & m_i \end{bmatrix}, \quad (1.41)$$

де $(x_i, y_i, z_i, 1)^T = R_i m_i$ — маса і-го ланки; $\int x_i^2 dm_i = I_{xx}^i$, $\int y_i^2 dm_i = I_{yy}^i$, $\int z_i^2 dm_i = I_{zz}^i$, - моменти інерції щодо координатних площин;

$$\int x_i y_i dm_i = \int y_i x_i dm_i = I_{xy}^i = I_{yx}^i;$$

$$\int x_i z_i dm_i = \int z_i x_i dm_i = I_{xz}^i = I_{zx}^i;$$

$$\int y_i z_i dm_i = \int z_i y_i dm_i = I_{yz}^i = I_{zy}^i$$

- відцентрові моменти інерції.

Формування матриці інерції останньої ланки H_N , як правило, проводиться з обліком масоінерційних параметрів об'єкта маніпулювання.

Вираження для кінетичної енергії маніпулятора може бути представлено в наступному виді:

$$K = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^i \sum_{l=1}^i \text{tr}(U_i^j H_i (U_i^j)^T) \dot{q}_j \dot{q}_l. \quad (1.42)$$

Потенційна енергія маніпулятора в поле сил тяжіння (що діють у негативному напрямку осі z_0) визначається співвідношенням

$$\Pi = - \sum_{i=1}^N m_i G^T R_{i\Gamma}, \quad (1.43)$$

де m_i -маса і-го ланки; $G^T = [0, 0, g, 0]^T$ -вектор прискорення вільного падіння; $R_{i\Gamma} = [x_{i\Gamma}, y_{i\Gamma}, z_{i\Gamma}, 1]^T$ — радіус-вектор центра мас Γ -го ланки у відповідній йому системі координат.

Підставивши вираження (1.42) і (1.43) для кінетичної й потенційної енергії маніпулятора в рівняння (1.36) і виконавши диференціювання, одержимо рівняння Лагранжа в явному виді:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^i \text{tr}(U_i^j H_i (U_i^j)^T) \ddot{q}_j + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^i \sum_{l=1}^i \text{tr}(U_i^j H_i (U_i^j)^T) \dot{q}_j \dot{q}_l - \sum_{i=k}^N m_i G^T U_i^k R_{i\Gamma} = F_k, \quad k = 1, 2, \dots, N. \quad (1.44)$$

Таким чином, система (1.44) описує рух маніпулятора під дією узагальнених сил і може бути представлена в загальному виді:

$$A(q, \xi) \ddot{q} + B(q, \dot{q}, \xi) = F, \quad (1.45)$$

де $A(q, \xi)$ — матриця-функція $N \times N$ залежна від конфігурації маніпулятора; ξ — вектор геометричних і масоінерційних параметрів маніпулятора; $B(q, \dot{q}, \xi)$ — вектор-функція розмірності N .

Узагальнена сила F_k діюча в k -м зчленуванні, являє собою сукупність моменту сили або зусилля на виході k -го приводу M_{nk} і віднесеного до k -й координати зовнішнього моменту, що обурює, або зусилля M_{vk} :

$$F_k = M_{nk} + M_{ek}, \quad k = 1, 2, \dots, N.$$

У курсі теоретичної механіки узагальнені сили M_e визначаються через віртуальну роботу в такий спосіб:

$$\delta A = \sum_{k=1}^N M_{ek} \delta q_k. \quad (1.46)$$

Це ж вираження для роботи зовнішніх сил, що діють на маніпулятор при нескінченно малій зміні його конфігурації, може бути записане у вигляді

$$\delta A = \sum_{k=1}^N \int \delta A_i, \quad (1.47)$$

де

$$\delta A_i = df_i \delta R_0 = df_i \delta(\Gamma_i R_i) = df_i \delta \Gamma_i R_i = \text{tr}(df_i R_i^T \Gamma_i^T) = \text{tr}(df_i R_i^T \sum_{j=1}^i (U_i^j)^T \delta q_j) = \sum_{j=1}^i \text{tr}(df_i R_i^T)^T \delta q_j \quad (1.48)$$

— робота елемента сили $df_i (f_i = (f_{1i}, f_{2i}, f_{3i}, 0)^T)$ по переміщенню елемента dm_i i -го ланки на величину δR_0 .

Підставивши вираження (1.48) для елементарної роботи в рівність (1.47) і виконавши інтегрування по обсязі i -го ланки, одержимо співвідношення

$$\delta A = \sum_{j=1}^N \int (df_j \delta R_0) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^i \text{tr}((\int R_i df_i^T)^T (U_i^j)^T \delta q_j) = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N \text{tr}((\int R_i df_i^T)^T (U_i^j)^T) \delta q_j. \quad (1.49)$$

Вираження для зовнішніх узагальнених сил, що обурюють, може бути отримане з рівнянь (1.46), (1.49):

$$M_{ek} = \sum_{i=k}^N \text{tr}(\Phi_i (U_i^k)^T). \quad (1.50)$$

Величина $\Phi_i = (\int R_i df_i^T)^T$ являє собою матрицю сил, що діють на i -і ланка:

$$\Phi = \begin{bmatrix} \int x_i df_{1i} & \int y_i df_{1i} & \int z_i df_{1i} & \int df_{1i} \\ \int x_i df_{2i} & \int y_i df_{2i} & \int z_i df_{2i} & \int df_{2i} \\ \int x_i df_{3i} & \int y_i df_{3i} & \int z_i df_{3i} & \int df_{3i} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (1.51)$$

де $(x_i, y_i, z_i)^T = R_i$.

Матриця сил Φ_i може бути побудована по головному вектору й головному моменту сил, що діють на i -і ланка, у такий спосіб:

$$\Phi_i = \left(\sum_{j=1}^6 \delta_j f_{ji} \Theta_j \right) (\Gamma_i^T)^{-1}, \quad (1.52)$$

де $f_i = (f_{1i}, f_{2i}, \dots, f_{6i})^T$; $f_{ji} (j = 1, 2, 3)$ — проєкції головного вектора сил на осі абсолютної системи координат; $f_{ji} (j = 4, 5, 6)$ — проєкції головного моменту сил на осі абсолютної системи координат;

Відповідність між вектором моментів (зусиль), що розвивають приводами, і вектором керуючих впливів, що подаються на їхні входи, установлюється на основі рівнянь, що описують динамічні властивості приводів.

Вид рівнянь приводу, що зв'язують керуючий вплив з розвиває моментом, що (зусиллям), визначається обраним варіантом обліку його нелінійностей. Як приклад може

бути розглянута лінеаризована модель приводу, механічна частина якого вважається абсолютно твердою [6].

Динаміка лінеаризованого приводу описується системою рівнянь, у яку входить:

- рівняння підсилювача приводу

$$K_{yk} A_{yk}(p) \omega_{\text{oxk}}(t) = v_k(t), \quad k = 1, \dots, N, \quad (1.53a)$$

де K_{yk} — коефіцієнт пропорційності; $A_{yk}(p)$ — операторний багаточлен, що характеризує інерційність підсилювача; p — оператор диференціювання за часом; $\omega_{\text{oxk}}(t)$ — кутова (або лінійна) швидкість [залежна від керуючого впливу $v_k(t)$];

- рівняння двигуна приводу

$$K_{\text{ok}} B_{\text{ok}}(p) M_{\text{ok}}(t) = \omega_{\text{oxk}}(t) - \omega_{\text{ok}}(t), \quad k = 1, \dots, N, \quad (1.53б)$$

де K_{ok} — коефіцієнт пропорційності; B_{ok} — операторний багаточлен, що характеризує інерційність двигуна; M_{ok} — момент, що розвиває двигуном, (зусилля $\omega_k = \dot{q}_k$) $\omega_{\text{ok}} = \dot{q}_k$; , - кутові (або лінійні) швидкості переміщення об'єкта керування й двигуна по координаті q_k ,

— рівняння моментів (зусиль) на валу двигуна

$$J_{\text{ok}} p \omega_{\text{ok}}(t) = M_{\text{ok}}(t) + M_{n.\text{ok}}(t), \quad k = 1, \dots, N, \quad (1.53в)$$

де J_{ok} — момент інерції (або маса) частин, що переміщуються, двигуна; M_{nk} - створюваний навантаженням сумарний момент (зусилля) ; $M_{n.\text{ok}}(t)$ — наведений до вала двигуна момент (зусилля) навантаження $M_n(t)$;

— рівняння наведеної швидкості вала

$$\omega_{\text{ok}}(t) = \omega_k(t) i_{pk}, \quad k = 1, \dots, N, \quad (1.53г)$$

де i_{pk} — передаточне число редуктора ($i_{pk} \geq 1$);

- рівняння наведеного моменту (зусилля) навантаження)

$$M_{nk(t)} = M_{n.\text{ok}} i_{pk} K_{n.\text{ok}}, \quad k = 1, \dots, N, \quad (1.53д)$$

де

$$K_{n.\text{ok}} = \begin{cases} 1/\eta_k & \text{при } M_{nk} < 1; \\ \eta_k & \text{при } M_{nk} > 0; \end{cases}$$

η_k — коефіцієнт корисної дії редуктора.

Рівняння системи (1.53а)-(1.53д) справедливі для приводів не тільки з кутовим, але й з лінійним переміщенням (при заміні моментів сил на зусилля, а моментів інерції на маси).

У загальному випадку момент навантаження M_{nk} , створюваний на вихідному валу приводу розглянутого k -го ланки за рахунок дії наступних ланок і об'єкта маніпулювання, може бути представлений у наступному виді:

$$M_{nk}(t) = M_{\text{динл}}(t) + M_{T_k}(t) + M_{cTT}(t) + M_{\text{ек}}(t), \quad (1.54)$$

де $M_{\text{динл}}$ — динамічний момент, обумовлений інерційністю навантаження; цей момент визначається першими двома доданками в рівнянні (1.44); M_{T_k} — момент, створюваний силами тертя на валу навантаження; M_{cTk} — статичний момент, обумовлений вагомий навантаження; визначається третім доданком у рівнянні (1.44); $M_{\text{ек}}$ — момент, обумовлений дією зовнішніх обурювачих сил, визначається відповідно до вираження (1.50).

Динамічний момент $M_{\text{динл}}$ може бути представлений у спрощеному виді без обліку коріолісові і відцентрових сил:

$$M_{\text{днк}} = -\frac{\partial F_k}{\partial \ddot{q}_k} \ddot{q}_k = -J_{nk} \dot{\omega}_k, \quad (1.55)$$

де J_{nk} — ефективний момент інерції навантаження.

Виразивши \ddot{q}_k з рівняння (1.55), одержимо вираження для визначення ефективного моменту інерції навантаження:

$$J_{nk} = \frac{\partial F_k}{\partial \ddot{q}_k} = \frac{1}{\frac{\partial \ddot{q}_k}{\partial F_k}} = \frac{1}{\frac{\partial [(A^{-1}(F-B))_{kk}]}{\partial F_k}} = [(A^{-1})_{kk}]^{-1}. \quad (1.56)$$

Думаючи всі елементи приводу лінійними, момент M_{Tk} , обумовлений дією сил тертя на валу навантаження, рівним нулю, урахуємо вплив сил тертя, розглянувши нелінійність релейного типу.

Момент, що розвиває двигуном, наведений до вала навантаження (тобто момент на виході приводу), визначається відповідно до вираження

$$M_{nk} = i_{pk} K'_{n.ок} M_{ок}, \quad (1.57)$$

де

$$K'_{n.ок} = \left\{ \begin{array}{ll} 1/\eta_k & \text{при } \omega_{ок} < 0; \\ \eta_k & \text{при } \omega_{ок}. \end{array} \right\}$$

Структурна схема лінеаризованого приводу, що відповідає системі рівнянь (1.53), що описують його динаміку, представлена на рис. 13.1.

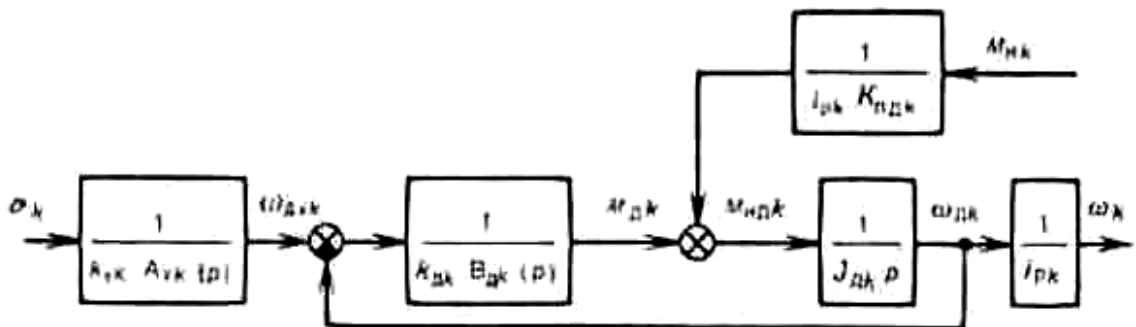


Рис. 13.1 - Структурна схема лінеаризованого приводу

Диференціальні рівняння приводу, що зв'язують керуючий вплив $u_k(t)$ зі швидкістю вала навантаження $\omega_k(t)$ й з наведеним до вала навантаження моментом $M_{nk}(t)$, що розвиває двигуном, можуть бути записані у вигляді:

$$u_k(t) = C(p)\omega_k(t) - E(p)M_{nk}(t), \quad (1.58)$$

де

$$C(p) = i_{pk} K_{yk} A_{yk}(p) [1 + K_{ок} J_{ок} p B_{ок}(p)];$$

$$E(p) = (i_{pk} K'_{n.ок})^{-1} K_{yk} K_{ок} A_{yk}(p) B_{ок}(p)$$

и

$$p u_k(t) = S(p)M_{nk}(t) + W(p)M_{nk}(t), \quad (1.59)$$

де

$$S(p) = (i_{pk} K_{n.ok} J_{ok})^{-1} K_{yk} A_{yk}(p) [1 + K_{ok} J_{ok} p B_{ok}(p)];$$

$$W(p) = (i_{pk} K_{n.ok} J_{ok})^{-1} K_{yk} A_{yk}(p).$$

Для приклада розглянемо електропривод із двигуном постійного струму з незалежним порушенням, що володіє зворотним зв'язком по швидкості ω_o вала двигуна.

Тоді після еквівалентних перетворень рівняння приводу запишуться в такий спосіб:

$$v(t) = i_p K_6^{-1} [1 + (K_3 K_7)^{-1} p (T_d p + 1)] \omega(t) - i_p K_{п.д} K_6 K_7^{-1} (T_d p + 1) M_n(t); \quad (1.60)$$

$$p v(t) = K_3 (i_p K_{п.д} K_6)^{-1} [1 + (K_3 K_7)^{-1} p (T_d p + 1)] M_n(t) + K_3 (i_p K_{п.д} K_6)^{-1} M_n(t); \quad (1.61)$$

де $K_1 = K_{yk}^{-1}$; $K_2 = K_{ok}^{-1}$; $K_3 = O_{ok}^{-1}$; -коефіцієнти зворотного зв'язку й зворотного зв'язку по швидкості;

$$K_6 = K_1 (K_1 K_5 + K_4)^{-1}; \quad K_7 = K_2 (K_1 K_5 + K_4); \quad A_{yk}(p) = 1; \quad B_{ok}(p) = T_d p + 1.$$

При малих значеннях постійної часу двигуна T_o , що характеризує його інерційність, рівняння (1.60), (1.61) приймають вид:

$$v(t) = T_1 p \omega(t) + T_2 \omega(t) - T_3 M_n(t); \quad (1.62)$$

$$p v(t) = T_1' M_n(t) + T_2' M_n(t) - T_3' M_n(t); \quad (1.63)$$

де

$$T_1 = \frac{i_p}{K_3 K_5 K_6}; \quad T_2 = \frac{i_p}{K_5}; \quad T_3 = \frac{1}{i_p K_{n.o} K_5 K_6};$$

$$T_1' = \frac{K_3}{i_p K_{n.o} K_3 K_5 K_6}; \quad T_2' = \frac{K_3}{i_p K_{n.o} K_5}; \quad T_3' = \frac{K_3}{i_p K_{n.o} K_5}.$$

Таким чином, динаміка робота як електромеханічної системи описується системою рівнянь, що включає в себе рівняння динаміки маніпулятора й рівняння динаміки його приводів. Для робота із приводами розглянутого типу зазначена система рівнянь має такий вигляд:

$$A^1(q, \xi) \ddot{q} + B^1(q, \dot{q}, \xi) = u; \quad (1.64)$$

$$\dot{v} = D_0 \ddot{u} + D_1 \dot{u} + D_2 u + D_3 M_n(q, \dot{q}, \xi),$$

де

$$A^1(q, \xi) = A(q, \xi) + J_{д}^1;$$

$$J_{д}^1 = \text{diag}(i_{p1}^2 J_{д1}, \dots, i_{pN}^2 J_{дN});$$

$$B^1(q, \dot{q}, \xi) = B(q, \dot{q}, \xi) - M_{\tau} - M_B;$$

M_{τ}, M_B — моменти, обумовлені дією сил тертя й зовнішніх моментів, що обурюють, на валах навантаження; $u = Mп - N$ -мірний вектор моментів, що розвивають приводами; v - N -мірний вектор керуючих $M_n(q, \dot{q}, \xi)$ впливів; - N -мірний вектор навантажень на вихідних валах $D_j = \text{diag}(d_{1j}, \dots, d_{Nj})$ приводів; - $N \times N$ діагональні матриці, обумовлені параметрами приводів.

Як правило, перехідні процеси в приводах протікають у багато разів швидше перехідного процесу в маніпуляторі. Тому можливо роздільне інтегрування диференціальних рівнянь системи (1.64).

ЛЕКЦІЯ 14

ТЕМА: СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РОБОТАМИ

Головна особливість систем автоматичного керування роботами - їхня автономна робота без особистої участі людини, функції оператора складаються лише в навчанні, запуску й наступному періодичному спостереженні за роботою робота.

Закон керування в системі автоматичного керування реалізується у вигляді програми керування. При цьому можливі різні режими відпрацьовування заданої програми: керування по твердій програмі без її перебудови в процесі роботи, адаптивна зміна програми залежно від умов роботи, формування керування при відсутності заданої в явному виді програми.

Тверде відпрацьовування програми характерне для *роботів першого покоління*. Це найбільш простий вид керування, особливо при реалізації його на базі розімкнутого циклу регулювання. У більше складних випадках застосовують замкнутий принцип керування.

Наявність системи очувствлення, що дозволяє роботів пристосовуватися до неповністю певної обстановки при виконанні програми, відрізняють *автоматичні роботи другого покоління*, називані *адаптивними*.

Здатність сприйняття, розпізнавання навколишнього середовища, побудови її моделі, ухвалення рішення про зміну поведінки при виконанні завдання характерна для *роботів третього покоління*. Такі роботи прийняти називати *інтелектуальними*, тому що вони технічно відтворюють окремі досить складні інтелектуальні функції, властиві людині. Однак варто відрізнити штучний, або машинний, інтелект роботів від природного інтелекту живих організмів. Маючи тільки зовнішню подібність проявів, інтелектуальні функції робота реалізуються на інших фізичних принципах і мають обмежені можливості.

Разом з тим навіть не настільки зроблений технічний інтелект значно спрощує й автоматизує рішення завдання синтезу керуючих програм робота, особливо в тих випадках, коли роботів доводиться діяти самостійно, не вдаючись до допомоги людини як у роботі, так і в процесі навчання.

Таким чином, складність розв'язуваних системою автоматичного керування завдань є основою для поділу роботів на покоління. Роботи першого покоління добре освоєні промисловістю. Знайдені економічно доцільні способи їхнього серійного виготовлення. Роботи другого й особливо третього покоління поки ще унікальні й, як правило, дороги. Їх використовують при роботі в екстремальних умовах, де праця людини неможлива. Разом з тим накопичений перший досвід промислових застосувань таких роботів, успішність якого дозволить їм швидко поширитися насамперед у точному машинобудуванні, електронній промисловості, приладобудуванні й ряді інших галузей.

Особливості систем автоматичного керування

Порівняння різних систем автоматичного керування можна провести по наступних характеристиках: тип траєкторії руху робота, цикл керування, джерела інформації для синтезу закону керування, алгоритм керування, спосіб програмування системи керування (табл. 14.1).

Тип траєкторії руху робота. Циклові системи керування забезпечують лише дискретну траєкторію руху. Кожна її дискретна крапка відповідає одній комбінації з наявного загального числа сполучень крайніх положень ланок маніпулятора. Позиціонування в крайнім положенні реалізується звичайно, механічним упором. Головний недолік дискретності траєкторії - неповна досяжність крапок робочої зони робота.

Позиційні системи керування забезпечують квазинеперервну траєкторію. Це значить, що траєкторія, власне кажучи, безперервна, але позиціонування можливо тільки в дискретних значеннях безперервної функції. Число дискретних значень залежить від можливостей керуючого пристрою й становить від декількох сотень до декількох тисяч

крапок.

Контурні, адаптивні й інтелектні системи керування забезпечують безперервні траєкторії руху, тобто можливість позиціонування в будь-якій крапці робочої зони робота. Більше того, параметри руху (швидкість, прискорення, гальмування) можна змінювати в процесі переміщення по траєкторії.

Таблиця 14.1

Характеристик и	Системи програмного керування			Системи адаптивного керування	Системи інтелектного керування
	циклові	позиційні	контурні		
Тип траєкторій руху	Дискретні	Квазинепре- ривні	Неперервні	Безперервні	Безперервні
Цикл керування	Розімкнуті	Розімкнуті й-замкнутий	Замкнутий за внутрішньою інформацією	Замкнутий по внутрішній і зовнішній інформації	Замкнутий по внутрішній і зовнішній інформації, по внутрішніх і зовнішніх
Джерела інформації	Кінцеві вимикачі	Датчики положення й швидкості в ступенях переміщення	Датчики положення й швидкості в ступенях переміщення	Датчики положення, швидкості, сіломо-ментні, тактильні, зору, локації	Системи здійснення з базами знань
Алгоритм	Циклограма	Циклограма й закон інтерполяції	Рішення діфе- ренціального рівняння	Адаптивна корекція	Багатоконтурн а адаптація й самоорганізація
Програмуванн я	Фізичне настроювання, машинний код асемблер	Навчання, машинний код	Навчання, режими ON- LINE, OF- LINE. Мови високого рівня. Спе- ціалізовані мови	Мінімальне предваритель- ное навчання, самонавчання. Мови високого рівня й спеціа- лізовані мови	Автоматичне програмування. Проблемно- орієнтована мова штучного інтелекту

Цикл керування. Циклові системи керування мають розімкнутий цикл керування, тобто сигнали керування надходять із програматора безпосередньо на привід робота. У позиційних системах цикл замкнуть по крапках позиціонування й розімкнуть для руху між крапками позиціонування, що відбувається за заданим законом. У контурних системах цикл керування замкнуть за внутрішньою інформацією про динамічний стан ланок робота, а адаптивні системи мають додаткові контури для організації замкнутого циклу за зовнішньою інформацією про динамічний стан середовища. Інтелекті системи, крім того, мають замкнуті цикли по внутрішніх і зовнішніх знаннях.

Джерела інформації. У циклових системах звичайно не використовуються

інформаційні датчики. Виключення становлять кінцеві вимикачі, що фіксують на-ходіння ланок у крайніх положеннях. У позиційно-контурних системах кожна ланка забезпечується обов'язково датчиком положення, сигнал якого надходить у пристрій порівняння для формування сигналу неузгодженості між що задають і поточними положеннями ланок. В адаптивних системах до датчиків внутрішньої інформації додаються датчики зовнішнього очуствлення, а в інтелектних системах засобу очуствлення поєднуються з базами знань.

Алгоритм керування. У циклових системах алгоритм керування формується у вигляді логічної послідовності спрацьовувань ланок маніпулятора. У позиційних системах поряд з логічною послідовністю руху ланок існує ще закон інтерполяції, що визначає рух між крапками позиціонування. У контурних, адаптивних і інтелектні системах алгоритм керування синтезується в результаті рішення диференціального рівняння, що описує динаміку робота.

Спосіб програмування. Циклові системи програмуються шляхом фізичного настроювання механічних упорів і ручного набору циклограми на програматоре. Позиційно-контурні системи програмуються в режимі безпосереднього навчання з використанням мови машинних кодів або із застосуванням мов програмування високого рівня. Використаються також спеціальні мови програмування, що враховують специфіку робота. Для адаптивних і інтелектних систем характерні автоматизовані й автоматичні способи програмування.

ЛЕКЦІЯ 15

ТЕМА: Циклові системи керування

Основний принцип циклового керування автоматичними роботами, що полягає в здійсненні позиціонування маніпулятора по упорах, визначає ряд характерних рис циклових систем керування, головними з яких є наступні:

- програмування логічної й технологічної інформації дискретного виду, що визначає послідовність руху ланок маніпулятора, тривалість позиціонування й т.д.;
- виділення інформації про переміщення по окремих ступенях рухливості, що задають за допомогою регульованих упорів або датчиків положення;
- порівняння заданого й фактичного положень ланок маніпулятора в природному кодї*;
- керування по розімкнутому циклі.

У загальному випадку склад пристрою циклового програмного керування містить у собі програмно-задаючий модуль, програмоносій, блоки сполучення з роботом і технологічним устаткуванням, панель керування й пульт ручного керування навчанням (рис. 15.1).

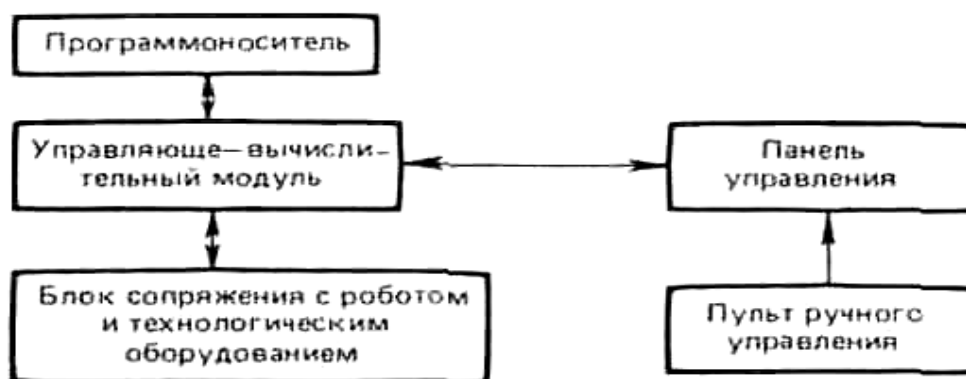


Рис. 15.1 - Загальна структура системи циклового керування

Ядром системи є управляючий-обчислювальний модуль, основна функція якого полягає у формуванні мікрооперацій (керуючих імпульсів), що відповідають необхідному алгоритму, для видачі їх в операційні вузли й інші функціональні блоки. В електронних пристроях циклового програмного керування як управляючий-обчислювальний модуль, як правило, використовуються мікропрограми автомати різних типів. Організація управляючий-обчислювальний модулів мікропроцесорних систем циклового керування реалізується на базі мікропроцесорних наборів і микро-овм різних конфігурацій.

Для запам'ятовування й зберігання інформації про послідовності виконання команд у системах циклового керування як програмно-задаючих модулі (програмоносітелі) можуть бути використані як електромеханічні інформаційні носії - штекерні й комутаційні поля, програмні барабани, діодні перепрограмувальні матриці, рознімання, перфокарти й т.п., так і електронні, побудовані на основі БІС напівпостійних запам'ятовувальних пристроїв з електричним перезаписом інформації. Блок сполучення з роботом і технологічним устаткуванням виконує функції формування команд керування приводами, опитування стану датчиків, що виробляють сигнали підтвердження відпрацьовування, обміну інформацією (дискретного виду) з технологічним устаткуванням, що обслуговує. Панель керування призначена для завдання режимів роботи, пуску й зупинки програми, індикації ходу відпрацьовування програми, стану й правильності функціонування вузлів. Сигнали ручного переміщення ланок робота формуються за допомогою пульта ручного керування (навчання).

Процес навчання полягає в ручному регулюванні упорів, що здійснюють позиціонування робота, і занесенні в програмоносіє інформації про послідовності зміни положень його окремих ланок.

Програмування керуючої інформації виробляється по кадрам, склад і число яких визначаються командами, видаваними на приводи робота й технологічне встаткування. При автоматичному відтворенні програми інформація про черговість виконання окремих операцій зчитується по кадрам із програмоносітеля в управляючий-обчислювальний модуль, що формує команди керування на блок сполучення з роботом і технологічним устаткуванням.

Як приклад циклової системи керування зі спрощеною реалізацією основних функціональних вузлів і блоків розглянемо пристрій ЭЦПУ-6030 (рис. 15.2), орієнтоване на керування найпростішими роботами типу МП-9С и супутнім технологічним устаткуванням. Воно побудовано на основі синхронного керуючого автомата за принципом твердої реалізації алгоритму керування. Програмоносітель реалізований у вигляді двох складальних полів з декадних перемикачів. Організація програмоносітеля й система команд дозволяють забезпечити програмування одночасного виконання двох команд керування ланками маніпулятора, а також технологічних команд, команд опитування датчиків, витримки часу, логічних команд і т.д.

В автоматичному режимі роботи черговий номер кадру програми, що відпрацьовує, з лічильника кадрів надходить на дешифратор, що адресує програмоносітель. Вибір кадру програми супроводжується надходженням і запам'ятовуванням на тригерах вихідного регістра керуючих команд, видаваних на робот (до надходження нових).

Команди на технологічне встаткування зберігаються на виході пристрою тільки протягом часу їхнього виконання. Після одержання всіх сигналів про виконання відповідного кадру програми з датчиків технологічного встаткування й робота (або від блоків формування тимчасових витримок технологічних команд і команд на робот) відбувається спрацьовування лічильника кадрів, і пристрій переходить до виконання чергового такту програми. Схема пропуску й переходу призначена для реалізації найпростіших операцій розгалуження програми. Вона ініціюється схемою захиста, що формує сигнал опитування умови пропуску кадру програми. При наявності такої умови схема пропуску й переходу виробляє додатковий сигнал для лічильника кадрів, за рахунок якого й забезпечується пропуск чергового кадру. Тимчасові витримки керуючих сигналів задаються блоком формування програмної витримки часу.

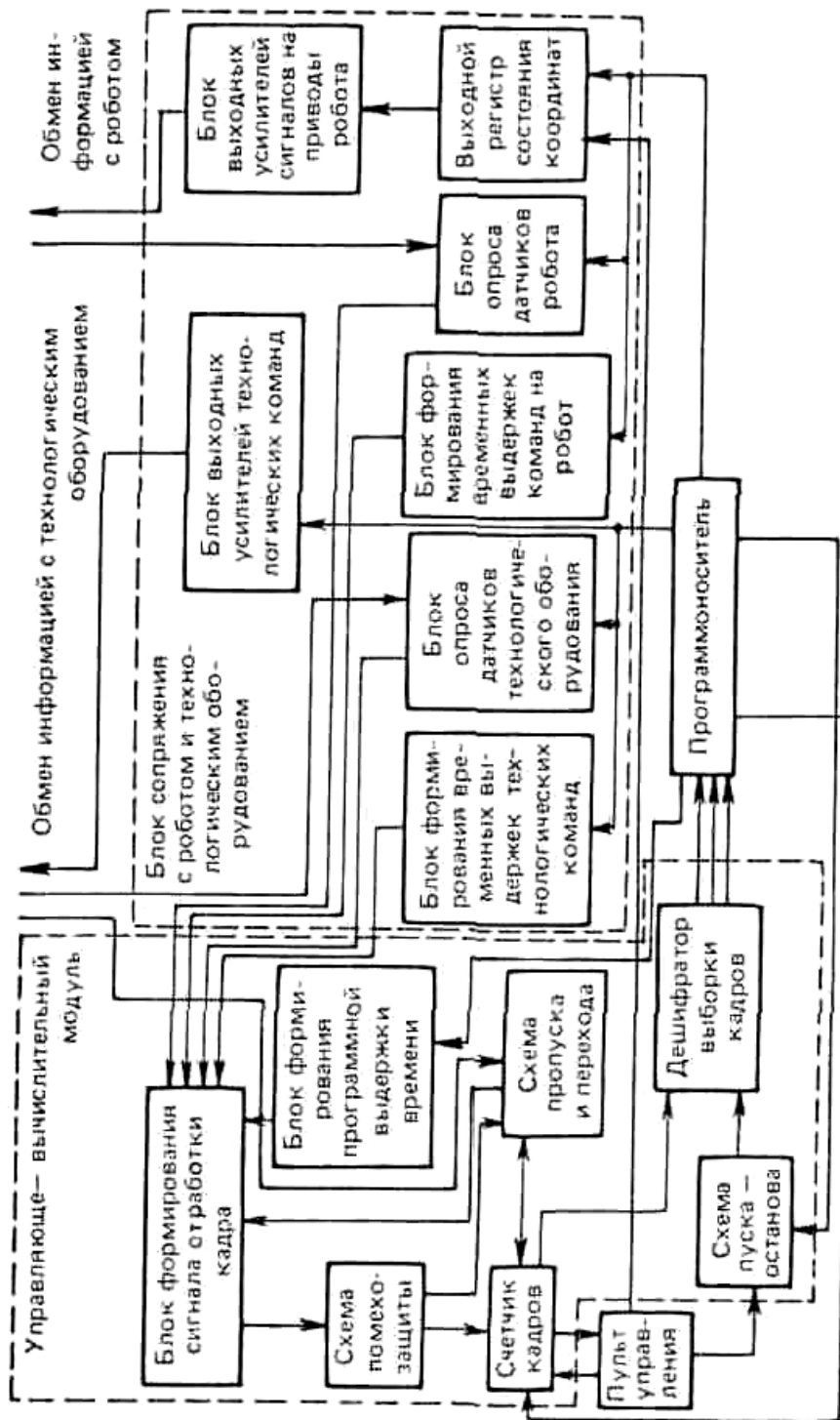


Рис. 15.2 - Структурна схема пристрою циклового керування ЭЦПУ - 6030

Пристрій циклового програмного керування ЭЦПУ-6030 призначається для керування роботами із двопозиційною фіксацією положення по окремих ступенях рухливості при автоматизації операцій із простим технологічним циклом.

Уніфіковані циклові системи

Уніфіковані циклові системи, призначені для керування роботами із проміжним позиціонуванням окремих ланок маніпулятора по висувних упорах і різному роді технологічним устаткуванням зі складною логікою керування, характеризуються рядом

особливостей, з яких визначальними є наступні:

- здійснюється керування висувними упорами;
- реалізуються алгоритми гальмування ланок робота при наближенні до упору;
- використовується збільшене число команд;
- формуються технологічні програми зі змінною послідовністю кадрів;
- застосовується розвинена система аварійних блокувань.

Типовим прикладом систем такого типу є уніфікований пристрій циклового керування УЦМ-663, структурна схема якого наведена на рис. 15.3.

Розширення логічних можливостей, як одне з вимог, пропонованих до систем подібного типу, привело до необхідності побудови управляючий-обчислювальний модуля у вигляді набору функціональних вузлів із загальним керуванням від центрального блоку, реалізованого на базі мікропрограмного автомата.

У якості програмоносителя в системі використовується «енергонезалежне» оперативно-запам'ятовувальний пристрій на інтегральних мікросхемах, що дозволяє зберігати записану інформацію при відключенні джерела харчування.

Керуюча інформація в процесі функціонування пристрою формується блоком центрального керування відповідно до програми, записаної в запам'ятовувальному пристрої. Система видачі команд на робот, що включає у свій склад програмувальні диодні матриці, які реалізують різні алгоритми керування, забезпечує сполучення пристрою із приводами всіляких типів циклових роботів. Вироблювані блоками керування роботом і технологічним устаткуванням сигнали керування непосредно надходять на відповідні приводи через блок вихідних підсилювачів. Блок сполучення з датчиками робота й спеціальна схема в блоці керування технологічним устаткуванням формують сигнали відпрацьовування кадру. Для запобігання аварійних ситуацій у пристрої передбачена програмувальна за допомогою спеціальної диодної матриці система аварійного блокування, що видає на блок центрального керування сигнали дозволу команд. Програмування пристрою здійснюється шляхом покомандного набору програми на пульті оператора. Змінний формат кадру, що включає одну або трохи одночасно виконуваних одиничних команд, є однією з характерних рис системи.

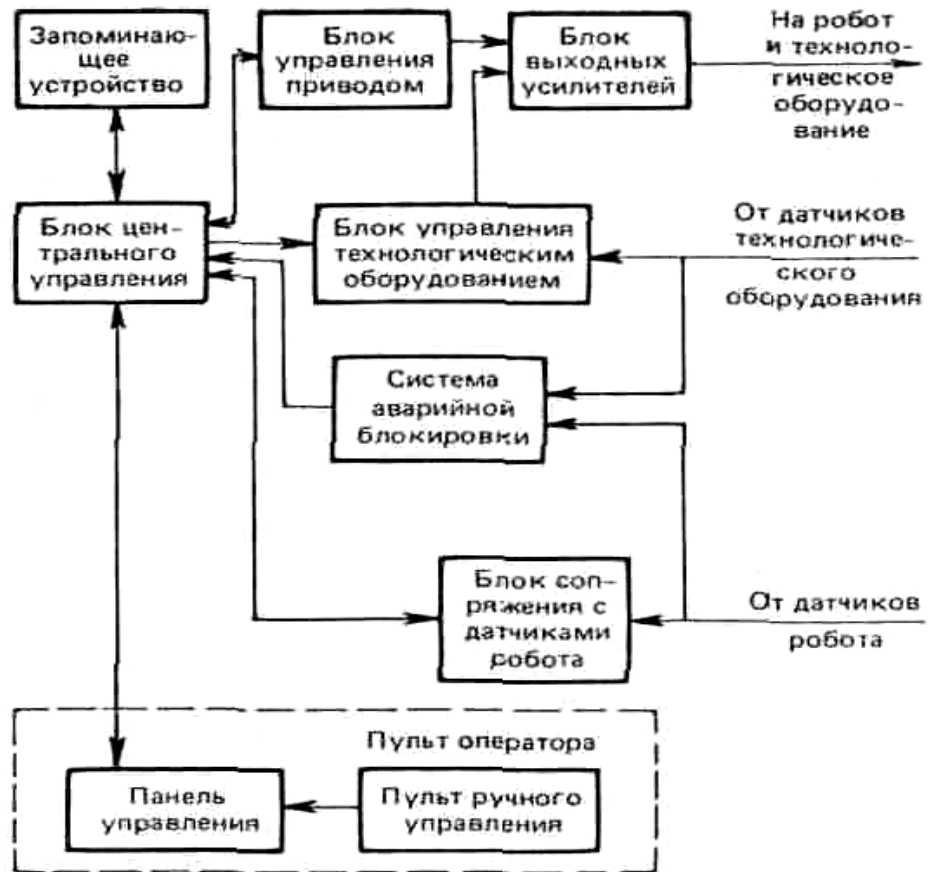


Рис. 15.3 - Структурна схема уніфікованого пристрою циклового керування УЦМ-663

Пристрій УЦМ-663 має досить розвинену мову програмування (системою команд). Кожна команда являє собою 8-розрядне слово, що складається з коду операції (старші розряди), не обов'язкової в загальному випадку інформаційної частини (молодші розряди) і контрольного розряду. Команди «Рух» призначені для здійснення ручного керування ланками маніпулятора. Пристрій пульта оператора дозволяє закодувати код операції, номер керованої координати й напрямок її руху.

Уніфіковані пристрої циклового керування завдяки досить розвиненим мовам програмування, структурно-алгоритмічній побудові, можливості гнучкої прив'язки до позиціонуємим по упорах роботам різних типів широко застосовуються при побудові локальних робототехнічних комплексів зі складними циклограмами роботи, більшим числом одиниць керованого технологічного встаткування.

Мікропроцесорні пристрої керування

Призначення мікропроцесорних пристроїв циклового керування складається в керуванні цикловими роботами в рамках складних робототехнічних комплексів, модулів ГАВ і т.д., що пов'язане з необхідністю обміну інформацією з ЕОМ верхнього рівня. На відміну від уніфікованих пристроїв циклового керування, орієнтованих на апаратну реалізацію більшості функцій, циклові системи керування, виконані на мікропроцесорній основі, являють собою керуючі пристрої, побудовані по блочно-модульному принципі, що володіють розвиненим математичним забезпеченням і призначені для керування цикловими маніпуляторами при обслуговуванні різного технологічного встаткування. Загальна структурна схема мікропроцесорного пристрою циклового керування наведена на рис. 15.4.

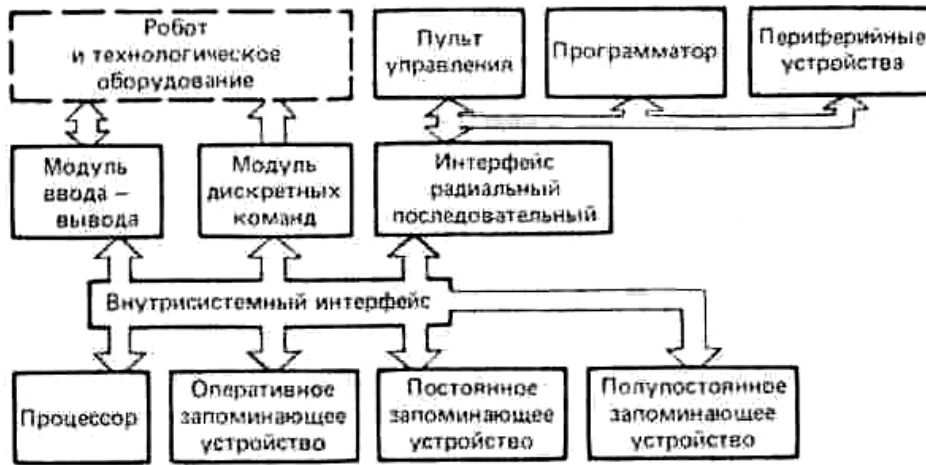


Рис. 15.4 - Загальна структурна схема мікропроцесорного пристрою циклового керування

Процесор, що здійснює логічну обробку інформації відповідно до записаного в пам'яті програмою по реалізації алгоритмів керування, є основним елементом управляючий-обчислювального модуля й створює можливість роботи в реальному масштабі часу за рахунок розв'язань системи переривання й програмувального таймера. Спеціальний контролер, що входить до складу управляючий-обчислювального модуля, виробляє сигнали внутрісистемного інтерфейсу. Система пам'яті пристрою включає у свій склад наступні модулі:

- постійного запам'ятовувального пристрою, призначеного для зберігання функціонального програмного забезпечення (ПО);
 - оперативного запам'ятовувального пристрою, призначеного для зберігання оброблюваної інформації;
 - напівпостійного запам'ятовувального пристрою, використовуваного в якості програмоносія
- я для зберігання керуючої програми, записуваної в процесі навчання.

Підключення до внутрісистемного інтерфейсу периферійних пристроїв, у число яких входять пристрої, що фотозчитують, перфторатор, пристрої зовнішньої пам'яті, програматор (призначений для уведення й редагування програми керування), інших апаратних модулів, а також здійснення зв'язку з ЕОМ верхнього рівня виробляється через модуль радіального послідовного інтерфейсу (ІРПС). Модуль ІРПС разом з модулем дискретних команд утворює засобу керування слабкострумової електроавтоматикою технологічного встаткування й синхронізації роботи інших засобів керування робототехнічним комплексом. Модулі уведення й висновку, число яких залежить від конкретного виконання пристрою, призначені для сполучення з роботом і технологічним устаткуванням, а пульт ручного керування забезпечує можливість здійснення ручного керування.

Програмне забезпечення мікропроцесорного пристрою циклового керування (призначення якого складається в організації взаємозалежної роботи апаратних модулів пристрою й властиво модулів ПО) крім модулів, що реалізують задані функції керування цикловими роботами й технологічним устаткуванням, і драйверів мікропроцесорних апаратних модулів включає у свій склад системні програми, що забезпечують функціонування ПО. На рис. 15.5 наведена структура ПО мікропроцесорного пристрою циклового керування.

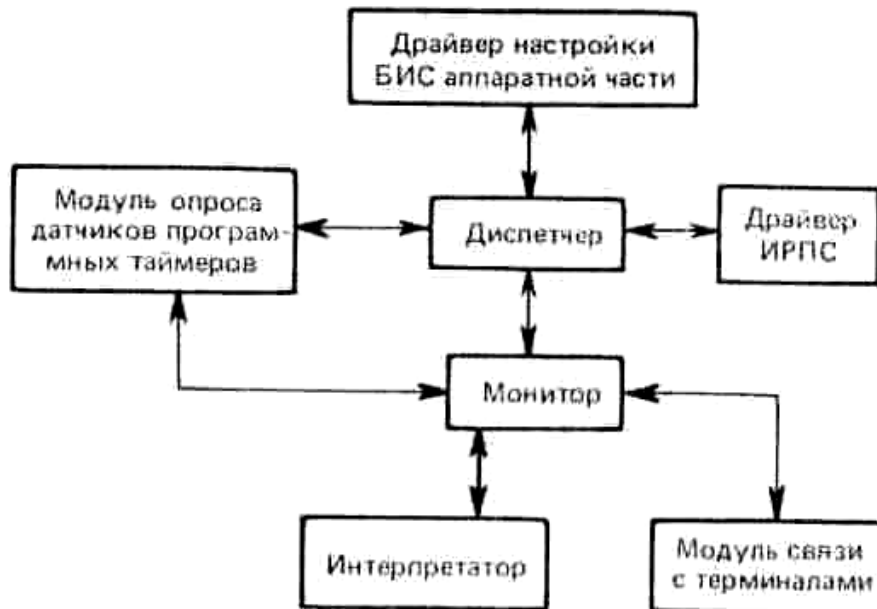


Рис. 15.5 - Структура программного обеспечения микропроцессорного устройства циклового управления

ЛЕКЦІЯ 16

ТЕМА: ПОЗИЦІЙНО-КОНТУРНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

У найпростішому випадку завдання керування рухом маніпулятора по заданій просторовій траєкторії полягає в розрахунку й покомпонентній видачі на приводи робота значень програмної траєкторії $q(t_k)$ в дискретні моменти часу t_0, t_1, \dots, t_{Tc} деяким кроком дискретності керування. При цьому система керування охоплена зовнішнім зворотним зв'язком по положенню. По способі видачі уставок $q(t_k)$ на входи приводів роботів системи керування діляться на системи позиційні [коли чергова уставка $q(t_k)$ подається лише після відпрацювання приводами всіх компонентів $q_i(t_{k-1}), i = 1, \dots, N$, її попереднього значення з необхідною точністю] і контурні [коли надходження уставок $q(t_k)$ організується з певною частотою, а точність відпрацювання задається тільки для кінцевого значення програмної траєкторії $q(t)$]. При керуванні по безлічі дискретних значень програмної траєкторії як позиційні, так і контурні системи виявляються працездатними. Однак забезпечення необхідної якості перехідних процесів пов'язане з рішенням завдання стабілізації програмних траєкторій, тобто завдання синтезу алгоритмів керування, що забезпечують асимптотичну стійкість програмних траєкторій.

Пристрою позиційно-контурного програмного керування

Застосування пристроїв позиційно-контурного керування значно розширює технологічні можливості роботів і практично виключає обмеження, пов'язані із числом крапок позиціонування загального пристрою маніпулятора.

Приведемо узагальнені технічні характеристики систем керування, що ставляться до даного класу:

число керуючих координат - 3-8; обсяг пам'яті програм (кадрів) - 100-1500; число технологічних команд обміну інформацією із зовнішнім устаткуванням - 15-128; тип приводу - що стежить або дискретний; тип використовуваних датчиків - аналогові, кодові, фазові, датчики положення.

По способі обробки вступник від робота геометричної інформації (послідовна або паралельна обробка координатних переміщень) системи керування позиційно-контурного типу розділяються на системи із центральним обчислювачем і системи з децентралізованою

структурою, коли обчислювач входить до складу кожного «координатного» блоку. Як правило, побудова за децентралізованою структурою характерно для систем цільового призначення, особливо із цифро-аналоговим способом обробки геометричної інформації й обмежених функціональних можливостей.

Реалізація систем керування за структурою із центральним обчислювачем дозволяє істотно підвищити інформаційно-обчислювальні можливості системи.

Загальна структура систем позиційно-контурного керування представлена на рис. 16.1 (у позиційному режимі інтегратор не використовується).

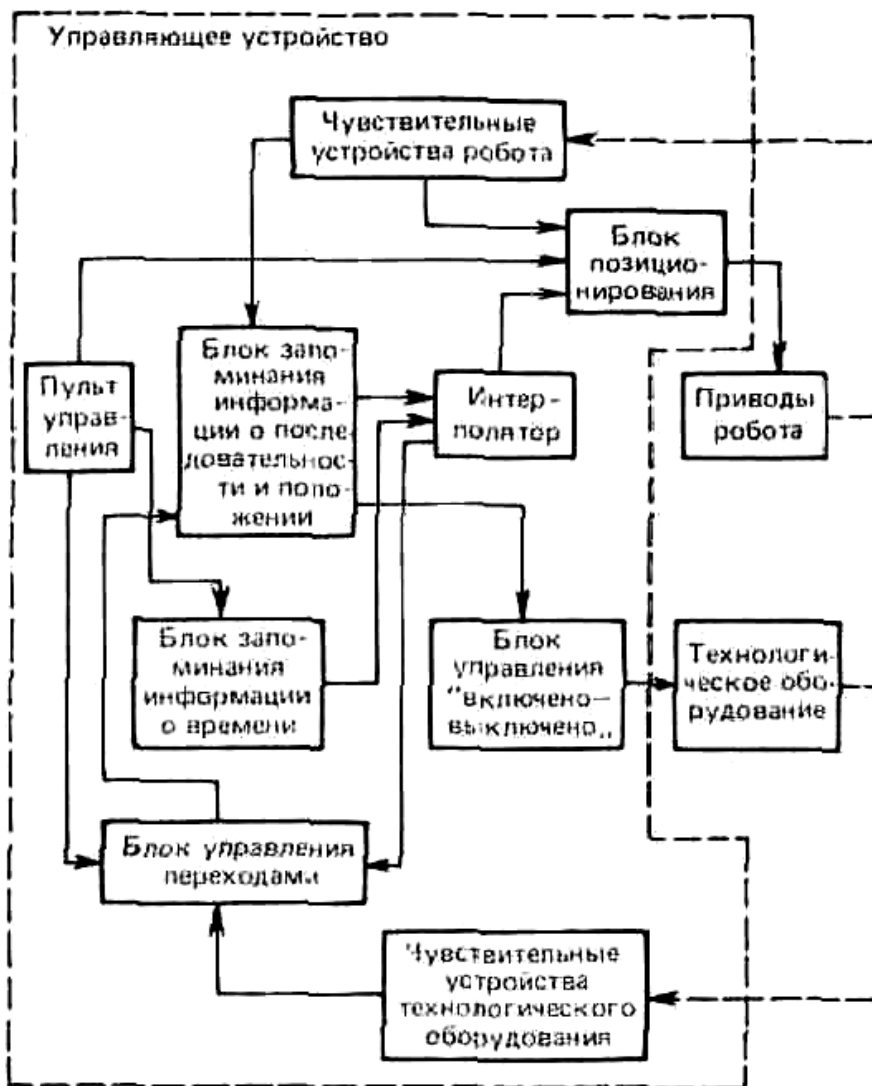


Рис. 16.1 - Загальна структура систем позиційно-контурного керування

Як приклад систем із централізованою структурою розглянемо уніфікований пристрій позиційного числового програмного управління типу УПМ-772 (рис. 16.2), призначене для керування роботами із приводами, що стежать, замкнутого типу. Воно побудовано за принципом синхронного мікропрограмного автомата (МПА) з кінцевим числом станів і твердим циклом керування, що призначений для формування керуючих мікрокоманд відповідно до алгоритму керування пристроєм. Реалізація функцій центрального керування й логічної обробки інформації здійснюється операційно-логічним блоком. Обмін інформацією між функціональними блоками пристрою виконується через шини А, У і С.

У якості програмоносія в пристрої використовується касетний накопичувач на магнітній стрічці (КНМС), що здійснює прийом, зберігання й видачу необхідної програми по запиті із МПА.

Буферний запам'ятовувальний пристрій напівпровідникового типу призначено для оперативного зберігання робочої програми.

Формування послідовностей імпульсів, що синхронізують функціонування пристрою, витримок часу, а також частот, необхідних для роботи вимірювальної системи, здійснюється блоком синхронізації. Блок виміру забезпечує цифровий вимір положень маніпулятора й містить каналні перетворювачі сигналу датчиків у зрушення фаз і перетворювачі типу «фаза - код».

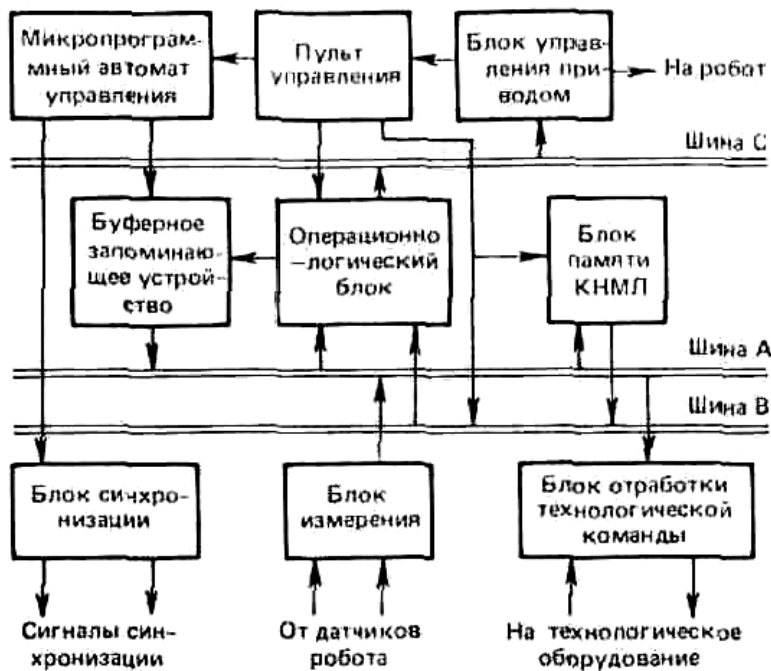


Рис. 16.2 - Структурна схема уніфікованого керуючого пристрою числового програмного керування УПМ-772

Як блок керування приводом у системі УПМ-772 використовується функціональний цифро-аналоговий перетворювач із елементами запам'ятовування вихідних напруг, що надходять на привід. Керування швидкістю руху маніпулятора при роботі пристрою по програмі здійснюється шляхом зміни коду інформації, що надходить на вхід блоку. Пульт керування призначений для завдання режимів роботи, організації ручного уведення інформації і її цифрової індикації.

Розглянута система керування побудована по твердому циклі, при якому логічний взаємозв'язок основних модулів устаткування й алгоритм керування реалізовані переважно апаратним способом.

Використання микро-овм і БІС у структурі позиційно-контурних систем керування забезпечують можливість програмування алгоритмів керування шляхом зміни складу програмного забезпечення.

На рис. 16.3. наведена структурна схема мікропроцесорної позиційно-контурної системи керування УКМ-772, призначеної для керування роботом із приводами, що стежать, у якій як центральний обчислювач, підключеного до периферійних функціональних модулів через систему уніфікованих шин зв'язку по стандартному каналі, використовується микро-овм «Електроніка-60».

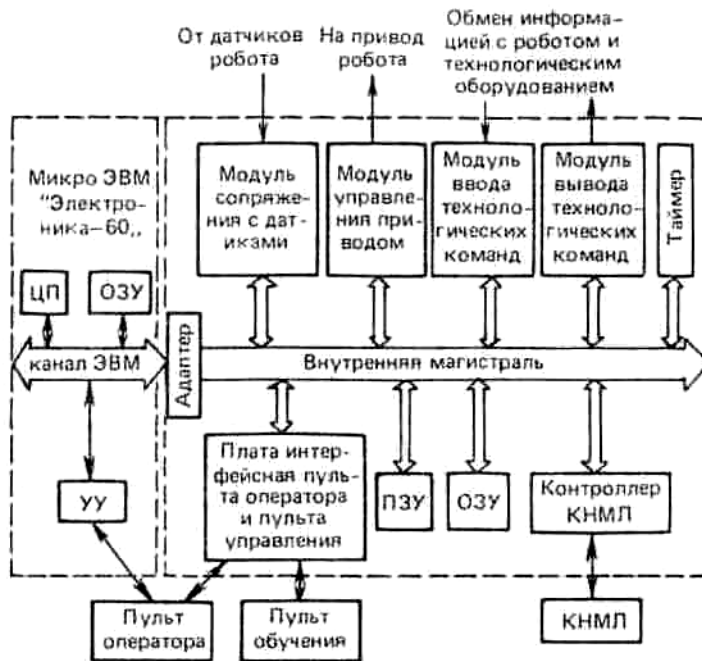


Рис. 16.3-Структурна схема мікропроцесорного пристрою позиційно-контурного керування УКМ-772

У якості зовнішнього програмоносителя використовується КНМС, взаємодія якого забезпечується через модуль керування КНМС. Зберігання програмного забезпечення системи, окремих стандартних підпрограм керуючої програми й т.д. здійснюється модулем постійного запам'ятовувального пристрою. Модуль оперативної пам'яті призначений для зберігання керуючої програми, результатів проміжних обчислень і т.д. Формування синхронізуючих сигналів і тимчасових витримок здійснюється модулем таймера.

Функціональне призначення модулів керування приводом, сполучення з датчиками положення, уведення й висновку технологічних команд залишається колишнім, змінюється тільки організація внутрішнього зв'язку з обчислювачем.

Обмін адресною, числовою й керуючою інформацією з периферійними модулями виробляється по каналі мікро-овм.

Програмне забезпечення системи побудоване по модульному принципі. Його програмні засоби забезпечують здійснення необхідних функцій керування як у позиційному, так і в контурному режимах.

ЛЕКЦІЯ 17

ТЕМА: АДАПТИВНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Завдання побудови адаптивного керування роботом звичайно містить у собі три важливих роздязнула: створення сенсорних пристроїв, обробка інформації із сенсорних датчиків і синтез адаптивних законів керування.

Сенсорні пристрої

Чутливі датчики інформації виконують роль технічних органів почуттів робота й необхідні для успішного рішення двох головних завдань:

- підвищення точності роботи робота;
- забезпечення автономності функціонування робота в різних умовах, що змінюються.

Щоб вирішити ці головні завдання, необхідно додати роботіві відчуття двох типів:

- по-перше, робот повинен почувати «себе», тобто за допомогою датчиків фіксувати результати своїх рухів і оцінювати їхню правильність;

- по-друге, робот повинен почувати навколишнє оточення, тобто співвідносити своє розташування й свої переміщення з розташуванням зовнішніх для нього предметів і їхніх рухів.

Відчуття роботом «себе» створюють за допомогою датчиків, що вимірюють положення окремих ланок робота, швидкості переміщення по кожному ступені рухливості, прискорення або гальмування ланок.

Інформація про навколишній простір створюється за допомогою приладів, що реєструють геометричні, фізичні або хімічні властивості навколишнього середовища. З позицій адаптивного керування роботами найбільший інтерес представляють прилади, що постачають робот інформацією від зовнішнього стосовного його миру.

Сенсори геометричних властивостей виконують ряд функцій:

- обмежують рух ланок робота в результаті зіткнень або контактів робота із предметами в зовнішнім середовищі (тактильні датчики у вигляді кінцевих вимикачів або п'єзоелементів);

- визначають відстань до навколишніх предметів або розміри й орієнтацію предметів шляхом локаційних вимірів (оптичні, ультразвукові, радіотехнічні, телевізійні системи технічного зору й локації).

Сенсори фізичних властивостей виконують функції:

- виміру зусиль і моментів;

- виміру щільності й тиску рідких, твердих, газоподібних речовин;

- виміру температури;

- визначення кольорів і заходу.

Сенсори хімічних властивостей визначають хімічний склад речовин за допомогою аналізаторів типових хімічних реакцій.

Найпоширенішими в робототехніці стали різноманітні пристрої технічного зору, тактильні й силомоментні датчики. З їхньою допомогою вдається ефективно вирішувати завдання адаптивного керування роботами. Однак сенсори забезпечують тільки вихідні дані у вигляді струмів, напруг, чисел і т.п. Використати ці дані для синтезу закону керування можна тільки після обробки сенсорної інформації.

Обробка інформації в сенсорних системах. Розглянемо загальну структуру відеоаналізу в робототехніці. Класифікуємо елементи структури з погляду етапів відеоаналізу, способів розпізнавання й типів математичних процедур.

Рішення відеосенсорних завдань пов'язане з можливостями обчислювальних пристроїв робототехнічних систем по сприйняттю інформації в природній формі - у вигляді зображення робочого простору, виробів, креслень і т.д. Сприйняття відеоінформації в природній формі вимагає аналізу зображення за допомогою ЕОМ.

Ціль відеоаналізу - одержання стислого опису зображення. Необхідний опис повинне бути інваріантно в заданому відношенні й повинне відповідати на поставлені питання щодо зображених об'єктів: кількісні, якісні й геометричні властивості, логічні висновки й т.д.

Рішення завдань відеоаналізу містить у собі попередню обробку й побудову інтерпретації опису (навчання, подання образу, розпізнавання).

На етапі попередньої обробки реалізуються різні форми фільтрації. При цьому вихідне зображення, що містить, наприклад, N^2 крапок, перетворюється в нове з таким же числом крапок.

На етапі побудови й інтерпретації опису виділяється істотна інформація, що різко знижує обсяг даних.

Далі розглядаються типові математичні процедури, методи розпізнавання й деякі питання синтезу адаптивних законів керування,

Типові математичні процедури. У відеоаналізі можна виділити два класи типових математичних процедур - локальні й нелокальні арифметико-логічні процедури (АЛП).

Локальні АЛП. Локальні АЛП застосовуються в основному на етапі попередньої обробки. У загальному випадку локальні АЛП мають вигляд

$$p_{nm}^{t+1} = f[p_{n+i, m+1}^t]_{(i,j) \in \omega}; \quad n = \overline{1, N}; \quad m = \overline{1, M}, \quad (17.1)$$

де $p_{nm}^t p_{nm}^{t+1}$ — елементи матриці зображення форматом $N \times M$ крапок у моменти t і $t+1$; f — арифметико-логічна функція локальної околиці W ; W — локальна околиця, крапки зображення з координатами (n, m) .

Розглянемо вираження (17.1). У результаті застосування функції f до локальної околиці всіх крапок вихідна матриця зображення $P_{N \times M}^t$ перетвориться в нову $P_{N \times M}^{t+1}$. Послідовність застосування функції f визначається траєкторією сканування, прохідної центром локального вікна. Зокрема, вікно може бути одиничним, тобто зводиться до однієї центральної крапки. Застосовуються три типи сканування: лінійне, полярне, довільне.

При лінійному скануванні вікно послідовно проходить рядок за рядком.

При полярному скануванні вікно послідовно проходить по системі концентричних окружностей, описаних навколо деякої заданої крапки, наприклад навколо центра ваги об'єкта.

При довільному скануванні траєкторія адаптується до виду зображеного об'єкта. Наприклад, траєкторією сканування може служити контур або його ланцюговий код.

Нелокальні АЛП. Нелокальні АЛП застосовуються в основному на етапі побудови описів. У загальному випадку дані процедури мають вигляд

$$y = f[p_{nm}]_{(n,m) \in S},$$

де f — арифметико-логічна функція, певна на безлічі траєкторій сканування; p_{nm} — елемент матриці зображення; S — безліч крапок зображення, що входять у траєкторії лінійного, полярного або довільного сканування.

Найпростішим прикладом нелокальної АЛП служить алгоритм обчислення координат центра ваги $(n_{ц}, m_{ц}, \tau)$ об'єкта на зображенні форматом $N \times M$.

$$\left\{ \begin{aligned} n_{ц, m} &= \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M n p_{nm}}{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M p_{nm}}, \\ m_{ц, m} &= \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M m p_{nm}}{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M p_{nm}}. \end{aligned} \right. \quad (17.2)$$

Природною формою сканування в даній процедурі є лінійна.

Важливий підклас нелокальних АЛП становлять лінійні кіцевомірні перетворення:

$$Y = R_s P \quad (17.3)$$

де R_s — лінійний оператор при системі сканування S ; P — матриця зображення.

Методи розпізнавання. Для розпізнавання у відео-аналізі використовуються дві основні групи методів: інтегральні й структурні (у тому числі структурно-лінгвістичні).

Інтегральні методи. Інтегральні методи зводять завдання розпізнавання до аналізу вектора інтегральних ознак. За допомогою нелокальних АЛП різного типу будуються інтегральні ознаки.

Як приклад розглянемо лінійне розпізнавання

$$\sum_{(n,m) \in S} p_{nm}^i R_{nm}(k) = f^i(k), \quad k \in K, \quad i = \overline{1, I},$$

де $\{p_{nm}^i\}$ — зображення i -го об'єкта; $f^i(k)$ — k -й інтегральна ознака i -го об'єкта; DO — безліч використовуваних відліків лінійного перетворення $R_{nm}(k)$; I — безліч розпізнаваних

об'єктів; S — траєкторія сканування.

Кожному об'єкту ставиться у відповідність по одному ($|K|=1$) або декілька ($|K|>1$) чисел. Застосовуючи до невідомого вхідного об'єкта те саме обране на етапі навчання перетворення $R_{nm}(k)$, одержуємо вектор

$$f = \{f(k), k \in K\}.$$

Розпізнавання типу I об'єкта виробляється відповідно до мінімуму критерію близькості:

$$i: [f - f^i] = \min[f - f^j].$$

Процедура навчання (побудова оператора, що розпізнає) може будуватися на основі рішення як прямий, так і зворотного завдання.

У випадку прямого завдання задається оператор, що розпізнає. Навчання зводиться до вибору розмірності вектора f (величини $|K|$) і безлічі K . Вибір виробляється таким чином, щоб векторні крапки f^i , $i = \overline{1, I}$ відстояли в $|K|$ -мірному просторі можливо далі одна від іншої.

Повна автоматизація цієї процедури є досить складним завданням, розв'язуваної інтерактивно.

У випадку зворотного завдання задаються значення векторів ознак f^i , $i = \overline{1, I}$. Навчання зводиться до відшукування вагових коефіцієнтів, таких, що

$$\sum_{(n,m) \in S} p_{nm}^i R_{nm} = f^i.$$

Звичайне число рівнянь / на порядки менше числа

невдомих R_{nm} , $(n, m) \in S$. Тому необхідно використати ті або інші критерії для вибору єдиного рішення. Зокрема, від вибору критерію залежить завадостійкість розпізнавання. Експериментальні результати показують, що використання критерію Чебишева забезпечує більший ступінь завадостійкості, чим застосування середньоквадратичних критеріїв. Це можна пояснити в такий спосіб. Вплив перешкоди ξ_{nm} на величину ознаки f^i у кожній окремій крапці (n, m) зображення тим менше, чим менше величина R_{nm} . Чебишевские рішення R'_{nm} відповідають критерієм

$$\max_{n,m} R_{nm} \rightarrow \min.$$

Для них величина $\max_{n,m} R_{nm}^{(r)}$ звичайно менше, ніж величина $\max_{n,m} R_{nm}^{(k)}$, що знаходить у відповідності із середньоквадратичним критерієм

$$\sqrt{\sum_{(n,m) \in S} R_{nm}^2} \rightarrow \min.$$

Як приклад алгоритму, що дає квазіоптимальне чебишевське рішення, приведемо наступну ітераційну процедуру:

$$R_{nm}^{k+1} = R_{nm}^k + s_i^k \frac{P_{nm}^i}{\sum_{(n,m) \in S} (P_{nm}^i)^2}, \quad (n, m) \in S;$$

$$s_i^k = \left\{ \begin{array}{l} 0, \left| f^i - \sum_{(n,m) \in S} p_{nm}^i R_{nm}^k \right| \leq \varepsilon; \\ f^i - \sum_{(n,m) \in S} p_{nm}^i R_{nm}^k. \end{array} \right.$$

де k — номер ітерації; ε — допуск.

Даний підхід дозволяє розпізнавати об'єкти довільного виду. Однак при лінійній системі сканування цей алгоритм не є просторово-інваріантним. Розглянемо приклад просторово інваріантного алгоритму, у якому ознаки утворені наступним нелокальним лінійним перетворенням при полярній системі сканування:

$$A_{p,k} = \left| \sum_{\varphi=0}^{N-1} p_{n(\rho,\varphi),m(\rho\varphi)} e^{-j\frac{2\pi}{N}k\varphi} \right|, \quad \rho = \overline{1, R},$$

де k — задана частота; R — деяке ціле число.

У якості лінійного оператора, що розпізнає, у прикладі використовується оператор одномірного дискретного перетворення Фур'є $e^{-j\frac{2\pi}{N}k\varphi}$

В розглянутій процедурі для кожного фіксованого значення полярного радіуса $\rho = \overline{1, R}$ обчислюється один відлік амплітуди $A_{\rho,k}$ дискретного перетворення Фур'є, що відповідає заданій частоті k .

При виборі центра полярного сканування в центрі ваги об'єкта R -крапковий опис $(A_{1,k}, A_{2,k}, \dots, A_{R,k})$ інваріантно щодо лінійних і кутових зрушень об'єкта в кадрі.

Структурні методи. На основі обліку різних топологічних особливостей розпізнаваних об'єктів і систем об'єктів будуються структурні ознаки. У якості найпростіших структурних ознак використовуються, наприклад, число кутів і отворів об'єктів, їхній максимальний діаметр, площа, периметр, відношення площі до периметра й ін.

Прикладом структурного підходу служить побудова й інтерпретація контурного опису. Розглянемо алгоритм, що є ефективним способом побудови контурного опису у випадку бінарних зображень (рис. 17.1).

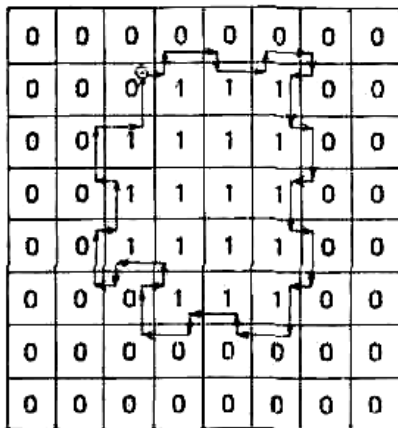


Рисунок 17.1 - Алгоритм опису контуру

Відповідно до цього алгоритму контур визначається послідовністю збільшень координат крапки (n, m) , що рухається за правилом

$$(\Delta n^{t+1}, \Delta m^{t+1}) = (f) \Delta n^t, \Delta m^t, p_{nm}^t),$$

де функція f задана в табл. 17.1; p_{nm}^t — яскравість зображення в місці знаходження крапки, що рухається.

Исходячи з контурного опису, просторово-інваріантне розпізнавання може бути реалізоване за допомогою вираження

$$y_k = \left| \sum_{s=1}^S \varphi_s e^{-j\frac{2\pi}{N}ks} \right|,$$

де φ_s — відстань від центра ваги контуру до крапки s контуру; S — число крапок у контурі.

Більше складні структурні підходи пов'язані з поданням об'єкта у вигляді сукупності елементарних.

Таблиця 17.1

Збільшення координат у момент		Збільшення координат	
		$(\Delta n^{t+1} / \Delta m^{t+1})$	
		$p_{nm}^t = 1$	$p_{nm}^t = 0$
$\Delta n^t (\Delta m^t \neq 0)$	1	$0/1$	$0/1$
	-1	$0/1$	$0/-1$
$\Delta m^t (\Delta n^t \neq 0)$	1	$0/1$	$-1/0$
	-1	$0/-1$	$1/0$

Синтез адаптивних законів керування роботами. Необхідність в адаптивному керуванні виникає в результаті невизначеності початкових умов і параметричних збурювань.

У рівнянні руху маніпулятора

$$A(q, \xi)\ddot{q} + b(q, \dot{q}, \xi) = u, \quad (17.4)$$

де $A(q, \xi)$ — матриця $n \times n$ параметрів маніпулятора;

$b(q, \dot{q}, \xi)$ — вектор-функція розмірності n параметрів маніпулятора;

q, \dot{q}, ξ — узагальнені координати;

u -керування;

ξ — параметри рівняння руху, невизначеними є початкові умови

$$q(t_0) - q_p(t_0) \neq 0; \quad (17.5)$$

$$\dot{q}(t_0) - \dot{q}_p(t_0) \neq 0.$$

де $q_p(t_0)$ — початкове значення заданої програмної траєкторії $q_p(t)$, і параметричні збурювання

$$|\xi - \hat{\xi}| \neq 0 \quad (17.6)$$

де $\hat{\xi}$ — оцінка параметра ξ .

Метод контурного керування не дозволяє звільнитися від впливу зазначених збурювань. При цьому керування й формується з обліком швидкісних і позиційних зворотних зв'язків:

$$u(q, \dot{q}, \hat{\xi}, t) = A(q, \xi)[\ddot{q}_p + \Gamma_1(\dot{q} - \dot{q}_p) + \Gamma_0(q - q_0)] + b(q, \dot{q}, \xi), \quad (17.7)$$

де Γ_1 і Γ_0 — діагональні матриці коефіцієнтів, що визначають стійкість і якість руху.

Вибором матриць Γ_1 і Γ_0 з умов стійкості матриці

$$\Gamma = \begin{vmatrix} 0 & E \\ \Gamma_0 & 1 \end{vmatrix}.$$

де E - одинична матриця, забезпечується асимптотична стійкість руху в замкнутому контурі:

$$A(q, \xi)\ddot{q} + b(q, \dot{q}, \xi) = A(q, \hat{\xi})[\ddot{q} + \Gamma_0(q - \dot{q}) + \Gamma_1(q + q_p)] + b(q, \dot{q}, \xi). \quad (17.8)$$

Однак через відмінність щирого значення параметра ξ від його оцінки $\hat{\xi}$ виникає динамічна помилка Δ_t , при $\xi \neq \hat{\xi}$

$$\Delta_t = q(t) - q_p(t). \quad (17.9)$$

Для усунення помилки Δ_t в систему керування необхідно ввести додатковий контур адаптації, що забезпечує настроювання алгоритму керування з урахуванням вимірюваних значень збурювань і керування.

Керування в цьому випадку записується в більш зручній для аналізу формі:

$$u = G[q, \dot{q}, \ddot{q}_p + \Gamma_1(\dot{q} - \dot{q}_p) + \Gamma_0(q - q_p)]\tau. \quad (17.10)$$

де $G[\cdot]$ — матриця параметрів стабілізуючого алгоритму керування; τ — вектор-функція, що залежить від оцінки невизначених параметрів ξ .

Тоді алгоритм адаптації в загальному виді може бути представлений так:

$$\tau = a(t, q, \dot{q}), \quad (17.11)$$

де a - функція оцінки.

У цілому керування формується із двох рівнянь:

$$\begin{aligned} u &= G[q, \dot{q}, \ddot{q}_p + \Gamma_1(\dot{q} - \dot{q}_p) + \Gamma_0(q - q_p)]\tau; \\ \tau &= a(t, q, \dot{q}). \end{aligned} \quad (17.12)$$

Визначення τ роблять для інтервалу руху $[t_k, t_{k+1}]$ відповідно до рішення спеціально допоміжних нерівностей, що вводять, виду

$$|\sigma(\tau, t)| < \delta; \quad \tilde{\sigma}(\tau, t) \equiv u - G(q, \dot{q}, \ddot{q})\tau, \quad (17.13)$$

де t'_k — малий параметр адаптації.

На основі рекуррентних кінцево-збіжних алгоритмів типу

$$\tau \equiv \tau_{k+1} = \begin{cases} \tau_k, & \text{если } |\tilde{\sigma}(\tau_k t)| < \delta; \\ a[\tau_k, \tilde{\sigma}(\tau_k t'_k)], & \text{если } |\tilde{\sigma}(\tau_k t'_k)| \geq \sigma, \end{cases} \quad (17.14)$$

де t'_k — перший момент часу порушення нерівності (17.13); $[t_k, t'_k]$ — інтервал стабілізації; $[t'_k, t_{k+1}]$ — інтервал адаптації.

За кінцеве число кроків алгоритму (17.14) близькість програмної й реальної траєкторій з точністю ε , забезпечується після $t \geq t_a$, де t_a — час адаптації:

$$|q(t) - q_p(t)| \leq \varepsilon_1; \quad |\dot{q}(t) - \dot{q}_p(t)| \leq \varepsilon_2; \quad t \geq t_a \quad \xi \in \Xi,$$

де Ξ — обмежений діапазон зміни параметрів ξ .

Схема адаптивної стабілізації програмного руху представлена на рис. 17.2.

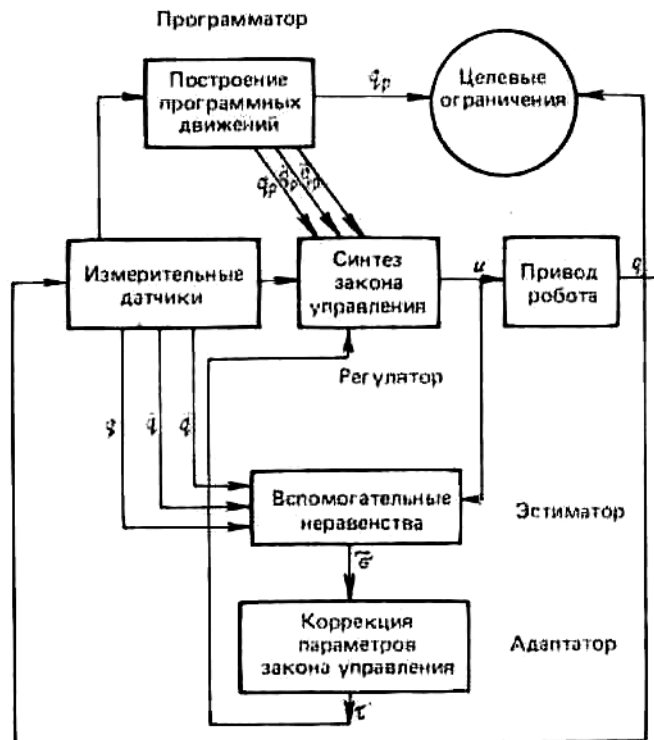


Рисунок 17.2 - Адаптивна стабілізація програмного руху

У програматорі визначається програмна траєкторія руху, що вводиться в регулятор. Регулятор забезпечує керуючий вплив на вхід приводу робота. Цей вплив адаптивний коректується відповідно до розглянутих алгоритмів у результаті формування допоміжних нерівностей в естиматорі й покрокового рішення їх з визначенням коригувального значення оцінки невизначених параметрів ?.

ЛЕКЦІЯ 18

ТЕМА: ІНТЕЛЕКТНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Необхідність в інтелектному керуванні роботами виникає із практичних вимог підвищення точності й автономності функціонування роботів в умовах не строго організованого технологічного середовища. Наявність роботів з інтелектним керуванням може вплинути на значне зниження витрат, що витрачають на підготовку й організацію робітничого середовища. При цьому виробництво таких роботів повинне бути економічно доцільним.

У робототехніці є ряд завдань, які необхідно вирішувати із застосуванням методів і теорії штучного інтелекту. До таких ставляться, наприклад, завдання перегрупування предметів зовнішньої сцени, цілеспрямованого пересування або навігації.

Традиційно ці завдання у випадку простих роботів вирішувала людина. Однак такий спосіб рішення має ряд недоліків, зв'язаних:

- зі складністю цілевказівки оператором;
- далекістю або автономністю роботи робота;
- швидкою динамічною зміною стану середовища.

Істотним моментом для будь-якого типу інтелектного керування є синтез програми, що моделює «розумне» поведіння робота в умовах, що змінюються, зовнішньої сцени. Для вбудовування програми моделювання в систему керування необхідна розробка спеціалізованих мов програмування штучного інтелекту. Першою мовою програмування, застосованим в інтелектному керуванні роботами, була мова математичної логіки, заснована на вирахованні предикатів першого порядку. Ця мова була використана вченим Стенфордського дослідницького інституту (США) Н. Нильсоном для розробки системи

інтелектуального керування автономним роботом, названої їм STRIPS. Надалі для керування роботами були застосовані й інші мови програмування.

У цей час в усьому світі ведуться інтенсивні дослідження в області мов програмування штучного інтелекту. Особливо швидкий підйом відбувся у зв'язку зі створенням ЕОМ 5-го покоління.

Існує кілька напрямків у розробці мов програмування штучного інтелекту:

- обробка символічної інформації (частіше всього у формі списків) з перетворенням ансамблів зі складних символічних структур. Найбільш типовим представником є широко розповсюджена мова LISP і його діалекти;

- обробка логічних відносин між об'єктами або поняттями. Типовим представником є мова PROLOG;

- обробка запитів характерна для об'єктно-орієнтованих мов типу SMALLTALK;

- подання знань у вигляді фреймових або мережних структур. Представниками є мови KRL; FRL, KL-ONE, Ф.

В ЕОМ 5-го покоління широко використовують мови LISP і PROLOG. Для цієї мети створюються спеціалізовані процесори, що апаратно реалізують багато функцій зазначених мов. Такі процесори мають нетрадиційну архітектуру й називаються LISP-машинами й PROLOG-машинами.

Мова **вираховання предикатів першого порядку для моделювання зовнішнього середовища**. Основними компонентами програми для моделювання завдань штучного інтелекту є:

- вихідні дані у формі описів зовнішнього миру;

- операції або дії над даними (правила продукції або правила висновку);

- керування, необхідне для вибору певних правил продукції або припинення рішення по досягненню цільової умови.

Досить ефективними для керування роботами виявилися описи зовнішнього миру мовою вираховання предикатів першого порядку й правила продукції на основі методу резолюції.

Люба мова має *синтаксис і семантику*. При використанні мови вираховання предикатів першого порядку синтаксис представлений *алфавітом символів* і припустимих сполучень символів у вигляді правильно побудованих формул (ППФ) (рис. 18.1), а семантика мови визначена відносинами між символами.



Рисунок 18.1 – Мова вираховання предикатів

Алфавіт символів складається із двох типів символів: предикатів (звичайно позначають дії) і термов (символи констант, змінних, функцій). Терми позначають об'єкти дії.

Припустимі сполучення символів містять у собі:

- атомні формули, що є композиціями із предикатних символів і термов.- комбінації атомних формул, одержувані за допомогою зв'язувань:

$A(i)$ - об'єднання або кон'юнкція;

V (або) - перетинання або диз'юнкція;

\Rightarrow (якщо... те) — проходження або імплікація.

Правильно побудовані формули є комбінаціями атомних формул, елементи яких мають свої назви:

КОН'ЮНКТ \wedge КОН'ЮНКТ

ДИЗ'ЮНКТ \vee ДИЗ'ЮНКТ

АНТЕЦЕДЕНТ \Rightarrow КОНСЕКВЕНТ

Важливе значення приділяється правилам істинності (Т - true) або хибності (F - false) формул.

Запереченням формули - називається зміна значення формули із щирого Т на помилкове F і навпаки.

Рекомендована література

1. ГПС и РТК в машиностроении / Под ред. Соломенцева Д.М.// М.: Машиностроение, 1989.- 192с.
2. Роботизированные производственные комплексы / Ю.Г.Козырев и др.// М.: Машиностроение, 1987.-272с.
3. С.Ф.Бурдаков и др. Проектирование манипуляторов ПР и РТК. М.: Высш. шк., 1986. – 336с.
4. Робототехника и ГАП. В 9-ти кн. Кн.3. Управление РТС и ГАП / И.М.Макаров и др.// М.: Высш. шк., 1986.- 159с.
5. Автоматизация производства (металлообработка): Учебник/ Б.В.Шандров, А.А.Шапарин, А.Д.Чудаков.- М.: ИРПО: Издательский центр «Академия», 2002.-256с.
6. Станочное оборудование гибких производственных систем/ Е.С.Пуховский и др.- К.:Тэхніка, 1990.- 175с.
7. Робототехника и ГАП. В 9-ти кн. Кн.5. Моделирование робототехнических систем и гибких автоматизированных производств М.: Высш. шк., 1986.- 164с.
8. А.П.Гавриш, И.А.Двойных. Автоматические загрузочные устройства для промышленных роботов. К.:Тэхніка, 1985.-176с.
9. Р.Асфаль. Роботы и автоматическое производство.-М.:Машиностроение, 1989.- 448с.
10. Тимофеев А.В. Адаптивные робототехнические комплексы.- Л.: Машиностроение, 1988.- 332с.
11. B&R-Systems. Обзорный каталог. Версия 1/2000.-М.: ЭНТАС – Представительство B&R.-2000 -112с.

Інформаційні ресурси

1. <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1464202>
2. http://studopedia.net/9_502_gibkoe-avtomatizirovannoe-proizvodstvo.html
3. <http://www.findpatent.ru/patent/129/1291366.html>
4. <http://lektsii.net/1-86938.html>
5. <http://books.tr200.org>
6. <http://www.automates.ru/mechanics/19/159.htm>
7. <http://vunivere.ru/work45290>
8. <http://knigi.tr200.org/v.php?id=2811870>
9. <http://www.himlabo.ru/umk-gibkoe-avtomatizirovannoe-proizvodstvo/umk-gibkoe-avtomatizirovannoe-proizvodstvo> - УМК "Гибкое автоматизированное производство"
10. <http://rukni.net/query/726076-1-gibkoe-avtomatizirovannoe-proizvodstvo/>